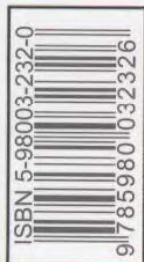


Библиотека Инженера

S
«СОЛОН»

Дьяконов В. П.

Современная осциллография и осциллографы



ВПЕРВЫЕ: все об осциллографах в одной книге!

Осциллографы: история и современность

Принципы обработки сигналов

Устройство осциллографов

Описания отечественных и зарубежных осциллографов

Осциллография и компьютеры

Виртуальная лаборатория



Находка для специалиста!

Серия «Библиотека инженера»

В. П. Дьяконов

СОВРЕМЕННАЯ ОСЦИЛЛОГРАФИЯ И ОСЦИЛЛОГРАФЫ

**Москва
СОЛОН-Пресс
2013**

В. П. Дьяконов

Д93 Современная осциллография и осциллографы. Серия «Библиотека инженера». — М.: СОЛОН-Пресс, 2013. — 320 с.: ил.

ISBN 5-98003-232-0

Описана техника графической визуализации электрических процессов — осциллография. Даны основы работы электронных осциллографов — от осциллоскопа Брауна и первых советских осциллоскопов до новейших стробоскопических осциллографов ведущих фирм мира с полосой частот сигналов до 100 ГГц. Детально описано применение современных аналоговых, аналогово-цифровых и цифровых запоминающих осциллографов, в том числе с цифровым люминофором и аналоговым послесвечением, компьютеризированных осциллографов, осциллографов в виде плат расширения и приставок к компьютерам, а также виртуальных лабораторий с обширными возможностями математической обработки осциллограмм. Описаны курсорные и автоматические измерения, спектральный и статистический анализ сигналов и др.

Для инженеров и техников служб сервиса, научных работников и аспирантов, студентов и преподавателей вузов и опытных радиолюбителей.

КНИГА — ПОЧТОЙ

Книги издательства «СОЛОН-ПРЕСС» можно заказать наложенным платежом (оплата при получении) по фиксированной цене. Заказ оформляется одним из трех способов:

1. Послать открытку или письмо по адресу: 123001, Москва, а/я 82.
2. Оформить заказ можно на сайте www.solon-press.ru в разделе «Книга — почтой».
3. Заказать по тел. (499) 254-44-10, (499) 252-73-26.

Бесплатно высылается каталог издательства по почте.

При оформлении заказа следует правильно и полностью указать адрес, по которому должны быть высланы книги, а также фамилию, имя и отчество получателя. Желательно указать дополнительно свой телефон и адрес электронной почты.

Через Интернет вы можете в любое время получить свежий каталог издательства «СОЛОН-ПРЕСС», считав его с адреса www.solon-press.ru/kat.doc.

Интернет-магазин размещен на сайте www.solon-press.ru.

По вопросам приобретения обращаться:

ООО «Альянс-книга КТК»

Тел: (495) 258-91-94, 258-91-95, www.aliants-kniga.ru

ISBN 5-98003-232-0

© Макет и обложка «СОЛОН-Пресс», 2013

© В. П. Дьяконов, 2013

Введение

Эта книга посвящена технике регистрации и графической визуализации электрических процессов и сигналов — осциллографии. Она реализуется с помощью приборов — осциллографов. Современный электронный осциллограф — уникальный по широте применений измерительный прибор. Это «глаза» человека, позволившие ему заглянуть в невидимый мир сложнейших электрических, а при использовании различных датчиков и иных процессов. Ныне осциллограф — главный прибор ученого, исследующего новые физические процессы, инженера и техника, занятого ремонтом и наладкой сложнейшей электронной аппаратуры и радиолюбителя, на практике осваивающего основы электроники и радиотехники. Трудно переоценить роль осциллографа в лабораториях высших учебных заведений и школ.

Автор этой книги впервые столкнулся с осциллографом, посетив в институте электротехническую лабораторию, и с удивлением увидел, какие сложные процессы может регистрировать этот удивительный прибор. Затем, работая радиомехаником и инженером (рис. 0.1) он широко использовал осциллограф как на работе, так и в своей радиолюбительской практике. В те далекие годы приобрести осциллограф радиолюбителю было невозможно — эти приборы стоили дорого и в магазинах не продавались. Пришлось их строить самому.

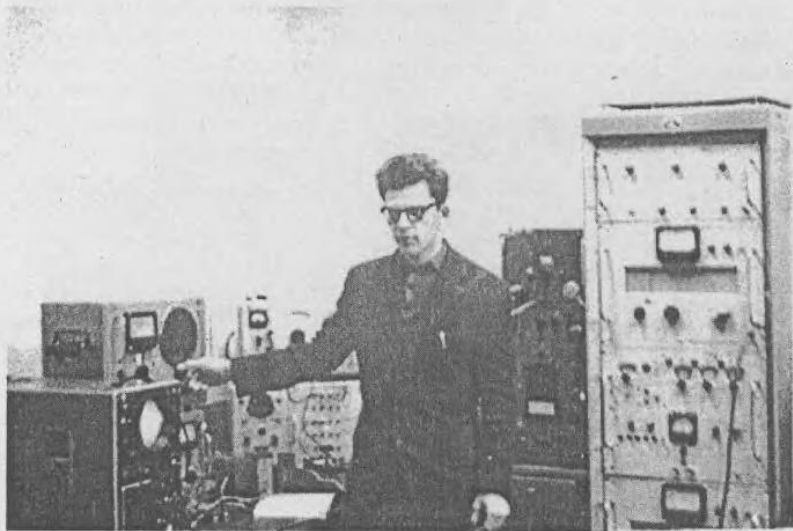


Рис. 01. Автор книги в лаборатории высокоточных измерений (60-е годы прошлого века), слева внизу виден современный по тем временам осциллограф

С момента своего появления осциллограф постоянно совершенствовался. Если первые осциллографы с трудом регистрировали электрические процессы с частотами до десятков килогерц (кГц), то современные осциллографы позволяют наблюдать процессы с частотами до 100 гигагерц (ГГц). Таким образом, частоты наблюдаемых сигналов выросли в миллионы раз! Это открыло перед осциллографами огромные сферы применения в разработке высокоскоростных электронных устройств, исследовании быстрых ядерных и оптических процессов и в других важных сферах науки и техники. Без осциллографов невозможна разработка микропроцессоров (а их частоты уже достигли 4 ГГц) и микросхем памяти, современных скоростных интерфейсов компьютеров (например, USB 2.0 или Serial ATA) и многих других современных систем связи и телекоммуникаций, включая спутниковые системы и системы мобильной связи.

Новым знаменательным явлением стала разработка аналого-цифровых и цифровых осциллографов со встроенными в них компьютерами, а также разработка приставок и плат к компьютерам, превращающих их во вполне доступные виртуальные компьютеризированные осциллографические системы широкого применения. Впрочем, назвать такие приборы новыми не совсем верно. Уже после появления первых настольных, а позже персональных компьютеров ученые пытались использовать их для обработки и вывода осциллограмм. Так, в начале 80-х годов под руководством автора (ставшего к этому времени доктором технических наук) на кафедре промышленной электроники Смоленского филиала МЭИ (ныне технического университета) была создана уникальная по тем временам компьютеризированная осциллографическая система (рис. 0.2). Она содержала отечественный мини-компьютер ДВК-2, стробоскопический осциллограф с полосой частот до 1 ГГц, интерфейсный блок, принтер и измерительные генераторы. Система широко использовалась для разработки сверхскоростных электронных устройств, в частности на лавинных и мощных полевых транзисторах.

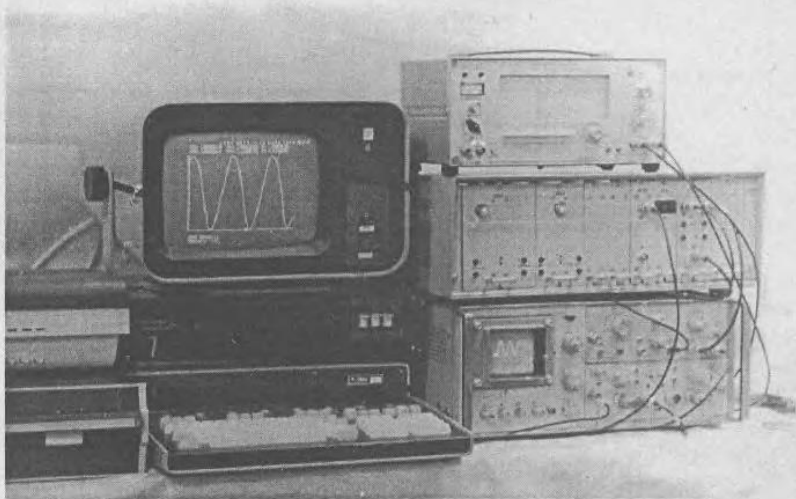


Рис. 0.2. Компьютеризированная осциллографическая система, созданная на кафедре промышленной электроники Смоленского филиала МЭИ (конец 80-х годов)

В современном государстве нельзя обойтись без науки и образования, которое должно базироваться на самых современных научных достижениях. В последние годы интерес к научным исследованиям снова стал расти. В наш быт пришла новейшая и одновременно сложнейшая бытовая техника, ремонт, наладка и обслуживание которой невозможны без измерительных приборов и, прежде всего, осциллографов. Их можно встретить в ремонтных мастерских и сервисных центрах. Ежегодно миллионы людей осваивают работу с осциллографами в школах, техникумах, профтехучилищах и вузах, в своей трудовой деятельности.

Особенностью нашего времени стала доступность осциллографов — их можно приобрести не только в ряде фирм, торгующих измерительным оборудованием, но и во многих магазинах соответствующего профиля, например в сети магазинов «Чип и Дип». На рынке имеются предложения на поставку осциллографов практически любых типов и марок — от дешевых сервисных китайских осциллографов до Hi End моделей известных зарубежных фирм Tectronix, LeGroy и др., порою с ценой выше, чем престижные автомобили западного производства. Вовсю идет распродажа отечественных осциллографов, произведенных еще в СССР и сохранившихся на складах.

Между тем в последние десять-пятнадцать лет книг по технике осциллографии и осциллографам у нас практически не издавалось. А старая литература [13, 14, 23] ограничивалась описанием только аналоговых осциллографов давно устаревших моделей. Новые типы аналогово-цифровых и цифровых осциллографов в ней не описывались — их в то время просто не существовало! Уровень давно известных стробоскопических осциллографов был на два порядка ниже, чем у современных моделей, существенно обновилась техника электронной осциллографии.

Этот серьезный пробел призвана восполнить настоящая книга. Материал книги охватывает всю историю развития техники электронной осциллографии — от создания первого электронного осциллографа до описания новейших цифровых осциллографов, том числе компьютеризированных. Разумеется, истории отведено скромное место, а основное внимание уделено самым современным осциллографам и новой технике цифровой осциллографии.

Современный осциллограф стал сложнейшим прибором. Построить его самостоятельно могут лишь очень немногие радиолюбители. Поэтому эта книга не является пособием по сборке осциллографов и тем более по их разработке. Она посвящена описанию и применению осциллографов как вполне законченных приборов. В ней особое внимание уделено описанию новейших моделей этих приборов, присутствующих на рынке России, и их техническим возможностям и характеристикам. Особенно подробно описаны новейшие аналогово-цифровые и цифровые запоминающие осциллографы, осциллографы-платы и приставки к персональному компьютеру и виртуальные компьютеризированные лаборатории. Они обладают богатейшими возможностями выполнения курсорных и автоматических вычислений сразу многих параметров сигналов, их математической обработки (включая преобразования Фурье и построение спектрограмм) и уникальной техникой регистрации быстротекущих процессов.

В книге впервые описаны миниатюрные осциллографы, в том числе встроенные в мультиметры — приборы, способные точно измерять множество параметров сигналов и электронных цепей, например напряжения и токи, резистивность, емкость, индуктивность, температуру и т. д. Эти приборы могут использоваться в походных условиях, на выездных ремонтных бригадах, в сервисных центрах обслужи-

вания автомобилей, в ремонтных мастерских и даже в роли персональных и личных осциллографов, просто полезных дома, как молоток или электродрель.

Автор искренне надеется, что эта книга будет интересной и полезной широкой категории читателей — инженерам и техникам, научным работникам и аспирантам, студентам и преподавателям вузов и, конечно, радиолюбителям, налаживающим свои конструкции. Словом, всем, кто уже применяет или собирается применять такой замечательный прибор, как современный электронный осциллограф.

Глава 1. История и основы электронной осциллографии

1.1. Сигналы и их спектры

1.1.1. Синусоидальные колебания и сигналы

Мир велик и многообразен! То, что мы видим, слышим и осязаем, составляет ничтожную часть того, что происходит в окружающем нас мире. Мы не ощущаем, что живем в океане электромагнитных волн, не видим, какие токи текут в проводах и в тканях нашего организма. Нам не видим мир атомов и молекул, атомных и молекулярных процессов. Некоторые процессы протекают в природе очень медленно, другие чрезвычайно быстро. Область науки и техники, позволяющая визуально (чаще всего графически) представлять различные процессы, получила название *осциллография*. Приборы, реализующие возможности осциллографии, называются *осциллографами*.

Колебания (осцилляции) широко распространены в природе. Звучание камертона и струны, свист человека — все это примеры достаточно простых колебаний, близких к синусоидальным. Мы слышим звуки от таких колебаний, но не имеем ни малейшего представления о том, какую форму имеют эти колебания. Лишь с помощью механических осциллографов более сотни лет тому назад была установлена форма этих колебаний — она оказалась синусоидальной (рис. 1.1). Впрочем, математики давно установили, что такую форму имеют низкочастотные, так называемые свободные, механические колебания, например механического маятника, качелей или моста, после их возбуждения. Это очень немногие виды колебаний, которые мы можем увидеть и оценить.

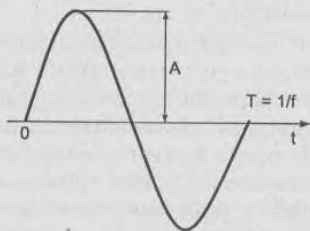


Рис. 1.1. Период синусоидального колебания (сигнала)

Синусоидальные колебания $y(t)$ описываются следующей зависимостью:

$$y(t) = A \cdot \sin(2\pi ft + \varphi) \quad (1.1)$$

где A — амплитуда (для тока в амперах, для напряжения в вольтах и т. д.), f — частота (в герцах, 1 Гц это одно полное колебание в секунду) и φ — фаза (в радианах). Период синусоидальных колебаний (один их полный цикл) $T = 1/f$. Синусоидальные колебания циклически повторяются. Частота синусоидальных колебаний это число циклов в единицу времени. Для звуковых колебаний амплитуда определяет громкость звука, частота — его тон, а вот фазу чистого синусоидального колебания ухо не воспринимает.

Нередко используется и понятие круговой частоты синусоиды $\omega = 2\pi f$, тогда синусоидальное колебание записывается в виде:

$$y(t) = A \cdot \sin(\omega t + \varphi). \quad (1.2)$$

Если все три параметра (амплитуда, частота, фаза) неизменны во времени, то мы имеем стационарное синусоидальное колебание. Изменение одного или двух из параметров во времени означает модуляцию синусоидального сигнала. При этом сигнал становится нестационарным.

Синусоидальное колебание имеет огромное значение в науке и технике. В отличие от постоянных величин, например, постоянного напряжения или тока, синусоидальное колебание описывает простейшие колебательные режимы работы динамических систем. Для получения синусоидальных колебаний создано множество приборов, например, это генераторы низкой (НЧ) и высокой (ВЧ) частот, генераторы стандартных сигналов (ГСС), RC-генераторы, кварцевые и квантовые генераторы синусоидальных сигналов с высокостабильной частотой. А модуляция (изменение параметров синусоидального сигнала по закону модулирующего сигнала) синусоидального сигнала сделала возможной передачу таких сигналов на расстояние в виде электромагнитных волн. Это стало основой радиотехники.

1.1.2. Понятие о спектральном синтезе сложных сигналов

Роль синусоидальных сигналов многократно возрастает, если учесть, что сложные сигналы практически любой реальной формы могут быть представлены набором синусоидальных колебаний — *гармоник* с кратными основной частоте (первой гармоники) частотами [1]. При этом такой набор (*спектр*) образует сложные колебания, например звуки музыки или человеческой речи. Простые колебания именуют *гармоническими*, поскольку они, несмотря на свой колебательный характер, находятся как бы в гармонии с окружающей средой — их форма и параметры (амплитуда, частота и фаза) неизменны во времени.

Эту возможность, вначале на примере задач теплопроводности, теоретически обосновал гениальный французский математик Жан Батист Жозеф Фурье (1768—1830 гг.). С помощью современных систем компьютерной математики [2, 3] можно дать наглядную трактовку гениальному мышлению Фурье. Возьмем для примера широко распространенные в технике осциллографии сигналы — прямоугольные и пилообразные импульсы. Первые применяются для контроля временных параметров осциллографов и различных технических устройств, вторые (что показано ниже) для создания развертки осциллографов. Оба сигнала содержат скачки. Можно ли получить хотя бы приближение таких сигналов с помощью сумм их синусоидальных составляющих? Ответ оказывается положительный и иллюстрируется рис. 1.2 и 1.3, где даны примеры синтеза этих сигналов.

Кривые на рис. 1.2 получены суммированием 1, 3 и 21 синусоиды с частотами, кратными частоте сигнала, и амплитудой, убывающей обратно пропорционально номеру частотной составляющей — гармоники. Используются только нечетные гармоники. Нетрудно заметить, что чем больше гармоник используется, тем ближе форма синтезированного сигнала к идеальной прямоугольной форме меандра — сигнала прямоугольной формы с равной длительностью полупериодов и равной амплитудой положительной и отрицательной полуоволн. Если суммируются все гармоники (как четные, так и нечетные), то форма синтезируемого сигнала оказывается близкой к пилообразной — рис. 1.3 (здесь показаны 1, 5 и 15 гармоник).

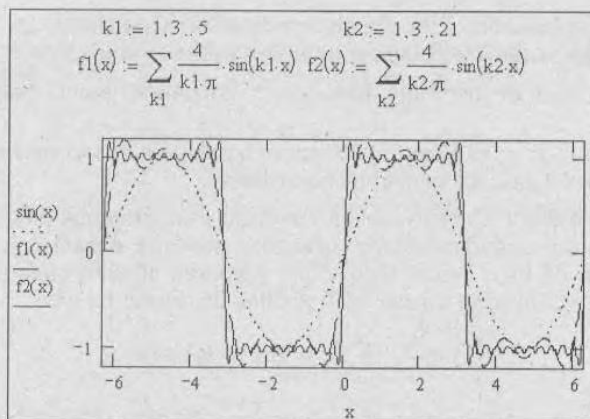


Рис. 1.2. Пример гармонического синтеза прямоугольных импульсов — меандра

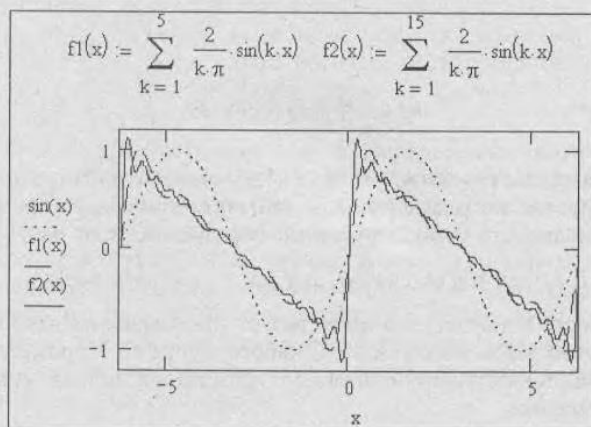


Рис. 1.3. Пример гармонического синтеза пилообразных импульсов

Для получения импульсных сигналов применяются импульсные генераторы. Из них особо надо выделить функциональные генераторы, генерирующие сигналы с различными функциональными зависимостями, например, в виде синусоид, прямоугольных и треугольных импульсов и т. д. Они также широко используются для испытания и отладки различных электронных устройств и систем. Существуют и синтезаторы импульсных сигналов на основе фурье-синтеза, но это очень дорогие и редкие приборы. Все они без осциллографа были бы бессмысленны.

1.1.3. Фурье-анализ и синтез периодических функций

Задача замены произвольной сложной или неудобной для вычислений функции набором более простых функций давно занимала умы математиков. Гениальность Фурье проявилась не только в том, что он предсказал гармонический синтез сложных сигналов, но и в том, что еще в 1807 году теоретически обосновал воз-

возможность гармонического синтеза произвольных периодических зависимостей, удовлетворяющих условиям Дирихле на промежутке $(-\pi, \pi)$:

- функция $y(x)$ непрерывна или имеет конечное число разрывов первого рода;
- промежуток $(-\pi, \pi)$ можно разбить на конечное число таких промежутков, на которых функция меняется монотонно.

Здесь важно отметить, что условия Дирихле выполняются для всех практически существующих периодических сигналов, поэтому в дальнейшем мы будем опускать ссылки на них. Рядом Фурье для функции общего вида $y(x)$, удовлетворяющей условиям Дирихле и имеющей период 2π , является ряд:

$$y(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^N (a_k \sin(kx) + b_k \cos(kx)), \quad (1.3)$$

коэффициенты которого находятся по формулам Эйлера—Фурье:

$$a_k = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} y(x) \cos(kx) dx \quad (1.4)$$

и

$$b_k = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} y(x) \sin(kx) dx. \quad (1.5)$$

Строгое доказательство того, что ряд (1.3) может приближать произвольную функцию, базируется на элементарных тригонометрических преобразованиях и понятии ортогональности набора функций, образующих этот ряд:

$$1, \cos(x), \sin(x), \cos(2x), \sin(2x), \dots, \cos(nx), \sin(nx), \dots$$

Ортогональность означает, что интеграл от произведения двух любых различных функций этого (возможно и иного) набора функций в промежутке от 0 до 2π равен нулю. Само доказательство, довольно громоздкое, можно найти в учебниках по высшей математике.

Важными сферами применения рядов Фурье являются расчеты радиотехнических устройств. В них обычно периодические сигналы представляют как функции времени $y(t)$ на отрезке $[0, T]$ с периодом $T = 1/f_1$, где f_1 — частота первой гармоники периодического сигнала. В этом случае ряд Фурье, после несложных преобразований, записывается в виде:

$$y(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} (a_k \cos(2\pi k f_1 t) + b_k \sin(2\pi k f_1 t)), \quad (1.6)$$

где

$$a_k = \frac{2}{T} \int_0^T y(t) \cos(2\pi k f_1 t) dt \quad (1.7)$$

и

$$b_k = \frac{2}{T} \int_0^T y(t) \sin(2\pi k f_1 t) dt. \quad (1.8)$$

В этом случае коэффициенты a_k и b_k описывают косинусную и синусную составляющие k -й гармоники сигнала с периодом T и частотой $f_1 = 1/T$. Часто используется иная форма ряда Фурье, упрощающая его синтез:

$$y(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^N M_k \cos(2\pi k f_1 t + \varphi_k), \quad (1.9)$$

где амплитуды гармоник M_k и их фазы φ_k определяются выражениями:

$$M_k = \sqrt{a_k^2 + b_k^2} \quad (1.10)$$

и

$$\varphi_k = -\arctan(b_k/a_k). \quad (1.11)$$

Разложение функции на гармонические составляющие, то есть вычисление коэффициентов Фурье, принято называть *спектральным анализом*. А воссоздание функции, представленной рядом Фурье, называют *спектральным синтезом*. Гармонике с $k = 1$ называют основной или *первой гармоникой* сигнала. Она задает его частоту повторения f_1 . Остальные гармоники называют *высшими*, их частоты равны $f_k = k \cdot f_1$, где $k = 2, 3, 4, \dots$. Таким образом, спектр периодических сигналов, которые могут быть представлены рядом Фурье *дискретный* — он содержит набор фиксированных частот f_k , где $k = 1, 2, 3, \dots$.

Как видно из (1.9), сложные колебания могут содержать множество гармонических составляющих. Чем сложнее форма просматриваемых на экране осциллографа сигналов, тем больше гармоник требуется для его представления и тем шире должна быть полоса частот осциллографической трубки и усилителей отклонения. С помощью ряда Фурье можно установить, сколько гармоник сигнала нужно для представления сложного сигнала с заданной погрешностью. Словом, мы можем узнать, какой АЧХ и какой ФЧХ должен обладать осциллограф, чтобы представлять тот или иной сигнал достаточно достоверно. Спектральный подход лежит в основе многих направлений современной радиоэлектроники — достаточно отметить современную технику радиосвязи.

1.1.4. Дискретный фурье-анализ и спектр периодических функций

Вычисление коэффициентов Фурье непосредственно по интегральным представлениям встречает большие вычислительные трудности. Даже в системах компьютерной математики, где такое вычисление возможно, оно занимает много времени и ограничено приближенным вычислением амплитуд и фаз не более чем десятков гармоник. К тому же далеко не всегда сигнал является непрерывным. Чаше (особенно в цифровых устройствах) он имеет дискретное представление.

Предположим, что некоторая функция (или сигнал) задана рядом равноотстоящих дискретных отсчетов с числом N , т. е. $y_1, y_2, \dots, y_N$. В этом случае нет никаких оснований считать, что в промежутках между узлами значения функции не постоянны. Если же они постоянны, то интегралы при расчете коэффициентов Фурье (1.7) и (1.8) могут вычисляться простейшим методом прямоугольников:

$$a_k = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^N y_i \cos\left(\frac{2\pi k i}{N}\right) \text{ и } b_k = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^N y_i \sin\left(\frac{2\pi k i}{N}\right). \quad (1.12)$$

Детальный анализ, выходящий за рамки данной книги, показывает, что приведенные формулы для коэффициентов Фурье являются единственными теоретически обоснованными формулами приближенного вычисления коэффициентов Фурье [1]. Для произвольных функций они обеспечивают минимум среднеквадратической погрешности. Другими словами, приближение функции тригонометрическим рядом Фурье с ограниченным числом членов является регрессией. Описание средств дискретного анализа и синтеза методом дискретного преобразования Фурье можно найти в [2, 3]. Именно дискретное преобразование Фурье лежит в основе построения современных анализаторов спектра, которые часто встраиваются в цифровые осциллографы.

1.1.5. Непрерывное преобразование Фурье для произвольного сигнала

До сих пор мы рассматривали периодические функции и сигналы. А как быть, если они не периодические? Тут правомерны два подхода. Если функция или сигнал определены на некотором конечном промежутке пространства или времени (носителе конечной длины), то мы можем считать сигналы как бы периодическими и применять к ним описанный выше спектральный анализ и синтез. Например, если сигнал определен в некоторый момент времени t_0 , то его можно посчитать периодическим с периодом t_0 или частотой $f_1 = 1/t_0$.

Другой путь заключается в переходе к непрерывному преобразованию Фурье в общем виде — для произвольного сигнала. Прямое преобразование Фурье в таком случае позволяет получить в аналитическом виде функцию частоты $F(\omega)$ от временной функции $f(t)$. Оно реализуется формулой

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-j\omega t} dt. \quad (1.13)$$

Здесь $f(t)$ — скалярная функция независимой переменной t . Спектр при этом становится сплошным.

Заметим, что существует особый вид *оконного преобразования Фурье*. Он реализуется вводом в подынтегральное выражение множителя $W(t)$, описывающего некоторую временную зависимость, определенную на конечном интервале времени. Это позволяет перейти от фурье-анализа полного сигнала $f(t)$ к анализу его по частям, локализованным во времени.

Поскольку мы исходим из предположения, что $f(t)$, в общем, непериодическая функция, то уже нельзя вести речь об отдельных гармониках и о дискретном спектре сигнала. Спектр $F(\omega)$ становится непрерывным, и можно говорить лишь о плотности энергии сигнала в некоторой малой (стремящейся к нулю) полосе частот. Так что в данном случае $F(\omega)$ есть зависимость плотности энергии сигнала от частоты.

Соответственно, обратное преобразование Фурье задается следующим образом:

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(\omega) e^{j\omega t} d\omega. \quad (1.14)$$

Эта формула позволяет по функции $F(\omega)$ найти в аналитическом виде функцию $f(t)$.

Из формулы (1.13) вытекает главный недостаток прямого преобразования Фурье — интегральная оценка всех частотных составляющих спектра вне зависимо-

сти от времени их существования. Это связано непосредственно с бесконечными пределами интегрирования в (1.13). В результате вполне возможны случаи, когда совсем разные сигналы имеют одинаковый частотный спектр. Другими словами, фурье-анализ прекрасно подходит для стационарных сигналов, но не годится для нестационарных, у которых определенные частотные компоненты существуют только в определенные промежутки времени или когда параметры сигнала меняются во времени.

Роль осциллографии может резко возрасти при переходе к новому базису представления произвольных зависимостей — вейвлетам [48]. Вейвлет-анализ означает разложение таких зависимостей на сумму произведений вейвлет-коэффициентов на вейвлет-функции, имеющие вид ограниченных во времени зависимостей, удовлетворяющих ряду особых условий. Большинство вейвлетов имеет вид импульсных или очень сложных (например, фрактальных) колебаний, ограниченных во времени, перемещаемых и масштабируемых. Вейвлет-анализ и синтез уже широко применяются в технике обработки сигналов с локальными особенностями, например импульсных и цифровых сигналов. Он положен в основу наиболее эффективных алгоритмов сжатия звуковых и видеосигналов, их фильтрации и очистки от шума. Уже появились интегральные микросхемы, реализующие вейвлет-преобразования.

Техника вейвлет-преобразований ничуть не снижает значения фурье-преобразований. Она лишь устраняет некоторые принципиальные недостатки фурье-преобразований, в частности неудовлетворительный учет локальных особенностей сигналов и непригодность для анализа нестационарных сигналов (частично устранимая применением оконного преобразования Фурье).

1.1.6. Быстрое преобразование Фурье (БПФ)

С позиций практики главным недостатком всех описанных выше методов фурье-анализа и синтеза функций и сигналов является большое время вычислений. Это связано с тем, что в формулах для коэффициентов Фурье присутствуют быстро осциллирующие множители, что требует разбивки интервалов интегрирования на очень малые части. В итоге объем вычислительных операций резко возрастает.

Для преодоления вычислительных трудностей, связанных с интегрированием в ходе ППФ и ОПФ быстроизменяющихся зависимостей, были предложены методы быстрого преобразования Фурье (БПФ или, в англоязычной транскрипции, FFT — от Fast Fourier Transform). Они используют специальную технику комбинации отсчетов функций, помноженных на осциллирующие множители, и учитывают периодичность значений тригонометрических функций. Алгоритмы БПФ не уменьшают погрешности вычислений при заданном числе гармоник, но позволяют резко уменьшить время спектрального анализа и синтеза — особенно если число временных отсчетов $y(t)$ кратно 2^N , где N — целое число.

В основе БПФ лежит прореживание по частоте и пирамидальный алгоритм, исключающий повторные вычисления периодически повторяющихся членов тригонометрического ряда Фурье. БПФ-алгоритм выполняется за $\sim N \log N$ -операций, где N — число отсчетов сигнала. БПФ применяется не только в системах компьютерной математики для ускорения преобразований Фурье, но и во многих иных аппаратных и программных средствах, описываемых в данной книге. Например, этот метод используется в анализаторах спектра, входящих практически во все цифровые осциллографы.

1.1.7. Эффект Гиббса

Синусоида (рис. 1.1) не содержит скачков и, следовательно, любой конечный набор синусоид (гармоник) не в состоянии создать скачки сигнала с бесконечно малой длительностью. Лишь в том случае, когда суммируется бесконечное число гармоник, можно надеяться на то, что быстрые изменения сигнала будут иметь стремящуюся к нулю длительность и будут близки к скачкам. Однако теоретически бесконечное число гармоник применить невозможно хотя бы потому, что при этом время синтеза сигнала будет бесконечно большим. Поэтому на практике число гармоник при синтезе импульсных сигналов всегда ограничено, а форма синтезированного сигнала несколько отличается от идеализированной формы. В этом отношении вейвлеты ведут себя куда лучше и легко синтезируют скачки [48].

При ограничении спектра конечным числом гармоник наблюдаются характерные волнообразные колебания синтезированных сигналов, особенно заметные в области разрывов. Этот эффект получил название эффекта Гиббса. Это очень нежелательный эффект, поскольку он сильно искажает форму колебаний и служит источником больших погрешностей. Относительная амплитуда пульсаций синтезированных сигналов (самих по себе не имеющих пульсаций) достигает 18% (или 9% от двойной амплитуды) и практически не меняется при увеличении числа гармоник — просто выбросы при пульсациях становятся короче. Между тем известно множество задач, где точность приближения должна составлять значения намного меньшие 1%, а порою не превышать и тысячных долей процента.

Поскольку пульсации эффекта Гиббса наиболее явно проявляются в моменты скачков анализируемой функции, ограничимся рассмотрением случая представления скачка, который ограничен спектром:

$$f(x) = \begin{cases} 0, & x < 0 \\ 1, & x \geq 0 \end{cases}$$

Ограничение спектра можно учесть, введя в (1.14) умножение на прямоугольное частотное окно

$$W(\omega) = \begin{cases} 1, & |\omega| \leq \gamma \\ 0, & |\omega| > \gamma \end{cases}$$

Это окно задает резкое ограничение спектра. Опуская детали вывода, которые приведены в [1], найдем, что в этом случае

$$f(x) = \frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} Si(\gamma x), \quad (1.15)$$

где функция $Si(z)$ известна как интегральный синус

$$Si(z) = \int_0^z \frac{\sin(t)}{t} dt. \quad (1.16)$$

Задание функции $Si(z)$ и построение зависимости $f(x)$ для данного случая представлены на рис. 1.4. Там же даны результаты вычисления значений выбросов, обусловленных эффектом Гиббса.

Итак, как следует из рассмотренного, эффект Гиббса существует, увы, как теоретически обоснованная реальность. И связан он прежде всего с неудачно подобранной (или просто поневоле существующей) прямоугольной формой частотного

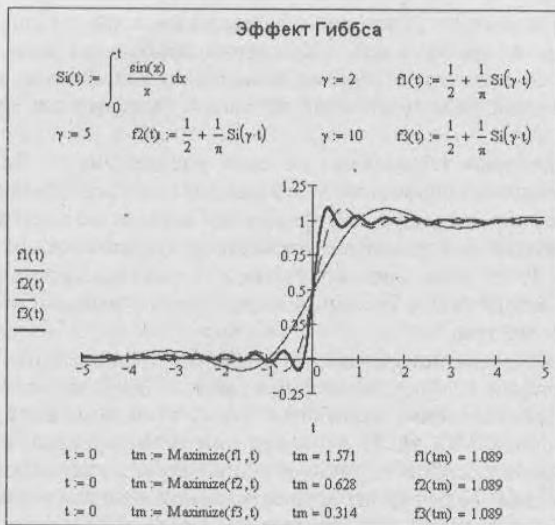


Рис. 1.4. Иллюстрация к возникновению эффекта Гиббса

окна, резко ограничивающего число используемых при спектральном синтезе гармоник (частот). Выбором специального окна можно заметно ослабить влияние этого «зловредного» эффекта. Для этого в подынтегральное выражение (1.14) вводится множитель $W(\omega)$, задающий окно с заданной формой амплитудно-частотной характеристики. Тем самым реализуется *обратное оконное преобразование Фурье*. Математические средства борьбы с эффектом Гиббса и примеры их реализации в системе Mathcad можно найти в [3]. Там же, кстати, как и в [48], можно найти примеры представления импульсов с помощью вейвлет-анализа и синтеза.

1.2. История осциллографии

1.2.1. Механические, светолучевые и магнитоэлектрические осциллографы

Человечество давно искало способы отображать графически временную зависимость сложных колебаний (сигналов). Для этого использовалась развертка колебаний во времени. Автор этой книги для объяснения такой развертки иногда использовал следующий прием. В руку берется кусочек мела, рука вытягивается и ею совершаются колебательные движения вверх-вниз, вверх-вниз и т. д. Теперь, не переставая совершать эти колебательные движения, подойдите к обычной классной доске, коснитесь мелом ее поверхности и постарайтесь равномерно пройти вдоль доски. Кусок мела прочертит линию, которая и будет наглядно представлять синусоидальное колебание (синусоиду). Исхитрившись, нетрудно таким образом показать «осциллограмму» прямоугольного или треугольного сигнала.

Можно сказать, что этот эксперимент отражает работу механического *осциллографа* — прибора, предназначенного для графического представления временных зависимостей колебаний.

Область науки и техники, посвященная решению этой задачи, получила название *осциллографии*. А приборы для наблюдения временных зависимостей различных изменяющихся величин получили название *осциллоскопов*, а в дальнейшем, после приспособления их к достаточно точным и быстрым измерениям, — *осциллографов*.

Слово «осциллограф» образовано от слов «осциллум» — колебания и «графо» — пишу. Отсюда и назначение этого измерительного прибора — отображать на экране кривые, характеризующие форму тех или иных колебаний. Другое название этого прибора — *осциллоскоп* происходит от того же «осциллум» и «скопео» — смотрю. Т. е. речь идет опять-таки о наблюдении формы колебаний. И хотя второе название более точное, в литературе на русском языке принято все же первое — осциллограф.

Будь автор этой книги историком, он отдал бы предпочтение в первенстве создания осциллографии изобретателю фонографа — Эдисону. Тот еще в 1877 году стал записывать механические колебания иглы, прикрепленной к мембране, на вращающийся восковый валик. Получаемая при этом звуковая дорожка на восковом диске представляла собой типичную осциллограмму сложных звуковых колебаний с механической разверткой, осуществляемой равномерным вращением валика (позже диска граммофонной пластинки). Однако Эдисон не обратил внимания на то, что создал первый *механический осциллограф*, записывающий сложные колебания и позволяющий их наблюдать. Возможно, так было потому, что амплитуда отклонений прорези в канавке воскового диска была столь мала, что «осциллограмму» можно было разглядеть лишь в лупу с хорошим увеличением.

Восемь лет спустя, в 1885 году, казанским физиком Р. А. Колли (1845—1891) был создан *осциллометр* — прототип современных светолучевых (шлейфовых) осциллографов. Магнитоэлектрический осциллоскоп французского физика А. Блонделя (1863—1938), изобретен в 1893 году. Однако использование светолучевых и магнитоэлектрических осциллографов было ограничено их низкочастотным диапазоном. Эти приборы применяются и в наши дни, порою под несколькими названиями. Например, в электроэнергетике широко используются магнитоэлектрические ленточные самописцы, исправно вычерчивающие временные зависимости токов и напряжений на рулонной бумаге. Их можно увидеть на любой электростанции. Но эти приборы регистрируют лишь медленно изменяющиеся процессы.

1.2.2. Трубка и осциллоскоп Брауна

В последней четверти XIX века бурно развивается электроэнергетика и электротехника. Электрические сети многих городов работали на переменном токе. Появились различные преобразователи переменного тока. В ходе такого преобразования синусоидальная форма переменного напряжения нередко сильно искажалась. Например, даже простое однополупериодное выпрямление переменного напряжения вело к обрезанию одной из полувольт синусоидального напряжения. Возникла необходимость в измерении мгновенных значений напряжений и токов, их эффективных значений и разности фаз в электрических цепях. Так появилась потребность в графическом представлении сложных временных зависимостей напряжений и токов в электротехнических системах и устройствах.

Открытие Генрихом Герцем в 1886—1888 годах электромагнитных волн и связанных с ними высокочастотных электромагнитных процессов привело к возникновению радиотехники, в которой стали широко использоваться высокочастотные

сигналы. Возникла техника связи, а затем радиолокация и импульсная техника, а еще позже телевидение и вычислительная техника. В этих отраслях науки и техники широкое применение получили импульсные сигналы самой разнообразной формы, порою очень сложной. Но органы чувств человека вообще не реагируют на слабые электрические и световые сигналы, совершенно не чувствительны к их форме (временной зависимости).

Все это вело к необходимости создания быстродействующих и широкополосных осциллографов. Ими стали *электронные осциллографы*. Ныне это «глаза» человека в мире самых разнообразных сигналов, которые человеческий организм сам по себе не воспринимает. Уникальные возможности этих приборов, как и массовость их применений, невозможно переоценить. Но путь к их появлению был не простым, а сами эти приборы поначалу были далеко не так совершенны, как в наши дни. Первые осциллографы были вовсе не массовыми изделиями, скорее они были уникальными физическими приборами.

6 июня 2000 года исполнилось 150 лет со дня рождения крупного немецкого ученого-физика, члена-корреспондента Берлинской академии наук Фердинанда Брауна, который считается изобретателем электронного осциллографа и ряда других физических и электроизмерительных приборов [4–8]. Он был удостоен этой престижной награды вместе со знаменитым итальянским радиотехником Г. Маркони за выдающийся вклад в развитие радиотехники вообще и изобретение осциллографа в частности.

Во время творчества Брауна многие физики увлекались опытами с различными излучениями. Браун обратил внимание на катодные лучи и вскоре пришел к убеждению, что, взяв за основу известную физикам трубку У. Крукса (1832–1919) с холодным катодом, можно создать катодно-лучевой прибор для индикации формы электромагнитной волны, поскольку световое пятно на флуоресцирующем экране трубки, мгновенно реагируя на электромагнитное поле, может синхронно следовать за его изменением. Так появилась трубка Брауна (рис. 1.5). Это событие датируется 1897 годом.

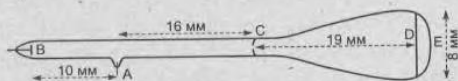


Рис. 1.5. Чертеж трубки Брауна

Трубка Брауна (это название вплоть до 40-х годов распространялось и на другие электронно-лучевые приборы) монтировалась горизонтально на опоре вместе с отклоняющей луч электронов катушкой. Таким образом, впервые использовалось *магнитное отклонение*, а не электростатическое, как у трубок современных электронных осциллографов. В дальнейшем такие трубки с двумя катушками получили название *кинескопов*, а катушки — *магнитной отклоняющей системы*. Брауном использовались как опаянные трубки, так и трубки с ручным ртутным насосом, непрерывно откачивающим воздух. Анодное напряжение около 50 кВ (впечатляет и сейчас) обеспечивалось индукционной машиной.

Исследуемый ток подводили к катушке электромагнита, расположенной снаружи узкой части стеклянной колбы между диафрагмой и экраном. Пучок электронов, создаваемый катодом, откликаясь на изменения магнитного поля, вычерчивал на флуоресцирующем экране линию между двумя точками, соответствующими минимальной и максимальной величинам исследуемого сигнала. Светящаяся линия отбрасывалась на внешний экран с помощью зеркала В. Кенига, которое, поворачи-

чиваясь, позволяло наблюдать изменение сигнала во времени. Итак, в осциллокопе Брауна использовалась оптико-механическая развертка по горизонтали.

Скорость сканирования с помощью зеркала, превращающего пульсирующую вертикальную линию в двумерную визуально наблюдаемую кривую, отображающую временную зависимость тока в отклоняющей катушке, была невелика. Таким образом, созданная Брауном трубка заметно отличалась от современных осциллографических трубок и тем более от современных цветных кинескопов с маской для телевизоров, изобретение которых иногда безосновательно приписывают К. Ф. Брауну. Отличалась трубка и от современных осциллографических трубок с электростатическим отклонением.

Осциллограф Брауна в некотором роде был парадоксальным инструментом. Он содержал скоростной электронный прибор — электронно-лучевую трубку, но использовал инерционный метод магнитного отклонения луча катушкой и механическую развертку. Отсюда и невысокое быстродействие прибора в целом.

К. Ф. Браун не патентовал свой осциллограф. Он решил сделать его доступным для всех исследователей и лично содействовал его распространению путем многократных публичных демонстраций и публикаций в научной печати. Это был благородный шаг ученого, способствовавшего эффективному применению замечательного прибора и дальнейшему его улучшению. Во многом благодаря этому осциллограф стал быстро совершенствоваться и вскоре из уникального физического прибора превратился в незаменимый инструмент, применяющийся в различных лабораториях, от академических до производственных.

Трубка Брауна широко применялась в научных исследованиях русскими учеными [9]. Об опытах с нею сообщали в своих публикациях А. Л. Гершун (1868—1915), В. К. Лебединский (1868—1937), А. А. Петровский (1873—1942) и другие, вносящие в методы осциллографии и в прибор Брауна значительные усовершенствования. В 1899 году ассистент Брауна И. Ценнек (1871—1959) ввел электромагнитную развертку для замены зеркала Кенига. В 1907 году другой его ассистент — россиянин Л. И. Мандельштам разработал метод и схему получения пилообразного тока для линейной развертки осциллограммы по оси времени [9]. Суть метода заключалась в том, что для развертки использовалось только начало разрядного процесса конденсатора, когда ток является практически линейной функцией времени. Остальная часть тока (80%) отбрасывала пятно за край экрана. Эти и другие нововведения существенно расширили возможности осциллографа, сделали его использование более удобным.

Достижения К. Ф. Брауна высоко оценила мировая научная общественность и Комитет по присуждению Нобелевских премий, уравнивший его заслуги с заслугами именитого итальянца Г. Маркони, которого считают создателем радиотехнической индустрии Запада. Нобелевские премии присуждаются только живым ученым. Наш соотечественник А. С. Попов умер 1906 году. Если бы не это печальное событие, возможно, что и он разделил бы в 1909 году славу Нобелевского лауреата в области радиотехники — вместе с Г. Маркони и К. Ф. Брауном.

1.2.3. От трубки Брауна к трубке с электростатическим отклонением

Одной из главных особенностей осциллографа Брауна было то, что он мог применяться для построения временных зависимостей тока $i(t)$, протекающего через отклоняющую катушку с индуктивностью L . Магнитное поле катушки пропорционально протекающему через нее току и меняется с изменением тока.

Однако чаще возникает необходимость наблюдать временную зависимость изменяющегося напряжения $u(t)$, а вовсе не тока. Но для этого магнитная развертка не эффективна. В этом легко убедиться, если учесть, что напряжение на идеальной катушке индуктивности с индуктивностью $L = \text{const}$ пропорционально производной протекающего через нее тока:

$$u(t) = L \frac{di(t)}{dt}. \quad (1.17)$$

Эту закономерность ныне знают даже в школе. Если предположить, что $u(t) = E = \text{const}$, то из (1.17) мы имеем:

$$\frac{E}{L} = \frac{di(t)}{dt} = \text{const}. \quad (1.18)$$

Отсюда следует, что если к идеальной катушке индуктивности приложено постоянное напряжение, то ток в ее цепи будет линейно расти, так как только в этом случае производная тока является константой. Она задает крутизну пилообразного напряжения, равную E/L .

Мало разбирающийся в электротехнике читатель может ошибочно предположить, что при приложении к отклоняющей катушке напряжения пятно от электронного луча переместится от исходного положения в новое место. Оказывается (см. выше), это совсем не так — пятно начнет горизонтально перемещаться по экрану с постоянной линейной скоростью в соответствии с линейным изменением тока в катушке. Кстати, из этих рассуждений пришли к идее реализации линейной магнитной развертки по горизонтали, но это совсем не годится для отклонения луча по вертикали.

На самом деле ситуация осложняется тем, что реальная катушка индуктивности обладает собственным омическим сопротивлением (резистивностью). Имеет свое внутреннее сопротивление и источник напряжения (сигнала). Не вдаваясь в детали [44], отметим, что в этом случае изменение тока при воздействии на катушку постоянного напряжения будет описываться уже не линейным, а экспоненциальным законом с постоянной времени $\tau = L/R$, где R — суммарное сопротивление в цепи катушки.

Судя по описанию осциллографа Брауна, отклоняющая катушка имела индуктивность порядка десятков — сотен миллигенри (мГн). Взяв, к примеру, $L = 100$ мГн и $R = 100$ Ом, получим $\tau = 0,1/100 = 1 \cdot 10^{-3}$ с или 1 мс. Величина постоянной времени оказывается достаточно характерной для осциллографа с магнитным отклонением. Дело в том, что время переходных процессов, регистрируемых осциллографом, не может быть заметно меньше постоянной времени τ . Это говорит о том, что осциллограф с магнитным отклонением не может быть скоростным. Его удел — наблюдение низкочастотных колебаний с постоянными времени порядка миллисекунд или долей миллисекунды.

Разработчики современных осциллографических электронно-лучевых трубок (ЭЛТ) пришли к кардинальному изменению принципа отклонения электронного луча — был использован *электростатический* метод отклонения. При этом электронный луч отклоняется под действием электрического поля. Первая вакуумная трубка с электростатическим отклонением и горячим (подогревным) катодом появилась в 1911 году и была разработана Д. А. Рожанским в компании «Дженерал Электрик».

Этот метод гораздо проще метода магнитного отклонения — в качестве отклоняющей системы используется пара пластин, расположенных по обе стороны электронного луча. Правда, расчеты, приведенные ниже, показывают, что пластины должны быть расположены достаточно близко и потому должны находиться внутри трубки, а не снаружи, как в случае отклоняющей катушки трубки Брауна. Но и в этом случае напряжение на пластинах, нужное для полного отклонения луча, должно достигать десятков, а иногда и сотен В.

Если подать на пластины постоянное напряжение, то электронный луч с отрицательным зарядом будет отталкиваться от пластины с отрицательным напряжением и притягиваться к пластине с положительным напряжением. Он будет испытывать отклонение и попадет уже в новую точку экрана. Симметричность подачи отклоняющих напряжений нужна для сохранения хорошей фокусировки луча осциллографической трубки. В этом случае потенциал областей пространства между пластинами не меняется и не влияет на фокусировку луча, как в случае подачи отклоняющих напряжений на одну пластину (при заземленной другой). Для получения парафазных отклоняющих напряжений используются специальные схемы каскадов усиления с симметричным выходом или схемы фазоинверторов.

Рассмотрим устройство современной электронно-лучевой осциллографической трубки (рис. 1.6). Экран трубки покрыт изнутри люминофором — веществом, способным светиться под ударами потока электронов. Чем больше поток электронов, тем ярче свечение той части экрана, куда он попадает. Электронный луч создается электронной пушкой, размещенной на противоположном от экрана конце трубки. Она состоит из подогревателя (нити накала) и катода. Между пушкой и экраном размещен модулятор, регулирующий плотность потока летящих к экрану электронов.



Рис. 1.6. Осциллографическая ЭЛТ с электростатическим отклонением и ее обозначение

С помощью двух электродов — анодов создаются электрические поля, распределение потенциалов которых создает электронные линзы. Благодаря этому пучок электронов довольно большого диаметра (несколько мм), пройдя электронные линзы, фокусируется и принимает форму конуса с острием у экрана трубки. В результате размеры изображения точки на экране удастся довести до долей мм. Кроме того, анодами обеспечивается нужное ускорение электронов в пучке, благодаря чему достигается достаточно высокая скорость записи осциллограмм. Луч отклоняется с помощью пары двойных металлических отклоняющих пластин. Одна из них отклоняет луч по вертикали (ось Y), а другая по горизонтальной (ось X).

Экран электронно-лучевой трубки будет светиться лишь при подаче на ее специальные ускоряющие электроды — аноды определенных напряжений. Их обычно называют ускоряющими. Эти напряжения достигают сотен вольт у малогабаритных трубок и тысяч вольт у большинства трубок умеренных размеров. Для их создания используются высоковольтные источники питания. Часто поверхность трубки у экрана покрывается проводящим ток слоем, и он используется как еще один анод, обеспечивающий ускорение электронов луча уже после его отклонения. Такое решение существенно повышает яркость изображения и графическую скорость записи (см. ниже).

На нить накала обычно подают переменное напряжение, на управляющий электрод (модулятор), постоянное, отрицательной полярности по отношению к катоду, на аноды — положительное, причем на первом аноде (фокусирующем) напряжение значительно меньше, чем на втором (ускоряющем). Меняя напряжение на управляющем электроде, можно менять интенсивность электронного луча от максимальной или рабочей до нулевой.

На отклоняющие пластины подается как постоянное напряжение, позволяющее смещать пучок электронов в любую сторону относительно центра экрана, так и переменное, создающее линию развертки той или иной длины, а также «рисующее» на экране форму исследуемых колебаний.

1.3. Современные осциллографические трубки

1.3.1. Особенности конструкции осциллографических ЭЛТ

Описание деталей конструкции осциллографических ЭЛТ можно найти в [10, 11]. Далеко вдаваться в него не стоит, поскольку цель данной книги заключается не в конструировании ЭЛТ, а лишь в знакомстве с ними как с одной, хотя и важной, деталью осциллографа. В осциллографах применяются серийно выпускаемые осциллографические (индикаторные) ЭЛТ. Их параметры нельзя менять, но некоторые из них надо учитывать при оценке применимости тех или иных трубок и осциллографов на их основе в практике измерений.

Отметим некоторые характерные особенности современных осциллографических ЭЛТ:

- колба трубки имеет плоскую или выпуклую область экрана, плоская область дает меньшие геометрические искажения, но худшую фокусировку, чем выпуклая;
- катод имеет нить подогрева, питающуюся чаще всего стандартным напряжением 6,3 В при токе в доли А;
- максимальный ток катода составляет несколько мА, но ток луча у экрана не превышает 0,1 мА (часть электронов потока поглощается анодами и до экрана не доходит);
- для полного запираания трубки на управляющий электрод достаточно подать отрицательное напряжение (относительно катода) порядка десятков В;
- на аноды трубки подаются ускоряющие напряжения в сотни В, меньшее подается на первый анод (вблизи катода);
- используется пара отклоняющих пластин с однократным изгибом, ближайшая к катоду используется для отклонения по оси Y, более дальняя — по оси X;

- угол отклонения луча обычно не превышает 15° , т. к. в противном случае ухудшается фокусировка и чувствительность трубки;
- для уменьшения бликов от внутренней поверхности колбы она выполняется со специальным изгибом и покрывается слоем графита.

Наиболее важными параметрами осциллографических ЭЛТ являются их геометрические размеры, в частности размеры экрана и параметры отклоняющих систем. У нас размер трубки принято указывать цифрами в ее названии. Например, 13ЛО37И — это индикаторная трубка с диаметром экрана 13 см и с номером разработки 37. Трубки делаются как с круглым, так и прямоугольным экраном. Последнее позволяет сделать трубки меньшего размера и лучше использовать площадь экрана. Однако для повышения прочности у таких трубок приходится увеличивать толщину стекла у экрана, и они получаются более тяжелыми. Современная ЭЛТ с размером экрана 13 см имеет длину до полуметра, что и объясняет большие размеры осциллографов с такими трубками.

1.3.2. Графическая скорость луча

Одной из фундаментальных характеристик осциллографической трубки является графическая скорость луча, т. е. скорость, с которой луч чертит изображение на экране. Чем быстрее луч движется по экрану, тем слабее будет его видимая яркость в случае наблюдения однократных и редко повторяющихся процессов. В случае регистрации синусоидального сигнала (1.1) вертикальную составляющую этой скорости можно вычислить следующим образом:

$$v_{y \max} = \left. \frac{dy}{dt} \right|_{t=0} = 2\pi f. \quad (1.19)$$

Тогда максимальная графическая скорость v_z , с учетом скорости движения луча при горизонтальной развертке, будет равна:

$$v_{z \max} = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}. \quad (1.20)$$

Расчеты показывают, что при размере осциллограммы по вертикали около 1 см и типовой возможной яркости следа от луча максимальные частоты регистрации синусоидального сигнала составляют около 3 ГГц. При этом графическая скорость перемещения пятна от электронного луча оказывается близкой к скорости света.

В случае регистрации видеоимпульса графическая скорость выражается следующей формулой [11]:

$$v_z = \sqrt{v_x^2 + \sigma v_y^2}, \quad (1.21)$$

где σ — чувствительность трубки по вертикальному отклонению (в см/В). Максимальная графическая скорость при регистрации видеоимпульса имеет место на его фронтах, где максимальна скорость изменения сигнала.

Графическая скорость определяет яркость осциллограмм. Последняя резко падает при наблюдении однократных или редко повторяющихся событий. Для повышения графической скорости нужно увеличивать напряжения на ускоряющих электродах трубки (до 10–20 кВ). Однако (см. далее) это ведет к падению чувствительности по отклонению.

1.3.3. Время установления отклоняющей системы

Отклоняющая система осциллографических трубок из двух пластин является фактически неидеальным конденсатором, имеющим емкость C . В его цепи надо учитывать паразитную индуктивность выводов L и сопротивление источника сигнала R (например, это выходное сопротивление усилителя). Таким образом, эквивалентная схема цепи отклонения представляет собой звено фильтра низких частот или последовательный RLC -контур (рис. 1.7).

Если на вход такого контура подать идеальный перепад напряжения E , то временная зависимость напряжения на C будет иметь вид:

$$u(t) = E \left[1 - e^{-\alpha t} \left(\frac{\alpha}{\delta} \sin(\delta t) + \cos(\delta t) \right) \right],$$

где $\alpha = R/2L$ и $\delta = (1/LC - R^2/4L^2)^{1/2}$. Расчеты показывают, что эта зависимость может иметь значительный выброс при малых R . При $\alpha/\delta = 1$ этот выброс составляет не более 4% от амплитуды перепада, что является вполне удовлетворительным показателем. Для этого величину R надо выбирать равной:

$$R = \sqrt{2LC}. \quad (1.22)$$

Если воспользоваться известным выражением для резонансной частоты контура

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}, \quad (1.23)$$

то можно получить значение R через резонансную частоту контура, определяющую предельную частоту тракта отклоняющей системы:

$$R = \frac{1}{f_0 C \sqrt{2\pi}} = \frac{0,22}{f_0 C}. \quad (1.24)$$

Нетрудно доказать, что время достижения напряжением $u(t)$ значения E составит значение:

$$t = 3\pi RC/4 = 2,2RC. \quad (1.25)$$

Это значение обычно и принимают за время установления отклоняющей системы с оптимальной переходной характеристикой.

Эти данные относятся к идеальному случаю подачи сигнала прямо на электроды отклоняющей системы осциллографической трубки. Расчеты показывают, что максимальная частота регистрируемых сигналов не превышает 300 МГц, а время установления тракта отклоняющих пластин не может быть меньше 1 нс без кардинальной переработки конструкции трубки. Разумеется, эти значения на много порядков выше, чем у трубки Брауна, но все же далеки от тех, которые нужны в современной скоростной осциллографии. Отметим, что, исходя из квантово-механического принципа неопределенности, предельное разрешение осциллографии оценивается временем порядка 10^{-14} с. Так что даже в наше время конструкторы осциллографических трубок имеют шансы на улучшение их временных характеристик.

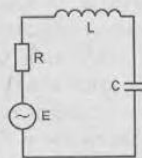


Рис. 1.7. Эквивалентная схема тракта отклонения

1.3.4. Отклоняющие системы осциллографических ЭЛТ

Важнейшими конструктивными деталями ЭЛТ являются ее отклоняющие системы. В простейшем случае это две пары плоскопараллельных пластин. Одна пара используется для отклонения по вертикали (Y), другая по горизонтали (X). Каждая из пластин каждой пары установлена по обе стороны траектории луча. Возможны и более сложные конструкции отклоняющих пластин (систем).

Одним из важнейших параметров осциллографической ЭЛТ является чувствительность по отклонению. Она определяется как отношение отклонения точки на экране трубки h , поделенное на напряжение, приложенное к пластинам $U_{отк}$. Для плоскопараллельных отклоняющих пластин (рис. 1.8) она определяется выражением [10]:

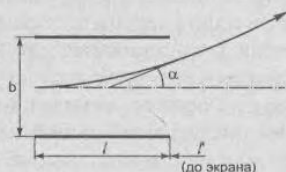


Рис. 1.8.
Плоскопараллельные
отклоняющие пластины

$$\varepsilon = \frac{h}{U_{отк}} = k \frac{lL}{2bU_a} \text{ [мм/В]}. \quad (1.26)$$

Здесь l — длина пластин, L — расстояние от входного края пластин до экрана, b — расстояние между пластинами, U_a — разность потенциалов между катодом и выходным электродом прожектора, $k > 1$ — коэффициент, учитывающий повышение чувствительности из-за краевых эффектов (практически $k = 0,1 - 0,15$).

Чувствительность по отклонению увеличивается при уменьшении расстояния между пластинами. Однако при слишком малом расстоянии между пластинами луч при отклонении попадает на пластину, к которой он приближается и полностью поглощается ею. Фактически это означает уменьшение предельного угла отклонения α , почему он обычно и не превышает 15° . Следствием этого является большая длина осциллографических трубок — она в несколько раз больше, чем диаметр экрана круглой трубки или диагональ экрана трубки с прямоугольным экраном. Именно поэтому осциллографическая трубка с большим размером экрана (10 см и выше) оказывается довольно громоздкой и определяет большие размеры осциллографа, построенного на ее основе.

Можно несколько увеличить чувствительность трубки к отклонению, если сделать пластины изогнутыми, с увеличенным расстоянием в месте выхода луча (рис. 1.9). Расчеты показывают, что оптимальным является экспоненциальное расширение расстояния между пластинами. Однако оказалось, что очень близкий результат обеспечивает более простой в реализации однократный изгиб пластин примерно в середине их общей длины. При этом чувствительность по отклонению составляет величину, равную:

$$\varepsilon = \frac{h}{U_{отк}} = \frac{L}{2U_a} \left(\frac{l_1}{b_1} + \frac{l_2}{b_2 - b_1} \ln \frac{b_2}{b_1} \right) \text{ [мм/В]}. \quad (1.27)$$

Здесь l_1 — длина параллельной части пластин, l_2 — длина по горизонтали отогнутой части пластин, b_1 — расстояние между параллельными частями пластин и b_2 — расстояние между краями расширенной части изогнутых пластин.

Расчеты показывают, что чувствительность этого варианта отклоняющей системы примерно в 1,8 раза выше, чем у отклоняющей системы с плоскопараллельными пластинами. Именно поэтому она применяется в большинстве серийных

осциллографических трубок. Типичные значения чувствительности осциллографических ЭЛТ составляют 0,5—5 мм/В. Они немного отличаются для пластин вертикального и горизонтального отклонения, поскольку они расположены на разном расстоянии от экрана.

Приведенные значения чувствительности означают возможность регистрации сигналов с амплитудой, начиная от нескольких В и выше. Для работы с меньшими сигналами необходимо применять усилители. Они увеличивают чувствительность к отклонению в K раз, где K — коэффициент усиления усилителя. При этом для сохранения широкополосности трубки надо использовать усилители с шириной полосы пропускания в 2—3 раза выше, чем у трубки. Этого удается достигнуть далеко не всегда, и часто именно усилители ограничивают ширину полосы частот осциллографа и его временные характеристики.

Для электронных осциллографов переход к трубке с электростатическим отклонением означал резкое повышение верности воспроизводимой на экране картины переходных процессов и повышение скоростных характеристик сразу на несколько порядков. Первое связано с тем, что в первом приближении отклонение луча почти пропорционально разности потенциалов отклоняющих пластин. А второе связано с резким снижением постоянной времени устройства отклонения. Дело в том, что инерционность электростатической системы отклонения связана не столько с конечной скоростью движения электронов в пучке, сколько с емкостью пластин. А она составляет обычно единицы-десятки пикофард.

Допустим, что емкость пластин вертикального отклонения составляет 20 пФ, а выходное сопротивление источника сигнала (например, усилителя канала Y) $R = 500$ Ом. Тогда постоянная времени отклоняющей системы будет равна

$$\tau = R \cdot C = 20 \cdot 10^{-12} \cdot 500 = 1 \cdot 10^{-8}.$$

Если уменьшить выходное сопротивление усилителя Y до 50 Ом, то постоянная времени упадет до $1 \cdot 10^{-9}$ с. Это в миллион раз меньше, чем в примере с магнитной системой отклонения, и означает возможность регистрации процессов с длительностью порядка единиц-десятков наносекунд, а то и намного меньшей.

1.3.5. Осциллографические трубки специального назначения

В ходе эволюции развития осциллографических трубок их конструкция претерпевала некоторые изменения. Первые типы трубок имели выводы от пластин, введенные в доколь трубки, обычно размещенный в узкой части трубки (у катода). Это вело к удлинению проводов, росту паразитной индуктивности пластин и их емкости. Для увеличения частотного диапазона сигналов, которые можно просматривать на экране трубки, выводы пластин в некоторых трубках выводились кратчайшим путем — прямо через стекло трубки по месту расположения отклоняющих пластин.

Однако кардинального улучшения в отображении высоких частот трубкой это не обеспечивало — предельная частота, определяемая резонансом цепей отклоняющих пластин, увеличивалась лишь в несколько раз. В лучшем случае она составляла несколько сотен МГц. А между тем в радиотехнике все чаще и чаще стали исполь-

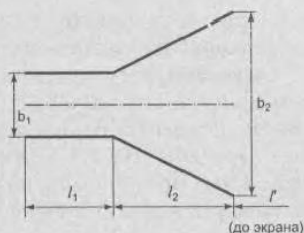


Рис. 1.9. Отклоняющие пластины с одним изгибом

зоваться сверхвысокочастотные (СВЧ) устройства, работающие на частотах в единицы и десятки ГГц.

Существенное повышение полосы частот осциллографических трубок было достигнуто разработкой широкополосных отклоняющих систем в виде линий передачи [10, 11]. Схематично конструкция таких систем представлена на рис. 1.10. У таких трубок используется множество пар маленьких пластин, соответственно с уменьшенной емкостью C_1 каждой пластины. Пластины соединяются между собой отрезками спиралей с индуктивностью L_1 . Если число ячеек линии передачи равно n , то примерно в n раз повышается предельная частота отображаемых трубкой сигналов и уменьшается предельное время установления.

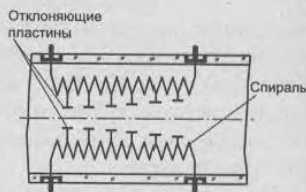


Рис. 1.10. Широкополосная отклоняющая система в виде линии передачи

Для дальнейшего повышения предельных частот регистрации были созданы отклоняющие системы на основе распределенных полосковых линий передачи. Как и в отклоняющих системах, показанных на рис. 1.10, для получения минимального искажения формы импульсов и устранения их отражения нужно обеспечить согласование линий на входе и на выходе. Для этого сопротивление генератора сигналов и нагрузки линий выбирается равным волновому сопротивлению линий

$$R_B = \sqrt{\frac{L_1}{C_1}}. \quad (1.28)$$

Здесь L_1 и C_1 — значения индуктивности и емкости одной секции для линий с сосредоточенными параметрами или погонные (на единицу длины) для линий с распределенной постоянной. Обычно волновое сопротивление выбирается равным от 50 до 500 Ом. Например, у трубки 11ЛО101М оно равно 320 Ом. Волновое сопротивление 50, 75 и 100 Ом (такое, как у обычных коаксиальных кабелей) используется у трубок для наблюдения сверхширокополосных сигналов. Однако столь малое волновое сопротивление затрудняет получение достаточно больших напряжений на выходе усилителей вертикального отклонения.

Следует отметить положительный момент в использовании линий передачи в тракте вертикального отклонения осциллографов — появление задержки сигнала, которая равна:

$$t_3 = n\sqrt{L_1 C_1}. \quad (1.29)$$

Полезность задержки особенно очевидна при исследовании однократных или редко повторяющихся сигналов. В этом случае используется *ждуший режим* работы развертки, при котором она запускается обычно передним фронтом исследуемого сигнала. Однако задержка запуска развертки приводит к тому, что часть этого фронта не отображается, поскольку во время задержки луч не движется по горизонтали. Этого можно избежать, задержав сигнал с помощью линии передачи. В некоторые осциллографы даже с обычными трубками приходится вводить специальные линии задержки, которые являются теми же линиями передачи с сосредоточенными или распределенными постоянными L_1 и C_1 .

В СССР выпускались трубки 10ЛО101М и 13ЛО101М с отклоняющими системами в виде линий передачи [11]. Они позволяли наблюдать процессы с частотами до 1 ГГц. Трубки 13ЛО102М с отклоняющей системой на основе распределенных линий передачи обеспечивали возможность просмотра процессов с частотами до 3 ГГц. Существовали и уникальные разработки трубок с отклоняющими систе-

мами на основе коаксиальных линий передачи. Их частоты регистрации сигналов доходили до десятков ГГц.

Для широкополосных трубок важно обеспечение предельно высокой графической скорости без резкого снижения чувствительности. Это было достигнуто в трубках с системой послеускорения — ускорения электронов уже после прохождения ими отклоняющих систем. Практически это достигается созданием третьего анода, размещенного после отклоняющих систем. Часто такой анод создается напылением проводящего материала на внутреннюю поверхность колбы у экрана.

Дальнейшее усовершенствование ЭЛТ привело к созданию трубок с рассеивающей сеткой, установленной на пути выхода электронного пучка из отклоняющей системы [14]. Такая сетка с мельчайшими отверстиями увеличивает угол отклонения луча и приводит к увеличению чувствительности ЭЛТ до 3–5 В/см. Благодаря этому стало возможным применение широкополосных транзисторных усилителей. Осциллографы на ЭЛТ с рассеивающей сеткой выпускались фирмами CRT (Франция) и Tektronix (США).

В СССР в 70-е годы прошлого века были созданы уникальные ЭЛТ с послеотклонением луча с помощью триплета квадрупольных линз [14]. Такие трубки имели уникально высокую чувствительность до 1 В/см при одновременном улучшении линейности и увеличении размера рабочего поля. Такая трубка 10ЛО102М была применена в выпускаемом в те годы осциллографе С7-10А (С1-61), который не имел усилителя. Полоса частот осциллографа составляла 0–1500 МГц. Масса этого прибора достигала 70 кг. Во многом это обусловлено тем, что триплет квадрупольных линз представляет собой сложную систему из электромагнитов, питаемых от стабилизированных источников постоянного тока.

Сверхширокополосные осциллографические трубки — дорогие и уникальные изделия. Осциллографы на них широко применялись до 60-х годов 20-го столетия и иногда применяются и сейчас в физических лабораториях, занятых исследованием высокоскоростных процессов. Главное достоинство таких осциллографов заключается в работе в режиме реального времени. Это значит, что осциллографы способны регистрировать быстропротекающие одиночные и редко повторяющиеся события, что особенно ценно при их применении для исследования ядерных реакций и процессов.

Обычные трубки плохо приспособлены для регистрации однократных и редко повторяющихся процессов. Человеческий глаз просто не успевает заметить такие процессы. Для устранения этого недостатка были предложены трубки с большим временем послесвечения люминофора. В этом случае обеспечивалось не только время, достаточное для регистрации наблюдаемого события (например, фотографирование осциллограмм), но и для воспроизведения множества следующих друг за другом событий. В дальнейшем были созданы запоминающие аналоговые трубки, способные запоминать осциллограммы длительное время и затем отображать их на экране.

Однако в наше время осциллографы на таких ЭЛТ повсеместно вытесняются цифровыми и стробоскопическими осциллографами, которые не только превосходят аналоговые по широкополосности, но и не требуют применения уникальных высокоскоростных трубок. Более того, вместо них обычно применяются более компактные кинескопы или даже плоские дисплеи на основе жидкокристаллических индикаторов. При всем этом такие осциллографы остаются дорогими и нередко уникальными приборами, которые имеются далеко не в каждой научной лаборатории.

1.4. Принцип действия и устройство аналогового осциллографа

1.4.1. Принцип действия осциллографа

Чтобы представить, как же получается на экране графическая картина колебаний, изобразим условно экран трубки в виде окружности (хотя у трубки он может быть и прямоугольный) и поместим внутри нее отклоняющие пластины (рис. 1.11).

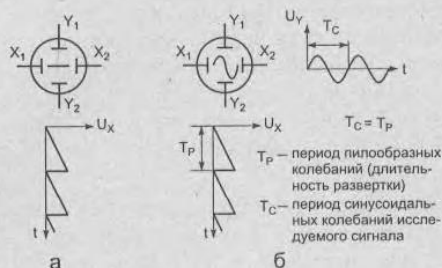


Рис. 1.11. Иллюстрации к получению осциллограмм: а — при отсутствии сигнала на пластинах вертикального отклонения; б — при подаче на них синусоидального сигнала

Если подвести к горизонтальным пластинам $X1$ и $X2$ пилообразное напряжение, на экране появится светящаяся горизонтальная линия — ее называют линией развертки или просто разверткой. Длина ее зависит от амплитуды пилообразного напряжения (рис. 1.11, а). Если теперь одновременно с пилообразным напряжением, поданным на пластины $X1$ и $X2$, подать на другую пару пластин (вертикальных — $Y1$ и $Y2$), например, переменное напряжение синусоидальной формы, линия развертки в точности «изогнется» по форме колебаний и «нарисует» на экране изображение (рис. 1.11, б).

В случае равенства периодов синусоидального и пилообразного колебаний на экране будет изображение одной синусоиды. При неравенстве же периодов на экране появится столько полных колебаний, сколько периодов укладывается в периоде колебаний пилообразного напряжения развертки. В осциллографе есть регулировка частоты развертки, с помощью которой добиваются нужного числа наблюдаемых на экране колебаний исследуемого сигнала.

Тут уместно отметить, что при просмотре периодических сигналов длительность развертки в общем случае должна быть строго кратной периоду повторения сигнала. Для этого используется система синхронизации развертки осциллографа. Кроме того, надо учитывать, что часть периода развертки тратится на обратный ход луча. На экране это означает отображение линии, соединяющей начальную и конечную точки осциллограммы. Как правило, эта линия гасится подачей специального импульса гашения на управляющий электрод трубки. Это означает наличие в осциллографе кроме каналов X и Y еще одного канала Z — управления яркостью луча.

1.4.2. Структурная схема аналогового осциллографа

На рис. 1.12 изображена типовая структурная схема осциллографа, называемого аналоговым осциллографом или осциллографом, работающим в режиме реально-

го времени. На сегодняшний день существует большое число различных по конструкции и назначению осциллографов. По-разному выглядят их лицевые панели (панели управления), несколько отличаются названия ручек управления и переключатели. Но в любом осциллографе существует минимально необходимый набор узлов, без которых он не может работать. Рассмотрим назначение этих основных узлов.

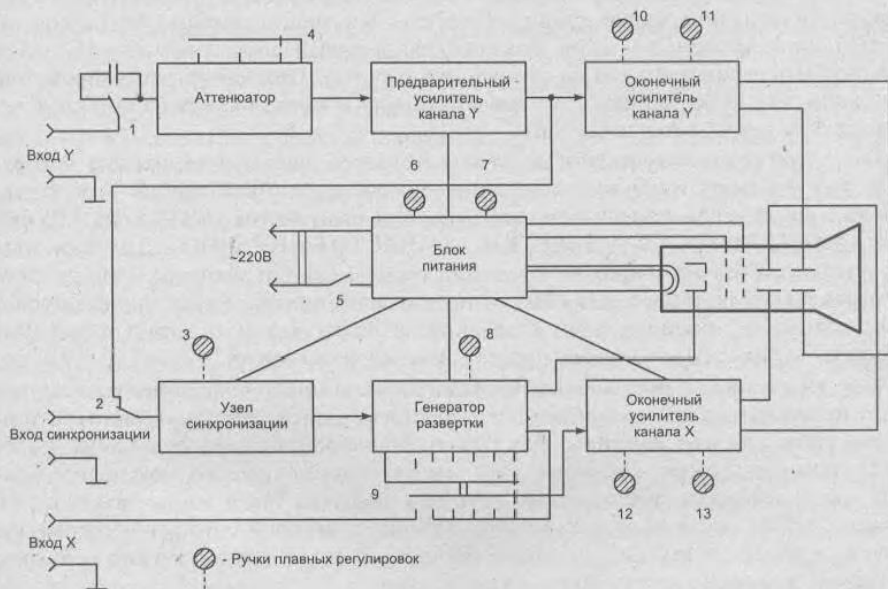


Рис. 1.12. Типовая функциональная схема электронного осциллографа

Как уже отмечалось, осциллограф в общем случае содержит три канала:

- канал вертикального отклонения Y, содержащий цепи и устройства, относящиеся к пластинам вертикального отклонения;
- канал горизонтального отклонения X, содержащий цепи и устройства, относящиеся к пластинам горизонтального отклонения;
- канал яркости Z, содержащий цепи, относящиеся к управляющему электроду трубки.

Блок питания обеспечивает энергией работу всех узлов электронного осциллографа. На вход блока питания поступает переменное напряжение от городской электросети, как правило, величиной 110/127 или 220 В с частотой 50 или 60 Гц. В нем оно преобразуется в напряжения разной величины: переменное 6,3 В для питания нити накала электронно-лучевой трубки, постоянное напряжение 12—24 В для питания усилителей и генератора, если они полупроводниковые (или 200—250 В, если ламповые), около 150 В для питания оконечных усилителей горизонтального и вертикального отклонения луча, несколько сотен вольт для фокусировки электронного луча и несколько тысяч вольт для ускорения электронного пучка.

Из блока питания кроме выключателя питания (5) выведены на переднюю панель осциллографа регуляторы «ФОКУСИРОВКА» (6) и «ЯРКОСТЬ» (7). При вращении этих ручек изменяются напряжения, подаваемые на первый анод и модулятор. При изменении напряжения на первом аноде меняется конфигурация электростатического поля, что приводит к изменению ширины электронного луча. Модулятор в электронно-лучевой трубке выполняет роль управляющей сетки в ламповом триоде. При изменении напряжения на модуляторе изменяется ток электронного луча (изменяется кинетическая энергия электронов), что приводит к изменению яркости свечения люминофора экрана. Напряжение на модуляторе должно быть отрицательным по отношению к катоду. При некотором напряжении запирающего ток электронного луча падает до нуля и пятно на экране трубки исчезает (трубка оказывается запертой).

Генератор развертки вырабатывает пилообразное напряжение, частоту которого можно изменять грубо (ступенями) переключателем (9) и плавно — регулятором (8). На лицевой панели осциллографа они называются «ЧАСТОТА ГРУБО» (или «ДЛИТЕЛЬНОСТЬ РАЗВЕРТКИ») и «ЧАСТОТА ПЛАВНО». Диапазон частот генератора весьма широк — от единиц герц до единиц мегагерц. Правда, около переключателя диапазонов обычно проставлены значения длительности (продолжительности) пилообразных колебаний, а не их частоты, хотя в некоторых (обычно старых) осциллографах проставлены именно частоты.

Как отмечалось, в импульсных осциллографах помимо непрерывной развертки часто используется ждущая развертка, запускаемая сигналом (внутренним с усилителя канала Y) или внешним. Для наблюдения фронта импульса в канал Y вводится линия задержки, создающая временную задержку, несколько превосходящую время задержки срабатывания ждущей развертки. Такая линия может включаться в любое место канала Y, но после точки, с которой снимается сигнал для запуска ждущей развертки. На нашей блок-схеме такую линию можно включить на выходе или на входе оконечного каскада канала Y.

Усилитель канала горизонтального отклонения (канала X) служит для получения напряжений развертки, достаточных для получения нужной длины линии развертки — порядка горизонтального размера (или диаметра) трубки. На его вход подается сигнал с выхода генератора развертки. Этот усилитель необходим для получения такой амплитуды пилообразного напряжения, при которой электронный луч отклоняется на весь экран. В усилителе расположены регулятор длины линии развертки (иначе говоря, регулятор амплитуды выходного пилообразного напряжения — 12). На передней панели осциллографа он представлен ручкой «УСИЛЕНИЕ X» или «АМПЛИТУДА X». Есть и регулятор смещения линии развертки по горизонтали 13 (обычно он обозначен значком $\leftrightarrow$).

Канал вертикального отклонения состоит из входного аттенюатора (делителя входного сигнала) и двух усилителей — предварительного и оконечного. Аттенюатор позволяет выбирать нужную высоту рассматриваемого изображения в зависимости от амплитуды исследуемых колебаний. С помощью переключателя входного аттенюатора (4) амплитуду сигнала можно уменьшить в 10 или 100 раз. Около переключателя обычно стоят надписи: 1:1 — в этом случае входной сигнал не ослабляется; 1:10 и 1:100 — в этих случаях ослабление соответственно в 10 и 100 раз. Более плавные изменения уровня сигнала, а значит, и размера изображения на экране получают с помощью регулятора чувствительности оконечного усилителя канала Y (10). В оконечном усилителе этого канала, как и канала горизонтального отклонения, есть регулировка смещения луча (11), а значит, и изображения по вертикали.

Кроме того, на входе канала вертикального отклонения стоит переключатель 1, с помощью которого можно либо подавать на усилитель (нередко через attenuator — калиброванный делитель напряжения) постоянную составляющую исследуемого сигнала, либо избавляться от нее включением разделительного конденсатора. Это в свою очередь позволяет пользоваться осциллографом как вольтметром постоянного тока, способным измерять постоянные напряжения. Причем входное сопротивление осциллографа достаточно высокое — 1 МОм или выше.

Кроме переключателя (9) и регулятора (8) длительности развертки у генератора развертки есть еще один переключатель — переключатель режима работы развертки. Он также выведен на переднюю панель осциллографа (на структурной схеме он не указан). Генератор разверток может работать в двух режимах: в автоматическом — генерирует пилообразное напряжение заданной длительности и в ждущем режиме — ожидает прихода входного сигнала и с его появлением запускается. Этот режим бывает необходим при исследовании сигналов, появляющихся случайно, либо при исследовании параметров импульса, когда его передний фронт должен быть в начале развертки. В автоматическом режиме работы случайный сигнал может появиться в любом месте развертки, что усложняет его наблюдение. Удобства ждущего режима вы сможете оценить во время импульсных измерений.

Переключатель (9) спаренный. Во всех положениях верхней (по чертежу) секции переключателя, кроме крайнего левого, генератор вырабатывает пилообразное напряжение различной длительности. В крайнем же левом положении генератор разверток отключается, а нижняя секция переключателя (9) подключает оконечный усилитель канала горизонтального отклонения к гнездам «Вход X».

Теперь горизонтальная линия развертки будет получаться только при подаче сигнала на указанные гнезда. Причем чувствительность этого канала обычно меньше, чем канала вертикального отклонения. Длину линии развертки можно устанавливать регулятором (12). Такой режим работы осциллографа бывает нужен, например, при исследовании частотных и фазовых соотношений гармонических колебаний или для построения фигур Лиссажу (для этого один сигнал подают на вход Y осциллографа, а другой — на вход X).

Каждый осциллограф оснащен средствами *синхронизации* развертки исследуемым или внешним сигналами. Если между генератором развертки и сигналом нет никакой связи, то начало развертки и появление сигнала будут происходить в разное время, изображение сигнала на экране осциллографа будет перемещаться либо в одну, либо в другую сторону — в зависимости от разности частот сигнала и развертки. Чтобы остановить изображение, нужно засинхронизировать генератор развертки, т. е. обеспечить такой режим работы, при котором начало развертки будет совпадать с началом появления периодического сигнала (скажем, синусоидального). Обычно при этом период развертки должен в целое число раз превышать период повторения сигнала.

Синхронизировать генератор развертки можно как от внутреннего сигнала (он берется с усилителя вертикального отклонения), так и от внешнего, подаваемого на гнезда или разъем «ВХОД СИНХР». Выбирают тот или иной режим переключателем (2) — ВНУТР. — ВНЕШН. синхронизация (на структурной схеме переключатель находится в положении «внутренняя синхронизация»).

Плавно регулируется синхронизация регулятором (5). Эту ручку можно поворачивать от крайнего левого положения (знак (—) до крайнего правого (знак (+)). Это регулировка синхронизации развертки от сигнала соответствующей полярности. Когда ручка (5) находится в крайнем левом положении (—), генератор развер-

тки синхронизируется отрицательным фронтом синусоидального напряжения), в крайнем правом (+) — положительным. В среднем положении ручки синхронизация выключается. В некоторых конструкциях осциллографов переключение синхронизации от (+) или от (–) осуществляется отдельным переключателем. В этом случае ручка (5) меняет амплитуду синхронизации, что способствует получению более устойчивого изображения на экране.

На приведенной блок-схеме осциллографа канал яркости Z представлен лишь цепью подачи с генератора развертки импульса, гасящего обратный ход развертки с тем, чтобы обратный ход не был виден на экране. В современных осциллографах в этот канал часто вводят усилитель канала Z, что позволяет выполнять некоторые специальные виды измерений. Нередко в этот канал вводят и генератор временных меток, позволяющий выполнять временные измерения сигналов.

1.4.3. Требования к усилителям осциллографа

Уже было указано, что осциллографические трубки имеют низкую чувствительность к отклонению. У обычных трубок она не превышает 1 мм/В (или 1 В/мм). Это значит, что для получения на экране трубки изображения импульса или синусоиды с размером в 1 см нужно на пластины Y подать импульс с амплитудой 10 В или синусоиду с такой же двойной амплитудой. Для достаточно точных измерений нужно иметь размах осциллограммы в несколько сантиметров, что требует отклоняющих напряжений уже в десятки В, а у трубок с низкой чувствительностью даже в сотни В.

Отсюда ясно, что осциллографы для исследования малых по уровню сигналов должны содержать усилители канала Y с достаточно большим усилением. Например, для получения чувствительности в 1 мм/мВ усилитель должен иметь коэффициент усиления порядка 1000. Поскольку напряжение с генератора развертки составляет единицы-десятки В, то коэффициент усиления усилителя горизонтального отклонения (канала X) может быть намного меньшим — порядка 10. Однако, если надо работать в внешних сигналами, подаваемыми на вход X, то усилитель горизонтального отклонения желательно иметь таким же, как усилитель вертикального отклонения.

К усилителям осциллографов предъявляются достаточно специфические требования:

- высокий уровень выходных сигналов (десятки, иногда сотни В), что предполагает построение выходных каскадов на электронных лампах или высоковольтных транзисторах;
- высокое входное сопротивление (обычно порядка 0,5–2 МОм с параллельной емкостью до 50 пФ);
- высокая линейность (коэффициент нелинейности не более 3–5 %);
- высокая стабильность коэффициента усиления, нередко достигаемая стабилизацией напряжения питания и иными мерами;
- низкая (10–20 Гц) нижняя граничная полоса (в случае работы на постоянном токе нужна нулевая граничная частота и малый дрейф выходного сигнала);
- высокая верхняя граничная частота (от 1–5 МГц у простых осциллографов до десятков и сотен МГц у широкополосных и скоростных осциллографов);
- малая неравномерность амплитудно-частотной характеристики, нередко порядка 0,5–1 дБ против –3 дБ, принимаемых обычно в качестве уровня отсчета для верхней граничной частоты обычных усилителей.

Эти требования намного жестче, чем у обычных усилителей для бытовой аппаратуры. Они проистекают из того, что современный осциллограф является радиоизмерительным прибором довольно универсального назначения, а не просто осциллоскопом для просмотра формы сигнала. Некоторые требования противоречивы, например получение одновременно высокого коэффициента усиления и большой амплитуды сигналов с одновременно большой шириной полосы усиливаемых частот. Для преодоления подобных противоречий приходится усложнять схему усилителя или даже вводить кардинальные изменения в средства осуществления усиления — например, переходя от усилителей с сосредоточенным усилением к усилителям с распределенным усилением.

Как правило, в усилителях современных осциллографов применяются многокаскадные усилители с широкополосными каскадами с малым усилением. Нередко используются усилители постоянного тока с гальваническими связями между каскадами. Это исключает искажения на низких частотах и позволяет использовать осциллограф для измерения постоянного напряжения и регистрации медленно изменяющихся сигналов. Однако при этом требуется обеспечить малый дрейф усилителя, что иногда требует значительного времени прогрева осциллографа.

Чаще всего частотные и временные параметры осциллографов определяются его усилителями, а не параметрами систем отклонения трубок (они у современных трубок достаточно высоки). Лишь у наиболее широкополосных и скоростных (довольно дорогих) осциллографов их параметры более или менее в равной мере обеспечиваются как характеристиками усилителей, так и отклоняющих систем ЭЛТ. Рассмотрим основные типы усилителей, используемых в осциллографах.

Импульсные усилители предназначены для усиления импульсных сигналов, которые могут иметь прямоугольную, трапецеидальную, экспоненциальную или другую форму. Импульсные усилители по принципу действия делятся на линейные и нелинейные. В линейных импульсных усилителях форма импульса воспроизводится с минимальными искажениями, а в нелинейных форма импульсов искажается преднамеренно для их преобразования либо по амплитуде, либо по длительности, либо одновременно по этим двум параметрам. В каналах X и Y осциллографов применяются линейные усилители, а в канале Z (яркости) часто применяют нелинейные усилители.

Частотный спектр реальных импульсных сигналов очень широк и простирается от единиц герц до единиц, а иногда и десятков гигагерц. Поэтому усилители импульсных сигналов должны быть одновременно и *широкополосными усилителями* — область усиливаемых частот у них простирается нередко до десятков и сотен МГц и выше. Наличие реактивных элементов (емкостей и индуктивностей) в схеме усилителя приводит к тому, что его усиление зависит от частоты входного сигнала. Поэтому коэффициент усиления по напряжению является комплексной величиной.

Линейные искажения усилителей можно оценить, зная искажения синусоидального сигнала, так как всякий сигнал другой формы можно разложить на гармонические составляющие, пользуясь рядом Фурье (для периодических сигналов) или интегралом Фурье (для непериодических сигналов).

Коэффициент усиления усилителя по напряжению при синусоидальном сигнале с круговой частотой ω в комплексной форме определяется выражением ($K = K_U$)

$$\dot{K}_U = K_U(\omega) \exp[i\varphi(\omega)]. \quad (1.30)$$

Годограф вектора комплексного коэффициента усиления, т. е. кривая, описываемая концом радиуса-вектора K_U при изменении частоты от 0 до ∞ , называется

амплитудно-фазовой характеристикой. Таким образом, при помощи годографа можно одновременно установить зависимость усиления и фазового сдвига от частоты. Более четкое представление о характере и величине линейных искажений дает раздельное рассмотрение амплитудно-частотной $K_U = f(\omega)$ (АЧХ) и фазочастотной $\varphi = f(\omega)$ (ФЧХ) характеристик. Примерный вид характеристик представлен на рис. 1.13.

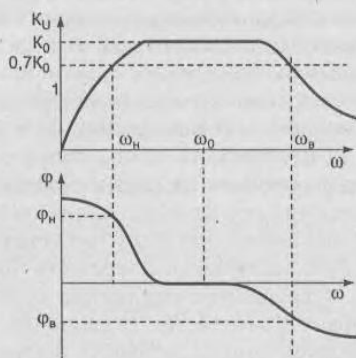


Рис. 1.13. Амплитудно-частотная и фазочастотная характеристики усилителя

Для количественной оценки частотных искажений вводится понятие *граничной частоты*. Это частота, при которой модуль $K(\omega)$ уменьшается до значения $K_0/\sqrt{2} \approx 0,7K_0$. При этом различают нижнюю граничную частоту ω_H и верхнюю ω_B . Разность частот $\Delta\omega = \omega_B - \omega_H$ называется полосой пропускания усилителя. Круговая частота связана с линейной: $\omega = 2\pi f$.

Широкополосными принято называть усилители, у которых отношение верхней граничной частоты к нижней составляет несколько порядков и выше. Практически все осциллографы должны без заметных искажений давать осциллограммы сигналов с частотой промышленной сети переменного тока в 50 Гц. Поэтому нижняя граница полосы пропускания усилителей должна быть не более 10–20 Гц. Верхняя граничная частота даже у простых осциллографов редко бывает ниже 1 МГц. Так что усилители современных осциллографов всегда являются широкополосными, а при верхней частоте в единицы ГГц и выше даже *сверхширокополосными*.

Усилители постоянного тока имеют нижнюю граничную частоту, равную 0 (рис. 1.14). Обратите внимание на то, что усиление на рис. 1.14 представлено в децибелах. Уровень спада усиления до 0,707 от максимального (на нулевой частоте) соответствует –3 дБ, при этом за 0 дБ принято максимальное усиление. Такое представление АЧХ удобно для оценки частотных искажений (существуют и другие формы представления АЧХ). Название «усилители постоянного тока» не совсем верно, поскольку речь идет об усилении напряжения, а не тока. Правильнее было бы говорить об усилителях постоянного напряжения.

Для оценки линейных искажений, возникающих при передаче импульсных сигналов, удобно использовать *переходную характеристику* усилителя. Переходная характеристика $h(t)$ — это реакция усилителя на идеальный перепад (ступеньку) входного напряжения. Разность двух переходных характеристик, сдвинутых во времени на длительность импульса t_H , дает форму выходного импульса усилителя,

получаемую при подаче на его вход идеального прямоугольного импульса (рис. 1.15).

Обычно вводятся понятия искажений реальных импульсов в области малых времен (искажения фронтов) и в области больших времен (искажения вершины импульсов). Соответствующие определения представлены на рис. 1.16. Реальным называют импульс с конечной длительностью фронтов, выбросами на них и другими искажениями, например, спадом плоской вершины импульса. Он отсутствует у усилителей постоянного тока (напряжения), но может быть у самого усиливаемого импульса.

В соответствии с этим используются следующие импульсные параметры усилителей:

t_{Φ} — *длительность фронта*, определяемая временем нарастания сигнала от уровня 0,1 до уровня 0,9 своего установившегося значения (иногда этот параметр также называют временем установления усилителя);

t_3 — *время задержки*, определяемое от момента появления сигнала на входе усилителя до момента достижения 0,1 уровня стационарного значения (иногда до достижения половины стационарного значения выхода напряжения);

$t_{\text{ср}}$ — *длительность среза*, определяемая временем спада сигнала от уровня 0,9 до уровня 0,1 своего стационарного значения;

δ — *выброс* или относительная разность между максимальным значением выходного сигнала в области малых времен и его установившимся значением;

Δ — *спад (подъем) вершины импульса* — относительная разность между установившимся значением выходного сигнала в области больших времен и его текущим значением.

В линейных усилителях амплитудно-, фазочастотная и переходная характеристики жестко связаны между собой. Воспользуемся известным из теории линейных электрических цепей интегралом Дюамеля, записанным в виде

$$u_2(t) = h(0)u_1(t) + \int_0^t h'(t')u_1(t - t')dt', \quad (1.31)$$

где $u_2(t)$ — напряжение на выходе усилителя; $u_1(t)$ — напряжение на его входе; $h(t)$ — переходная характеристика усилителя; $h(0)$ — значение переходной характеристики при $t = 0$; $h'(t)$ — производная функции $h(t)$.

Пусть $u_1 = 1 \cdot \exp(i\omega t)$, тогда

$$u_2(t) = \left[h(0) + \int_0^t h'(\tau) \exp(-i\omega\tau) d\tau \right] \exp(i\omega t) = A(t) \exp(i\omega t) \quad (1.32)$$

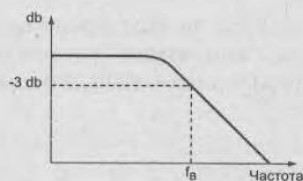


Рис. 1.14. АЧХ усилителя постоянного тока

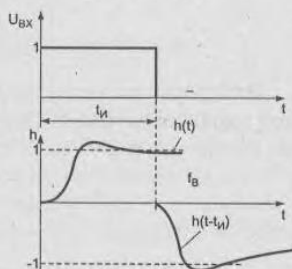


Рис. 1.15. Переходные характеристики усилителя

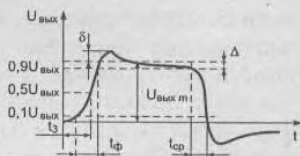


Рис. 1.16. Временные характеристики реальных импульсных сигналов

Если на вход усилителя подать гармоническое колебание определенной частоты с амплитудой, равной единице, то на выходе получим напряжение той же частоты с амплитудой, изменяющейся во времени по закону

$$A(t) = h(0) + \int_M^t h'(\tau) \exp(-i\omega\tau) d\tau. \quad (1.33)$$

Положив в этом выражении $t = \infty$, получим установившееся значение амплитуды на выходе, которое численно равно коэффициенту передачи (усиления)

$$K(i\omega) = h(0) + \int_M^\infty h'(\tau) \exp(-i\omega\tau) d\tau. \quad (1.34)$$

Эта формула устанавливает связь между коэффициентом передачи и переходной характеристикой. Отсюда можно определить значение коэффициента передачи при $\omega = 0$ и $\omega = \infty$

$$K(0) = h(0) + \int_M^\infty h'(\tau) d\tau = h(\infty); \quad (1.35)$$

$$K(\infty) = h(0). \quad (1.36)$$

Выражения (1.34)–(1.36) показывают, что переходная характеристика импульсного усилителя однозначно определяется его частотными свойствами. Характеристики усилителя в области низких частот отражают поведение усилителя в области больших времен, т. е. определяют форму плоской вершины импульса, а характеристики усилителя в области высоких частот — поведение усилителя в области малых времен, т. е. определяют длительность фронта и среза импульсов. Чем шире полоса пропускания в сторону высоких частот, тем точнее воспроизводятся фронт сигнала и уменьшаются искажения в области малых времен. При расширении полосы пропускания в сторону нижних частот усилитель лучше воспроизводит плоскую вершину импульса, т. е. уменьшаются искажения в области больших времен.

Для одиночного резисторного каскада с интегрирующей RC -цепью на выходе время нарастания и спада импульсов $t_\phi = 2,2RC$. В то же время граничная частота $f_B = 1/2\pi RC$. Отсюда можно получить значение длительности фронта через граничную частоту:

$$t_\phi = \frac{2,2}{2\pi f_B} = \frac{0,35}{f_B}. \quad (1.37)$$

Оказалось, что эта простая формула довольно точно описывает соотношения между длительностью фронта и верхней граничной частотой и в случае многокаскадного усилителя, при условии, что амплитуда выбросов переходной характеристики не превышает 4–5%. В связи с этим формула (1.37) является одной из важнейших в осциллографии и служит основой для определения времени фронта переходной характеристики осциллографа в целом на уровнях отсчета 0,1 и 0,9. Иногда указывают время установления переходной характеристики t_y , за которое заканчиваются переходные процессы после отображения фронтов (уровень отсчета конца переходного процесса обычно берется равным 1% от начальной амплитуды колебательного процесса). Это время может оказаться в 3–4 раза большим, чем время t_ϕ .

В области низких частот спад вершины импульса с длительностью t_H можно оценить приближенным выражением:

$$\Delta \approx t_H / \tau_H. \quad (1.38)$$

У большинства современных осциллографов используется усилитель канала Y с гальваническими связями (усилитель постоянного тока). В этом случае формулу (1.38) можно применить для расчета постоянной времени RC разделительной цепи, включенной на входе усилителя в случае, когда желательно исключить постоянную составляющую сигнала.

1.4.4. Особенности широкополосных осциллографических усилителей

В широкополосных усилителях обычно используют резисторные каскады, так как они имеют наилучшие частотные, фазовые и переходные характеристики. Для расширения усиливаемой каскадом полосы частот, изменения формы частотной и переходной характеристик в широкополосных импульсных усилителях используют дополнительные корректирующие цепи. Они рассчитываются так, чтобы выбросы переходной характеристики усилителей не превышали 4–5%.

По применяемой элементной базе усилители осциллографов делятся на следующие типы:

- ламповые усилители;
- усилители на биполярных транзисторах;
- усилители на полевых транзисторах;
- усилители на операционных усилителях;
- усилители на специализированных микросхемах.

Усилители на электронных лампах имеют, пожалуй, только одно важное преимущество — позволяют легко получить высокие выходные напряжения. Анодное напряжение большинства ламп составляет сотни В, при токах анода в единицы-десятки мА. Показателем широкополосности ламп является отношение их крутизны S к полной емкости лампы и монтажа C_0 . Емкость монтажа обычно берется равной 10 пФ и добавляется к входной и выходной емкостям лампы. Нетрудно показать, что отношение $S/2\pi C_0$ определяет произведение коэффициента усиления резисторного каскада с общим катодом K на его верхнюю граничную частоту f_{uc} , практически равную ширине полосы усиливаемых частот. Ниже представлены данные нескольких типов электронных ламп [12], которые широко применялись в ламповых осциллографах:

Тип лампы	S [мА/В]	$C_{вх}$ [пФ]	$C_{вых}$ [пФ]	$S/2\pi C_0$ [МГц]
6Ж5П	9,0	8,5	2,2	70
6Ж9П	17,0	8,0	3,5	130
6Ж21П	17,0	5,0	1,8	160
6Ж22П	30,0	9,0	2,4	220
6Э5П	30,5	16,0	2,6	110

Хотя выше приведены данные наилучших для конца 50-х годов прошлого века ламп, видно, что предельные частоты (при единичном усилении) едва-едва дости-

гают 100—200 МГц. Поэтому ширина полосы пропускания ламповых осциллографов с приемлемым усилением сигналов редко превышала 10—20 МГц. Лишь распределенные усилители, у которых коэффициенты усиления складываются, а не перемножаются, позволяли получить приемлемое усиление в десятки раз при частотах до 0,2—1 ГГц. Однако осциллографы с такими усилителями имели размеры холодильника, были дорогими и уникальными приборами. Их вес достигал многих десятков кг.

В ламповых усилителях применяются в основном резистивные усилители на каскадах с общим катодом. Иногда используются различные схемы индуктивной коррекции, позволяющие увеличить показатель широкополосности до 2 раз. Катодные повторители с их большим входным и малым выходным сопротивлениями иногда применяются во входных каскадах и, реже, в выходных каскадах (обеспечивая быстрый заряд и разряд емкости пластин ЭЛТ). Используются и специальные *каскадные схемы*, представляющие собой комбинацию каскадов с общим анодом и общей сеткой.

Маломощные полевые транзисторы значительно уступают электронным лампам по уровням рабочих напряжений (до 20 В), значениям крутизны (единицы мА/В) и показателю широкополосности $S/2\pi C_p$. Единственным их серьезным преимуществом является весьма высокое входное сопротивление. Поэтому они получили применение в сходных каскадах некоторых транзисторных осциллографов, например С1-68 — рис. 1.17 [13].

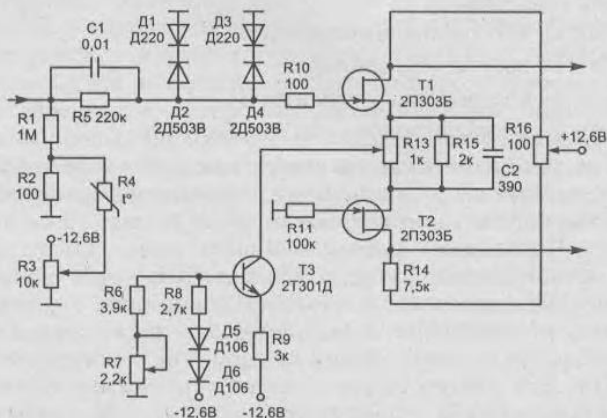


Рис. 1.17. Входной каскад усилителя У осциллографа С1-68

Входной усилитель рис. 1.17 представляет собой типичный дифференциальный каскад на двух полевых транзисторах Т1 и Т2. Благодаря применению полевых транзисторов не вызывает труда получение высокого входного сопротивления — практически оно равно 1 МОм и задается величиной резистора R1. Транзисторы каскада защищены от пробоя двухсторонним ограничителем напряжения на цепи R5C1 и диодах D1—D4 с последовательным и встречным включением.

Цепь R2-R4 с термистором уменьшает температурный дрейф каскада. В цепи истока полевых транзисторов включен стабилизатор тока на транзисторе Т3, что резко уменьшает чувствительность каскада к синфазной составляющей входного сигнала. В результате входной каскад усиливает только противофазную составля-

ющую. Каскад обеспечивает парафазный выход на предварительный усилитель канала Y.

Биполярные транзисторы 50-х годов также заметно уступали лампам как по показателю широкополосности, так и по уровням рабочих напряжений. Поэтому их применение в осциллографах было ограниченным. Однако уже в 60-х годах ситуация изменилась кардинальным образом. Были созданы СВЧ-транзисторы с рабочими напряжениями в десятки В, что открыло перспективы их применения в осциллографах с полосой частот до 100—500 МГц. В это время электронные лампы были полностью вытеснены биполярными транзисторами.

На рис. 1.18 представлена схема предварительного усилителя одного из первых скоростных осциллографов тех времен С1-71 с полосой частот усилителя вертикального отклонения 100 МГц и временем нарастания 3,5 нс. Усилитель состоит из двух дифференциальных каскодных каскадов. *Каскодом* принято называть неделимую и интегрированную в одну схему пару каскадов, например каскад с общим эмиттером и каскад с общей базой. Такие каскады обеспечивают наивысшую широкополосность.

Первый каскад построен на транзисторах Т1-Т4 с параллельным питанием, а второй на транзисторах Т5-Т8 с последовательным питанием. В каскадах применена высокочастотная автотрансформаторная коррекция, позволяющая увеличить верхнюю частоту среза в 2,75 раза, что позволяет получить ее значения до 200 МГц (напомним, что общая граничная частота усилителя, включая оконечные каскады, составляет 100 МГц).

В подобных усилителях особое внимание приходится уделять не только коррекции, но и обеспечению устойчивости усилителя. Для этого применяется высококачественное экранирование каскадов, включение корректирующих RC-цепей и применение трансформаторов на ферритовом кольце (Тр на рис. 1.18) для коррекции выбега фазовых характеристик и предотвращения самовозбуждения.

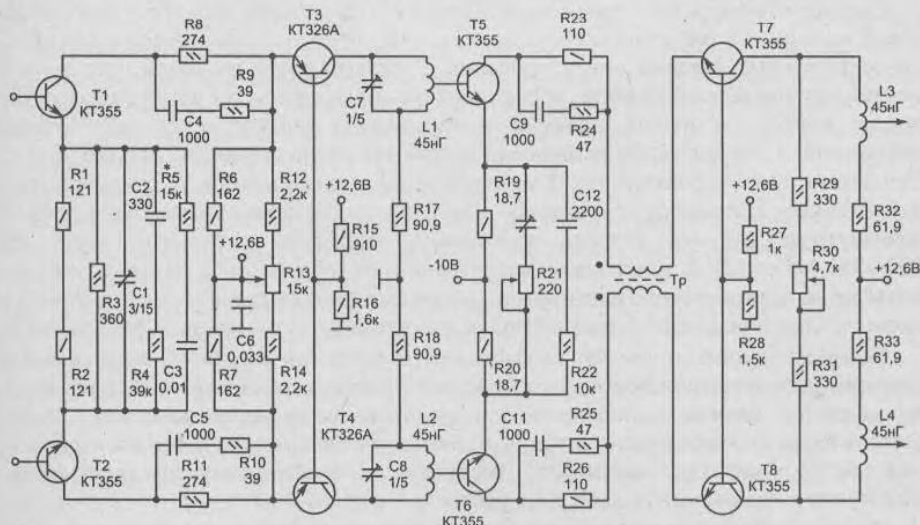


Рис. 1.18. Предварительный усилитель осциллографа С1-71

На рис. 1.19 представлена схема окончного каскада усилителя вертикального отклонения осциллографа СГ-71. Она также выполнена на основе дифференциального каскодного усилителя с корректирующим выбег фазы трансформатором на ферритовом сердечнике Тр. Выход усилителя прямо нагружен на распределенную отклоняющую систему ЭЛТ 11ЛО101М. Линия нагружена только со стороны выхода с резистора с сопротивлением, равным волновому сопротивлению линии (360 Ом). В усилителе применена сложная эмиттерная коррекция.

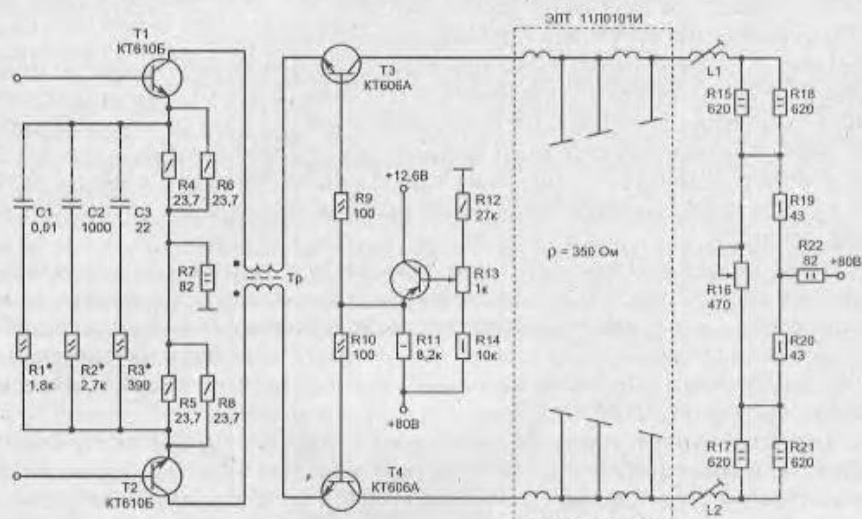


Рис. 1.19. Оконечный усилитель вертикального отклонения осциллографа СГ-71

Следует отметить, что проектирование таких усилителей является сложной задачей и, наряду с теоретическими положениями, надо учитывать множество практически важных деталей проектирования — оптимальное расположение компонентов, их тщательный выбор, экранирование, принятие мер против самовозбуждения, коррекция мелких «дефектов» переходных характеристик, обеспечение временной и тепловой стабильности, коррекция температурного дрейфа и т. д. Это делает проектирование таких усилителей не столько наукой, сколько искусством. Можно, к примеру, поражаться тому, что на не слишком высокочастотных транзисторах тех лет удалось реализовать усилители с полосой частот до 100—250 МГц [13]. В наше время характеристики транзисторов намного улучшились, но описанные выше достижения схемотехники по-прежнему используются в новых моделях осциллографов, позволяя довести полосу частот до 500—1000 МГц.

Обычные усилители имеют коэффициенты усиления больше 1. При каскадировании они перемножаются, что позволяет увеличивать коэффициент усиления до желаемой величины, определяемой нужными коэффициентами отклонения. Однако если коэффициент усиления становится равным 1 и ниже, каскадирование обычных каскадов оказывается бесполезным — общий коэффициент усиления при перемножении падает, а не растет.

В связи с этим в наиболее широкополосных усилителях используются иные принципы усиления, основанные на сложении коэффициентов усиления отдель-

ных каскадов. Это прежде всего давно известные *усилители с распределенным усилением* на линиях передачи с сосредоточенными и распределенными элементами. Однако такие усилители громоздки и трудны в наладке.

Фирма Tektronix (США) реализовала эту идею без применения линий передачи. Она использовала принцип *сложения и вычитания токов* от нескольких каскадов. Усиление на уровне токов позволяет получить предельные граничные частоты. В осциллографах 475 и 485 этой фирмы были получены полосы усиливаемых частот до 250 и 350 МГц. При этом секции таких усилителей имеют верхнюю граничную частоту, доходящую до 1 ГГц. Были также созданы распределенные усилители с «транзисторным резонансом» и *схемы Джильберта*, основанные на усилении токов в цепях с логарифмическими передаточными характеристиками [14].

Примерно к этому времени бурное развитие получает микроэлектроника и происходит массовый переход от устройств на дискретных транзисторах на устройства, выполненные на интегральных микросхемах. В микроэлектронных устройствах паразитные емкости и индуктивности цепей усилителей сводятся к минимуму, что позволяет существенно повысить широкополосность усилителей.

Особую популярность получили высококачественные усилители постоянного тока с огромным коэффициентом усиления (десятки тысяч — миллионы) — *операционные усилители*. Они допускали работу с глубокими отрицательными обратными связями, позволяющими снизить усиление до нужного уровня порядка десятков-сотен при одновременном резком повышении стабильности усиления. Такие усилители обеспечивали ничтожный дрейф нуля за счет применения дифференциальных каскадов на идентичных и близко расположенных интегральных транзисторах. Однако динамические показатели, малое выходное напряжение (до ± 12 — 15 В) и малая ширина полосы пропускания (редко превышающая 10 МГц) ограничили применение операционных усилителей в осциллографах.

Наилучшие результаты были получены при построении осциллографических усилителей на специализированных интегральных микросхемах — чаще всего гибридно-плёночных. В таких усилителях были реализованы все появившиеся новинки электронной схемотехники: каскодные усилители, усилители на мощных СВЧ-биполярных и полевых транзисторах, токовые сверхширокополосные усилители со сложением и вычитанием токов, усилители с распределенным усилением и микрополосковыми линиями передачи, усилители Джильберта и др. Это позволило создать транзисторные аналоговые осциллографы с частотным диапазоном усиливаемых сигналов до 0,3 — 0,5 ГГц, а иногда и заметно выше. Они используются для осциллографии в реальном времени.

К весьма перспективным приборам для осциллографических усилителей относятся мощные полевые транзисторы. Они уже сейчас намного превосходят лучшие из приемно-усилительных ламп по всем важнейшим параметрам, включая уровень рабочих напряжений (есть приборы до 1000 В), крутизну (доли-единицы A/V) и показатель широкополосности $S/2\pi C_0$. Параметры и схемотехника полевых транзисторов описана в [15].

Несколько слов стоит сказать об усилителях канала Х. В принципе, в них используются те же схемные решения, что и в усилителях канала Y. Однако коэффициент усиления усилителей канала Х обычно намного меньше, поскольку генератор развертки обеспечивает напряжение не меньше нескольких В. Кроме того, от усилителя горизонтального отклонения не требуется столь широкой полосы частот, как в канале Y. Это позволяет упростить усилитель канала Х и обеспечить более высокий уровень выходных напряжений.

Широкополосные усилители применяются и в канале Z. В них не имеет смысла использовать дифференциальные каскады, поскольку управляющий электрод трубки один. Для обострения фронтов импульсов усилитель канала Z часто выполняется нелинейным. Особых проблем конструирование усилителей канала Z у конструкторов не возникает — используются стандартные схемные решения.

Примеры построения транзисторных усилителей каналов X и Y можно найти в книгах [13, 14]. Возможности применения в них современных полевых транзисторов описаны в [15].

1.4.5. Принципы построения генераторов развертки

Генератор развертки осциллографа служит для выработки линейно изменяющегося напряжения (рис. 1.20), которое усиливается усилителем канала X и используется для подачи на пластины вертикального отклонения. Это обеспечивает линейное перемещение светового пятна от электронного пучка ЭЛТ по поверхности экрана.

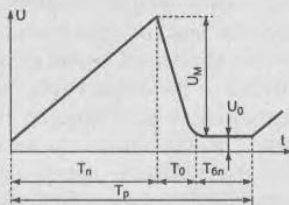


Рис. 1.20. Пилообразное напряжение развертки

Параметрами напряжения развертки являются:

- U_0 — начальное напряжение развертки;
- U_M — амплитуда напряжения развертки;
- $T_п$ — время прямого хода;
- $T_о$ — время обратного хода;
- $T_{бл}$ — время блокировки (в случае ждущего режима);
- $T_р$ — общее время одного цикла развертки.

Кроме того, характерным параметром развертки является коэффициент нелинейности пилообразного напряжения

$$K_H = \frac{(du/dt)_{\max} - (du/dt)_{\min}}{(du/dt)_{\min}} 100\%. \quad (1.37)$$

Он определяется относительным изменением крутизны пилообразного напряжения и обычно выражается в процентах.

В зависимости от вида работы осциллографа используются горизонтальные развертки трех типов:

- автоколебательная;
- ждущая (иногда неточно именуемая однократной);
- универсальная.

Вне зависимости от типа развертки принцип создания линейно изменяющегося напряжения базируется на заряде линейного конденсатора C от источника

тока. Как известно ток, протекающий через линейный конденсатор $C = \text{const}$, связан с напряжением на конденсаторе следующей зависимостью:

$$i_c(t) = C \frac{du_c(t)}{dt}. \quad (1.38)$$

Если сделать ток постоянным ($i_c(t) = I = \text{const}$), то из (1.38) получим:

$$I = C \frac{du_c(t)}{dt}. \quad (1.39)$$

Очевидно, что постоянство тока возможно только в том случае, если крутизна изменения напряжения на конденсаторе неизменна, т. е. если напряжение меняется по линейному закону (растет при $I > 0$ или падает при $I < 0$).

К этому выводу можно прийти и от другого известного для емкости интегрального выражения:

$$u_c(t) = u_c(0) + \frac{1}{C} \int_0^t i_c(t) dt.$$

Если положить $i_c(t) = I = \text{const}$, по получим:

$$u_c(t) = u_c(0) + \frac{I \cdot t}{C}. \quad (1.40)$$

Отсюда видно, что напряжение на конденсаторе меняется, начиная с начального уровня $u_c(0) = U_0$, по линейному закону. Крутизна изменения напряжения равна I/C . Она может меняться в широких пределах дискретно — обычно изменением емкости конденсатора C и плавно изменением тока I .

Простейшим способом получения почти линейно нарастающего напряжения является заряд конденсатора C от источника напряжения E через резистор R . Обобщенная схема генератора развертки, реализующего этот принцип, показана на рис. 1.21.



Рис. 1.21. Обобщенная схема генератора развертки

Пусть ключевое устройство вначале замыкает конденсатор C на землю. Тогда он будет разряжен и напряжение $u_c(0) = U_0 = 0$ (если это напряжение несколько отлично от нуля, то принципиальных отличий это не вызовет). При закрывании ключевого устройства напряжение на конденсаторе начнет меняться по экспоненциальному закону:

$$u_c(t) = E(1 - e^{-t/RC}).$$

Если ограничить рост напряжения значением $u_c(t_n) = U_M$, то при $U_M \leq E$, используя разложение в ряд экспоненты, можно получить следующее приближенное выражение:

$$u_c(t) \approx \frac{E}{RC} t.$$

Нетрудно показать, что коэффициент нелинейности в данном случае составит величину:

$$K_H = (I_{\max} - I_{\min}) / I_{\max} = U_M / E.$$

Например, если $E = 100$ В, то для получения коэффициента нелинейности в 5% допустимое значение U_M должно составлять 5 В. Это говорит о необходимости усиления напряжения развертки.

Для разряда конденсатора надо открыть разрядное устройство. Чаще всего это устройство является обычным транзисторным ключом, и для управления им можно применить триггер или ждущий мультивибратор. Таким образом осуществляется ждущая развертка.

Простейшим типом автоколебательной развертки стал емкостной релаксатор на приборе с S-образной вольт-амперной характеристикой. Схема рис. 1.17 при этом не меняется, просто разрядное устройство будет представлять собой прибор с S-образной вольт-амперной характеристикой. В таких генераторах применялись все известные приборы такого рода: неоновые лампы, тиратроны, тиристоры, однопереходные транзисторы и лавинные транзисторы. Все они, кроме лавинных транзисторов, оказались слишком инерционными и могли использоваться в генераторах развертки с частотами до 10—50 кГц. Например, тиратроны применялись в дешевых массовых осциллографах ОЭУ, ЭО-7 и др. Подача на управляющий электрод прибора синхронизирующих импульсов позволяет осуществлять синхронизацию развертки.

Ряд интересных схем генераторов пилообразного напряжения на лавинных транзисторах описан в книге [16]. По своим параметрам они вполне отвечают требованиям к осциллографам. Однако широкого применения в серийных приборах такие схемы не получили из-за крайне ограниченной номенклатуры серийно выпускаемых лавинных транзисторов. В СССР, к примеру, выпускался лишь германиевый лавинный транзистор ГТ338, предназначенный для построения генераторов стробирующих импульсов для стробоскопических осциллографов. Применение обычных транзисторов в лавинном режиме, теоретически и практически вполне возможное, в серийных приборах было исключено, поскольку лавинный режим работы не был гостирован.

Существует два основных способа генерации пилообразного напряжения с высокой линейностью:

- замена резистора R токостабилизирующей цепью;
- осуществление емкостной отрицательной обратной связи.

Первый способ реализуется довольно легко, поскольку вольт-амперные характеристики многих активных приборов (лампы-пентоды, биполярные и полевые транзисторы) имеют протяженные участки, в пределах которых ток слабо зависит от напряжения. Например, стабилизатором тока может служить полевой транзистор с нормально открытым каналом, у которого затвор соединен с истоком. Такая цепь является токостабилизирующим двухполюсником, и ее можно включать вместо резистора R . Для расчета коэффициента нелинейности в этом случае до-

статочно заменить E на $E_3 = I_0 R_i$ и R на R_i , где R_i — внутреннее сопротивление то-костабилизирующего двухполосника

Схемы с емкостной обратной связью на лампах-пентодах обеспечивали фантастически высокую линейность — коэффициент нелинейности достигал значение порядка 0,01% и ниже. Возможно поэтому схемы такого рода назывались *фантастронами* [17]. Малую нелинейность можно получить и от схем на биполярных и полевых транзисторах и особенно на операционных усилителях. Однако для скоростных разверток последние не подходят из низких динамических показателей и низкой граничной частоты.

В некоторых осциллографах используется так называемая *задержанная развертка*. Это дополнительный генератор пилообразного напряжения с большой крутизной его изменения, запускаемый от основной развертки с регулируемым уровнем запуска. Такая развертка позволяет получить растянутый фрагмент изображения, например фронта импульса или его части. Можно сказать, что таким образом реализуется «лупа времени». Такая развертка широкого распространения не получила из-за усложнения схемы осциллографа и необходимости размещения на его передней панели дополнительных органов управления. Некоторые дорогие осциллографы позволяют наблюдать обычную и растянутую осциллограммы одновременно.

1.4.6. Узлы синхронизации осциллографов

Канал синхронизации осциллографа призван поддерживать период повторения непрерывной (автоколебательной) развертки строго кратным периоду сигнала. В простых осциллографах это достигается подачей на вход разрядного устройства рис. 1.21 части входного сигнала. Обычно уровень синхронизации делается регулируемым с помощью потенциометра и ручки «Синхронизация». Это дает приемлемый результат при просмотре синусоидальных колебаний.

Однако некоторые сигналы, включая синусоидальные, меняются плавно, что может создать нестабильность запуска развертки. Поэтому в осциллографах высокого класса применяются специальные схемы синхронизации, формирующие для запуска развертки короткие импульсы с малым временем нарастания. Обычно для этого используются широкополосные усилители — ограничители и дифференцирующий RC -цепи. Часто применяются и регенеративные устройства, например, на основе триггера Шмита или триггера на основе туннельного диода.

1.4.7. Блоки питания осциллографов

Важное значение для стабильной работы осциллографа имеют блоки его питания (как правило, от сети переменного тока 110/127/220 В при частоте 50/60 Гц). Для питания осциллографов требуется несколько различных напряжений:

- переменное напряжение 6,3 В при токе до 1 А для питания нити накала ЭЛТ;
- напряжение порядка сотен вольт для питания фокусирующих анодов;
- напряжение до нескольких тысяч В для питания ускоряющего электрода;
- напряжение 50—150 В для питания оконечных усилителей каналов Y , X и Z ;
- напряжение 12—24 В для питания предварительных усилителей, канала запуска развертки, канала синхронизации и др.

Уровни напряжений указаны приблизительно. В блоке питания применяется трансформатор и обычные выпрямители — однополупериодные для высоких на-

пряжений и двухполупериодные (со средней точкой и мостовые) для низких напряжений.

Низковольтные источники питания нередко выполняются стабилизированными для уменьшения дрейфа усилителей и стабилизации их коэффициента усиления. Используются стандартные схемы выпрямителей и стабилизаторов напряжений (от простейших на кремниевых стабилитронах до компенсационных стабилизаторов на специализированных интегральных микросхемах). В высоковольтных выпрямителях часто применяют схемы умножения напряжений.

Чем выше класс осциллографа и меньше требуемая от него погрешность измерений, тем выше должна быть стабильность питающих напряжений. Для первичной питающей сети характерна нестабильность напряжения до 10–20%, тогда как желательная нестабильность напряжений питания осциллографа часто не должна быть выше 1%. В связи с этим схемы стабилизированных блоков питания современных осциллографов приходится резко усложнять, вводя стабилизаторы для большинства питающих напряжений. А это снижает КПД блоков питания, увеличивает рассеиваемую ими мощность и ведет к увеличению нагрева осциллографа.

Как известно, существенное повышение КПД обеспечивают импульсные источники электропитания. Однако они излучают импульсные помехи с широким спектром. Они весьма нежелательны для осциллографов, поскольку создают шумы и наводки, с которыми чрезвычайно трудно бороться. Поэтому широкого применения импульсные источники питания в осциллографах не получили. Исключением являются портативные осциллографы с питанием от аккумуляторных батарей — в них применение импульсного преобразователя неизбежно.

1.5. Параметры и выбор электронных осциллографов

1.5.1. Основные параметры

Классический электронный осциллограф является аналоговым прибором, работающим в реальном масштабе времени. Это означает, что во всем тракте усиливаются непрерывные сигналы и принимаются меры по уменьшению их искажений. Например, в тракте Y исследуемый сигнал сохраняет свою форму, но его уровень растет от входа усилителя до его выхода и пластин ЭЛТ. Позже будет отмечена специфика аналогово-цифровых и тем более цифровых осциллографов, а пока остановимся на системе параметров аналоговых осциллографов. Согласно ГОСТ на осциллографы [18–22], параметры осциллографов делятся на основные и дополнительные. К основным относят следующие параметры:

- значения коэффициентов отклонения, погрешность коэффициента отклонения или связанная с ним погрешность измерения напряжения;
- значения коэффициентов развертки, погрешность коэффициента развертки или связанная с ним погрешность измерения временных интервалов;
- параметры переходной характеристики (ПХ), включая: время нарастания; выброс; неравномерность вершины и время установления;
- параметры входа каналов вертикального и горизонтального отклонения, включая: активное входное сопротивление; входную емкость; коэффициент стоячей волны; допускаемое суммарное значение постоянного и переменного напряжения;

- диапазон длительностей развертки и погрешность измерения временных интервалов;
- параметры синхронизации, включая диапазон частот; предельные уровни; нестабильность.

В дальнейшем эти параметры будут описаны достаточно подробно. Пока же отметим, что коэффициенты отклонения указываются в мВ/дел или В/дел (иногда в мВ/дел или в В/дел). Например, если указано 2 мВ/см, то это означает, что сигнал в 2 мВ вызовет отклонение луча на 1 см. Коэффициенты разверток указывают, за сколько наносекунд, микросекунд или секунд луч осциллографа пройдет путь в 1 см.

Переходная характеристика в первом приближении есть реакция осциллографа на быстрый перепад напряжения (теоретически с нулевой длительностью). Время нарастания переходной характеристики оценивается как время нарастания осциллограммы сигнала от уровня 10% от его перепада до уровня в 90% от величины перепада. Оценивается (в процентах) также короткий выброс переходной характеристики и медленный спад в области больших времен. Иногда вводится параметр — время установления, который характеризует время, в течение которого завершаются переходные процессы реакции на короткий перепад.

1.5.2. Дополнительные параметры

К дополнительным параметрам электронных осциллографов относятся:

- параметры АЧХ, включая полосу пропускания; нормальный диапазон частот; расширенный диапазон частот и опорную частоту;
- коэффициент развязки между каналами.

Есть и ряд эксплуатационных параметров:

- размер экрана трубки по диагонали (в сантиметрах или дюймах);
- число делений масштабной сетки по вертикали и горизонтали;
- габариты и масса;
- напряжение питания и потребляемая мощность;
- температурные и иные условия эксплуатации.

Разумеется, что перечень этих параметров может быть расширен. Например, может указываться диаметр пятна от электронного луча на экране трубки, предельная скорость регистрации процессов, нелинейность пилообразного напряжения развертки и т. д. Основные параметры цифровых осциллографов (скорость выборки и объем памяти) будут рассмотрены при их описании в главе 3.

1.5.3. Выбор осциллографов

Выбор осциллографов редко бывает простым делом. Скорее всего, он противоречив и неоднозначен. Прежде всего он зависит от задач, которые решает его пользователь. Начинаящий радиолюбитель будет рад простому и дешевому осциллографу, позволяющему наблюдать формы сигналов в диапазоне до нескольких мегагерц, а то и ниже.

Радиомастерские, где тоже ограничиваются таким осциллографом в придачу к тестеру, тестеры встречаются редко. Нынешняя электронная техника, особенно цифровая, основана на применении сложнейших процессов, без осциллографирования которых просто не обойтись ни при ее конструировании и исследовании, ни при качественном ремонте. Нередко при ремонте даже схожих изделий требу-

ются различные осциллографы и различные радиоизмерительные приборы, например мультиметры, генераторы сигналов различной частоты и формы, анализаторы спектра и т. д.

Приведем пример осциллограмм, которые даны как контрольные для служб сервиса, монитора Philips Brilliance 109 P40. Они даны на рис. 1.22 (источник — журнал «Ремонт и сервис», 2003, № 9). Это типовой аналоговый монитор на кинескопе с частотой кадров 50–160 Гц и строк 30–110 кГц. Осциллограммы устройства сравнительно просты, хотя и многообразны. Их все можно наблюдать на сравнительно простом аналоговом сервисном осциллографе.

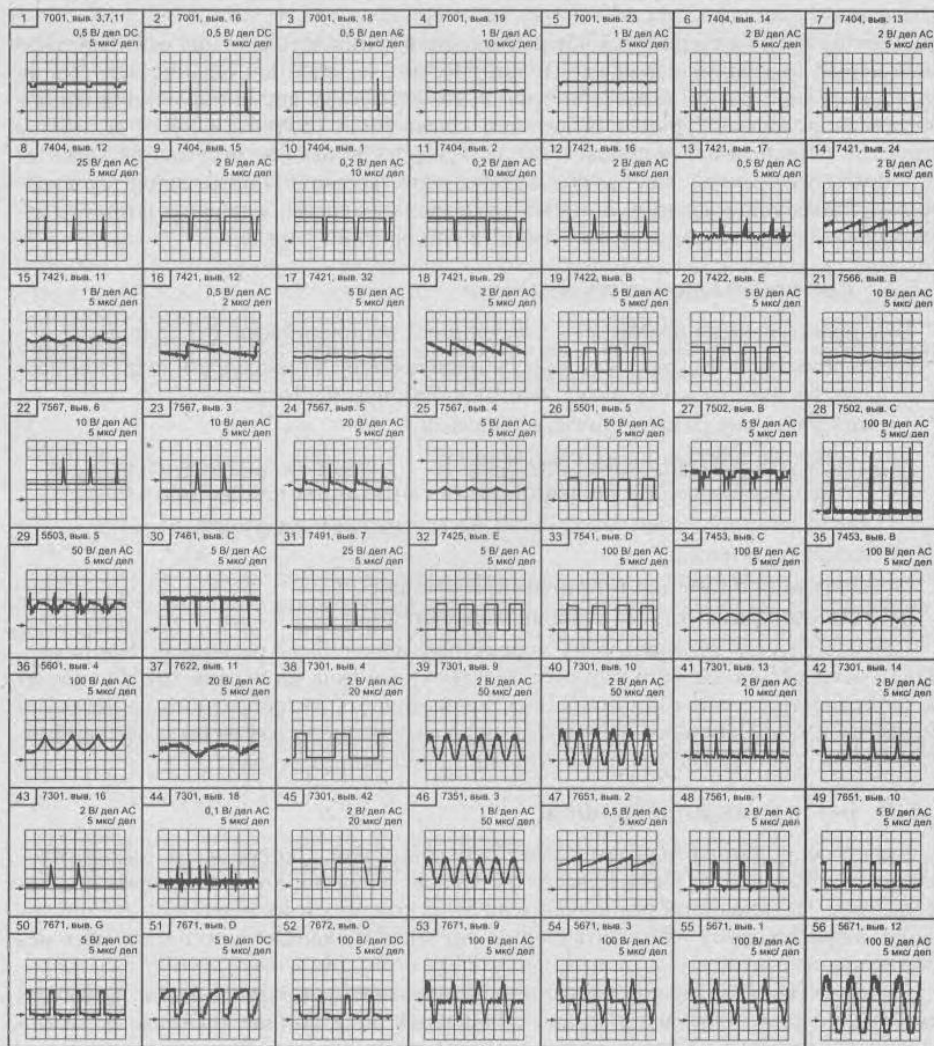


Рис. 1.22. Осциллограммы в контрольных точках аналогового монитора Philips Brilliance 109 P40

А на рис. 1.23 представлены осциллограммы в контрольных точках аналогично по назначению аппарата — монитора Philips 150P. Однако это уже монитор не на кинескопе, а на жидкостно-кристаллической индикаторной панели, оснащенный микропроцессорным контроллером. Осциллограммы этого монитора разите-

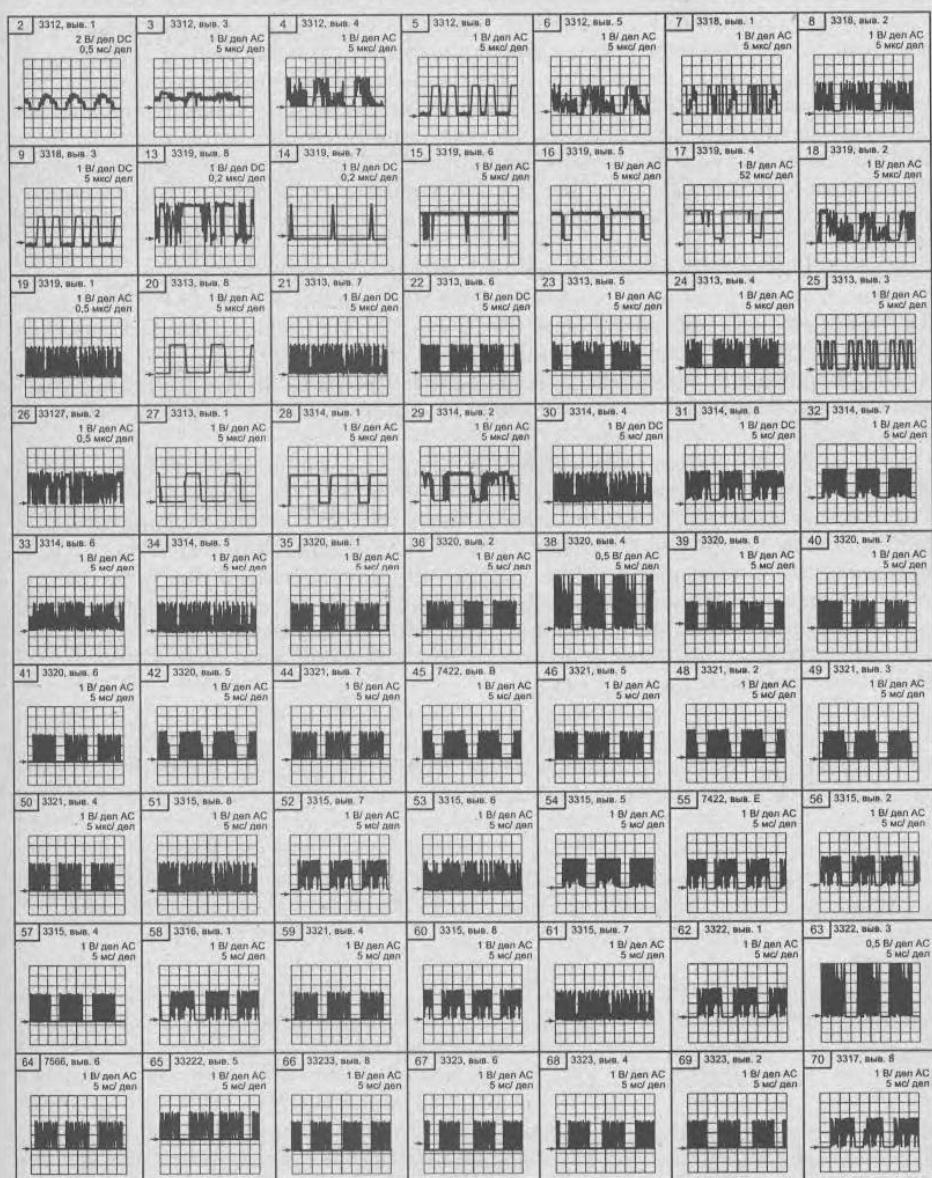


Рис. 1.23. Осциллограммы в контрольных точках цифрового монитора Philips 150P с индикатором на жидких кристаллах

льно отличаются от предшествующих (рис. 1.22). Большинство из них очень сложны и представляют собой пакеты импульсов самой разнообразной формы и периода. Нередко важно видеть не только их общие очертания, но и внутреннюю, подчас очень сложную структуру. Только при таком выделении можно засечь один из сотен ключей или логических схем, который сбоит в работе или отказал вообще.

В случае, показанном на рис. 1.23, простым сервисным осциллографом уже, как правило, не обойтись. Нужны широкополосные осциллографы с задержанной разверткой и памятью, системы синхронизации телевизионными сигналами с выбором кадров и строк и т. д. и т. п. Этими возможностями обладают лишь самые современные аналого-цифровые и цифровые запоминающие осциллографы. Иногда требуются приборы с особыми свойствами, например аналоговым запоминанием, аналоговым послесвечением и с цифровым люминофором. Два последних типа осциллографа копируют возможности запоминающей ЭЛТ, но цифровыми методами.

Еще жестче требования к осциллографам для лабораторных и научных исследований. Современная электронная техника интенсивно осваивает СВЧ-диапазоны и субнаносекундные процессы. Здесь уже не обойтись без сверхскоростных цифровых осциллографов с частотным диапазоном до 10 ГГц, а в отдельных случаях и на порядок более высоких. Такие осциллографы во всем мире делают только несколько фирм. Их намного меньше, чем фирм, создающих космические корабли, авиалайнеры и автомобили.

В последующих главах мы обзорно рассмотрим принципы построения, конструкции и параметры осциллографов различного типа — от простейших аналоговых до самых сложных и дорогих цифровых и стробоскопических осциллографов. Особое внимание при этом уделено их инструментальным возможностям и практике проведения измерений. Будут впервые описаны не только новейшие осциллографы ведущих фирм «классического» настольного типа, но и миниатюрные осциллографы с батарейным питанием, осциллографы-мультиметры, осциллографические платы и приставки к персональным компьютерам и даже компьютеризированные лаборатории на их основе.

Глава 2. Аналоговые осциллографы широкого применения

2.1. Лучшие из реликтов

2.1.1. Ламповые осциллографы 50—60-х годов двадцатого века

В 50—60-х годах двадцатого века электронный осциллограф из уникального физического прибора превратился в массовый инструмент физических и радиотехнических лабораторий. Во многом этому содействовало применение в нем электронных ламп, на которых можно было строить усилители вертикального и горизонтального отклонения, генераторы разверток, узлы синхронизации и стабилизированные источники электропитания.

Одним из первых отечественных ламповых осциллографов, доживших до наших дней (в основном в школьных кабинетах) был школьный осциллограф типа ОЭШ-61. Это заслуженный «дед» (если даже не «прадед») советской осциллографии. Разработанный в далеком 1961 году и выпускаемый в огромных количествах московским заводом «Физэлектроприбор», этот прибор скоро уже как полвека верой и правдой служит делу образования школьников и студентов. Его и поныне можно увидеть в школьных и вузовских лабораториях. Но значение этого прибора еще больше — он является типичным электронным осциллографом и на его примере проще всего прояснить детали построения аналоговых осциллографов.

Прибор, выполненный по «классической» схеме электронного осциллографа (рис. 2.1). В нем применено 9 электровакуумных приборов, включая электронно-лучевую трубку Л4 1ЗЛО37И. Эта трубка с диаметром экрана в 13 см обеспечивает достаточно большие размеры осциллограмм, что важно при использовании осциллографа в образовании.

Входной исследуемый сигнал подается на зажимы «Вход Y» и через подключаемый или отключаемый компенсированный делитель напряжения поступает на сетку левой половины двойного триода L_1 , на которой выполнен катодный повторитель. Он имеет высокое входное сопротивление и низкое выходное сопротивление. Через переменный потенциометр регулировки усиления R_7 сигнал с повторителя поступает на обычный усилительный каскад на второй половине L_1 . Таким образом на лампе L_1 построен предварительный усилитель осциллографа.

Оконечный усилитель канала Y построен по парафазной схеме дифференциального усилителя на двух лучевых тетрадах L_2 и L_3 . Эти мощные лампы обеспечивают получение достаточно высоких парафазных напряжений, нужных для возбуждения пластин вертикального отклонения осциллографической трубки. Симметричная подача напряжений раскачки пластин обеспечивает постоянство среднего потенциала пластин и способствует хорошей фокусировке по всему экрану. Для расширения полосы усиливаемых частот используется простая индуктивная коррекция — катушки L_1 и L_2 .

Генератор горизонтальной развертки выполнен по схеме релаксационного генератора на тиратроне L_5 . На сетку тиратрона подается синхронизирующий сигнал либо с выхода повторителя (внутренняя синхронизация), либо с гнезда «Вход синхр.» (внешняя синхронизация). Напряжение развертки получается при заряде одного из конденсаторов $C_{21}—C_{26}$ через резисторы R_{37} и R_{38} . Переменный резистор

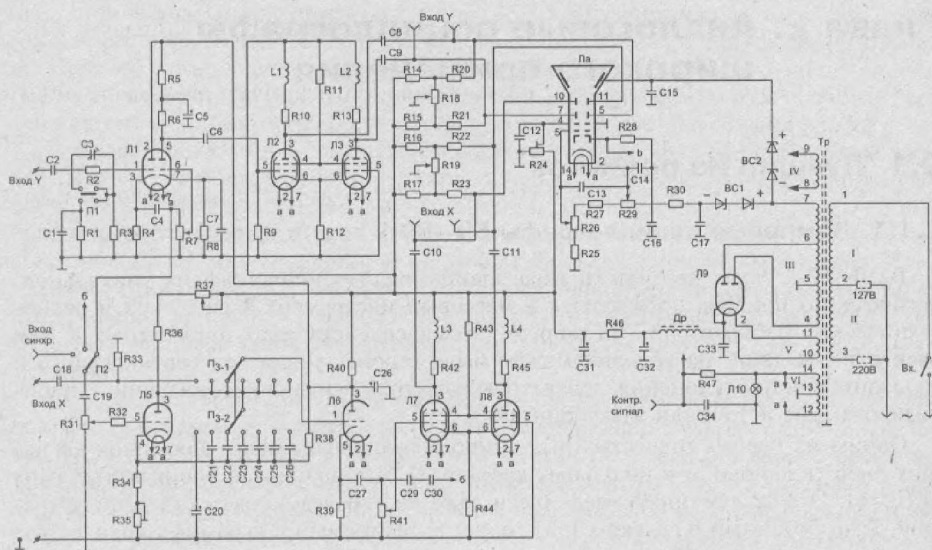


Рис. 2.1. Принципиальная схема осциллографа ОЗШ-61

R_{37} обеспечивает плавное изменение частоты развертки, а переключение конденсаторов — грубое изменение частоты.

Усилитель горизонтального отклонения состоит из катодного повторителя на лампе L_6 и парафазного выходного каскада с симметричным выходом на двух лучевых тетрадах L_7 и L_8 . Индуктивная коррекция (катушки L_3 и L_4) улучшает частотные свойства выходного каскада. С выхода катодного повторителя на лампе L_6 импульсы, продифференцированные цепочкой C_{29} , C_{30} , R_{28} , поступают на управляющий электрод (сетку) ЭЛТ L_4 и обеспечивают запирающие импульсы на время обратного хода развертки. Таким образом осуществляется гашение обратного хода, и он становится невидимым.

В правой части рис. 2.1 видна типичная схема электропитания осциллографа. Напряжение питания (+270 В) усилителей, развертки и второго анода трубки обеспечивает двухполупериодный выпрямитель на двойном диоде — кенотроне L_9 . Пульсирующее выходное напряжение выпрямителя сглаживается индуктивным, а затем емкостным фильтрами. Для питания катодной части трубки и первого анода напряжением -850 В служит выпрямитель на высоковольтном селеновом столбике BC_1 , а для питания третьего анода напряжением $+1100$ В служит выпрямитель на селеновом столбике BC_2 . Яркость трубки регулируется изменением напряжения на катоде с помощью потенциометра R_{29} . Фокусировка регулируется изменением напряжения на первом аноде с помощью потенциометра R_{26} . Потенциометры R_{18} и R_{19} служат для изменения постоянных напряжений на пластинах отклонения, что обеспечивает смещение луча по оси Y и X , соответственно.

Основные технические характеристики осциллографа С1-6:

- усилитель вертикального отклонения имеет полосу частот от 20 Гц до 200 кГц с неравномерностью частотной характеристики не более 3 дБ, максимальная чувствительность 0,5 мм/мВ, входное сопротивление 2 МОм с параллельной емкостью не более 50 пФ;

- усилитель горизонтального отклонения обеспечивает чувствительность не менее 45 мм/В на частоте 1 кГц;
- непрерывная развертка имеет 6 диапазонов и перекрывает частоты от 20 Гц до 18 кГц;
- нелинейность развертки не превышает 10%;
- три вида синхронизации исследуемым сигналом, внешним сигналом и от сети переменного тока;
- время непрерывной работы прибора 2 часа;
- питание от сети переменного тока частотой 50 Гц напряжением 127 и 220 В;
- габариты прибора $235 \times 395 \times 475$ мм;
- масса прибора не более 14 кг.

Хотя по сравнению с осциллографом Брауна описанный школьный осциллограф кажется чудом техники, на самом деле даже в начале 60-х годов прошлого века это был простой и примитивный аппарат. Довольно скромные показатели прибора обусловлены применением в нем наиболее простых, доступных и дешевых радиоламп того времени с малой добротностью $Q = Kf_c = S/2\pi C_0$, где S — крутизна лампы (в мА/В), а C_0 — общая емкость лампы. Этот параметр определяется как произведение коэффициента усиления K каскада на его верхнюю граничную частоту f_c . В очень редких осциллографах этого класса полоса частот усилителя вертикального отклонения дотягивала до 10 МГц.

В эти годы выпускалось множество аналоговых осциллографов на электронных лампах, например ЭОЗ, ЭО4, ЭО5, ЭО6 и т. д. Одним из лучших был большой импульсный осциллограф ИО4 на тележке. Он имел два больших блока — стабилизированного питания и осциллографический. Осциллограф имел полосу усилителя вертикального отклонения 10 МГц, калиброванные развертки (как непрерывную, так и ждущую), трубку с большим экраном и хорошей фокусировкой. С помощью стрелочного прибора он позволял довольно точно измерять смещение осциллограмм, что позволяло выполнять измерения характерных уровней сигнала.

Число ламп в таких осциллографах достигало уже нескольких десятков, что вело к большим размерам этих аппаратов и их большому весу. Были образцы двухканальных и даже многоканальных осциллографов.

Тогда же было создано немало уникальных приборов, например сверхскоростные осциллографы с усилителями и ЭЛТ на линиях с бегущей волной. Эти мостодонты измерительной техники были способны отображать и измерять сигналы с частотами до нескольких ГГц. Однако такие большие, тяжелые (до 70 кг), дорогие и уникальные приборы были малодоступны большинству инженеров и даже научным работникам и применялись в основном специалистами в области скоростных измерений в атомной технике и физике быстропротекающих процессов.

2.1.2. Массовые советские транзисторные осциллографы 60-х годов

В 60-х годах 20-го века окончательно сформировался переход элементной базы осциллографов на транзисторы вместо ламп. Это было время бурного расцвета отечественной микроэлектроники, работающей на оборонные заказы и фундаментальные исследования. Для развития науки и техники тех лет требовались круп-

ные и обширные научные разработки и исследования. Осциллографы стали одними из первых востребованных для них инструментов. И они выпускались в огромном количестве, даже превосходящем потребности оборонного комплекса СССР. Часто они по многу лет хранились на складах войск в виде ЗИП и неприкосновенных запасов. В то же время реальные потребности системы образования и радиолюбительства явно не удовлетворялись — в магазинах осциллографы не продавались и поставлялись централизованно в явно недостаточных количествах.

После развала СССР и фактического разрушения науки в России распалось огромное число научных организаций. В результате множество осциллографов тех лет попало в комиссионную торговлю и стало достоянием для радиолюбителей. В наше время можно найти предложения по продаже этих надежных и умеренных по цене аппаратов со складов долговременного хранения.

Ниже в табл. 2.1 представлены характеристики отечественных осциллографов тех лет. Все приборы имеют канал Y с нулевой нижней граничной частотой и верхней граничной частотой f_v . В книгах [13, 14] можно найти довольно подробное описание схем узлов этих осциллографов. В основном они выполнялись на обычных дискретных транзисторах по вполне обычным схемам — см. главу 1, где схемные решения транзисторных осциллографов были отражены.

Таблица 2.1

*Характеристики транзисторных электронных осциллографов
60-х годов 20-го века*

Тип	Лучей/ каналов	Размер экрана, мм	f_v , МГц	t_r , нс	K_v , В/дел	Погреш- ность, %	Размер, мм	Масса, кг
C1-48	1/1	60 × 80	1	350	0,002–50	10/10	490 × 175 × 475	20
C1-68	1/2	60 × 80	1	350	0,001–50	5/5	225 × 160 × 360	10
C1-69	2/2	40 × 100	2	175	0,001–0,02	5/5	360 × 200 × 420	17
C1-45	1/1	30 × 60	5	70	0,01–30	10/10	174 × 220 × 425	8
C1-49	1/1	36 × 60	5	70	0,01–20	10/10	170 × 223 × 430	8,5
C1-73	1/1	40 × 60	5	70	0,01–30	—	200 × 80 × 250	3
C1-83	1/2	100 × 120	5	70	0,001–20	5/5	260 × 160 × 360	10
C1-67	1/1	42 × 60	10	35	0,01–20	5/5	225 × 160 × 360	10
C1-72	1/1	36 × 60	10	35	0,02–10	10/10	225 × 140 × 360	8,5
C1-77	1/2	60 × 80	10	35	0,005–10	—	225 × 160 × 360	10
C1-55	2/2	42 × 60	10	35	0,01–20	10/10	300 × 180 × 420	15
C1-93	1/2	100 × 120	15	23	0,004–10	5/5	260 × 160 × 360	10
C1-63	1/2	48 × 80	25	18	0,02–10	6/6	300 × 180 × 420	18
C1-65	1/1	48 × 80	35	10	0,005–20	5/5	300 × 180 × 420	16
C1-78	1/1	80 × 100	35	10	0,005–20	5/5	360 × 200 × 420	19
C1-64	1/2	48 × 80	50	7	0,001–10	5/5	300 × 200 × 420	19
C1-71	1/1	48 × 80	100	3,5	0,005–10	—	300 × 200 × 420	19

Тип	Лучей/ каналов	Размер экрана, мм	$f_{\text{в}}$, МГц	t_{y} , нс	K_{y} , В/дел	Погреш- ность, %	Размер, мм	Масса, кг
C1-79	1/2	48 × 80	100	3,5	0,002–5	5/5	300 × 200 × 420	10
C1-75	1/2	60 × 100	250	1,5	0,01–1	5/7	408 × 220 × 545	23
C1-52	Телев.	60 × 80	12	29	0,1–5	5/5	410 × 198 × 455	25
C9-1	Телев.	80 × 100	20	18	0,01–5	3/5	480 × 160 × 475	22
C1-81	1/1	80 × 100	20	18	0,01–5	2/5	360 × 200 × 480	18

Из приведенных данных можно сделать вывод, что уже в 60-х годах прошлого века (звучит непривычно, но не стоит забывать, что новый век только-только начался) уровень технических показателей осциллографов был достаточно высок. В частности, появились модели с полосой частот исследуемых сигналов от 100 до 250 МГц. Правда, весили такие приборы более 20 кг, были большими по размерам, а главное, очень дорогими и малодоступными.

2.1.3. Осциллографы для радиолюбителей и радиолюбительские

В бывшем СССР предпринимались определенные попытки разработки осциллографов для радиолюбителей. Целесообразность таких попыток диктовалась масштабом радиолюбительского движения. Из радиолюбителей выросли многие серьезные специалисты и научные работники. Однако дальше разработки нескольких довольно примитивных осциллографов дело не пошло — в СССР эти приборы были предметами пресловутого ширпотреба, разработка и изготовление которого обычно была за предприятиями оборонного комплекса, занятыми ответственными разработками.

Примером одной из таких разработок является осциллограф радиолюбителя Н313 производственного объединения «Краснодарский ЗИП». Это один из немногих осциллографов, который поступал в радиомагазины и был доступен (по крайней мере, в принципе) радиолюбителям. В приборе использовалась миниатюрная ЭЛТ 5ЛО2И, так что размеры экрана составляли всего 24 × 40 мм для рабочей части экрана. Естественно, считать такой прибор измерительным можно с

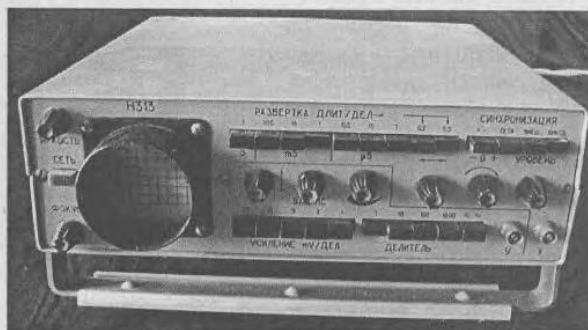


Рис. 2.2. Осциллограф для радиолюбителей Н313

большой натяжкой — погрешность измерения составляла 20% и только после калибровки прибора по внешним приборам класса 2,5% могла составлять 10%.

Усилитель канала Y этого осциллографа выполнен по довольно навороченной схеме — в нем истоковый повторитель на полевом транзисторе, два операционных усилителя и 8 биполярных транзисторов. Естественно, что верхняя граничная частота такого «агрегата» всего 1 МГц при неравномерности АЧХ 20%. Развертка прибора имеет 21 фиксированную скорость от 0,2 мкс/дел до 1 с/дел. Таким образом, можно было просматривать импульсы с длительностью от 1 мкс до 1 с. Осцилоскоп Брауна это «чудо» техники, конечно, многократно превосходит, но до требований к серьезному массовому осциллографу явно не дотягивает. Кстати, хотя прибор и имеет малые габариты 245 × 70 × 278 мм (с кирпич), весит он немало — 3,2 кг.

Более современный, но тоже уже устаревший, хотя и продаваемый и поныне, сервисный осциллограф C1-94 уже вполне удовлетворяет требованиям к такого рода приборам. Рабочая область экрана 40 × 60 мм. Он имеет полосу канала Y 0—10 МГц и время нарастания не более 35 нс (время установления переходной характеристики 120 нс). Входное сопротивление прибора 1 Мом параллельно с емкостью 40 пФ. Чувствительность прибора от 10 мВ/дел до 5 В/дел. Длительность развертки (ждушей и автоколебательной) от 0,1 мкс/дел до 50 мс/дел (18 позиций). Погрешность измерения 5%.

В наше время выпускается модификация этого аппарата C1-94/3 (рис. 2.3). Прибор имеет полосу пропускания 15 МГц, а с корректирующим делителем напряжения 1:10 даже до 30 МГц при времени нарастания соответственно 28 и 12 нс. Входной импеданс усилителя Y 1 Мом параллельно с емкостью 30 пФ, максимальное входное напряжение 30 В (с делителем до 300 В). Чувствительность прибора по вертикали от 5 мВ/дел до 5 В/дел, диапазон разверток (автоколебательной и ждушей) от 0,2 мкс/дел до 50 мс/дел. Погрешность измерения напряжения и длительности не более 5%. Размеры рабочей области экрана 60 × 40 мм, габариты 100 × 90 × 280, масса 3,2 кг.

К сожалению, даже такие приборы для большинства радиолюбителей достаточно дороги. Поэтому многие собирают осциллографы самостоятельно.

С возможностями транзисторов в построении радиолюбительских осциллографов можно познакомиться по описанной в Интернете конструкции самого простого осциллографа, содержащего всего три транзистора. Вот как дано его описание (схема приведена на рис. 2.4): «Используя транзисторы в так называемом лавинном режиме («Радио», № 9, 1972 г.), можно сделать простой осциллограф для наблюдения за низкочастотными процессами в диапазоне от 30 Гц до 20 кГц.

Осциллограф выполнен всего на трех транзисторах. Первый каскад — усилитель вертикального отклонения на транзисторе П26А—П26Б. Второй каскад — генератор развертки на транзисторе П416А или



Рис. 2.3. Миниатюрный сервисный осциллограф C1-94/3

П416Б. И третий каскад — усилитель генератора развертки, где можно применить транзисторы с напряжением $U_{кэмах} = 70 - 100\text{В}$ (П26Б). Осциллографическая трубка типа 5ЛО38 или ЛО247.

Резистором R1 регулируют амплитуду входного напряжения. Переключателем S1 устанавливают грубо частоту развертки, а плавно — потенциометром R10. Амплитуду синхронизации выставляют потенциометром R6. Вертикальное и горизонтальное смещение выставляют соответственно потенциометрами R9 и R12. Яркость — R21, фокусировка — R22. Мощность трансформатора питания около 8 Вт.

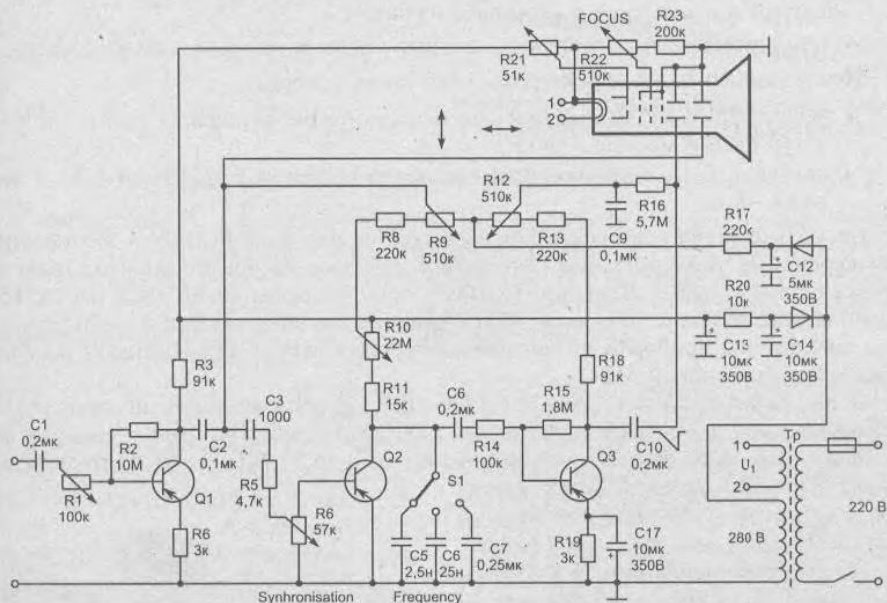


Рис. 2.4. Схема электронного осциллографа на трех транзисторах

Упомянутая в описании статья в журнале «Радио» была одной из первых публикаций автора этой книги по лавинному режиму работы биполярных транзисторов. Более полное описание этого удивительного режима работы дано в книге [16]. Объективности ради стоит отметить, что будь осциллограф рис. 2.4 построен на более современной элементной базе, например на мощных полевых транзисторах [15], он мог бы иметь вполне серьезные характеристики. Но в целом это курьезная конструкция и не имеет перспектив стать серийным прибором.

2.2. Современные сервисные аналоговые осциллографы

2.2.1. Сервисные осциллографы серий ОСУ и МРС

В наше время простые и вполне современные транзисторные осциллографы часто именуют *сервисными*, поскольку такие приборы широко используются в радио- и телевизионных мастерских, на рабочих местах предприятий, где осуществ-

ляется осциллографический контроль различных изделий, в учебных лабораториях и в радиолюбительской практике. Несмотря на разработку новейших цифровых осциллографов, потребность в простых сервисных осциллографах остается большой в силу целого ряда причин:

- аналоговые осциллографы намного дешевле цифровых;
- с ними проще работать;
- работа в реальном времени исключает искажения, принципиально присущие цифровым приборам и связанные с квантованием сигналов, пропуски сигналов и задержки в их выдаче на экран;
- ремонт аналоговых приборов намного проще и дешевле, чем цифровых.

Можно выделить два характерных типа таких приборов:

- малогабаритные одноканальные осциллографы с полосой частот от 0 до 5—10 МГц и массой 2—3 кг;
- двухканальные осциллографы с полосой частот от 0 до 10—30 МГц и массой 6—8 кг.

Несколько таких осциллографов выпускается под маркой ОСУ — осциллографы сервисные универсальные. Это самые дешевые из представленных ныне на рынке осциллографов. Впрочем, называть осциллографы серии ОСУ отечественными можно только с натяжкой — эти приборы по конструкции и характеристикам аналогичны приборам китайской корпорации MPC Corp. (Шанхай) и иногда продаются под маркой MPC.

Осциллограф ОСУ10А (рис. 2.5) и ОСУ10В (в горизонтальном исполнении) — самый простой и дешевый (цена около 5000 руб.) прибор из этой серии. Это одноканальный осциллограф с полосой частот от 0 до 10 МГц и чувствительностью по оси Y от 5 мВ/дел до 5 В/дел, диапазон разверток (автоколебательной и ждущей) от 0,1 мкс/дел до 100 мс/дел. Входной импеданс усилителя Y 1 МОм параллельно с емкостью 30 пФ, максимальное входное напряжение 400 В. Погрешность измерения напряжения и длительности не более 3%. Размеры рабочей области экрана 60 × 50 мм, габариты 220 × 90 × 270, масса 3 кг.

ОСУ20 простой и дешевый (цена около 10000 руб.) двухканальный осциллограф (рис. 2.6). Он имеет полосу частот от 0 до 20 МГц и чувствительность по оси Y от 5 мВ/дел до 20 В/дел, диапазон разверток (автоколебательной и ждущей) от 0,2 мкс/дел до 0,2 с/дел с возможностью растяжки в 10 раз. Входной импеданс усилителя Y 1 МОм параллельно с емкостью 30 пФ, максимальное входное напряжение 400 В (с делителем 1:19). Режимы отображения: канал 1, канал 2, изменение полярно-



Рис. 2.5. Одноканальный сервисный универсальный осциллограф ОСУ10А

сти в канале 2, суммирование сигналов каналов 1 и 2, поочередная коммутация каналов 1 и 2. Погрешность измерения напряжения и длительности не более 3%. Размеры рабочей области экрана 100×80 мм, габариты $316 \times 132 \times 410$, масса 7,8 кг. Прибор имеет входы каналов X и Z, что позволяет выполнять различные специальные осциллографические измерения, например, контролировать частоты по фигурам Лиссажу или наблюдать вольт-амперные характеристики нелинейных приборов.

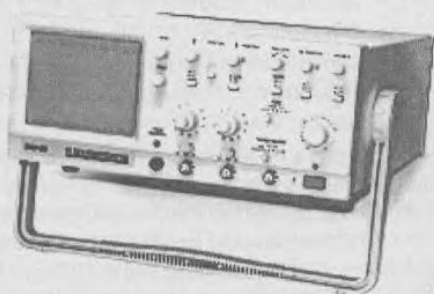


Рис. 2.6. Двухканальный сервисный универсальный осциллограф ОСУ20

2.2.2. Отечественные сервисные осциллографы

К отечественным сервисным осциллографам относится портативный осциллограф С1-118. Он выполнен в пластмассовом корпусе и имеет габариты: $336 \times 212 \times 133$, размер экрана 60×80 , массу 4,5 кг. С1-118 один из немногих портативных осциллографов, имеющий 2 канала, полосу пропускания 20 МГц и развертку с возможностью синхронизации телевизионным сигналом.

Современный сервисный осциллограф С1-159 (рис. 2.7) это простой в обращении малогабаритный осциллограф. Он может быть рекомендован специалистам по ремонту бытовой аудиовидеотехники, радиолюбителям, а также для применения в качестве учебного пособия в средних школах и профессионально-технических учебных заведениях для обучения работе с осциллографом. Этот прибор, как последующие приборы, описанные в этом разделе, выпускается Минским приборостроительным заводом (www.belvar.com).

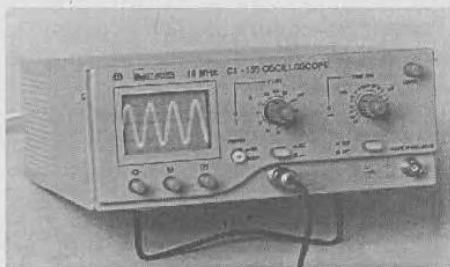


Рис. 2.7. Сервисный универсальный осциллограф С1-159

Технические характеристики С1-159:

- количество каналов: 1;
- полоса пропускания: 10 МГц;
- диапазон частот синхронизации: до 15 МГц;
- время нарастания: 35 нс;
- коэффициенты отклонения: 2 мВ/дел...10 В/дел;
- входной импеданс: 1 МОм/30пФ;
- макс. входное напряжение: 250;
- коэффициенты развертки: 20 нс/дел...0,02 с/дел;
- погрешность измерения сигнала и времени: $\pm 5\%$;
- источники синхронизации: внутренний, внешний;
- экран 60×40 мм (10×6 дел);

- диапазон рабочих температур: $+5 \dots +35^\circ\text{C}$;
- питание: $220\text{ В} \pm 10\%$, 50 Гц;
- потребляемая мощность: $25\text{ В} \cdot \text{А}$;
- габаритные размеры: $350 \times 260 \times 110\text{ мм}$;
- масса: 4 кг.

Семейство сервисных осциллографов серии С1-137 (рис. 2.8) разработано для специалистов по ремонту и обслуживанию радиоэлектронной аппаратуры, устройств автоматики, средств связи, а также для радиолюбителей. Наличие режима синхронизации ТВ-сигналом (раздельно по строкам и полю) обеспечивает стабильное отображение формы видеосигналов с телевизора или видеомэгагнитофона. Выбор определенной модели осциллографа позволяет решать разнообразные измерительные задачи наиболее оптимальным образом.

Двухканальный осциллограф С1-137 с полосой пропускания 25 МГц является базовой моделью этой серии и отличается компактной конструкцией, небольшой массой и простотой управления. Высокая чувствительность прибора (до 2 мВ/дел) позволяет производить обнаружение помех, шума, наложения и искажения на малых амплитудах исследуемого сигнала.

Модель С1-137/1 может быть использована в качестве базы для создания небольшой измерительной лаборатории радиомастера. Этот комбинированный прибор, объединяющий в одном корпусе двухканальный осциллограф и 3,5-разрядный цифровой мультиметр с индикацией показаний на ЖК-индикаторе, обеспечивает независимые одновременные измерения.

Серия сервисных осциллографов С1-160, С1-160/1 (рис. 2.9) предназначена для визуального наблюдения электрических сигналов в полосе частот от 10 Гц до 30 МГц и измерения электрических сигналов в реальном масштабе времени в диапазоне напряжений от 4 мВ до 40 В и длительностью от 40 нс до 1 с в полосе частот от 10 Гц до 25 МГц для С1-160 и в полосе частот от 10 Гц до 20 МГц для С1-160/1.

Осциллограф С1-160, кроме того, может использоваться для наблюдения параметров двухполюсников и трехполюсников при помощи встроенного тестера компонентов. Высокая чувствительность приборов позволяет производить обнаружение помех, шума и искажений на малых амплитудах исследуемого сигнала. Наличие режима синхронизации ТВ-сигнала (по строкам и кадрам) обеспечивает стабильное отображение формы видеосигнала.

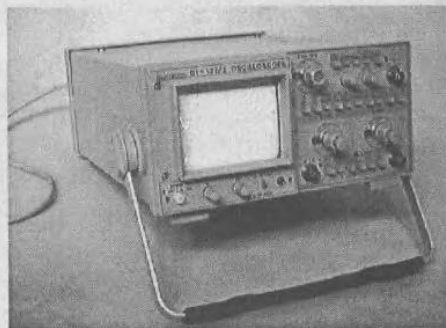


Рис. 2.8. Сервисный универсальный осциллограф С1-137

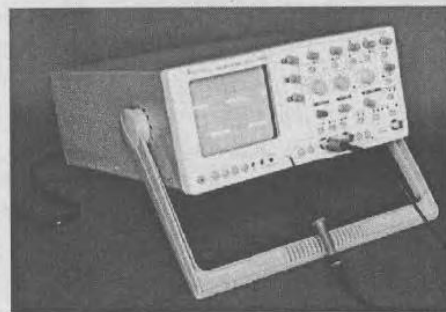


Рис. 2.9. Сервисный универсальный осциллограф С1-160

Технические характеристики этих приборов серии С1-160:

- полоса пропускания, МГц: 25 (для С1-160) и 20 (для С1-160/1);
- диапазон частот синхронизации и полоса частот наблюдаемого сигнала: до 30 МГц;
- количество каналов: 2;
- диапазон коэффициентов отклонения от 1 мВ/дел до 5 В/дел;
- пределы допускаемой основной относительной погрешности коэффициентов отклонения, % — $\pm 4,0$ — для положений 1 мВ/дел и $\pm 5,0$ для 2 мВ/дел;
- параметры переходной характеристики (не более) время нарастания, нс: 14 (для С1-160), 17,5 (для С1-160/1), время установления — 75 нс, выброс 9% — неравномерность не более 3%, неравномерность на участке установления 9% и 15% — для 5 В/дел;
- входное активное сопротивление: $1 \pm 0,03$ Мом; входная емкость не более 30 пФ;
- диапазон коэффициентов развертки: от 100 нс/дел до 0,1 с/дел;
- пределы допускаемой основной относительной погрешности коэффициентов развертки: $\pm 4,0\%$ без растяжки и $\pm 6,0\%$ с растяжкой;
- пределы допускаемой основной относительной погрешности измерения временных интервалов для коэффициента развертки 0,1 мкс/дел $\pm 5,0\%$ без растяжки и $\pm 6,0\%$ с растяжкой;
- пределы допускаемой основной относительной погрешности измерения амплитуды и частоты следования импульсов калибратора: $\pm 1,0\%$;
- диапазон наблюдения вольт-амперных характеристик в режиме тестера компонентов (для С1-160): по напряжению (ось X) ± 12 В; по току (ось Y) — ± 12 В;
- потребляемая мощность: не более 65 В · А;
- средняя наработка на отказ: не менее 8000 ч;
- габаритные размеры: 410 × 310 × 145 мм;
- размеры экрана: 100 × 80 мм;
- масса: 7,5 кг;
- рабочие условия применения: температура +5...+40 °С, влажность 80% при 25 °С, атмосферное давление от 70 до 106 кПа или от 537 до 800 мм рт. ст.;
- напряжение питающей сети 220 В, частота 50 $\pm$ 1 Гц.

2.3. Современные отечественные универсальные осциллографы

2.3.1. Отечественные универсальные осциллографы

Современные универсальные осциллографы отличаются от сервисных в основном более широкой полосой частот (50 МГц и выше) и более современной элементной базой, позволившей улучшить параметры приборов. Это открывает возможности широкого применения таких приборов в научных исследованиях и разработках, а также в качестве инструментального средства наладки сложных технических изделий в промышленности. Обширная номенклатура этих приборов выпускается Минским приборостроительным заводом. Эти приборы могут испо-

льзоваться в научных исследованиях и в конструкторских организациях, занятых разработкой самой различной аппаратуры.

Осциллограф универсальный С1-126 (рис. 2.10) предназначен для исследования и измерения параметров однократных и периодических электрических сигналов в полосе частот (0—100) МГц путем визуального наблюдения изображения формы на ЭЛТ. Применяется для наладки, испытаний и ремонта электронной аппаратуры в лабораторных, цеховых и полевых условиях. Может быть использован для научных и экспериментальных исследований в жестких условиях эксплуатации.

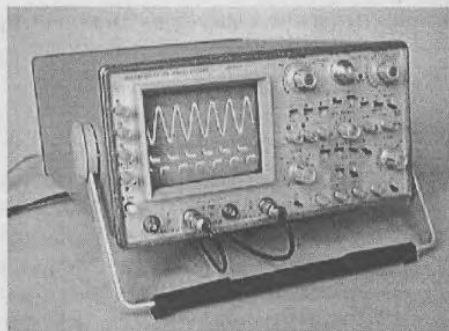


Рис. 2.10. Универсальный 4-канальный осциллограф С1-126

Имеет четыре канала тракта вертикального отклонения, которые могут работать в режиме поочередного, прерывистого и автономного режима коммутации. Сигналы в разных каналах и в разной последовательности могут суммироваться или вычитаться с последующим воспроизведением результата на экране ЭЛТ. Два канала являются основными, два других — дополнительными, предназначенными в основном для исследования сигналов цифровых устройств.

Осциллограф имеет две развертки: основную и задержанную. Основная развертка может работать в режиме однократного запуска. Задержанная развертка позволяет детально исследовать интересующий участок осциллограммы, а также повышает точность измерения временных параметров импульсных сигналов.

Технические характеристики С1-126:

- количество каналов: $2 + 2$;
- режимы отображения: канал А, канал В, изменение полярности сигнала в канале В, канал С, канал D, суммирование сигналов в каналах А + D, поочередная или прерывистая коммутация каналов А, В, С, D;
- полоса пропускания: 100 МГц;
- время нарастания: 3,5 нс;
- коэффициенты отклонения по вертикали 5 мВ/дел — 5 В/дел (А и D), 0,1 В/дел — 0,5 В/дел (В и С) и 1 мВ/дел — 1 В/дел в режиме $\times 5$ (А);
- погрешность измерения напряжения: $\pm 3\%$ (А и D), $\pm 10\%$ (В и С);
- входной импеданс: 1 Мом/25 пФ;
- максимальное входное напряжение: 100 В (эффективное значение), 300 В (с делителем 1:10);
- коэффициенты разверток: основной — 20 нс/дел — 0,2 с/дел (с умножением на 10), задержанной — 20 нс/дел — 20 мс/дел (с удвоением на 10);
- погрешность разверток: основной $\pm 3\%$, задержанной $\pm 3\%$;
- режимы развертки: автоколебательный, ждущий и однократный;
- источники синхронизации: канал А, канал В, канал С, канал D, от сети;
- внутренняя синхронизация: от каналов А и D в диапазоне частот 10 Гц...50 МГц и 10 Гц...100 МГц для каналов В и С, внешняя синхронизация до 100 МГц;

- полоса частот в режиме X — Y: 20 Гц...5 МГц (3 дБ);
- калибратор: меандр (1 кГц, 0,6 В);
- экран: 100 × 80 мм (10 × 8 дел);
- ускоряющее напряжение: 15 кВ;
- рабочий диапазон температур: $-30 \text{ — } +50 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
- питание: $220 \text{ В} \pm 10\%$, 50—60 Гц; 115/220 В $\pm 5\%$, 400 Гц;
- потребляемая мощность: 100 В · А;
- габаритные размеры: 432 × 338 × 171 мм;
- масса: 8,5 кг.

Удобство и прочность конструкции, высокая временная и температурная стабильность характеризуют портативный осциллограф С1-127 (рис. 2.11). В нем есть возможность работы дополнительно от источника постоянного напряжения 27 В (например, от аккумулятора), что позволяет применять прибор не только в стационарных, но и в походных условиях. Для этого в осциллографе имеется специальный преобразователь постоянного напряжения.

Осциллограф имеет два канала тракта вертикального отклонения, которые могут работать в следующих режимах: наблюдение сигналов в канале А; наблюдение сигналов в канале Б; алгебраическое суммирование сигналов каналов А и Б; изменение полярности сигналов в канале Б. Благодаря широкому применению микросборок частного применения, а также импульсного блока питания достигнуто значительное снижение веса, габаритных размеров, потребляемой мощности прибора. Все это существенно облегчает обслуживание и диагностику неисправностей оборудования на труднодоступных объектах и при движении на различных транспортных средствах. Наличие режимов X—Y, яркостной модуляции (Z-вход), расширенный диапазон частот синхронизации предоставляют дополнительные функциональные возможности для отображения исследуемых сигналов.

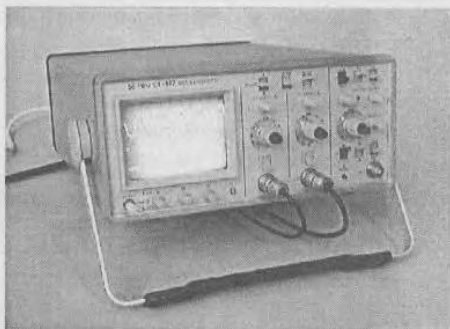


Рис. 2.11. Универсальный портативный осциллограф С1-27 для работы в стационарных и походных условиях

Технические характеристики С1-127:

- количество каналов: 2;
- режимы отображения: канал А, канал В; изменение полярности в канале В; суммирование сигналов каналов А и В; поочередная или прерывистая коммутация каналов А и В;
- полоса пропускания: 50 МГц;
- диапазон частот синхронизации: до 75 МГц;
- время нарастания: 7 нс (5 мВ/дел...5 В/дел), 35 нс (1 мВ/дел...2 мВ/дел);
- коэффициенты отклонения по вертикали: 1 мВ/дел...5 В/дел;
- погрешность измерения напряжения: $\pm 3\%$ (5 мВ/дел...5 В/дел), $\pm 4\%$ (1 мВ/дел...2 мВ/дел);
- входной импеданс: 1 Мом/25 пФ;

- макс. входное напряжение: 100 В (эффективное значение), 300 В (с делителем 1:10);
- коэффициенты развертки: 50 нс/дел...0,2 с/дел (с умножением на 10);
- погрешность измерения времени: $\pm 3\%$ и $\pm 4\%$ (в режиме умножения на 10);
- режимы развертки: автоколебательный, ждущий, однократный;
- источники синхронизации: канал А, канал В, внешний, от сети;
- внутренняя синхронизация: на частотах 10 Гц...75 МГц;
- внешняя синхронизация: на частотах 10 Гц...75 МГц;
- режим X — Y: полоса частот 20 Гц...3 МГц, коэффициент отклонения 2 В/дел;
- калибратор: меандр (1 кГц, 0,6 В);
- размер экрана: 80 × 60 мм (10 × 8 дел), ускоряющее напряжение 8 кВ;
- питание: 220 В $\pm 10\%$, 50 Гц; 115/220 В $\pm 5\%$, 400 Гц; 27 В $\pm 10\%$ (C1-127);
- диапазон рабочих температур: -30 — +50 °С (для C1-127); +5 — +40 °С (для C1-127/1);
- потребляемая мощность: сеть 220 В, 50 В · А; от источника постоянного тока 27 В, 30 Вт;
- габаритные размеры: 405 × 295 × 130 мм;
- масса: 5,5 кг.

Осциллограф универсальный C1-147 (рис. 2.12) обеспечивает визуальное наблюдение и измерение амплитудных и временных параметров электрических сигналов по шкале экрана электронно-лучевой трубки. Переключаемый ВЧ/НЧ-фильтр сигнала синхронизации предоставляет возможность получить устойчивое изображение сигнала при наличии помех. Наличие режима X—Y позволяет исследовать функциональную зависимость между двумя сигналами.

Технические характеристики C1-147:

- количество каналов: 2;
- режимы отображения: канал 1, канал 2, изменение полярности в канале 2, суммирование сигналов каналов 1 и 2, поочередная коммутация каналов 1 и 2;
- полоса пропускания: 70 МГц;
- диапазон частот синхронизации: до 100 МГц;
- время нарастания: 4,6 нс (на пределах 5 мВ/дел — 5 В/дел); 35 нс (на пределах 1 мВ/дел — 2 мВ/дел);
- коэффициенты отклонения по вертикали: 1 мВ/дел...5 В/дел;
- погрешность измерения напряжения: $\pm 3\%$ (5 мВ/дел...5 В/дел), $\pm 4\%$ (1 мВ/дел...2 В/дел);
- входной импеданс: 1 МОм/25 пФ;
- максимальное входное напряжение: 100 В (эффективное значение), 300 В (с делителем 1:10);



Рис. 2.12. Универсальный осциллограф C1-147 (70 МГц)

- коэффициенты развертки: 50 нс/дел...0,2 с/дел (с возможностью умножения на 10);
- погрешность измерения времени: $\pm 3\%$, $\pm 4\%$ (в режиме умножения на 10);
- режимы развертки: автоколебательный, ждущий, однократный;
- источники синхронизации: канал 1, канал 2, внешний, от сети;
- диапазон частот внутренней синхронизации: 10 Гц...100 МГц;
- диапазон частот внешней синхронизации: 10 Гц...70 МГц;
- в режиме X—Y: полоса пропускания 20 Гц — 3 МГц, коэффициенты отклонения 2 В/дел;
- калибратор: меандр (1 кГц, 0,6 В);
- размеры экрана: 80 × 60 мм (10 × 8 дел);
- ускоряющее напряжение ЭЛТ: 8 кВ;
- диапазон рабочих температур: 5—40 °С
- питание: сеть 220 В $\pm$ 10%, 50 Гц;
- потребляемая мощность: 50 В · А;
- габаритные размеры: 410 × 300 × 130 мм;
- масса: 5,5 кг.

Осциллограф С1-157 (рис. 2.13) является универсальным портативным прибором и предназначен для исследования электрических сигналов в полосе частот от 0 до 100 МГц, измерения их амплитудных и временных параметров по шкале экрана ЭЛТ. В прибор встроен тестер радиокомпонентов, с помощью которого можно проводить анализ характеристик полупроводниковых приборов.

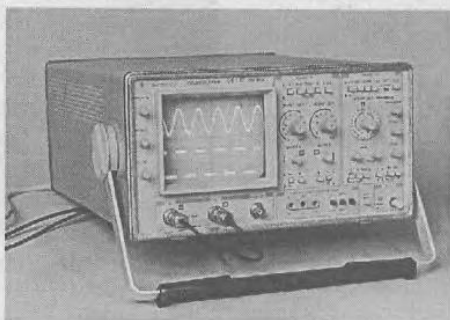


Рис. 2.13. Универсальный осциллограф С1-157 (100 МГц)

Технические характеристики С1-157:

- количество каналов: 2;
- режимы отображения: канал 1, канал 2, изменение полярности в канале 2, суммирование сигналов каналов 1 и 2, поочередная коммутация каналов 1 и 2;
- полоса пропускания: 0—100 МГц;
- время нарастания: 3,5 нс;
- коэффициенты отклонения по вертикали: 5 мВ/дел...5 В/дел;
- погрешность измерения напряжения: $\pm 3\%$;
- входной импеданс: 1 МОм/25 пФ;

- максимальное входное напряжение: 100 В (эффективное значение), 300 В (с делителем 1:10);
- коэффициенты развертки: 20 нс/дел...0,2 с/дел;
- погрешность измерения времени: $\pm 3\%$;
- режимы развертки: автоколебательный, ждущий, однократный;
- частоты внутренней синхронизации: 10 Гц...30 МГц, 10 Гц...100 МГц;
- частоты внешней синхронизации: до 100 МГц;
- режим X—Y: полоса пропускания 20 Гц — 3 МГц (3 дБ);
- калибратор: меандр (1 кГц, 0,6 В);
- размеры экрана: 100 × 80 мм (10 × 8 дел);
- ускоряющее напряжение: 8 кВ;
- диапазон рабочих температур: 5—40 °С;
- питание: сеть переменного тока 220 В $\pm 10\%$, 50 Гц;
- потребляемая мощность: 75 В · А;
- габаритные размеры: 395 × 338 × 169 мм;
- масса: 8 кг.

Универсальные осциллографы С1-164 (рис. 2.14) предназначены для исследования в двух каналах периодических электрических сигналов путем измерения в полосе частот от 10 Гц до 150 МГц их амплитудных параметров в диапазоне от 20 мВ до 40 В (с делителем 1:10 — до 250 В), временных параметров в диапазоне от 8 нс до 20 с по шкале экрана электронно-лучевой трубки (ЭЛТ) и с помощью маркеров, визуального наблюдения в полосе частот от 10 Гц до 200 МГц на экране ЭЛТ, а также для измерения параметров двух- и трехполюсников при помощи встроенного тестера компонентов.

В осциллографе применен современный PIC-контроллер, что позволило организовать электронное управление режимами работы и, с помощью маркеров, измерять амплитудные, временные и частотные параметры сигналов. Отличительной особенностью осциллографа является применение импортной ЭЛТ с повышенной яркостью и малыми геометрическими искажениями.

Область применения: ремонт, наладка, эксплуатация различных электронных приборов и узлов автоматики, вычислительной техники и связи.

Технические характеристики С1-164:

- полоса частот измеряемых сигналов: 150 МГц;
- диапазон частот синхронизации: до 200 МГц;
- диапазон коэффициентов отклонения по вертикали: от 5 мВ/дел до 5 В/дел;
- погрешность коэффициентов отклонения и цифрового измерения разности напряжений между курсорами: 3%, при работе с внешним делителем 1:10 $\pm 4\%$;

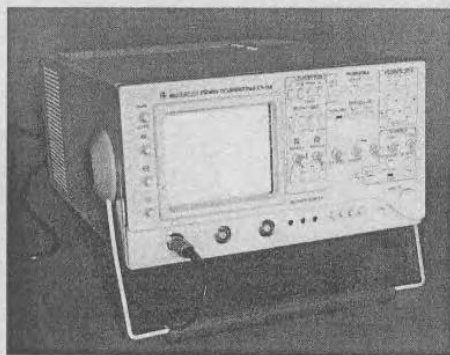


Рис. 2.14. Универсальный осциллограф С1-164 (150 МГц)

- время нарастания переходной характеристики: 2,3 нс (2,5 нс с делителем 1:10);
- выброс переходной характеристики: 9% (10% — с делителем 1:10);
- время установления переходной характеристики: 18 нс;
- неравномерность переходной характеристики: 3%;
- неравномерность переходной характеристики на участке установления: 9%;
- диапазон коэффициентов развертки: от 20 нс/дел до 0,2 с/дел;
- пределы допускаемой основной относительной погрешности коэффициентов развертки и измерения временных интервалов между курсорами для коэффициентов развертки от 0,1 мкс/дел до 0,2 с/дел: $\pm 3\%$ без растяжки и $\pm 4\%$ — с растяжкой;
- в режиме X—Y: полоса пропускания 20 Гц — 2 МГц;
- рабочая часть экрана ЭЛТ: 100 × 80 мм;
- масса осциллографа: не более 8 кг;
- масса осциллографа в потребительской таре: не более 12 кг;
- габаритные размеры осциллографа: не более 415 × 405 × 170 мм;
- потребляемая мощность: не более 90 В · А
- средняя наработка на отказ: не менее 8000 ч;
- диапазон наблюдения вольт-амперных характеристик: по напряжению (ось X) — ± 12 В; по току (ось Y) — ± 12 В;
- рабочие условия применения: температура +5...+40 °С, влажность 90% при 25 °С.

Уровень белорусских осциллографов вполне соответствует среднему мировому уровню таких приборов. В этом нетрудно убедиться из описания наиболее массовых зарубежных моделей современных аналоговых осциллографов. Но по массогабаритным показателям и внешнему виду наши приборы проигрывают лучшим образцам осциллографов зарубежных фирм.

2.3.2. Современные универсальные осциллографы фирмы Good Will

На российском рынке измерительной аппаратуры широко представлены универсальные аналоговые осциллографы серии GOS компании Good Will (Instek). Их параметры и даже конструкция близки к параметрам и конструкции описанных выше осциллографов. В связи с этим рассмотрим приборы этой серии обзорно. Подробно с ними можно ознакомиться на сайте фирмы «Прист» www.prist.ru, продающей эти приборы на российском рынке.

Наиболее простыми в серии являются сервисные осциллографы GOS-305 с полосой частот 5 МГц и GOS-310 (рис. 2.15) с полосой 10 МГц. Приборы внешне почти идентичны. Осциллограф GOS-310 имеет дополнительно синхронизацию телевизионным сигналом. Приборы имеют режим X—Y, хороший дизайн и высокое значение отношения качество/цена.

Приборы GOS-620/620FG — это 20-мегагерцевые двухканальные осциллографы с высокой чувствительностью в канале Y — 1 мВ/дел. Приборы имеют синхронизацию телевизионным сигналом, вход Z и выход канала CH1. Модель GOS620FG (рис. 2.16) имеет встроенный функциональный генератор, генерирующий синусоидальный, прямоугольный и треугольный сигналы с частотами от 0,1 Гц до 1 МГц и полной амплитудой до 14 В при выходном сопротивлении 50 Ом. Входной импеданс приборов 1 МОм параллельно с емкостью 25 пФ. Размеры прибора 310 × 150 × 455 мм, масса 8,5 кг.

Технические характеристики осциллографов GOS620/620FG представлены в таблице, показанной на рис. 2.17. Более новая серия приборов GOS-622G и GOS-626G имеет экранную графику и курсорные измерения.

Двухканальные осциллографы GOS-635G (рис. 2.18) имеют полосу частот вертикального отклонения от — до 35 МГц, максимальную чувствительность 1 мВ/дел, синхронизацию телевизионным сигналом, вход канала Z, выход канала CH1, ряд дополнительных функций развертки.

Технические характеристики осциллографов серии GOS-6XX представлены в таблице (рис. 2.19). Помимо осциллографов GOS-635G в ней представлены данные по родственным моделям GOS-652G/653G/658G.

Новая серия четырехканальных двухлучевых осциллографов GOS-6000 содержит 30-мегагерцевые приборы GOS-6030/6031 и 50-мегагерцевые приборы GOS-6050/6051. Чувствительность приборов по вертикали от 1 мВ/дел до 20 В/дел. Приборы GOS-6031/6051 имеют расширенные возможности: курсорные измерения, 6-разрядный цифровой измеритель частоты, 10 установок памяти для записи осциллограмм. У всех приборов есть синхронизация телевизионным сигналом, выход канала CH1, вход канала Z, звуковая и ЖКИ-индикация. Размеры приборов 275 × 130 × 370 мм. На рис. 2.20 показан внешний вид осциллографов GOS-6030/6050. Пустое место на передней панели занято дополнительными органами управления приборов GOS-6031/6051.

Серия GOS-6112/6103/6103C — 100-мегагерцевые двухканальные осциллографы (рис. 2.21). В модель GOS-6103C встроен 6-разрядный частотомер. В GOS-6103/GOS-6103C предусмотрено 10 установок памяти. В приборах GOS-6103/GOS-6103C предусмотрена автоматическая установка оптимальной длительности развертки. У всех приборов имеются 7 режимов курсорных измерений, панель цифровых контрольных функций, светодиодные и звуковые индикаторы, телевизионная синхронизация, выход триггера, вход канала Z.

Наиболее широкополосными являются 200-мегагерцевые двухканальные осциллографы GOS-6200 (рис. 2.22) со встроенным цифровым 6-разрядным циф-

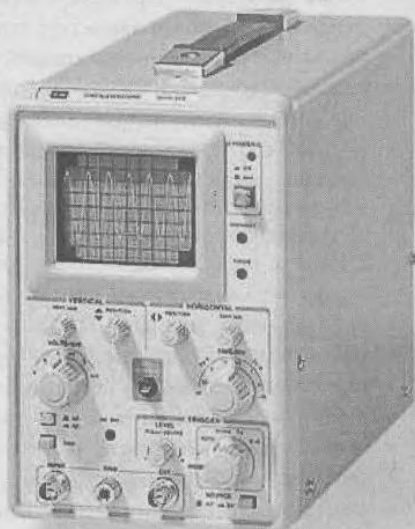


Рис. 2.15. Универсальный малогабаритный осциллограф GOS-310

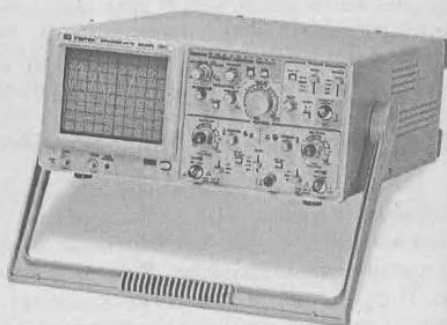


Рис. 2.16. Универсальный осциллограф GOS-620GF с встроенным функциональным генератором

Характеристики	Параметры	Значения
Канал вертикального отклонения	Полоса пропускания (-3 дБ)	0...20 МГц (0...7 МГц при усилении '5)
	Кэф. отклонения ($K_{откл.}$)	5 мВ/дел...5 В/дел (шаг 1-2-5), усиление '5
	Погрешность установки $K_{откл.}$	$\pm 3\%$ ($\pm 5\%$ при усилении '5)
	Регулировка $K_{откл.}$	Плавное перекрытие в 2,5 раза
	Макс. входное напряжение	300 В (DC+AC пик, до 1 кГц)
Канал горизонтального отклонения	Выход канала 1	20 мВ/дел на 50 Ом
	Кэф. развертки ($K_{разв.}$)	0,2 мкс/дел...0,5 с/дел (шаг 1-2-5), растяжка '10
	Погрешность установки $K_{разв.}$	$\pm 3\%$ ($\pm 5\%$ при растяжке '10)
	Регулировка $K_{разв.}$	Плавное перекрытие в 2,5 раза
	Режимы запуска развертки	Автоколебательный, ждущий, ТВ
Функциональный генератор (GOS-620FG)	Частотный диапазон	0,1 Гц...1 МГц (7 п/диапазонов, плавной регулировка)
	Форма выходного сигнала	Синус, прямоугольный, треугольный
	Выходной уровень	До 14 В пик-пик, плавная регулировка
	Постоянное смещение	± 6 В
	Коэффициент гармоник	$< 2\%$ (10 Гц...100 кГц)
	Время нарастания/спада	< 120 нс на 50 Ом
	Асимметрия импульсов	$\pm 2\%$ (на 1 кГц)
Дополнительные возможности	Выходное сопротивление	50 Ом
	Синхронизация	Автовывбор синхросигнала
	X-Y вход	Развертка внешним сигналом
	Z-вход	Модуляция яркости луча
Общие данные	ЭЛТ	8 x 10 деп (1 деп = 10 мм); 2 кВ
	Напряжение питания	115/230 В ($\pm 15\%$), 50/60 Гц
	Габаритные размеры	310'150'455 мм
	Масса	8,0 кг

Рис. 2.17. Технические характеристики осциллографов GOS620/620FG



Рис. 2.18. Универсальный осциллограф GOS-635G (35 МГц)

ровым измерителем. Особенность осциллографов — возможность выделения из телевизионного сигнала различных систем (NTSC, PAL, SECAM) отдельных телевизионных строк. Есть 10 установок памяти, 7 видов курсорных измерений, панель установок цифрового мультиметра, звуковая и светодиодная индикация, выход триггера развертки, вход канала яркости Z.

Характеристики	Параметры	Значения
Канал вертикального отклонения	Полоса пропускания (-3 дБ)	GOS-622G/626G: 0...20 МГц (10 МГц - 1; 2 мВ/дел) GOS-635G: 0...35 МГц (10 МГц - 1; 2 мВ/дел) GOS-652G/653G/658G: 0...50 МГц (15 МГц - 1; 2 мВ/дел)
	Коеф. отклонения ($K_{откл.}$)	1 мВ/дел...5 В/дел (шаг 1-2-5)
	Погрешность установки $K_{откл.}$	$\pm 3\%$ ($\pm 5\%$ при 1 мВ/дел...2 мВ/дел)
	Регулировка $K_{откл.}$	Плавное перекрытие в 2,5 раза
	Задержка изображения (GOS-658G)	Возможно наблюдение переднего фронта
Канал горизонтального отклонения	Макс. входное напряжение	400 В (DC+AC пик, до 1 кГц)
	Выход канала I	50; 100 мВ/дел на 50 Ом
	Коеф. развертки А (основная)	0,1 мкс/дел...9,5 с/дел (шаг 1-2-5), растяжка '10
	Коеф. развертки В (задержанная) (GOS-653G/658G)	0,1 мкс/дел...0,5 мс/дел (шаг 1-2-5), растяжка '10
	Погрешность установки $K_{раз.}$	$\pm 3\%$ ($\pm 5,8\%$ при растяжке '10)
Курсорные измерения (GOS-626G/658G)	Регулировка $K_{раз.}$	Плавное перекрытие в 2,5 раза
	Задержка запуска развертки В	1 мкс...5 мс, плавная регулировка
	Режимы запуска развертки	Однократный (GOS-626G/652G/653G/658G), автоколебательный, ждущий, ТВ
	Режимы работы разверток	А, А подсвеченная В, В
	Функции	DV, DV%, DVdB, DT, 1/DT, DT%, Df
Дополнительные возможности	Разрешение	1/25 деления
	Диапазон эфф. измерений	По вертикали ± 3 дел, по горизонтали ± 4 дел
	Погрешность измерения	$\pm 3\%$ в эффективном диапазоне
	Синхронизация	Автоматический выбор сигнала (2-кан. режим); регулировка стабильности запуска
	X-Y вход	GOS-626G/658G: Автоустановка уровня
Общие данные	Z-вход	Развертка внешнего сигнала
	Экранная графика	Модуляция яркости луча
	ЭЛТ	GOS-626G/658G
	Напряжение питания	8 x 10 дел (1 дел = 10 мм); 12 В (65xG); 2 кВ
	Габаритные размеры	100/120/220/230В ($\pm 10\%$), 50/60 Гц
	Масса	310/150/455 мм 8,2 кг

Рис. 2.19. Технические характеристики осциллографов серии GOS-6XX

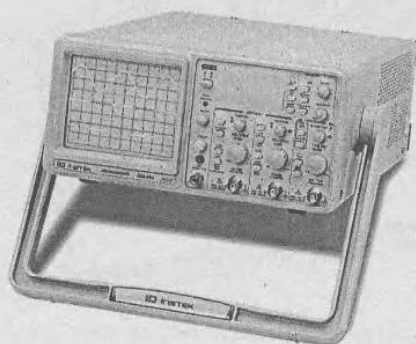


Рис. 2.20. Осциллографы универсальные GOS-6030/6050

Подробные технические характеристики осциллографов серий GOS-61XX/6200 представлены таблицей на рис. 2.23. Эти приборы являются самыми «мощными» среди аналоговых универсальных осциллографов фирмы Good Will Instruments.

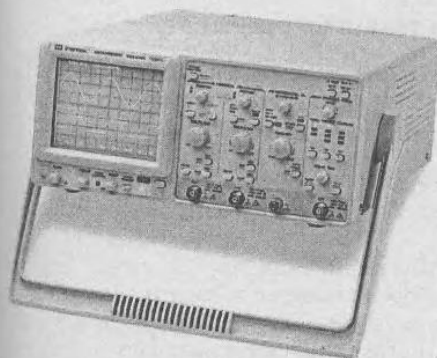


Рис. 2.21. Универсальный
100-мегагерцевый осциллограф
GOS-6103

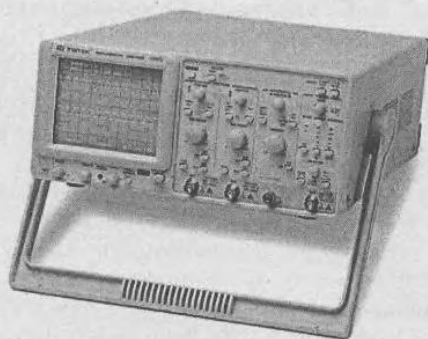


Рис. 2.22. Универсальный
200-мегагерцевый осциллограф
GOS-6103

Характеристики	Параметры	Значения
Канал вертикального отклонения	Полоса пропускания (-3 дБ) Козф. отклонения ($K_{откл.}$) Погрешность установки $K_{откл.}$ Регулировка $K_{откл.}$ Задержка изображения Макс. входное напряжение	GOS-61xx: 0...100 МГц (20 МГц - 2 мВ/дел) GOS-6200: 0...200 МГц (20 МГц - 2 мВ/дел) Ограничение полосы пропускания - до 20 МГц 2 мВ/дел...5 В/дел (шаг 1-2-5) $\pm 3\%$ при размере изображения 5 дел. Плавное перекрытие в 2,5 раза Возможно наблюдение переднего фронта 400 В (DC+AC пик, до 1 кГц)
Канал горизонтального отклонения	Козф. развертки А (основная) Козф. развертки В (задержанная) Погрешность установки $K_{раз.}$ Регулировка $K_{раз.}$ Задержка запуска развертки В Режимы запуска разверток Режимы работы разверток	GOS-61xx: 50 нс/дел...0,5 с/дел (1-2-5), растяжка $\cdot 10$ GOS-6200: 20 нс/дел...0,5 с/дел (1-2-5), растяжка $\cdot 10$ GOS-61xx: 50 нс/дел...50 мс/дел (1-2-5), растяжка $\cdot 10$ GOS-6200: 20 нс/дел...50 мс/дел (1-2-5), растяжка $\cdot 10$ $\pm 3\%$ ($\pm 5\%$ при растяжке $\cdot 10$) Плавное перекрытие в 2,5 раза 1 мкс...5 с, плавная регулировка Автоколебательный, ждущий, ТВ А, А и В, В
Курсорные измерения	Функции Разрешение Диапазон эфф. измерений Погрешность измерения	DV, DV%, DVdB, DT, 1/DT, DT%, D ϕ 1/100 деления По вертикали ± 3 дел, по горизонтали ± 4 дел $\pm 3\%$ в эффективном диапазоне
Автоматические измерения (GOS-6103C/6200)	Функции Частотный диапазон Формат индикации Погрешность измерения	f, T, 1, (1/T) $\times 100\%$ (коэф. заполнения) 50 Гц...100 МГц (6103C); 200 МГц (6200) 6 разрядов $\pm 0,01\%$ (1 кГц...100/200 МГц), $\pm 0,05\%$ (50 Гц...1 кГц)
Дополнительные возможности	Синхронизация Блок выделения ТВ строк (GOS-6200) Автоустановка X-Y вход Z-вход Экранинг графика Сохранение профилей Блокировка лицевой панели	Регулировка стабильности запуска NTSC; PAL; SECAM GOS-6200: В/дел, с/дел, уровень синхросигнала GOS-6103/6103C: с/дел Развертка внешним сигналом Модуляция яркости луча Да Запись/считывание до 10 профилей (кроме 6112) Да
Общие данные	ЭЛП Напряжение питания Габаритные размеры Масса	8 $\times$ 10 дел (1 дел = 10 мм); 16 кВ; 12 кВ (6112) 100В/120В/230В ($\pm 10\%$), 50/60 Гц 310/150/455 мм 9,0 кг

Рис. 2.23. Технические характеристики осциллографов серий GOS-61XX/6200

2.3.3. Современные универсальные осциллографы серии АСК

Обширную номенклатуру на российском рынке осциллографов предлагает объединение АКТАКОМ, в которое вошли производители измерительной техники из России и ряда зарубежных стран. Под маркой этой компании выпускается ряд аналоговых осциллографов серии АСК с типовыми для этого класса устройств возможностями. Данные о них можно найти на сайте этого объединения www.aktacom.ru и на сайте фирмы «ЭЛИКС», осуществляющей продажу осциллографов (www.eliks.ru/product/kip/oscill.htm).

Параметры и возможности осциллографов серии АСК вполне соответствуют современному уровню развития этих приборов. Следует отметить элегантный внешний вид приборов, особенно младших моделей — у них часто используются цветные детали передней панели (рис. 2.24). Такие приборы выглядят изящно и ярко на фоне уныло серых измерительных приборов. Впрочем, внешний вид не дает им каких-либо преимуществ в отношении технических характеристик и параметров этих приборов. Они вполне обычные. В связи с этим ограничимся приведением лишь самых общих характеристик этих приборов. Ниже представлены данные об этих приборах, находящих широкое применение в службе сервиса, в промышленности и в системе образования. Приборы внесены в Государственный реестр РФ СИ.

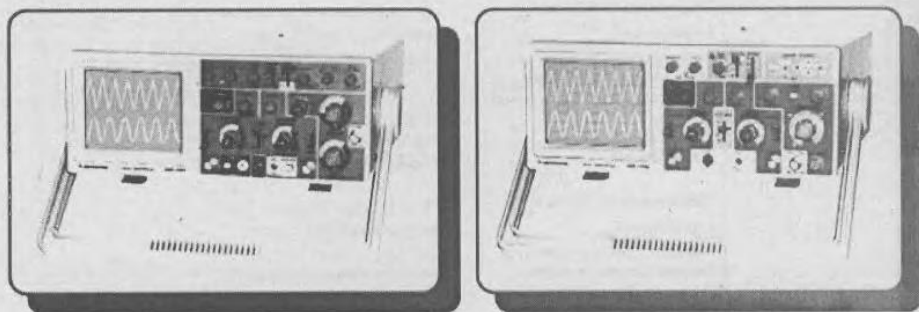


Рис. 2.24. Аналоговые осциллографы АСК-1051 (слева) и АСК-1052 (справа)

Приборы младшей группы — серии АСК-1021 — это «стандартные» аналоговые осциллографы «без особых претензий». Как отмечалось, приборы этого класса относят к сервисным осциллографам.

АСК-1021

Аналоговый осциллограф: 2 канала, полоса пропускания 25 МГц, ЭЛТ 8×10 см, чувствительность 1 мВ/дел...5 В/дел, коэффициенты развертки 0,1 мкс/дел...0,2 с/дел, максимальное входное напряжение 400 В, время установления 14 нс, входное сопротивление 1 МОм, входная емкость 25 пФ. Режимы синхронизации: автоколебательный, ждущий, телевизионный; источники синхронизации СН1, СН2, сеть, внешний. Дополнительные функции: Z-вход, задержка развертки. Питание: 220 В; габариты: 324 × 132 × 398 мм; масса 7,6 кг.

А вот приборы серии АСК1051/1052/1053 это уже осциллографы с рядом дополнительных функций и средств измерений.

АСК-1051

Аналоговый осциллограф: 2 канала, полоса пропускания 50 МГц, ЭЛТ 8 × 10 см, чувствительность 1 мВ/дел...5 В/дел, коэффициенты развертки 0,1 мкс/дел...0,2 с/дел, максимальное входное напряжение 400 В, время установления 5,8 нс, входное сопротивление 1 МОм, входная емкость 25 пФ. Режимы разверток: автоколебательный, ждущий, телевизионный, X—Y. Источники синхронизации: СН1, СН2, сеть, внешний. Дополнительные функции: встроенный мультиметр, измерение ВАХ-радиокомпонентов, Z-вход, задержка развертки; питание: 220 В; габариты: 324 × 132 × 398; масса 7,8 кг. Этот прибор по существу представляет собой целую измерительную лабораторию.

АСК-1052

Аналоговый осциллограф: 2 канала, полоса пропускания 50 МГц, ЭЛТ 8 × 10 см, чувствительность 1 мВ/дел...5 В/дел, коэффициенты развертки 0,1 мкс/дел...0,2 с/дел, максимальное входное напряжение 400 В, время установления 5,8 нс, входное сопротивление 1 МОм, входная емкость 25 пФ. Режимы разверток: автоколебательный или ждущий, телевизионный, X—Y. Источники синхронизации: СН1, СН2, сеть, внешний. Дополнительные функции: курсорные измерения, задержка развертки. Питание: 220 В; габариты: 324 × 132 × 398; масса 8,5 кг.

АСК-1053

Аналоговый осциллограф: 2 канала, полоса пропускания 50 МГц, ЭЛТ 8 × 10 см, чувствительность 1 мВ/дел...5 В/дел, коэффициенты развертки 0,1 мкс/дел...0,2 с/дел, максимальное входное напряжение 400 В, время установления 5,8 нс, входное сопротивление 1 МОм, входная емкость 25 пФ. Режимы разверток: автоколебательный или ждущий, телевизионный, X—Y. Источники синхронизации: СН1, СН2, сеть, внешний. Дополнительные функции: выделение сигналов яркости, цветности, высокочастотной насадки, любой из 625 строк полного ТВ-сигнала, задержка развертки. Питание: 220 В; габариты: 324 × 132 × 398; масса 8,5 кг. Этот прибор особенно удобен для исследования и разработки различных телевизионных систем и устройств.

Новая серия приборов АСК-2XXXX — это самые современные приборы с целым набором средств автоматизированных вычислений [27]. Они имеют множество дополнительных функций, присущих и приборам ряда других марок:

- выполнение удобных и точных курсорных измерений;
- отображение результатов измерений и настроек прибора на экране ЭЛТ;
- работа в режиме цифрового запоминания осциллограмм и самописца;
- удобное кнопочное управление с цифровым вводом информации;
- наличие интерфейсов для связи с персональным компьютером.

Однако приборы серии АСК-2XXXX обеспечивают эти возможности при более широкой полосе частот и при меньшей потребляемой мощности. Серия начинается с обычного 60-мегагерцевого осциллографа с минимумом дополнительных функций.

АСК-21060

Аналоговый осциллограф (рис. 2.25): 2 канала, полоса пропускания 60 МГц, ЭЛТ 8 × 10 см, чувствительность 1 мВ/дел...5 В/дел, максимальное входное напряжение 250 В, время установления 5,8 нс, входное сопротивление 1 МОм, входная емкость 25 пФ; режимы разверток: автоколебательный, ждущий, телевизионный, сложение

сигналов ADD, X—Y; источники синхронизации: CH1, CH2, сеть, внешний; дополнительные функции: задержка развертки; Z-вход; питание: 220 В; габариты: 320 × 140 × 430; масса 7,7 кг.

Три следующих прибора — самые современные 100-мегагерцевые осциллографы с рядом дополнительных средств и функций. Среди них особо следует отметить курсорные измерения, облегчающие выполнение измерений путем отметки характерных уровней осциллограмм с помощью курсорных пунктирных линий, которые можно перемещать по экрану. Соответствующие параметры линий отображаются в виде цифр на экране. В этих приборах в выходных каскадах применены каскодные схемы с резистивной нагрузкой (без высокочастотной коррекции) на сравнительно низковольтных транзисторах. Это обеспечивает получение расчетного значения времени нарастания и времени установления в 3,5 нс (у некоторых осциллографов других фирм из-за «звона» переходной характеристики время установления заметно превышает время нарастания).

АСК-21100

Аналоговый осциллограф (рис. 2.26): 4 канала, полоса пропускания 100 МГц, ЭЛТ 8 × 10 см, чувствительность 2 мВ/дел...5 В/дел, коэффициенты развертки 0,05 мкс/дел...0,5 с/дел, максимальное входное напряжение 400 В, время установления 3,5 нс, входное сопротивление 1 МОм, входная емкость 25 пФ. Режимы разверток: автоколебательный, ждущий, телевизионный, однократный, сложение сигналов ADD, X—Y. Источники синхронизации: CH1, CH2, сеть, внешний. Дополнительные функции: автоматическая установка настроек осциллографа, квазиэлектронное управление, курсорные измерения, задержка развертки, Z-вход. Питание: 220 В; габариты: 328 × 153 × 392; масса 8 кг. Отличительная особенность данного прибора — импульсный блок питания, позволивший уменьшить габариты и массу осциллографа. При этом обеспечивается работа при изменении напряжения сети от 90 до 250 В без каких-либо переключений.

Осциллограф АСК-21100 имеет встроенный микропроцессор. Он позволил реализовать функцию Autotest, обеспечивающую автоматическую установку наиболее подходящих режимов работы, обеспечивающих отчетливо видимые осциллограммы при наблюдении сигналов с неизвестными параметрами. Для переключения режимов работы осциллографа используются реле с практически идеальными контактами. Это, в частности, обеспечило получение монотонной амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) до 100 МГц с плавным спадом до -3 дБ. В приборе применена высококачественная и высокочувствительная ЭЛТ 150СТВ31 фирмы TOSHIBA.

Экран осциллографа АСК-21100 (рис. 2.27) выполняет три основные функции: представление осциллограмм

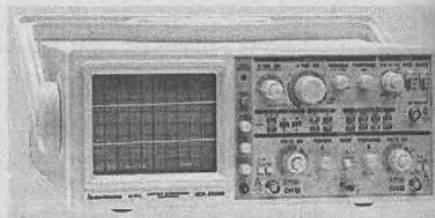


Рис. 2.25. Аналоговый осциллограф АСК-21060

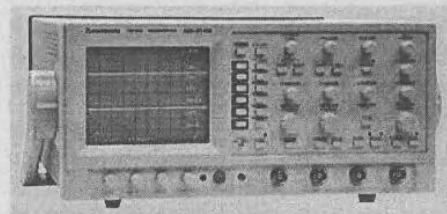


Рис. 2.26. Аналоговый осциллограф АСК-21100

(основная часть экрана), вывод результатов курсорных вычислений (снизу экрана) и контроль за режимами работы осциллографа (справа экрана). Благодаря этому удалось резко сократить число надписей у органов управления осциллографом, особенно цифровых. Для управления осциллографом используются высоконадежные кнопки без фиксации и ручки типа энкодеров, называемых также «шатлами». Каждая манипуляция сопровождается звуковым сигналом, который можно выключить. Для переключений режимов работы используются электромеханические реле, обеспечивающие резкое снижение помех и наводок на сигнальные цепи.

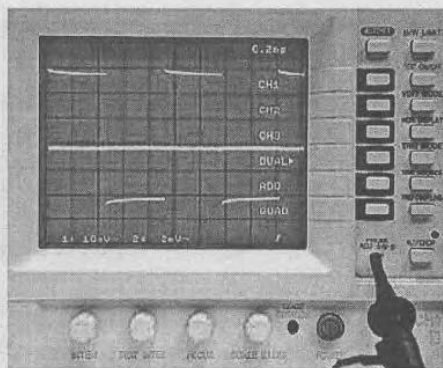


Рис. 2.27. Экран осциллографа АСК-21100

АСК-21102

Аналоговый осциллограф: 2 канала, полоса пропускания 100 МГц, ЭЛТ 8 × 10 см, чувствительность 2 мВ/дел...5 В/дел, 0,1 мкс/дел...0,2 с/дел, максимальное входное напряжение 250 В, время установления 3,5 нс, входное сопротивление 1 МОм, входная емкость 25 пФ; режимы разверток: автоколебательный, ждущий, телевизионный, сложение сигналов ADD, X—Y; источники синхронизации: CH1, CH2, сеть, внешний; дополнительные функции: задержка развертки, Z-вход; питание: 220 В; габариты 320 × 140 × 430; масса 8,5 кг.

АСК-21103

Аналоговый осциллограф: 2 канала, полоса пропускания 100 МГц, ЭЛТ 8 × 10 см, чувствительность 2 мВ/дел...5 В/дел, коэффициенты развертки 0,05 мкс/дел...0,5 с/дел, максимальное входное напряжение 400 В, время установления 3,5 нс, входное сопротивление 1 МОм, входная емкость 25 пФ; режимы разверток: автоколебательный, ждущий, телевизионный, однократный, сложение сигналов ADD, X—Y; источники синхронизации: CH1, CH2, сеть, внешний; дополнительные функции: автоматическая установка режимов работы, квазиэлектронное управление, курсорные измерения, задержка развертки, Z-вход; питание: 220 В; габариты: 328 × 153 × 392; масса 8 кг.

Прибор АСК-24020 не отличается выдающимися характеристиками — это типичный сервисный осциллограф. Но он имеет отличительную особенность — встроенный функциональный генератор. Это позволяет использовать прибор для углубленного анализа сигналов и испытания радиоэлектронных схем.

АСК-24020

Аналоговый осциллограф (рис. 2.28): 2 канала, полоса пропускания 20 МГц, ЭЛТ 8 × 10 см, чувствительность 1 мВ/дел...5 В/дел, коэффициенты развертки 0,2 мкс/дел...0,2 с/дел, максимальное входное напряжение 250 В, время установления 17,5 нс, входное сопротивление 1 МОм, входная емкость 25 пФ; режимы синхронизации: автоколебательный, ждущий, телевизионный; источники синхронизации CH1, CH2, сеть, внешний; дополнительные функции: задержка развертки,

ки; функциональный генератор 0,1 Гц...1 МГц; питание: 220 В; габариты: 320 × 140 × 430; масса 7,4 кг.

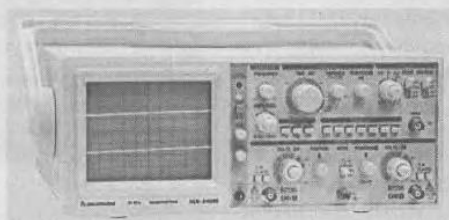


Рис. 2.28. Аналоговый осциллограф АСК-24020 с встроенным функциональным генератором

Характеристики осциллографов серий АСК-1XXX и АСК-2XXXX представлены таблицами на рис. 2.29 и 2.30. Отметим, что все приборы имеют входной импеданс 1 МОм/25 пФ, возможность пятикратного увеличения чувствительности по вертикали, ручки выбора режимов работы вертикального тракта, инверсию сигнала в канале CH2, работу в режиме X-Y, дополнительный выход канала CH1, фиксированное (с шагом 1, 2 и 5) и плавное изменение развертки, 10-кратное увеличение скорости развертки, запуск развертки положительным или отри-

	АСК-21080	АСК-24020	АСК-1051	АСК-1052
Вертикальные отклонения				
Число каналов	2	2	2	2
Полоса пропускания, МГц	60	20	50	50
Коэффициент отклонения	5 мВ...5 В/дел (10 ступ. с шагом 1-2-5) плавное, до 5 крат (1 мВ...1 В/дел)	5 мВ...5 В/дел (10 ступ. с шагом 1-2-5) плавное, до 5 крат (1 мВ...1 В/дел)	5 мВ...5 В/дел (10 ступеней с шагом 1-2-5) плавное, до 5 крат (1 мВ...1 В/дел)	5 мВ...5 В/дел (10 ступеней с шагом 1-2-5) плавное, до 5 крат (1 мВ...1 В/дел)
Масштабирование				
Погрешность	±3 %	±3 %	±3 %	±3 %
Выброс			менее 5 %	менее 5 %
Входной импеданс	1 МОм/25 пФ	1 МОм/25 пФ	1 МОм/25 пФ	1 МОм/25 пФ
Макс. амплитуда	250 В (пост.+перем.)	250 В (пост.+перем.)	400 В (пост.+перем.)	400 В (пост.+перем.)
Режимы работы		канал 1, канал 2, оба канала, сложение каналов		
Горизонтальные отклонения				
Коэффициент развертки	0,1 мкс...0,2 с/дел (20 ступ. с шагом 1-2-5)	0,2 мкс...0,2 с/дел (19 ступ. с шагом 1-2-5)	0,1 мкс...2 с/дел (23 ступени с шагом 1-2-5)	0,1 мкс...0,5 с/дел (21 ступень с шагом 1-2-5)
Масштабирование	x10	x10	x10	x10
Погрешность	±3 %	±3 %	±3 %	±3 %
Задержка развертки			регулируемая, до 5 крат от времени развертки	
Синхронизация				
Режимы	авто, норм., TV-V, TV-H		авто, норм., ТВ	
Источник	канал 1, канал 2, сеть, внешний вход		канал 1, канал 2, сеть, внешний вход	
Вход внешней синхронизации	1 МОм/30 пФ, макс. ампл. 250 В (пост.+перем.)		1 МОм/30 пФ, макс. ампл. 300 В (пост.+перем.)	
Режимы X-Y				
Входы	канал 1 - вход X, канал 2 - вход Y		канал 1 - вход X, канал 2 - вход Y	
Чувствительность	5 мВ...5 В/дел	5 мВ...5 В/дел	5 мВ...5 В/дел	5 мВ...5 В/дел
Полоса пропускания, МГц	500 кГц (X), 80 Гц (Y)	500 кГц (X), 20 Гц (Y)	1	2
Сдвиг фазы	менее 5°	менее 3°	менее 3°	менее 3°
Общие характеристики				
Экран	ЭЛТ, 8х10 см	ЭЛТ, 8х10 см	ЭЛТ, 8х10 см	ЭЛТ, 8х10 см
Сигнал калибратора	прямоугольный импульс, 1 кГц, 0,5 В	прямоугольный импульс, 1 кГц, 0,5 В	прямоугольный импульс, 1 кГц, 0,5 В	прямоугольный импульс, 1 кГц, 0,5 В
Питание	220 В, 50/60 Гц	220 В, 50/60 Гц	220 В, 50/60 Гц	220 В, 50/60 Гц
Потребляемая мощность, Вт	55	45	40	60
Габаритные размеры, мм	320х140х140	320х140х140	324х136х132	324х136х132
Масса, кг	7,7	7,4	7,8	8,5

Рис. 2.29. Характеристики аналоговых осциллографов АСК-21080/24020/1051/1052

Вертикальное отклонение		АСК-21100	АСК-21102	АСК-21103
Число каналов		4	2	2
Полоса пропускания, МГц		100	100	100
Коэффициент отклонения		2 мВ...5 В/дел	2 мВ...5 В/дел	2 мВ...5 В/дел
Масштабирование		—	—	—
Погрешность		±3 %	±3 %	±3 %
Входной импеданс		1 МОм/25 пФ	1 МОм/25 пФ	1 МОм/25 пФ
Макс. амплитуда		400 В (пост.+перем.)	250 В (пост.+перем.)	400 В (пост.+перем.)
Режимы работы		кан. 1, кан. 2, кан. 3 (4), 2 кан., слож. кан., 4 кан.	кан. 1, кан. 2, 2 кан., слож. кан. прерывистый, поочередный	кан. 1, кан. 2, 2 кан., слож. кан.
Горизонтальное отклонение				
Коэффициент развертки		0,05 мкс...0,5 с/дел	0,1 мкс...0,2 с/дел	0,05 мкс...0,5 с/дел
Масштабирование		х10	х10	х10
Погрешность		±3 %	±3 %	±3 %
Синхронизация				
Режимы		авто, норм., TV, однократный	авто, норм., TV-V, TV-H	авто, норм., TV-V, TV-H
Источник		каналы 1-4, сеть	канал 1, канал 2, сеть, внешний вход	канал 1, канал 2, сеть, внешний вход
Вход внешней синхронизации		1 МОм/25 пФ, макс. ампл. 400 В (пост.+перем.)	1 МОм/30 пФ, макс. ампл. 250 В (пост.+перем.)	1 МОм/25 пФ, макс. ампл. 400 В (пост.+перем.)
Режим X-Y			канал 1 - вход X, канал 2 - вход Y	
Входы				
Сдвиг фазы		менее 3°	менее 3°	менее 3°
Полоса пропускания, МГц		2 МГц	2 МГц	2 МГц
Общие характеристики				
Экран		ЭЛТ, 8х10 см	ЭЛТ, 8х10 см	ЭЛТ, 8х10 см
Сигнал калибратора		прямоугольный импульс, 1 кГц, 0,5 В	прямоугольный импульс, 1 кГц, 0,5 В	прямоугольный импульс, 1 кГц, 0,5 В
Питание		220 В, 50/60 Гц	220 В, 50/60 Гц	220 В, 50/60 Гц
Потребляемая мощность, Вт		50	50	50
Габаритные размеры, мм		328х392х153	320х430х140	328х392х150
Масса, кг		8	8,5	8

Рис. 2.30. Характеристики аналоговых осциллографов АСК-21100/21102/21103

цательным перепадами, различные источники синхронизации развертки и различные режимы ее работы (в том числе с запуском от телевизионного сигнала).

Некоторые модели приборов серии АСК, например АСК-21100, имеют ярко выраженные черты аналого-цифровых осциллографов, поскольку содержат встроенный микропроцессор и цифровые измерительные приборы. При этом, имея заметно расширенные функциональные возможности, они сохраняют все преимущества аналоговых осциллографов и прежде всего отсутствие специфических искажений, связанных с дискретизацией наблюдаемых сигналов.

Порт RS-232, имеющийся в этих приборах, обеспечивает простую связь с компьютером, что позволяет (при наличии соответствующего программного обеспечения) вести компьютерную обработку результатов измерений и осциллограмм. Таким образом, на основе этих приборов можно создавать компьютеризированные лаборатории. Они ориентированы на серьезные применения, например, в научных исследованиях или отладке сложной электронной аппаратуры в промышленности.

2.3.4. Осциллографы АКТАКОМ-IWATSU Hi-End-класса

Новейшее поколение аналоговых осциллографов японской фирмы IWATSU на российском рынке представляет торговое объединение АКТАКОМ. Отличительные особенности этих приборов:

- высокое японское качество;
- технические характеристики на мировом уровне;

- локализация под Россию и сертификация;
- высокий уровень ремонтного сервиса;
- гарантия на 25 месяцев.

Эти осциллографы наглядно демонстрируют, что, несмотря на бурное развитие цифровой осциллографии, аналоговое осциллографирование продолжает развиваться бурными темпами. Современные аналоговые осциллографы высочайшего класса (их, по аналогии с электроакустическими аппаратами, именуют Hi-End) имеют перед цифровыми запоминающими осциллографами (ЦЗО) ряд принципиальных преимуществ:

- простое обращение с прибором;
- повышенная степень достоверности отображения сигнала;
- легкость работы с неизвестным сигналом;
- корректное отображение сигнала на высоких частотах из-за отсутствия эффектов квантования и стробоскопического эффекта;
- высокая скорость обновления экрана — от 200 тысяч до миллиона осциллограмм в секунду;
- отображение полной информации (в обычных ЦЗО из-за большого времени обработки и вывода информации теряется до 99% времени наблюдения);
- быстрый захват сигнала для его представления;
- повышенное разрешение и отсутствие его ограничений, связанных с квантованием сигналов (у большинства ЦЗО разрядность квантования равна 8, так что сигнал представляется всего 256 ступеньками, что явно заметно при его растяжении по вертикали);
- наличие эффекта послесвечения, позволяющее накапливать множество осциллограмм на экране трубки.

В осциллографах АКТАКОМ-IWATSU ACK-8104 и 8064 применена конвертирующая ЭЛТ со сканирующей ПЗС-матрицей. Устройство этой малогабаритной трубки показано на рис. 2.31. Изображение создается и запоминается не на внешнем, а на специальном внутреннем экране трубки. Затем с помощью световолоконной матрицы изображение переносится на прибор с зарядовой связью (ПЗС), который является хорошо проработанным устройством для преобразования оптического изображения в телевизионный сигнал (достаточно отметить массовое применение такого прибора в цифровых фотокамерах и в видеокамерах). Полученный сигнал используется как входной для жидкокристаллического индикатора

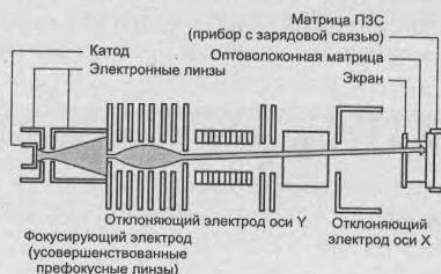


Рис. 2.31. Устройство конвертирующей ЭЛТ со сканирующей ПЗС-матрицей

большого размера с высоким (640×480 точек) разрешением. В целом это уменьшает габариты осциллографов и повышает качество изображения осциллограмм.

Выпускаемые на основе этой трубки сверхширокополосные аналоговые 4-канальные осциллографы АКТАКОМ-IWATSU ACK-8104 и 8064 (рис. 2.32) имеют полосу частот соответственно до 1 и 0,6 ГГц и ультравысокую скорость записи, достигающую 10 нс/дел и развертку с 15 линиями. Скорость захвата осциллограмм достигает 1 млн в с. Яркость изображения при осциллографии одиночных и редко повторяющихся импульсов в 1000 раз больше, чем у осциллографов с обычными ЭЛТ, что делает осциллографы АКТАКОМ-IWATSU ACK-8104 и 8064 незаменимыми при исследовании в ядерной технике, где важна регистрация одиночных быстропротекающих процессов.



Рис. 2.32. Внешний вид сверхширокополосных осциллографов АКТАКОМ-IWATSU ACK-8104 и 8064

Технические характеристики осциллографов АКТАКОМ-IWATSU ACK-8104 и 8064 представлены в таблице (рис. 2.33). Они дают достаточно полное представление об этих уникальных приборах.

Уникальную технику высокоскоростного запоминания осциллограмм иллюстрирует рис. 2.34. Он дает наглядное представление о форме представления осциллограмм и результатов вычислений на экране осциллографа. Хотя данные осциллографы рекламируются как аналоговые, они имеют все возможности аналого-цифровых осциллографов.

Осциллографы АКТАКОМ-IWATSU ACK-8104 и 8064 способны отлавливать и представлять короткие и редко повторяющиеся импульсы (рис. 2.35). При этом они обеспечивают уникально высокую яркость осциллограмм таких импульсов, которая на три порядка превосходит ту, что дают осциллографы на обычных ЭЛТ.

Эти осциллографы открывают обширные возможности при исследовании телевизионных сигналов (рис. 2.36). Такие сигналы весьма сложны и представляют собой смесь импульсных и видеосигналов с большим числом строк и кадров. Система синхронизации осциллографов АКТАКОМ-IWATSU ACK-8104 и 8064 имеет расширенные возможности в выделении любых строк и кадров и в детальном исследовании любого малого или большого участка телевизионного сигнала. Поддерживаются измерения с телевизионными сигналами различных стандартов, в том числе телевидения высокой точности с заметно расширенным спектром видеосигналов.

Спецификация			АСК-8104	АСК-8064	АСК-7474	АСК-7404
Дисплей	Тип		Цв. ЖК-дисплей 8x10 см	Цв. ЖК-дисплей 8x10 см	ЭЛТ	ЭЛТ
	Размер				8x10 см	8x10 см
Вертикальное отклонение	Ускор. напряжения		Да	Да	20 кВ	20 кВ
	Подсветка шкалы		Да	Да	Да	Да
Вертикальные каналы	ADD/ALT/CHOP		Да	Да	Да	Да
	Задержка		>20 нс	>20 нс	>20 нс	>20 нс
Каналы 1 и 2	Диапазон		5 мВ-5 В/дел	5 мВ-5 В/дел	2 мВ-5 В/дел	2 мВ-5 В/дел
	Точность		2 %	2 %	2 %	2 %
Полоса пропускания	Плавная		-12,5 В/дел	-12,5 В/дел	-12,5 В/дел	-12,5 В/дел
	1 ГГц (50 Ом)		600 МГц (50 Ом)	470 МГц	400 МГц	400 МГц
Режимы вход	АС, DC, GND		АС, DC, GND	АС, DC, GND	АС, DC, GND	АС, DC, GND
	Импеданс		1 МОм/50 Ом	1 МОм/50 Ом	1 МОм/50 Ом	1 МОм/50 Ом
Макс. напряжение (пик-пик)	250 В (1 МОм)		250 В (1 МОм)	250 В (1 МОм)	400 В	400 В
	Филтеры		200 МГц, 20 МГц	200 МГц, 20 МГц	100 МГц, 20 МГц	100 МГц, 20 МГц
Распознавание пробников	Да		Да	Да	Да	Да
	Инавертирование		Да	Да	Да	Да
Канал 2	Закхват пьедестала ТВ-сигнала		Да	Да	Да	Да
	Смещение		Да	Да	Да	Да
Подстройка задержки в каналах K1 и K2	Да		Да	Да	Да	Да
Канал 3	Диапазон		100, 500 мВ/дел	100, 500 мВ/дел	100, 500 мВ/дел	100, 500 мВ/дел
	Точность		2 %	3 %	3 %	3 %
Полоса	500 МГц		500 МГц	400 МГц	400 МГц	400 МГц
	Режим вход		АС, DC	АС, DC	АС, DC	АС, DC
Импеданс	1 МОм		1 МОм	1 МОм	1 МОм	1 МОм
	Распознавание пробников		Да	Да	Да	Да
Канал 4	Как в канале 3		Как в канале 3	Как в канале 3	Как в канале 3	Как в канале 3
	К1, 2, 3, 4, Сеть		К1, 2, 3, 4, Сеть	К1, 2, 3, 4, Сеть	К1, 2, 3, 4, Сеть	К1, 2, 3, 4, Сеть
Источник	АС, DC, ФНЧ, ФВЧ		Да	Да	Да	Да
	События: Номер, Длительность		Да	Да	Да	Да
ТВ-синхронизация	HDTV		Да	Да	Да	Да
	NTSC/PAL/SECAM		Да	Да	Да	Да
Выбор строки	Да		Да	Да	Да	Да
Макс. развертка	2 м/дел		5 м/дел	5 м/дел	5 м/дел	5 м/дел
	200 м/дел		200 м/дел	500 м/дел	500 м/дел	500 м/дел
Точность	2 %		2 %	2 %	2 %	2 %
	Удержание		Да	Да	Да	Да
Задержка запуска	Да		Да	Да	Да	Да
	Макс. скорость		2 м/дел	5 м/дел	5 м/дел	5 м/дел
Мин. скорость	20 м/дел		20 м/дел	500 м/дел	500 м/дел	500 м/дел
	Точность		2 %	2 %	2 %	2 %
Вертикальное разделение трекер А и В	Да		Да	Да	Да	Да
	Двойная задержка		Да	Да	Да	Да
Режим АЛТ для А и В	Да		Да	Да	Да	Да
	В в конце А		Да	Да	Да	Да
Лупа времени	10 x		Да	Да	Да	Да
	Макс. развертка		200 м/дел	500 м/дел	500 м/дел	500 м/дел
X-Y	Полоса		10 МГц	10 МГц	2 МГц	2 МГц
	ΔV, ΔI, 1/ΔI		Да	Да	Да	Да
Частотный диапазон/разрешение	1 ГГц/8 разряд		600 МГц/8 разряд	400 МГц/5 разряд	400 МГц/5 разряд	400 МГц/5 разряд
	Автоустановка		Да	Да	Да	Да
Соср./вызов настроек	256		256	256	256	256
	Яркий вход Z		5 МГц	5 МГц	5 МГц	5 МГц
Выход сигнала	Канал 2 - полоса		500 МГц	300 МГц	200 МГц	200 МГц
	Видеовыход		Да	Да	Да	Да
Калибровка пробников	1 мГц / 0,6 В		Да	Да	Да	Да
	Питание пробников		Да	Да	Да	Да
Питание	- от 100 В до 240 В		Да	Да	Да	Да
	-100 В - 120 В/200 В - 240 В		-	-	-	-
Частота сети	50 Гц - 60 Гц		50 Гц - 60 Гц	50 Гц - 400 Гц	50 Гц - 400 Гц	50 Гц - 400 Гц
	Потребляемая мощность		200 ВА	200 ВА	120 ВА	120 ВА
Размеры	Ш x В x Д (мм)		198x352x406	198x352x406	320x160x420	320x160x420
	Вес		10,0 кг	10,0 кг	8,5 кг	8,5 кг
Станд. комплектация	Сетевой шнур, руководство по экпл. (1)		Да	Да	Да	Да
	Предохранители		Да	Да	Да	Да
2 пробн. со считыванием	-		-	-	-	-
	2 пробн. без считывания		-	-	-	-
Защитная крышка передней панели (1)	-		-	-	-	-
	Вход Z и выход K2		Да	Да	Да	Да

Рис. 2.33. Технические характеристики осциллографов АКАКОМ-IWATSU АСК-8104 и 8064

АСК-7474/7404/7304 — это серия 4-канальных приборов с 10 линиями развертки и полосой частот вертикального отклонения 470/400/300 МГц. Внешний вид приборов представлен на рис. 2.37. Приборы имеют: две развертки (основная и

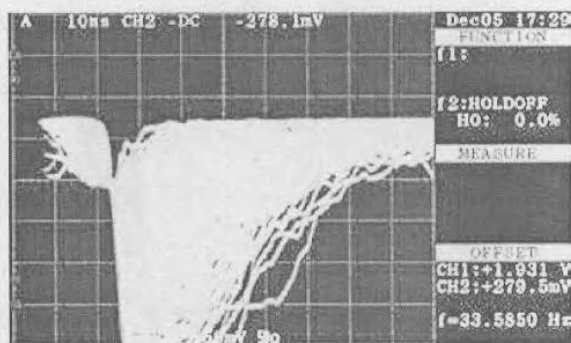


Рис. 2.34. Пример осциллографии импульсных сигналов с запоминанием множества осциллограмм

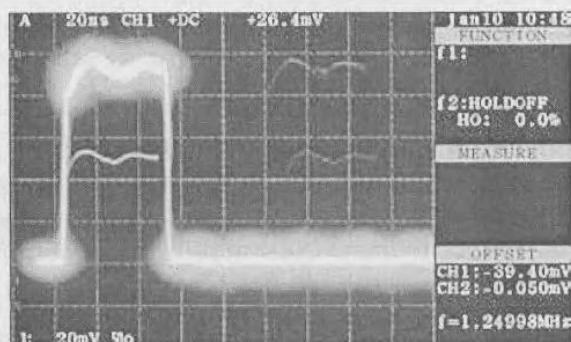


Рис. 2.35. Захват и представление одиночных и редко повторяющихся импульсов

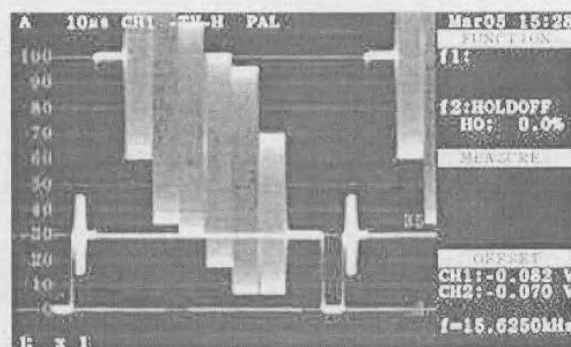


Рис. 2.36. Осциллография телевизионных сигналов

задержанная для создания «лупы времени»), быстрые функции установки, запоминание 10 установок, полная телевизионная синхронизация с выбором заданного кадра и строки, 5-разрядный встроенный частотомер и курсорные измерения.



Рис. 2.37. Внешний вид широкополосных осциллографов АКТАОМ-IWATSU АСК-7474/7404/7304

Выпускаются и более простые аналоговые осциллографы АКТАОМ-IWATSU АСК-7203 (200 МГц), АСК-7103 (100 МГц), АСК-7042 (40 МГц) и АСК-7022 (20 МГц). Это типичные универсальные осциллографы с несколько расширенными возможностями.

2.3.5. Универсальные осциллографы фирмы HITACHI

Японская корпорация HИTACHI — известный поставщик радиоэлектронного оборудования для армии Японии, является разработчиком и производителем ряда современных моделей электронных осциллографов. Ниже представлены краткие данные о выпускаемых этой фирмой универсальных аналоговых осциллографах. Стоимость приборов примерно вдвое выше, чем у приборов Юго-Восточной Азии. Это плата за имя престижной фирмы и повышенную надежность приборов.

V-252

2 канала, 20 МГц, ускоряющее напряжение 2 кВ, максимальная чувствительность 1 мВ (x5), максимальная скорость развертки 100 нс (x10), автоматическая установка скорости развертки, автоматическая синхронизация, ТВ-синхронизация, прост в обращении.

V-552

2 канала, 50 МГц, максимальная скорость развертки 20 нс (x10), максимальная чувствительность 1 мВ (x5), ТВ-синхронизация, DC-смещение, растяжка развертки.

V-555

2 канала, 50 МГц, максимальная скорость развертки 20 нс (x10), максимальная чувствительность 1 мВ (x5), ТВ-синхронизация, DC-смещение, растяжка развертки, курсорные измерения.

V-695

2 канала, 60 МГц, задержка развертки, частотомер, максимальная скорость развертки 5 нс (x10), максимальная чувствительность 2 мВ, автоматическая установка скорости развертки и уровня синхронизации, замок синхронизации, курсорные измерения.

V-1560

2 канала, 100 МГц, задержка развертки, максимальная скорость развертки 5 нс ($\times 10$), максимальная чувствительность 2 мВ, частотомер, автоматическая установка скорости развертки и уровня синхронизации, замок синхронизации, ТВ-синхронизация, курсорные измерения. Входной импеданс прибора 1 МОм/23 пФ. Размер экрана трубки 15 см, габариты 275 × 130 × 360 мм, вес около 6 кг, потребляемая мощность не более 40 Вт.

V-1565

2 канала, 100 МГц, задержка развертки, максимальная скорость развертки 5 нс ($\times 10$), максимальная чувствительность 2 мВ, частотомер, автоматическая установка скорости развертки и уровня синхронизации, замок синхронизации, ТВ-синхронизация, курсорные измерения.

V-1585

4 канала, 100 МГц, задержка развертки, максимальная скорость развертки 5 нс ($\times 10$), максимальная чувствительность 2 мВ, частотомер, автоматическая установка скорости развертки и уровня синхронизации, независимая синхронизация A/B-каналов, замок синхронизации, ТВ-синхронизация, курсорные измерения.

Сводная таблица с параметрами осциллографов фирмы Hitachi представлена на рис. 2.38. С их данными можно познакомиться на сайте компании Эликс (его адрес был приведен выше).

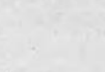
V-257	V-552/V-555	V-695/V-1565	V-1585
			
2-канальный аналоговый осциллограф	2-канальный аналоговый осциллограф	2-канальный аналоговый осциллограф	4-канальный аналоговый осциллограф
- ЭЛТ с диагональю 6" - Полоса пропускания 20 МГц 1 мВ/дел — макс. чувствительность - от 0,5 нс/дел до 0,2 нс/дел — диапазоны горизонтальной развертки - Синхронизация (Auto, Norm, TV-N & TV-V) - Запуск: внутренний, внешний, от линии 2 пробника 2 года гарантии	- ЭЛТ с диагональю 6" - Полоса пропускания 50 МГц 1 мВ/дел — макс. чувствительность 30 мВ/дел, 0,2 нс/дел — диапазоны горизонтальной развертки 100 В/дел — сканиение по одному каналу - Функция AutoMagnify (увеличить) - ЭЛТ с функцией «read-out» (V-555) - Курсорные измерения напряжения и времени (V-555) - Синхронизация (Auto, Norm, TV-N & TV-V) - Запуск: внутренний, внешний, от линии 2 пробника 2 года гарантии	- ЭЛТ с диагональю 6" - Полоса пропускания: 60 МГц (V-695) 100 МГц (V-1565) - Ограничение полосы 2 мВ/дел — макс. чувствительность - Двойная развертка - Автоматический выбор горизонтальной развертки 5 нс/дел, 0,5 нс/дел — диапазоны горизонтальной развертки - Режимы отображения: А-развертка, В-развертка или A/B последовательно - ЭЛТ с функцией «read-out» - Курсорные измерения для напряжения, времени и частоты - Встроенный 4-разрядный частотомер - Синхронизация (Auto, Norm, Single, TV-N & TV-V) - Функция Trigger Lock - Цифровое удержание записи - Запуск: внутренний, внешний, от линии 2 пробника 2 года гарантии	- ЭЛТ с диагональю 6" 4 канала - Полоса пропускания 100 МГц - Ограничение полосы 2 мВ/дел — макс. чувствительность (каналы 1 и 2) 0,1 В/дел или 0,5 В/дел — макс. чувствительность (каналы 3 и 4) - Двойная развертка - Диапазоны горизонтальной развертки и auto ranging 5 нс/дел, 0,5 нс/дел — диапазоны горизонтальной развертки - Режимы отображения: А-развертка, В-развертка или A/B последовательно - Курсорные измерения для напряжения, времени и частоты - Встроенный 4-разрядный частотомер - Синхронизация А-развертка (Auto, Norm, Single, TV-N & TV-V) - Синхронизация В-развертка (Auto & Norm) - Функция Trigger Lock - Цифровое удержание записи - Запуск: внутренний (каналы от 1 до 4), внешний, от линии 2 пробника 2 года гарантии
V-257 — недорогой 20 МГц аналоговый осциллограф, прибором подходит для учебных целей в школе, университетах и компаниях.	V-552/V-555 — недорогие 50 МГц аналоговые осциллографы с полным управлением, хорошо подходят для лабораторных исследований.	V-695/V-1565 — недорогие 60/100 МГц аналоговые осциллографы с полным управлением и рядом измерительных функций. Хорошо подходят для всех видов измерений в электронике, там, где не подходит цифровые осциллографы.	V-1585 — недорогой 100 МГц 4-х канальный аналоговый осциллограф с полным управлением и рядом измерительных функций. Хорошо подходит для всех видов измерений в электронике, там, где не подходит цифровые осциллографы.

Рис. 2.38. Технические характеристики аналоговых осциллографов фирмы Hitachi

2.3.6. Осциллографы фирмы PINTEK

К сравнительно дешевым приборам из Юго-Восточной Азии относится осциллографы тайваньской фирмы PINTEK, появившиеся на российском рынке несколько лет назад. Они ориентированы на отладку электронного оборудования, ре-

монт и лабораторные исследования. Данные об осциллографах этой фирмы можно найти на ее Интернет-сайте www.pintek.com.tw/.

Самым простым прибором этой компании является сервисный аналоговый 20-мегагерцевый двухканальный осциллограф PS-200 (рис. 2.39). Он имеет экран 8×10 дел (1 дел = 1 см). Чувствительность прибора по вертикали от 5 мВ/дел до 5 В/дел, возможно ее увеличение в 5 раз. Погрешность измерения 3% и 5% (в режиме умножения чувствительности). Входной импеданс 1 МОм/25 пФ. Длительность развертки от 0,1 мкс/дел до 2 с/дел, погрешность временных измерений без растяжки развертки 3% и 6% при растяжке. Имеет обычные режимы работы с двумя каналами и обычные режимы запуска и синхронизации развертки. Модель PS-205 имеет встроенную линию задержки.

Основные данные нескольких аналоговых осциллографов фирмы PİNTEK представлены в следующей таблице:

Тип прибора	PS-200/205	PS-250/257	PS-605/608	PS-1000/1005
Полоса частот	0–20 МГц	0–25 МГц	0–60 МГц	0–100 МГц
Развертка	0,1 мкс...1 с/дел	0,1 мкс...2 с/дел	0,1 мкс...1 с/дел	20 нс...5 с/дел

Остальные параметры этих приборов аналогичны приведенным для модели PS-200. Приборы выпускаются в стандартных корпусах и внешне отличаются числом ручек управления и цветом оформления передней панели. Приборы имеют размеры $324 \times 398 \times 132$ мм и массу 8,5 кг.

В осциллограф PS-257 встроен цифровой мультиметр, измеряющий постоянное напряжение до 1000 В, переменное до 750 В и сопротивление до 50 МОм. Он позволяет также прозванивать цепи и проверять диоды. Осциллограф PS-705 имеет задержанную развертку — «лупу времени» и простейший характериограф для наблюдения вольт-амперных характеристик полупроводниковых приборов.

В новейший 40-мегагерцевый двухканальный осциллограф PS-406 (рис. 2.40) встроен цифровой частотомер. Прибор имеет чувствительность по вертикали до 1 мВ/дел и разрешение развертки в 10 нс. Частотомер с индикатором на красных светодиодах измеряет частоты от 0,1 Гц до 50 МГц с разрешением в 0,001 Гц и автоматическим выбором предела измерения. Чувствительность частотомера 1 мВ.

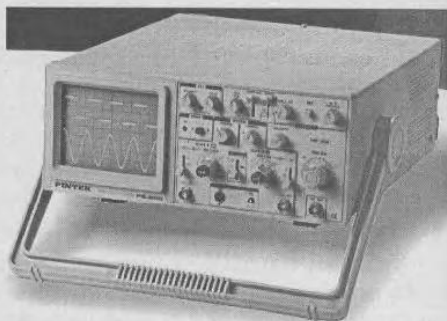


Рис. 2.39. Осциллограф PS-200 фирмы PİNTEK

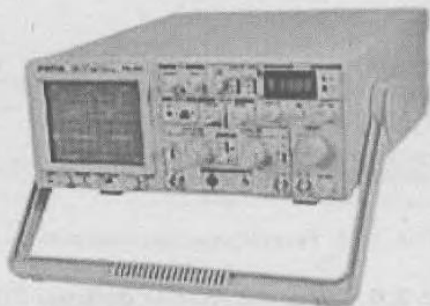


Рис. 2.40. Осциллограф PS-406 фирмы PİNTEK с встроенным цифровым частотомером

Глава 3. Цифровые и стробоскопические осциллографы

3.1. Цифровое представление аналоговой информации

3.1.1. Общие принципы построения цифровых осциллографов

Основной трудностью в создании аналоговых осциллографов является проектирование широкополосных и сверхширокополосных усилителей с высоким выходным напряжением, достаточным для возбуждения отклоняющих систем ЭЛТ. Между тем, чтобы получить изображение формы сигнала, вовсе не обязательно усиливать его до уровня возбуждения пластин ЭЛТ в десятки и сотни вольт. Можно воспользоваться цифровым кодированием сигнала и использовать давно известные и широко используемые в вычислительной технике преобразования сигналов в цифровую форму и затем представление их на экранах низкочастотных осциллографов, ЭЛТ с магнитным отклонением — кинескопов и даже на экранах плоских жидкокристаллических дисплеев.

Принцип действия цифрового осциллографа довольно прост. Аналоговый сигнал достаточно низкого уровня (доли-единицы В) превращается в цифровой поток с помощью *аналого-цифрового преобразователя* (АЦП). Для этого сигнал $y(t)$ представляется рядом равномерно распределенных во времени выборок $y_1, y_2, \dots, y_N$, которые оцифровываются и размещаются в оперативной памяти цифрового осциллографа. Это говорит о том, что такой осциллограф заодно является запоминающим. Такие приборы часто называют *цифровыми запоминающими осциллографами* (ЦЗО). При этом новым важным параметром осциллографа является объем памяти (как общий, так и на канал или осциллограмму). Цифровые данные из памяти могут быть записаны на магнитные диски в виде файлов, храниться на них неограниченно долгое время и использоваться по мере необходимости.

Другим важным параметром АЦП является частота его работы, или *частота выборки*. В случае сложных форм исследуемых сигналов она должна быть в десятки, а иногда и в сотни раз выше частоты повторения периодического сигнала. В случае регистрации однократных сигналов с длительностью t_n для его представления также надо иметь определенное число N отсчетов, так что период равномерного по времени квантования сигнала будет равен $dt = t_n/N$, а частота квантования $f_k = 1/dt = N/t_n$. Например, если сигнал с длительностью $t_n = 0,1$ мкс представить 100 отсчетами, то получим $dt = 1$ нс и $f_k = 1$ ГГц. Чтобы исключить путаницу между обычной граничной частотой и частотой выборки последнюю указывают в числе выборок в секунду, например Мвыб/с или Мв/с.

Этот пример наглядно иллюстрирует основную проблему в построении цифровых осциллографов, работающих в реальном масштабе времени, — необходимость в быстродействующих АЦП. Частота квантования сигналов АЦП должна хотя бы на порядок превышать максимальную частоту наблюдаемого сигнала, с тем чтобы на самый короткий сигнал пришлось хотя бы десять отсчетов. При этом возможно исследование как однократных, так и периодических сигналов. В случае периодических сигналов возможна статистическая обработка отсчетов, например усреднением тем или иным способом, и построение усредненной осциллограммы.

Промышленность выпускает множество АЦП, и наиболее скоростные из них могут использоваться для создания цифровых осциллографов с эффективной полосой тракта γ до 50—100 МГц. Это означает, что АЦП для таких осциллографов должны иметь частоты дискретизации до 0,5—1 ГГц. Однако для получения более высоких частот нужны специализированные АЦП. Они создаются либо фирмами, разрабатывающими скоростные цифровые осциллографы, либо сторонними фирмами по заказу. Бесспорным лидером в разработке скоростных АЦП для цифровых осциллографов является корпорация Tektronix — мировой лидер в разработке осциллографических измерительных приборов. Она имеет АЦП с частотой квантования до 10—20 ГГц.

Другим важным параметром АЦП является их *разрядность* — число уровней квантования сигнала в двоичной форме. Подавляющее большинство АЦП для стробоскопических осциллографов имеет стандартную разрядность, равную 8. Это значит, что число различимых уровней сигнала составляет $2^8 = 256$. Этого вполне достаточно для общего представления синусоидального сигнала и большинства сигналов достаточно сложной формы. Тем не менее некоторые АЦП для цифровых осциллографов могут иметь большую разрядность.

Однако в конечной разрядности квантования (как по уровню, так и по времени) и кроется «ахиллесова пята» цифровой осциллографии. Например, если в осциллограмме сложного сигнала присутствуют мелкие детали, то цифровой осциллограф их просто не заметит. Между тем аналоговый осциллограф с помощью растяжки изображения по вертикали и по горизонтали вполне в состоянии развернуть изображение детали на весь экран или на большую его часть. Впрочем, эта деталь будет воспроизводиться без искажений только в случае больших запасов по ширине полосы пропускания аналогового осциллографа.

Для воспроизведения оцифрованного сигнала низкочастотным устройством отображения информации (дисплеем) достаточно просто увеличить интервал времени между отсчетами и затем превратить их вновь в аналоговый сигнал с помощью цифроаналогового преобразователя (ЦАП). Такие преобразователи также выпускаются в виде микросхем, и их выбор достаточно велик. Правда, большинство из них является не достаточно высокочастотными.

И, наконец, третьим специфическим параметром цифровых осциллографов является *объем памяти* — общий и на одну осциллограмму. Большинство современных цифровых осциллографов способно хранить в памяти несколько осциллограмм и выводить их на экран своего дисплея. Чем выше объем памяти, тем больше информации об исследуемом процессе можно накопить в памяти и в дальнейшем изучить ее по частям или обработать встроенными в осциллограф средствами. Многие осциллографы поставляются со стандартной небольшой или средней памятью, но опционально она может быть наращена до большой памяти.

Не следует забывать, что три перечисленные выше параметра являются дополнительными. Кроме них цифровой осциллограф характеризуется целым рядом параметров, которые характерны и для аналоговых осциллографов. Это касается и параметров усилителей сигнала, доводящих его уровень до значений, приемлемых для работы АЦП. Прежде всего это относится к ширине полосы частот и времени нарастания канала γ , чувствительности и диапазона длительностей развертки.

Первые осциллографы с оцифровкой сигналов были построены на основе обычных аналоговых осциллографов с обычной ЭЛТ. Они характеризовались всем набором параметров, характерных для аналоговых осциллографов. Вначале цифровые методы использовались лишь для измерения параметров исследуемых сигнала-

лов с выводом их значений на экран дисплея или на отдельный светодиодный или жидкокристаллический индикатор. Затем стала использоваться трансформация высокоскоростных сигналов в низкоскоростные, отображаемые обычной ЭЛТ.

Такие приборы обычно называются *аналого-цифровыми осциллографами*, поскольку они содержат аналоговый тракт, задающий частотно-временные параметры осциллографа и цифровую часть. Они выпускаются и поныне, но этот выпуск постепенно сокращается из-за дороговизны таких приборов, их больших размеров и массы. В то же время выпуск чисто цифровых приборов постоянно растет. Это связано прежде всего с применением в новых моделях цифровых осциллографов малогабаритных плоских ЖКИ-дисплеев (нередко цветных), расширенными средствами цифровой обработки осциллограмм и возможностью уменьшения габаритов и веса приборов. В то же время нельзя не отметить, что цифровые осциллографы среднего класса стоят намного дороже аналоговых приборов, так что к числу общедоступных их не отнесешь.

3.1.2. О выборе числа отсчетов и восстановлении сигналов

Принципиально важным теоретически и практически является вопрос о выборе числа отсчетов сигнала для его преобразования в цифровую форму и дальнейшего восстановления сигнала по его отсчетам. Как часто надо делать равномерные выборки произвольного сигнала, чтобы после преобразования в цифровую форму, а затем снова в аналоговую была сохранена форма сигнала? Ответ на этот важный вопрос дает теорема об отсчетах, или *теорема Котельникова* (за рубежом именуемая также теоремой Найквиста): «Если спектр сигнала $e(f)$ ограничен высшей частотой f_B , то он без потери информации может быть представлен дискретными отсчетами с числом, равным $2 \cdot f_B$ ». При этом сигнал восстанавливается по его отсчетам $e(k \cdot dt)$, следующим с интервалом времени $dt = 1/f_B$, с помощью фильтра, реализующего восстановление по формуле:

$$e(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} e(k \cdot dt) \frac{\sin(\pi(t - k \cdot dt)/dt)}{\pi(t - k \cdot dt)/dt} \quad (3.1)$$

Для восстановления непрерывного сигнала по его выборкам достаточно располагать функцией $\text{sinc}(t) = \sin(t)/t$ с учетом ее особого значения $\text{sinc}(t) = 1$ при $x = 0$. Рис. 3.1 показывает пример дискретизации некоторого сигнала (нарастающая, а затем спадающая экспонента) с периодом квантования dt и затем восстановления сигнала по выражению (3.1). Несмотря на малое число отсчетов (их 11) восстановленная форма сигнала весьма близка к форме исходного сигнала.

Чтобы восстановить исходный сигнал по его отсчетам, надо иметь их численные значения и значение интервала дискретизации dt . Все эти данные нетрудно хранить в запоминающем устройстве. Если увеличить dt при восстановлении сигнала по формуле (3.1) в k раз, то восстановленный сигнал без изменения формы будет растянут в k раз и его можно отобразить на экране достаточно низкочастотной ЭЛТ с простым низкочастотным усилителем.

Для восстановления сигнала не обязательно пользоваться фильтром на основе базиса Котельникова. Возможно применение и более простых фильтров, вплоть до обычного конденсатора или RC -фильтров нижних частот. Правда, при этом нужно несколько увеличивать частоту выборок.

Обычно низкочастотные сигналы воспроизводятся с тем же шагом, что и при их дискретизации. Это означает работу в реальном масштабе времени. Однако вы-

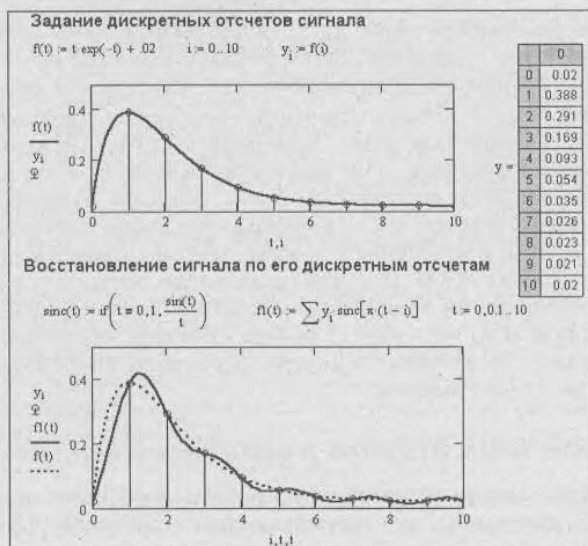


Рис. 3.1. Демонстрация дискретизации и восстановления сигнала в системе компьютерной математики Mathcad

сокочастотные сигналы обычно воспроизводятся при умножении периода дискретизации. Этот переход иногда заметен и бросается в глаза. К тому же он реализуется различно в различных типах осциллографов [28—37], что часто служит причиной недоразумений при их сравнении. Наивысшими частотами, реализующими режим реального времени, обладают осциллографы фирмы Tektronix, имеющие наиболее скоростные АЦП [32—34]. В последнее время им «на пятки» явно наступают осциллографы фирмы LeGroy [35—37], построенные на базе компьютерной платформы Intel-IBM с микропроцессорами Pentium 4.

Однако увеличение частоты работы АЦП является не единственным путем повышения временной разрешающей способности современных цифровых и аналогово-цифровых осциллографов. У некоторых моделей осциллографов для повышения разрешающей способности вместо равномерно распределенных отсчетов используются неравномерно распределенные отсчеты с периодом, уменьшающимся при высокой крутизне изменения входного сигнала. Другой путь — выполнение дискретизации при случайном положении отсчетов. Для высокочастотных периодических сигналов такая мера вместе со статистической обработкой (накоплением, усреднением и сглаживанием) нередко позволяет резко повысить разрешающую способность осциллографа во времени.

3.1.3. Об интерполяции в цифровых осциллографах

Итак, специфика цифровых осциллографов заключается в представлении реальных процессов их отдельными отсчетами. Для того чтобы получить изображение процесса не в виде отдельных точек, а в виде непрерывных линий, нужно использовать тот или иной вид интерполяции. Напомним, что математически *интерполяция* является вычислением значений некоторой функции, заданной отдельными узловыми точками, в промежутках между узлами.

Простейшей является *линейная интерполяция*, которая сводится к соединению узловых точек отрезками прямых. Она легко реализуется математически и программно и потому часто применяется как в системах компьютерной математики, так и в программах для цифровых осциллографов, «рисующих» осциллограммы на экране. Однако при отображении даже простых плавных процессов, например синусоидальных, получаемая из отрезков прямых осциллограмма выглядит очень грубой, если число отсчетов порядка 10 и менее. При большом числе отсчетов, порядка 100 и более, результат оказывается намного лучше и вообще перестает зависеть от примененной интерполяции.

Это дает повод разработчикам осциллографов переходить от более сложной интерполяции (см. ниже) к простой линейной интерполяции. К сожалению, не всегда ясно, в какой момент исследования происходит этот переход и на каком уровне — аппаратном или программном. Это служит причиной многих недоумений при сравнении весьма дорогостоящих аппаратов и даже является причиной недоверия к результатам осциллографирования с помощью цифровых осциллографов.

В большинстве случаев (но вовсе не всегда) было бы желательно применять более тонкую интерполяцию, обеспечивающую плавность осциллограмм. Наиболее распространенной стала интерполяция вида $\sin(t)/t$. Почему именно она? Ответ на этот вопрос вполне очевиден из предшествующего раздела — именно эта интерполяция является базисом Котельникова и, согласно его теореме, обеспечивает точное восстановление сигнала. здесь возникает небольшая проблема — суммирование в формуле (3.1) от $-\infty$ до $+\infty$. Однако если спектр сигнала ограничен частотой $f_{\max}$, то можно использовать приближенную формулу интерполяции:

$$e(t) \cong \sum_i^{2f_{\max}T} e(i \cdot dt) \frac{\sin(2\pi f_{\max}(t - i \cdot dt))}{2\pi f_{\max}(t - i \cdot dt)}. \quad (3.2)$$

Формула (3.2) задает интерполяцию вида $\sin(t)/t$, применяемую в современных цифровых осциллографах. Эта интерполяция дает неплохие результаты в большинстве случаев осциллографирования достаточно плавных сигналов. Однако панацеей от всех бед и эта интерполяция служить не может. Причина кроется в том, что на самом деле точная зависимость сигнала в промежутках между узлами неизвестна, поэтому любая частная зависимость, например, линейная или $\sin(x)/x$, не может быть теоретически точной или даже предпочтительной для любых форм сигнала. Пользователю цифровыми осциллографами не следует доверять рекламным сообщениям их разработчиков о предельной простоте работы с такими осциллографами — на самом деле это самые сложные приборы и применять их надо не только грамотно, но и осторожно. Особенно это относится к применениям на пределах возможностей таких приборов, где результаты могут оказаться обескураживающими и просто недостоверными.

3.1.4. Принципы построения стробоскопических осциллографов

Безусловно, способность осциллографа уверенно регистрировать однократные сигналы является большим преимуществом тех приборов, которые ее реализуют. Однако нельзя не считаться с тем, что большинство сигналов являются периодическими сигналами. Еще в начале 60-х годов прошлого века были созданы стробоскопические осциллографы с резко повышенным временным разрешением [11, 38]. Эти приборы впервые позволили наблюдать уникально малые времена переключения высокочастотных туннельных диодов и диодов с резким восстановлени-

ем обратного сопротивления (называемых также диодами с накоплением заряда — ДНЗ), лавинных транзисторов [16] и других высокоскоростных активных приборов и интегральных микросхем.

Принцип действия стробоскопического осциллографа поясняется рис. 3.2. Для стробирования входного периодического сигнала (рис. 3.2, а) используются короткие стробирующие импульсы, открывающие скоростной ключ. В результате часть сигнала в моменты действия стробирующего импульса проходит через ключ и заряжает запоминающий конденсатор на выходе ключа. Огибающая сигнала на входе ключа при этом повторяет форму входного сигнала (рис. 3.2, в). Верхняя граничная частота стробоскопического осциллографа оценивается как [11]: $f_B \approx 0,45 f_C$, где f_C — длительность стробирующего импульса. Например, если $t_C = 1$ нс, то $f_B = 0,45$ ГГц.

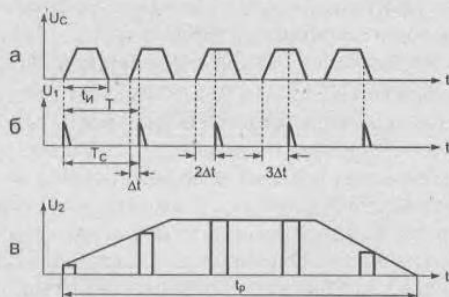


Рис. 3.2. Временные диаграммы работы стробоскопического осциллографа: а — входной сигнал, б — стробирующие импульсы и в — импульсы на выходе стробоскопического преобразователя и их огибающая

Как видно из рис. 3.2, для плавного сдвига стробирующего импульса относительно переднего фронта входного импульса на время Δt достаточно несколько увеличить период следования стробирующих импульсов по сравнению с периодом следования входных импульсов ($T_C > T$). Однако обеспечить такой сдвиг при широком изменении частоты (или периода) следования входных импульсов T практически невозможно. В связи с этим используют специальные приемы для смещения стробирующего импульса, реализованные с помощью специальной схемы сдвига.

Любопытно, что во многих цифровых осциллографах этот эффект (как правило, не контролируемый) носит негативное значение и именуется *алиасингом* (от aliasing). Его суть заключается в появлении в спектре сигнала новых составляющих в виде субгармоник. Часто огибающая субгармоник повторяет форму сигнала, но не всегда.

Поэтому в схеме сдвига, наряду с основным генератором развертки, который создает напряжение развертки с временем t_p , нередко используется генератор быстрой развертки, запускаемый каждым входным импульсом. Напряжения разверток сравниваются быстродействующим компаратором, и сигнал с его выхода запускает генератор стробирующих импульсов. Иногда основной генератор развертки выполняется как генератор ступенчатого напряжения. Функциональная схема стробоскопического осциллографа, реализующего эти идеи, показана на рис. 3.3.

Из описания принципа действия стробоскопического осциллографа вытекает главный его недостаток — применимость только для получения формы периодических сигналов. Это связано с тем, что на каждый период сигнала приходится то-

лько один строб-импульс и для получения формы сигнала нужно простробировать множество периодов сигнала.

Элемент стробирования есть и в цифровых осциллографах реального времени. Только в этом случае один период сигнала стробируется множеством стробирующих импульсов, что требует резкого увеличения их частоты повторения и применения техники генерирования высокочастотных стробирующих импульсов. Например, если считать достаточным 10 отсчетов за период 100-мегагерцевого сигнала, то частота стробирующих импульсов должна достигать $1000 \text{ МГц} = 1 \text{ ГГц}$. Такой путь стробирования выбрала фирма Tektronix для своих цифровых запоминающих осциллографов. Отмеченные ниже проблемы построения генераторов стробирующих импульсов и схем выборки актуальны и для современных сверхскоростных цифровых осциллографов.



Рис. 3.3. Функциональная схема стробоскопического осциллографа

3.1.5. Генераторы стробирующих импульсов

Для получения верхних частот порядка нескольких ГГц нужно довести длительность стробирующего импульса до $0,1\text{--}0,2 \text{ нс}$. Проектирование генераторов со столь малой длительностью строб-импульса представляет собой трудную задачу. Проще всего она решается применением релаксационных схем на лавинных транзисторах [16]. Схема генератора импульсов на лавинном транзисторе показана на рис. 3.4.

В исходном состоянии лавинный $p\text{-}n\text{-}p$ -транзистор закрыт за счет подачи на базу положительного напряжения, зафиксированного диодом D_b . Накопительный конденсатор C заряжен до напряжения пробоя коллекторного перехода U_M . Ток пробоя ограничен резистором R_c на уровне порядка долей или единиц мА, что делает пробой безопасным, поскольку рассеиваемая на коллекторе мощность меньше допустимой для транзистора. При подаче отрицательного запускающего импульса транзистор открывается и развивается очень быстрый процесс лавинообразного роста тока. Механизм такого пробоя описан в [16], где показано, что в ходе пробоя коллекторный переход транзистора расширяется и ширина базы транзистора с диффузионным характером движения дырок уменьшается до нуля — происходит смыкание областей объемного заряда коллекторного и эмиттерного переходов. В результате конденсатор C быстро разряжается через лавинный транзистор и резистор R_n . Время нарастания импульсов на $R_n = 50$ или 75 Ом может достигать до $0,1 \text{ нс}$.

Вместо конденсатора C можно использовать отрезок коаксиальной кабеля или микрополосковую накопительную линию — в этом случае формируется прямоугольный импульс с длительностью, равной удвоенному времени задержки линии. Это позволяет строить простые генераторы для проверки переходных характеристик широкополосных осциллографов. Кро-

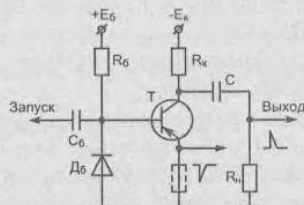


Рис. 3.4. Генератор коротких импульсов на лавинном транзисторе

ме того, близкая к прямоугольной форма стробирующего импульса повышает точность стробирования и уменьшает нестабильность и шум стробирования,

Уже сам по себе генератор, показанный на рис. 3.4, создает импульсы с амплитудой до 5—10 В на нагрузке 50 Ом с временем нарастания в доли нс. Хотя в лавинном режиме могут работать многие обычные транзисторы, в СССР для применения в таких схемах были созданы специальные лавинные транзисторы ГТЗ38, позволяющие формировать субнаносекундные импульсы с длительностью менее 1 нс. Некоторые типы зарубежных кремниевых лавинных транзисторов способны формировать импульсы с временами нарастания до 0,1 нс.

Импульсы с субнаносекундными фронтами позволяют получать и куда более распространенные мощные полевые транзисторы [15], а также диоды с накоплением заряда, переключаемые с прямого направления на обратное за время порядка 0,1 нс. Как правило, генераторы стробирующих импульсов имеют коаксиальную конструкцию с принятием всех возможных мер по согласованию с волноводами или коаксиальными кабелями с волновым сопротивлением 50 Ом. Одна из конструкций такого генератора схематично показана на рис. 3.5 [11].

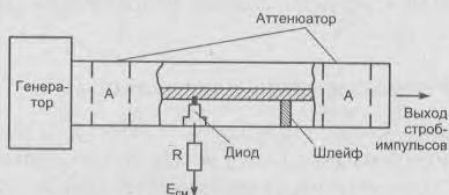


Рис. 3.5. Конструкция генератора стробирующих импульсов на диоде с накоплением заряда

В настоящее время есть явная тенденция объединения генератора стробирующих импульсов с устройством выборки сигналов в единой коаксиальной или микрополосковой конструкции, выполненной на основе технологии интегральных микросхем. Это позволяет минимизировать размеры устройств и свести к минимуму паразитные индуктивности и емкости. В результате удается получить длительность строб-импульсов в единицы-десятки пикосекунд ($1 \text{ пс} = 1 \cdot 10^{-12} \text{ с}$). При этом наиболее скоростными активными приборами для получения таких импульсов стали GaAs-полевые транзисторы и GeSi-приборы на основе гетеропереходов.

3.1.6. Устройства выборки сигналов

Другая проблема — построение высокоскоростного ключа для стробирования сигналов. Первые устройства стробирования на электронных лампах с трудом позволяли получить $f_{\text{в}}$ порядка 1 ГГц. Немного лучшие результаты давали ключи на высокоскоростных полупроводниковых диодах. Это было связано с тем, что процесс закрывания диода инерционен из-за рассасывания накопившихся в базе избыточных зарядов.

Хорошие результаты были получены от схем стробирования на лавинных диодах (рис. 3.6). Они работают только на обратной ветви вольт-амперной характеристики диодов, где их собственная емкость мала (доли пФ), а накопление зарядов отсутствует. Нормально диоды закрыты подачей соответствующего напряжения смещения. Строб-импульс выводит рабочую точку на участок лавинного пробоя, и диод открывается (точнее пробивается) на короткое время, открывая путь для

прохода исследуемого сигнала на выход преобразователя. Обычно на выходе стоит запасающий конденсатор, который заряжается до уровня мгновенного значения сигнала в момент подачи строб-импульса. В закрытом состоянии диод имеет малую барьерную емкость, а сам лавинный пробой происходит в доли пикосекунды и не связан с накоплением в структуре диода зарядов избыточных носителей.

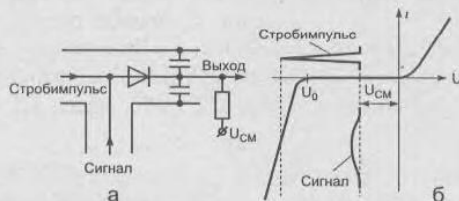


Рис. 3.6. Схема стробирования на скоростном лавинном диоде

Следует особо отметить, что устройства выборки и сами стробоскопические осциллографы всегда имеют низкое входное сопротивление — обычно 50 Ом. Этому не стоит удивляться, поскольку постоянная времени входа обычных осциллографов очень велика — например, при $R_{вх} = 1$ МОм и $C_{вх} = 20$ пФ (типичные значения для обычных аналоговых осциллографов) она получается равной 20 нс, что абсолютно исключает регистрацию коротких импульсов тока. Снижение $R_{вх}$ до 50 Ом не только уменьшает эту постоянную времени, но и позволяет применять коаксиальную или микрополосковую конструкцию генератора строб-импульсов и схемы стробирования, а также использовать стандартные коаксиальные кабели для передачи сигналов.

Современные стробоскопические осциллографы имеют узлы, выполненные на специализированных интегральных микросхемах. Это позволяет строить приборы с эффективной полосой частот до 70–100 ГГц и более. Однако и эти, безусловно выдающиеся, результаты на сегодняшний день явно недостаточны. Микроэлектроника развивается так быстро, что скорости переключения микротранзисторов и частоты их работы растут гораздо быстрее, чем аналогичные параметры стробоскопических осциллографов. Например, корпорация Intel объявила о создании интегральных транзисторов с рабочими частотами более 1 ТГц (1000 ГГц), а рабочие частоты ее микропроцессоров достигли 4 ГГц [39] (естественно, что транзисторы работают на более высоких частотах). Это означает, что частоты новых стробоскопических осциллографов будут и в дальнейшем расти, хотя речь идет тут уже не о массовых, а об уникальных моделях. Рекордное быстродействие в настоящее время имеют схемы на интегральных германиево-кремниевых биполярных транзисторах с гетеропереходами [39]. Их время переключения может достигать долей пс.

3.2. Современные аналогово-цифровые осциллографы

3.2.1. Аналогово-цифровые осциллографы АКТАКОМ

Достаточно большую номенклатуру аналогово-цифровых осциллографов составляет на российский рынок торговое объединение АКТАКОМ [27–29]. Ниже представлено краткое описание моделей этих осциллографов, взятое с сайта www.aktakom.ru.

АСК-2021

Аналогово-цифровой осциллограф: 2 канала, полоса пропускания 20 МГц, ЭЛТ 8 × 10 см, чувствительность 1 мВ/дел...5 В/дел, коэффициенты развертки 0,1 мкс/дел...0,5 с/дел, максимальное входное напряжение 400 В, время установления 17,5 нс, входное сопротивление 1 МОм, входная емкость 25 пФ; режимы разверток: автоколебательный или ждущий, телевизионный, X—Y. Источники синхронизации: СН1, СН2, сеть, внешний; цифровой режим. Память 2 кбайт/канал, разрешение по горизонтали 2048 точек на 10 делений, предзапись, одиночный запуск, самописец. Дополнительные функции: задержка развертки, выход на принтер; питание: 220 В; габариты: 324 × 132 × 398, масса 8,5 кг.

АСК-2031

Аналогово-цифровой осциллограф: 2 канала, полоса пропускания 30 МГц, ЭЛТ 8 × 10 см, чувствительность 1 мВ/дел...5 В/дел, коэффициенты развертки 0,1 мкс/дел...0,5 с/дел, максимальное входное напряжение 400 В, время установления 11,7 нс, входное сопротивление 1 МОм, входная емкость 25 пФ. Режимы разверток: автоколебательный или ждущий, телевизионный, X—Y. Источники синхронизации: СН1, СН2, сеть, внешний; цифровой режим. Память 2 кбайт/канал, разрешение по горизонтали 2048 точек на 10 делений, предварительная запись осциллограмм, одиночный запуск, самописец. Дополнительные функции: задержка развертки, RS-232, выход на принтер. Питание 220 В/50 Гц; габариты: 324 × 132 × 398; масса 8,5 кг. Внешний вид осциллографов АСК-2021/2031 показан на рис. 3.7.

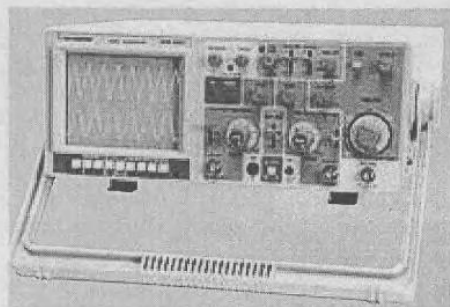


Рис. 3.7. Внешний вид аналогово-цифровых осциллографов АСК-2021/2031

АСК-22020

Аналогово-цифровой осциллограф: 2 канала, полоса пропускания 20 МГц, ЭЛТ 8 × 10 см, чувствительность 1 мВ/дел...5 В/дел, коэффициенты развертки 0,2 мкс/дел...0,2 с/дел, максимальное входное напряжение 250 В, время установления 17,5 нс, входное сопротивление 1 МОм, входная емкость 25 пФ. Режимы разверток: автоколебательный, ждущий, телевизионный, X—Y. Источники синхронизации: СН1, СН2, сеть, внешний; цифровой режим: память 1 кбайт/канал, разрешение по горизонтали 100 точек/дел, по вертикали — 25 точек/дел, усреднение, удержание, сортировка, предварительная запись, одиночный запуск, самописец. Дополнительные функции: курсорные измерения, задержка развертки, RS-232, выход на принтер, выход канала 1, Z-вход. Питание: 220 В; габариты: 320 × 140 × 430; масса 8,5 кг.

АСК-22060

Аналогово-цифровой осциллограф: 2 канала, полоса пропускания 60 МГц, ЭЛТ 8 × 10 см, чувствительность 1 мВ/дел...5 В/дел, коэффициенты развертки 0,2 мкс/дел...0,2 с/дел, максимальное входное напряжение 250 В, время установления 5,8 нс, входное сопротивление 1 МОм, входная емкость 30 пФ. Режимы

разверток: автоколебательный, ждущий, телевизионный, X—Y. Источники синхронизации: CH1, CH2, сеть, внешний. Дополнительные функции: курсорные измерения, задержка развертки, RS-232, выход на принтер, выход канала 1, Z-вход. Питание: 220 В; габариты: 320 × 140 × 430; масса 8,5 кг. Внешний вид осциллографов АСК-22020/22060 показан на рис. 3.8.

3.2.2. Аналогово-цифровые осциллографы фирмы Good Will

Корпорация Good Will Instruments Co, LTD выпускает несколько моделей аналогово-цифровых осциллографов. Внешний вид приборов типа GOS6103/6103C/6112 показан на рис. 3.9. Все приборы имеют диапазон частот от 0 до 100 МГц. В приборе GOS 6103C имеется возможность автоматического измерения основных параметров исследуемого сигнала. Есть типичный набор возможностей такого рода приборов: курсорные измерения, 7 функций экранной графики, автоматическая установка длительности основной развертки, задержанная развертка, автоматическая установка уровня синхронизации, синхронизация телевизионным сигналом (покадровая и построчная), выход канала синхронизации, вход канала Z, светодиодная индикация и звуковое предупреждение. В приборах GOS 6103/8103C имеется память на 10 установок органов управления.

Еще более совершенный прибор GOS6200 (рис. 3.10) имеет полосу пропускания от 0 до 200 МГц. Этот осциллограф двухлучевой и двухканальный, что позволяет одновременно наблюдать на экране 4 сигнала. Остальные возможности прибора аналогичны описанным для моделей GOS 6103/6103C/6112. Стоит отметить более совершенную синхронизацию от телевизионного сигнала, позволяющую выделить лю-

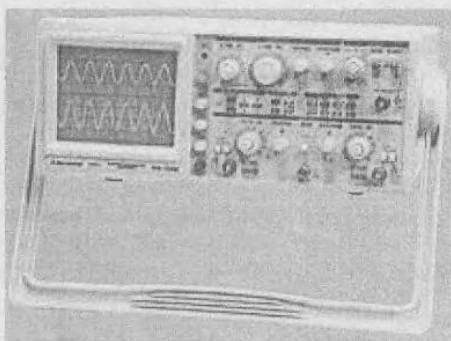


Рис. 3.8. Внешний вид аналогово-цифровых осциллографов АСК-22020 / 22060



Рис. 3.9. Внешний вид аналогово-цифровых осциллографов GOS 6103/6103C, 6112



Рис. 3.10. Внешний вид аналогово-цифровых осциллографов GOS 6200

бую заданную строку и наблюдать сигналы основных телевизионных стандартов NTSC, PAL и SECAM.

Двухканальные аналогово-цифровые осциллографы GOS 6031/6030 (рис. 3.11) имеют полосу частот от 0 до 30 МГц и характеризуются высокой чувствительностью — до 1 мВ/дел. Модель GOS 6031 имеет дополнительно встроенный 6-разрядный цифровой частотомер. Есть дополнительный выход канала CH1 и возможность просмотра сигнала при основной и растянутой развертках. Остальные возможности прибора типичны для таких осциллографов: курсорные измерения, 7 функций экранной графики, автоматическая установка длительности основной развертки, задержанная развертка, автоматическая установка вида синхронизации, синхронизация телевизионным сигналом (покадровая и построчная), выход канала синхронизации, вход канала Z, светодиодная индикация и звуковое предупреждение.

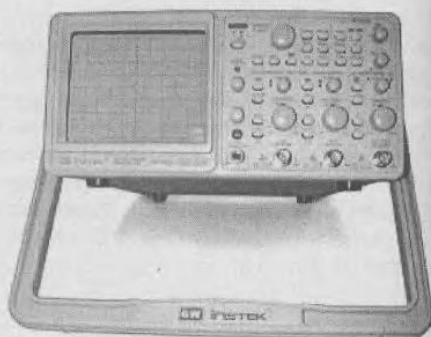


Рис. 3.11. Внешний вид аналогово-цифровых осциллографов GOS 6031

3.3. Цифровые осциллографы

3.3.1. Цифровые осциллографы Минского приборостроительного завода

К цифровым осциллографам относятся приборы, не просто имеющие цифровые средства (например, микропроцессорное управление или встроенные мультиметры), а осуществляющие цифровое преобразование аналоговых сигналов, их запоминание в памяти и осуществляющие вывод сигналов, представленных в цифровой форме.

Ряд цифровых приборов выпускает Минский приборостроительный завод. Аналогово-цифровой осциллограф C1-137/2 (рис. 2.8) построен на базе аналогового осциллографа C1-37 и предназначен для исследования формы электрических сигналов, измерения их амплитудно-цифровых параметров и визуального наблюдения в реальном времени или после записи в цифровую память. При этом существенно увеличиваются возможности прибора в плане качественного отображения без мерцаний медленно изменяющихся процессов или редко повторяющихся сигналов, «режим самописца» позволят непрерывно регистрировать эти процессы. Предпусковая запись обеспечивает регистрацию процессов, предшествующих моменту синхронизации, а наличие интерфейса RS-232 — передачу формы сигналов на персональный компьютер для автоматической распечатки осциллограмм.

Технические характеристики приборов серии C1-37:

- количество каналов вертикального отклонения: 2;
- режимы отображения: канал 1, канал 2, суммирование сигналов каналов 1 и 2, поочередная коммутация каналов 1 и 2;
- полоса пропускания: 25 МГц;

- время нарастания: 14 нс;
- коэффициенты отклонения по вертикали: 2 мВ/дел...5 В/дел;
- погрешность измерения напряжения: $\pm 4\%$;
- входной импеданс: 1 МОм/20 пФ;
- макс. входное напряжение: 100 В (эффективное значение), 300 В (с делителем 1:10);
- цифровая память (C1-137/2): частота дискретизации 1 МГц, число разрядов АЦП 8, объем памяти на канал 0,5 кбайт, предзапись 50%;
- коэффициенты развертки: 200 нс/дел...0,2 с/дел (растяжка в 10 раз), 20 нс/дел...10 с/дел для C1-137/2;
- погрешность измерения времени: $\pm 4\%$, $\pm 5\%$ (в режиме $\times 10$);
- режимы развертки: автоколебательный и ждущий;
- источники синхронизации: канал 1, канал 2, внешний, ТВ (строка, поле);
- диапазон частот внутренней синхронизации: 10 Гц...25 МГц;
- диапазон частот внешней синхронизации: 10 Гц...25 МГц;
- в режиме X—Y: полоса пропускания 1 МГц (3 дБ), коэффициенты отклонения 2 мВ/дел...5 В/дел, погрешность измерений $\pm 10\%$;
- цифровой мультиметр (C1-137/1): диапазон измерения напряжения постоянного тока 2 мВ...1000 В (погрешность 0,7%), диапазон измерения среднеквадратичного значения напряжения переменного тока 2 мВ...700 В (погрешность 2,5%), входное сопротивление 1 МОм $\pm 0,1\%$, диапазон измерения постоянного тока 0,02 мА...2 А (погрешность 0,4%), диапазон измерения сопротивления постоянному току 1 Ом...2 МОм (погрешность 1,5%);
- калибратор: меандр (1 кГц, 1 В);
- размер экрана: 60 × 80 мм (8 × 10 дел);
- ускоряющее напряжение: ЭЛТ 8 кВ;
- диапазон рабочих температур: +5...+40 °C;
- питание: 127/220 В $\pm 10\%$, 50 Гц;
- потребляемая мощность: 40 В · А;
- габаритные размеры: C1-137, C1-137/2 — 375 × 270 × 130 мм, C1-137/1 — 375 × 270 × 160 мм;
- масса: C1-137 — 5 кг; C1-137/1 — 5,3 кг; C1-137/2 — 5,5 кг.

Двухканальный цифровой осциллограф С8-33 (рис. 3.12) Минского приборостроительного завода имеет полосу частот от 0 до 20 МГц. Он может работать со скоростью выборки 20 Мв/с и имеет объем памяти 4 кбайт/канал. Предусмотрены курсорные измерения и возможность подключения к компьютеру через порт RS-232. Экран прибора 80 × 100 мм, масса прибора 8,0 кг.

Еще один осциллограф С8-37 того же завода (рис. 3.13) имеет два канала с полосой пропускания от 0 до 100 МГц; частота выборок 100 Мв/сек; объем памяти 32 кбайт/канал; автомат/курс — 22 вида измерения; БПФ; RS-232; экран SVGA 15"; масса 6,5 кг (блок осциллографа). Отличительная особенность этого прибора — применение стандартного дисплея от компьютера, что заметно упростило конструкцию осциллографического блока. Осциллограф имеет и стандартную клавиатуру от компьютера и графический манипулятор — мышь. Они позволяют удобно управлять работой осциллографа.

Осциллограф С8-37 регистрирует одиночные события с частотой выборки до 100 Мвыб/с на канал и повторяющиеся сигналы — до 10 Гвыб/с. Осциллограф со-

здан на основе новейших достижений электроники с применением современной элементной базы ведущих зарубежных фирм и технологии поверхностного монтажа. Программное обеспечение осциллографа С8-37, реализованное в операционной системе Windows 95, максимально ориентировано на работу с пользователем и обеспечивает управление режимами оцифровки, накопления, отображения и математической обработки измеряемых сигналов. Большое количество стандартных высокоэффективных программ может быть легко использовано в таком приборе для дополнительной обработки, документирования измерительной информации, построения графиков и т. д.

Удобный пользовательский интерфейс обеспечивает широкий выбор аппаратных и программных установок и предустановок (амплитудные и временные масштабы и диапазоны, типы входов и временные масштабы и диапазоны, режимы синхронизации, единицы измерения, цвета элементов и многое другое). Разнообразные детальные измерения с помощью курсоров очень помогают в работе, результаты постоянно присутствуют в строке статуса. Имеются большие возможности дополнительной математической обработки измерительной информации: усреднение, сглаживание измеряемых сигналов, интерполяция между отсчетами, спектральный анализ (прямое и обратное преобразования Фурье). Все текущие измерения автоматически фиксируются в рабочей области программы и снабжаются рабочими этикетками. Их можно затем просматривать, сохранять, удалять, переименовывать, снабжать комментариями, вызывать ранее измеренные величины. Большой цветной экран с высоким разрешением (SVGA) обеспечивает качественное отображение сигнала.

Технические характеристики осциллографа:

- полоса частот регистрируемых периодических сигналов: 100 МГц;
- максимальная частота дискретизации: 100 МГц;
- вертикальное разрешение: 8 бит;
- время нарастания переходной характеристики: 3,5 нс;
- диапазон частот синхронизации: до 110 МГц;
- диапазон исследуемых сигналов: 0,002—40 В (250 В с делением 1:10);
- число каналов: 2;
- число разрядов АЦП: 8;
- объем памяти на канал: 32 кбайт;

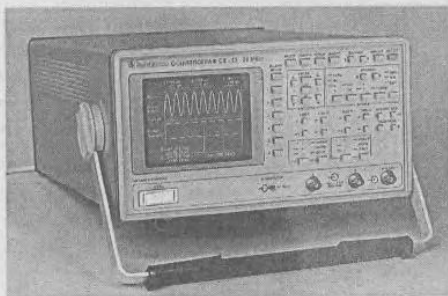


Рис. 3.12. Аналогово-цифровой осциллограф С8-33

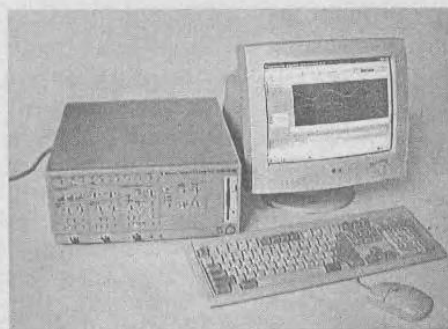


Рис. 3.13. Цифровой осциллограф С8-37

- предварительный запуск и послезапуск: $\pm 100\%$;
- основная погрешность измерений: амплитудных параметров — 2%, временных параметров — 1,5%;
- входной импеданс: 1 МОм/25 пФ;
- размер экрана: стандартный 15" SVGA-монитор;
- диапазон рабочих температур: $+10...+35\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- питание: $220\text{ В} \pm 10\%$, 50—60 Гц;
- потребляемая мощность: 210 В · А;
- габаритные размеры: 408 × 362 × 165 мм (блока осциллографа);
- масса блока осциллографа: 6,5 кг.

Осциллограф С8-40 (рис. 3.14) имеет полосу пропускания 200 МГц и максимальную частоту дискретизации 200 МГц. Представляет собой 2-канальный цифровой осциллограф с диапазоном частот исследуемых сигналов до 200 МГц. Прибор регистрирует одиночные события с частотой выборки до 200 Мв/с на канал и повторяющиеся сигналы — до 10 Гв/с. Осциллограф создан на основе новейших достижений электроники с применением современной элементной базы ведущих зарубежных фирм и технологии поверхностного монтажа.

Осциллограф С8-40 разработан с применением в своем составе ПЭВМ типа IBM PC. Программное обеспечение осциллографа С8-40, реализованное в операционной системе Windows, в максимальной степени ориентировано на работу с пользователем и обеспечивает управление режимами оцифровки, накопления, отображения и математической обработки измеряемых сигналов в операционной системе Windows 2000/XP. Большое количество стандартных высокоэффективных программ может быть легко использовано в таком приборе для дополнительной обработки, документирования измерительной информации, построения графиков и т. д.

Удобный пользовательский интерфейс обеспечивает широкий выбор аппаратных и программных установок и предварительных установок (амплитудные и временные масштабы и диапазоны, типы входов и временные масштабы и диапазоны, режимы синхронизации, единицы измерения, цвета элементов и многое другое). Разнообразные детальные измерения с помощью курсоров помогают в работе, результаты постоянно присутствуют в строке статуса. Имеются обширные возможности дополнительной математической обработки измерительной информации: усреднение, сглаживание измеряемых сигналов, интерполяция между отсчетами, спектральный анализ (прямое и обратное преобразования Фурье). Все



Рис. 3.14. Цифровой осциллограф С8-40

текущие измерения автоматически фиксируются в рабочей области программы и снабжаются рабочими этикетками. Их можно затем просматривать, сохранять, удалять, переименовывать, снабжать комментариями, вызывать ранее измеренные данные. Большой цветной экран с высоким разрешением (SVGA) обеспечивает качественное отображение сигнала.

Технические характеристики осциллографа C8-40:

- полоса частот регистрируемых периодических сигналов: 200 МГц;
- максимальная частота дискретизации: 200 МГц;
- вертикальное разрешение: 8 бит;
- время нарастания переходной характеристики: 3,5 нс;
- диапазон исследуемых сигналов: 0,002—40 В (250 В с делением 1:10);
- число каналов: 2;
- число разрядов АЦП: 8;
- объем памяти на канал: 128 кбайт;
- пред- и послезапуск: $\pm 100\%$;
- основная погрешность измерений: амплитудных параметров 2%, временных параметров 1,5%;
- входной импеданс: 1 МОм/25 пФ;
- размер экрана: стандартный 15" SVGA-монитор;
- диапазон рабочих температур: $+10...+35\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- питание: 220 В $\pm 10\%$, 50—60 Гц;
- потребляемая мощность: 250 В·А;
- габаритные размеры: 408 × 362 × 165 мм (блока осциллографа);
- масса (блока осциллографа): 6,5 кг.

Осциллограф C8-40 относится к новому поколению цифровых осциллографов, которые построены на основе персонального компьютера (ПК) с архитектурой IBM PC. В такие осциллографы нередко встраивается стандартная системная плата персонального компьютера с современным микропроцессором — вплоть до Pentium 4. Разработка ПК достигла весьма высокого уровня, и ныне компьютер с процессором, работающим на частоте около 3—4 ГГц, стоит меньше 500 \$. Конструкторам осциллографов остается дополнить его измерительными блоками и специальным программным обеспечением.

3.3.2. Цифровые осциллографы фирмы Good Will

Ряд цифровых осциллографов выпускает фирма Good Will [30, 31]. Вот уже несколько лет на российском рынке присутствуют ее цифровые запоминающие осциллографы серий GDS 820/840 (рис. 3.15). Они продаются компанией «Прист». Ниже приведены данные этих приборов, взятые из Интернет-страниц компании «Прист» (www.prist.ru).

Осциллографы этой серии выполнены в прямоугольных корпусах и имеют простые органы управления. Благодаря этому на передней панели расположено небольшое число ручек и кнопок. Основные режимы работы осциллографов задаются функциональными кнопками, расположенными справа от экрана, и индицируются на нем. На задней стенке приборов GDS 820S/840S (рис. 3.16) расположены разъемы портов для подключения компьютера (параллельный, последовательный RS-232 и USB). Осциллограф GDS 820C имеет цветной дисплей, у остальных приборов используется монохромный дисплей.



Рис. 3.15. Внешний вид цифровых запоминающих осциллографов GDS 820/840



Рис. 3.16. Вид на заднюю панель цифровых запоминающих осциллографов GDS 820/840

ХАРАКТЕРИСТИКИ	ПАРАМЕТРЫ	820 СЕРИЯ	840 СЕРИЯ
КАНАЛ ВЕРТИКАЛЬНОГО ОТКЛОНЕНИЯ	Полоса пропускания (-3 дБ)	0...150 МГц	0...250 МГц
	Коэф. отклонения ($K_{откл}$)	Ограничение полосы пропускания до 20 МГц	
	Погрешность установки $K_{откл}$	2 мВ/дел...5 В/дел (шаг 1-2-5)	
	Время нарастания	± 3 %	
	Входной импеданс	≤ 2,3 нс	≤ 1,4 нс
КАНАЛ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ОТКЛОНЕНИЯ	Макс. входное напряжение	1 МОм (± 2 %) / 22 пФ	
	Режимы работы	300 В (DC+AC пик, до 1 кГц)	
	Математика	Канал 1, канал 2, канал 1 (2) инвертированный, канал 1 и 2	
	Коэф. развертки ($K_{разв}$)	Кан 1 + Кан 2; Кан 1 - Кан 2; БГФ	
	Погрешность установки $K_{разв}$	1 нс/дел...10 с/дел (шаг 1-2-5)	
СИНХРОНИЗАЦИЯ	Режимы работы	± 0,01 %	
	Источники синхросигнала	Основной, окно, ZOOM окна, самописец, X-Y	
	Режимы запуска развертки	Канал 1, канал 2, свет, внешний	
	Фильтры синхронизации	Автоколебательный, ждущий, однократный, ТВ (NTSC, PAL / SECAM), пред. (20 дел.) и послезапуск (1000 дел), по времени (100 нс...1,3 мс), по событию (2...65000), по уровню (ТТЛ, ЭСЛ, ± 20 В), по фронту, по длительности импульса (20 нс...10 с)	
	Внешняя синхронизация	ФНЧ, ФВЧ, фильтр шума, связь AC, связь DC	
АНАЛОГОВО-ЦИФРОВОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ	Вход внешней синхронизации	Чувствительность: 50 мВ (0...30 МГц), 100 мВ (30...150 МГц)	
	Разрешение по вертикали	Чувствительность: 50 мВ (0...30 МГц), 100 мВ (30...150 МГц), 150 мВ (150...250 МГц)	
	Частота дискретизации	Уровни: постоянное ± 15 В, переменное 2 В пик. Макс. уровень: 900 В (DC+AC пик, до 1 кГц)	
	Эквив. частота дискретизации	1 МОм (± 2 %) / 22 пФ	
	Длина записи	8 бит	
КУРСОРНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ	Пиковый детектор	До 100 МГц на канал	
	Режимы работы	До 25 ГГц на канал	
	Функция	125 Кбайт на канал	
	Функция по вертикали	10 нс	
	Функция по горизонтали	Выборка, пик. детектор (≥ 10 нс), усреднение (2 /.../ 256), накопление, выбор длины записи (0,5 К.../ 125 К)	
АВТОМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ	Разрешение	ΔU; ΔT; ΔΔT	
	Диапазон измерений	U пик-пик; U; U ср. кв.; U _р ; -U; +U; U макс.; U мин.	
	Погрешность измерений	f; T; t нарастания; t среза; +t; -t; коэф. заполнения	
	Интерфейс (кроме GDS-820)	6 разрядов	
	Синхронизация	10 Гц...150 МГц	
ЧАСТОТОМЕР	Автоустановка	10 Гц...250 МГц	
	Режим X-Y	± 2 %	
	Глубокая память	USB; RS-232C; GPIB (опция); LPT;	
	Функции	Автовыбор синхросигнала (2-кан. режим) В/дел, о/дел, параметры синхросигнала	
	Комплект поставки	X - кан 1; Y - кан 2; разность фаз < 3° до 100 кГц	
ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ	ЖК-дисплей	Записи/считывание: 2 осциллограммы, 15 профилей	
	Напряжение питания	Сравнение формы сигнала с шаблоном; автоспроизводство профилей с авто- или курсорными измерениями	
	Габаритные размеры	8 x 12 дел (разрешение 320 x 240)	
	Масса	100...240 В, 48...63 Гц (автомобиль)	
	Комплект поставки	254 x 142 x 310 мм	
ОБЩИЕ ДАННЫЕ	ЖК-дисплей	4,1 кг	
	Напряжение питания	Шнур питания (1), делитель 1:1/1:10 (2)	
	Габаритные размеры		
	Масса		
	Комплект поставки		

Рис. 3.17. Технические характеристики цифровых запоминающих осциллографов GDS 820/840

Эти двухканальные приборы рассчитаны на наблюдение сигналов с частотами до 150 (GDS 820) и 250 (GDS 840) МГц. Подробные технические характеристики и возможности цифровых запоминающих осциллографов GDS 820/840 представлены в таблице (рис. 3.17).

Выпускаются также 100-мегагерцевые цифровые запоминающие осциллографы GDS830 с частотой выборки в реальном масштабе времени 100 Мв/с. Приборы имеют высокую точность развертки — 0,01%, автоматический выбор синхронизации, 15 предустановок режимов работы, меню режимов, высокое разрешение экрана (480 × 640 точек), меню настройки ЭЛТ, LPT и RS-232-интерфейсы для работы с персональным компьютером, высокую надежность и качество. Впрочем, все это присуще и другим, отмеченным выше приборам этой фирмы. Технические характеристики осциллографов GDS830 представлены на рис. 3.18.

Характеристики	Параметры	Значения
Канал вертикального отклонения	Полоса пропускания (-3 дБ)	0...100 МГц
	Козф. отклонения ($K_{откл.}$)	Ограничение полосы пропускания — до 20 МГц 2 мВ/дел...5 В/дел (шаг 1-2-5)
	Погрешность установки $K_{откл.}$	± 2 %
	Макс. входное напряжение	300 В (DC+AC пик, до 1 кГц)
Канал горизонтального отклонения	Козф. развертки ($K_{разв.}$)	2 нс/дел...5 с/дел (шаг 1-2-5)
	Погрешность установки $K_{разв.}$	± 0,01 %
	Режимы запуска развертки	Автоколебательный, ждущий, однократный, ТВ, пред- (10 дел) и послезапуск (500 дел), задержка по времени (100 нс...1,3 мс), по событию (2...65000), по уровню (ТТЛ, ЭСЛ, ± 12 В)
	Режимы работы	Основной, окно, ZOOM окна, самописец, X-Y
Аналого-цифровое преобразование	Разрешение по вертикали	8 бит
	Частота дискретизации	До 100 Мвыборок/с
	Эквив. частота дискретизации	До 25 Гвыборок/с
	Объем памяти	125 Кбайт на канал
	АЦП однократного сигнала	± 10 МГц; длина записи до 125 Кбайт на канал
	Пиковый детектор	20 нс (10 мкс/дел...5 с/дел)
Курсорные измерения	Режимы работы	Выборка, пиковый детектор (20 нс); усреднение (21.../256); накопление; выбор длины записи (0,5 К.../125 К)
	Функции	ΔV, ΔT
Автоматические измерения	Функции по вертикали	V пик-пик; V пик; V ср. кв.; V ср.; -V; +V; V макс.; V мин.
	Функции по горизонтали	f; T; t нарастания; t среза; +t; -t; коэф. заполнения
Дополнительные возможности	Интерфейс	RS-232C; GPIB (опция); LPT; VGA
	Синхронизация	Автовыбор синхросигнала (2-кан. режим)
	Блок выделения ТВ строк	PAL; NTSC
	Автоустановка	В/дел, с/дел, уровень синхросигнала
	X-Y вход	Развертка внешним сигналом
Общие данные	Сохранение профилей	Запись/считывание до 15 профилей
	Дисплей	8" 10 дел (разрешение 640 × 480)
	Напряжение питания	100...240 В, 48...63 Гц
	Габаритные размеры	330×155×385 мм
	Масса	7,0 кг

Рис. 3.18. Технические характеристики цифровых запоминающих осциллографов GDS 830

3.3.3. Цифровые осциллографы АКТАКОМ

Торговое объединение АКТАКОМ представляет на российский рынок несколько современных моделей цифровых осциллографов [24]. Рассмотрим кратко их

номенклатуру и основные технические характеристики. Более подробные данные о цифровых осциллографах этой фирмы можно найти на ее сайте www.aktakom.ru.

АСК-2150

Этот цифровой осциллограф (рис. 3.19) имеет 2 канала, полосу пропускания 150 МГц, частоту дискретизации 100 МГц (2 канала) или 200 МГц — 1 канал, в режиме стробоскопа частота дискретизации равна 25 ГГц, разрядность АЦП 8 бит, емкость памяти 32 кбайт, чувствительность 2 мВ/дел — 5 В/дел, максимальное входное напряжение 400 В, входной импеданс 1 МОм/20 пФ. Горизонтальная развертка с длительностью 2 нс/дел — 5 с/дел, режимы разверток: автоколебательный, ждущий, однократный, X—Y. Дополнительные возможности: автоколебательские измерения, курсорные измерения, режим анализатора спектра, память на 10 осциллограмм, предварительная запись осциллограмм, самописец, стробоскоп. Источники синхронизации: CH1, CH2, TV, сеть, внешний. Прибор имеет пик-детектор 10 нс, ЖКИ 5,8 дюйма с разрешением 320 × 240, габариты: 370 × 167 × 338 мм; масса 5,5 кг. Интерфейсы для подключения персонального компьютера Centronix, RS-232 и USB.

Цифровые запоминающие осциллографы АСК-2022/2023 принадлежат к новому поколению миниатюрных осциллографов, выполненных в ударопрочном пластмассовом цветном корпусе (рис. 3.20). Они имеют кнопочное управление и единственную вращающуюся ручку для просмотра длинных осциллограмм. Эти приборы могут использоваться как цифровые частотомеры, а прибор АСК-2023 может применяться еще и как цифровой мультиметр и логический анализатор, используемый для отладки сложных логических схем.

На рис. 3.21 показаны фотографии экрана осциллографа АСК-2023 при отображении осциллограмм (снимок сверху) и при отображении результатов работы логического анализатора (снимок снизу). Нетрудно заметить детальность и большой объем представляемой информации.

Основные технические данные осциллографической части приборов представлены на рис. 3.22. Следует сказать, что по частотным свойствам приборы подобны аналоговым сервисным осциллографам с предельными частотами 20 МГц. Это не случайно — данные осциллографы и предназначены для сервисного обслуживания различного оборудования, нередко в полевых условиях. Для этого они питаются не только от сети переменного тока 229 В (через внешний адаптер), но и от встроенной NiCd-аккумуляторной батареи с напряжением 4,5 В. При этом время непрерывной работы

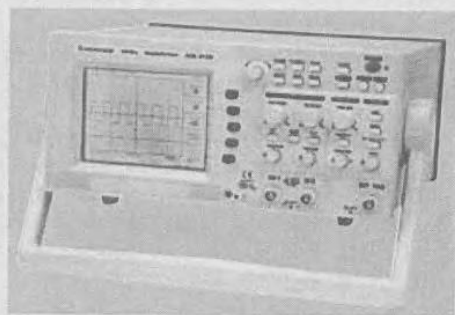


Рис. 3.19. Цифровой осциллограф АСК-2150



Рис. 3.20. Цифровой осциллограф АСК-2023

от аккумулятора составляет 3,5 часа. Масса приборов менее 2 кг, габариты 287 × 153 × 82 мм.

В роли мультиметра осциллограф АСК-2023 может измерять постоянные и переменные напряжения и токи, а также резистивности (сопротивления). Приборы АСК-2022/2023 могут использоваться в качестве цифровых частотомеров с отображением частоты большими числами с большими размерами знаков. Диапазон частот частотомера от 5 Гц до 20 МГц, возможно и измерение длительности от 50 нс до 0,2 с. Наряду с отображением результатов измерений в цифровой форме (31/2-разрядный индикатор, максимальное число 4000), предусмотрен линейный индикатор уровня измеряемых сигналов.

Возможен также комбинированный режим отображения — осциллограммы вместе с данными измерений цифрового мультиметра (рис. 3.23). Численные данные измерения отображаются со всех сторон экрана, кроме правой.

Для применения прибора АСК-2023 в качестве логического анализатора используется специальный блок такого анализатора, показанного на рис. 3.24. Шлейф с разъемом подключается к осциллографу, а провода с миниатюрными зажимами к исследуемым точкам испытуемой логической схемы.

Для подключения к компьютеру по порту RS-232 к осциллографам прилагается специальный кабель. Вместе с мобильным компьютером — ноутбуком — осциллографы АСК-2022/2023 могут образовать переносную лабораторию с весьма высокими функциональными возможностями. Некоторые фирмы, например HITECH, уже выпускают подобные осциллографы.

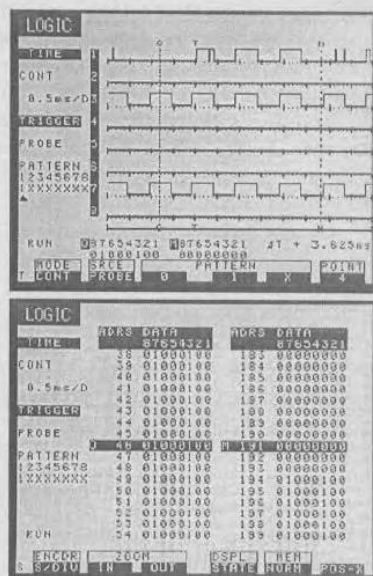


Рис. 3.21. Представление осциллограмм (сверху) и данных логического анализатора (снизу)

Параметр	Значение
Система вертикального отклонения:	
Число каналов	2
Полоса пропускания	макс. 20 МГц
Коэффициент отклонения	5 мВ/дел... 20 В/дел
Вертикальное разрешение	8 бит (20 точек на 1 деление экрана)
Входной импеданс	1 МОм/35 пФ
Макс. входное напряжение	42 В (пост.+ник. перемен.)
Система горизонтального отклонения:	
Частота дискретизации	20 МГц
Коэффициент развертки	50 нс/дел... 20 с/дел
Объем памяти	8 экранов
Режим Zoom	×10
Общие характеристики:	
Тип экрана	ЖКИ, монохромный
Размер экрана	96×72 мм, 320×240 точек
Сигнал Калибратора	прямоугольный, 1 кГц, 5 В

Рис. 3.22. Основные технические данные цифровых осциллографов АСК-2022/2023

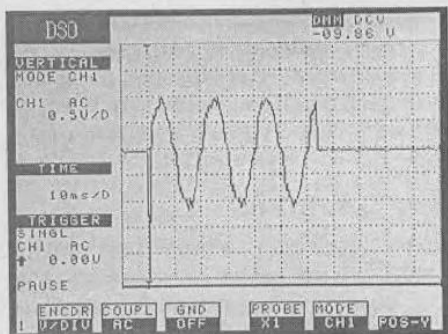


Рис. 3.23. Вид экрана осциллографа АСК-2023 в режиме комбинированного режима отображения информации

Внешний вид нового цифрового осциллографа АСК-2122 показан на рис. 3.25. Это двухканальный прибор с полосой частот вертикального отклонения до 100 МГц вполне может заменить как настольный осциллограф, так и переносной. Он может питаться от аккумуляторных батарей или от адаптера сети переменного тока. Чувствительность прибора по вертикали от 2 мВ/дел до 10 В/дел, диапазон развертки от 1 мкс/дел до 0,1 с/дел. Прибор имеет встроенный калибратор (3 В от пика до пика, 1 кГц), курсорные и автоматические вычисления, автоматическую настройку на сигнал и др.



Рис. 3.24. Блок логического анализатора для осциллографа АСК-2023

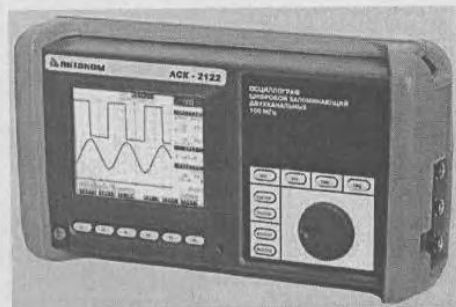


Рис. 3.25. Внешний вид цифрового запоминающего осциллографа АСК-2122

3.3.4. Цифровые осциллографы фирмы HITACHI

На российском рынке можно встретить некоторые модели цифровых осциллографов японской компании Hitachi, известной своими поставками электронного оборудования для Вооруженных сил Японии. Кратко отметим их возможности.

VC-6523

2 канала, 20 МГц, ЭЛТ, максимальная скорость выборки 20 МС/с, одновременная выборка на всех каналах 10 Кслов/с, память 2 Кслова/канал, вертикальное разрешение 8 бит, максимальная чувствительность 1 мВ (x5), RS-232, выход на плоттер, курсорные измерения, режим усреднения.

VC-6525

2 канала, 50 МГц, ЭЛТ, максимальная скорость выборки 20 МС/с, одновременная выборка на двух каналах 20 МС/с, память 2 Кслова/канал, вертикальное разрешение 8 бит, максимальная чувствительность 2 мВ, частотомер, автоустановка скорости развертки, RS-232, выход на плоттер, курсорные измерения, режим усреднения.

VC-6545

2 канала, 100 МГц, ЭЛТ, максимальная скорость выборки 40 МС/с, одновременная выборка на двух каналах, память 4 Кслова/канал, вертикальное разрешение 8 бит, максимальная чувствительность 2 мВ, цифровой частотомер, автоматическая установка скорости развертки, RS-232, выход на плоттер, курсорные измерения, режим усреднения.

3.3.5. Цифровые осциллографы фирмы TEKTRONIX

Корпорация Tektronix издавна занимает лидирующее место в разработке электронных осциллографов высшего класса [32—34]. В последние годы это прежде всего цифровые осциллографы, работающие в реальном масштабе времени (рис. 3.26) и стробоскопические осциллографы. Корпорация Tektronix занимает около половины рынка таких приборов. Рассмотрим основные типы цифровых осциллографов, предлагаемых на нашем российском рынке — увы, не очень обширном из-за низкой покупательской способности наших научных организаций, которым нужны подобные уникальные приборы.



Рис. 3.26. Цифровой 200-мегагерцевый осциллограф TDS-2024 фирмы Tektronix

Осциллографы фирмы Tektronix можно сразу узнать по их характерному прямоугольному корпусу и строгому виду в стиле «ретро». В приборе используются кнопки с плавными обводами и круглые ручки, по виду напоминающие ручки в старых радиоприемниках. Экран занимает значительную часть площади передней панели и позволяет отображать осциллограммы и результаты измерений. У многих осциллографов экран цветной. Цифровых надписей на передней панели практически нет — все, что необходимо, отражается на экране осциллографа.

Серия TDS1000

Приборы с частотой исследуемых сигналов от 0 до 60 или 100 МГц, 2 или 4 канала, дискретизация 1 или 2 ГГц, монохромный или цветной ЖКИ, память 2,5 кбайт/канал, вертикальное разрешение 8 бит, развертка по горизонтали 2 мВ — 5 В/дел, по горизонтали 5 нс — 50 с/дел, режим спектроанализатора (БПФ), 11 автоизмерений, видеосинхронизация с выбором строки, синхронизация по длительности импульса.

Опционально поставляются:

TDS-2CMAH — интерфейсный модуль для ПК (RS232, GPIB, Centronix, кабель), ПО OpenChoice;

TDS-2MEM — интерфейсный модуль для ПК (RS232, CompactFlash, Centronix кабель), ПО OpenChoice.

Отличия приборов:

TDS-1002: 60 МГц, 2 канала, дискретизация 1 ГГц, развертка по горизонтали 5 нс — 50 с/дел, 11-монохромный ЖКИ;

TDS-1012: 100 МГц, 2 канала, дискретизация 1 ГГц, развертка по горизонтали 5 нс — 50 с/дел, монохромный ЖКИ.

Серия TPS2000

100 или 200 МГц, 2 или 4 гальванически изолированных канала и изолированный вход внешней синхронизации, дискретизация 1 или 2 ГГц, цветной ЖКИ, память 2,5 кбайт/канал, вертикальное разрешение 8 бит, развертка по горизонтали 2 мВ...5 В/дел, по горизонтали 5 нс...50 с/дел, режим спектроанализатора (БПФ), сохранение данных на карту памяти CompactFlash, 11 автоизмерений, 6-разрядный частотомер, видеосинхронизация с выбором строки, синхронизация по длительности импульса, аккумуляторное питание, RS-232, LPT.

Опционально поставляются:

TPS2PBND — набор для измерения мощности для TPS2000. Включает 4 пробника P5120 (пассивных, высоковольтных) и ПО для измерения и анализа мощности TPS2PWR1;

TPS2PWR1 — ПО для измерения и анализа мощности. Мгновенный анализ осциллограмм и мощности, гармонический анализ, потери переключения, фазовый угол, измерения DV/Dt и DI/Dt в месте нахождения курсоров.

Отличия приборов:

TDS-2002: 60 МГц, 2 канала, дискретизация 1 ГГц, развертка по горизонтали 5 нс — 50 с/дел, цветной ЖКИ;

TDS-2012: 100 МГц, 2 канала, дискретизация 1 ГГц, развертка по горизонтали 5 нс — 50 с/дел, цветной ЖКИ;

TDS-2014: 100 МГц, 4 канала, дискретизация 1 ГГц, развертка по горизонтали 5 нс — 50 с/дел, цветной ЖКИ;

TDS-2022: 100 МГц, 4 канала, дискретизация 2 ГГц, развертка по горизонтали 2,5 нс — 50 с/дел, цветной ЖКИ;

TDS-2024: 200 МГц, 4 канала, дискретизация 2 ГГц, развертка по горизонтали 2,5 нс — 50 с/дел, цветной ЖКИ.

Серия TDS3000B

Приборы на 2 или 4 канала (1 МОм/50 Ом), 100, 200, 300, 400, 500 или 600 МГц, цифровой запоминающий, DPO, большой цветной ЖКИ, частота дискретизации 1,25/2,5/5 ГГц, длина записи 10 тыс. точек/канал, расширенный набор синхронизации (в т.ч. по видеосигналу), детектирование аномалий сигнала, БПФ, автоматические и курсорные измерения, FDD 3.5", выход для принтера и Ethernet, вход внешней синхронизации, небольшой, легкий.

Опционально поставляются:

TDS3VID — модуль для работы с аналоговым видеосигналом;

TDS3SDI — цифровое видео;

TDS3AAM — расширенная математика;

TDS3LIM — тестирование в пределах;

TDS3TMT — телекоммуникационные маски;

TDS3GV — модуль для подключения к ПК (RS-232, GPIB, выход VGA);

TDS3BAT(B), TDS3CHG — питание от аккумулятора.

Отличия приборов:

TDS-3012B: 2 канала, 100 МГц, дискретизация до 1,25 ГГц;

TDS-3014B: 4 канала, 100 МГц, дискретизация до 1,25 ГГц, есть опция BND;

TDS-3024B: 4 канала, 200 МГц, дискретизация до 2,5 ГГц;

TDS-3032B: 2 канала, 300 МГц, дискретизация до 2,5 ГГц;

TDS-3034B: 4 канала, 300 МГц, дискретизация до 2,5 ГГц, есть опция BND;

TDS-3044B: 4 канала, 400 МГц, дискретизация до 5 ГГц;

TDS-3052B: 2 канала, 500 МГц, дискретизация до 5 ГГц;

TDS-3054B: 4 канала, 500 МГц, дискретизация до 5 ГГц, есть опция BND;

TDS-3064B: 4 канала, 600 МГц, дискретизация до 5 ГГц.

Серия TDS5000B

Осциллографы с 2 или 4 каналами (1 МОм/50 Ом), полоса пропускания 350, 500 или 1000 МГц, частота дискретизации до 5 ГГц, DPO/DPX до 100 000 осциллограмм в секунду, Windows-архитектура, большой цветной ЖКИ, длина записи 8 Мбайт (стандарт), 16 Мбайт (опция). Развертка по вертикали 1 мВ — 10 В/дел. Развертка по горизонтали 200 пс/дел — 1000 с/дел. Вертикальное разрешение 8 бит (в режиме усреднения 11 бит). Погрешность 1,5%. 14 типов синхронизации, фильтры по входам и синхронизации. Пиковый детектор для импульсов с длительностью от 1 нс и выше. Интерфейсы GPIB, Centronics, RS-232, VGA-out, CD-RW. Есть также индивидуальная настройка интерфейса (MyScope(tm)), математический редактор, статистика, гистограммы, спектроанализатор. Опционально поставляются: встроенный принтер, сенсорный экран, увелич. память 16 Мбайт, программные пакеты для измерения мощности, джиттера и др.

Отличия приборов:

TDS-5032B: 350 МГц, 2 канала;

TDS-5034B: 350 МГц, 4 канала;

TDS-5052B: 500 МГц, 2 канала;

TDS-5054B: 500 МГц, 4 канала;

TDS-5104B: 1 ГГц, 4 канала.

Серия TDS6000B

Полоса 6 ГГц или 8 ГГц, 4 канала 50 Ом, частота дискретизации до 20 ГГц по всем каналам, DSO, Windows-архитектура, встроенный ПК: 512М, HDD, CDRW, 10"=сенсорный цв. ЖКИ, длина записи 2 Мбайт/канал до 32 Мбайт/канал (опция). Развертка по вертикали 2 мВ — 10 В/дел. Развертка по горизонтали 25 пс/дел — 40 с/дел. Вертикальное разрешение 8 бит (в режиме усреднения 11 бит). Погрешность 2%. Синхронизация PINPOINT(tm) — 1400 комбинаций, MultiView Zoom(tm), фильтры по входам и синхронизации. Пиковый детектор для импульсов с частотой от 50 пс. Выходные порты: GPIB, LAN 10/100/1000Base-T, Centronics, USB2.0, RS-232, VGA, Audio.

Отличия приборов:

TDS-6604B: 6 ГГц;

TDS-6804B: 8 ГГц — (50 пс — скор. нарастания по 10—90%) — с помощью DSP или 7 ГГц (62 пс) — аналоговая полоса.

TDS7000(B)

Полоса 500 МГц, 1 ГГц, 1,5 ГГц, 2,5 ГГц, 4 ГГц или 7 ГГц, 4 канала, частота дискретизации до 20 ГГц, DPO/DPX более 400 000 осциллограмм в секунду, Win-

dows-архитектура, встроенный ПК: 256М, FDD, HDD, CD-ROM, 10"-сенсорный цв. ЖКИ), длина записи 4 — 64 Мбайт. Развертка по вертикали 1 мВ — 10 В/дел. Развертка по горизонтали 200 пс/дел — 40 с/дел. Вертикальное разрешение 8 бит (в режиме усреднения 11 бит). Погрешность 1%. 11 типов синхронизации, фильтры по входам и синхронизации. Пиковый детектор для импульсов с длительностью от 1 нс. Выходные порты: GPIB, LAN 10/100Base-T, Centronics, USB, RS-232, VGA, Audio.

Отличия приборов:

TDS-7054: 500 МГц, 4 канала (1 МОм/50 Ом), частота дискретизации до 5 ГГц, VGA-ЖКИ, длина записи 4—16 Мбайт. Развертка по вертикали 1 мВ — 10 В/дел. Развертка по горизонтали 200 пс/дел — 40 с/дел;

TDS-7104: 1 ГГц, 4 канала (1МОм/50 Ом), частота дискретизации до 10 ГГц, VGA-ЖКИ, длина записи 4—16 Мбайт. Развертка по вертикали 1 мВ — 10 В/дел. Развертка по горизонтали 200 пс/дел — 40 с/дел;

TDS-7154B: 1,5 ГГц, 4 канала (50 Ом), частота дискретизации до 20 ГГц, XGA-ЖКИ, длина записи 4—64 Мбайт. Развертка по вертикали 2 мВ — 1 В/дел. Развертка по горизонтали 50 пс/дел — 10 с/дел;

TDS-7254B: 2,5 ГГц, 4 канала (50 Ом), частота дискретизации до 20 ГГц, XGA-ЖКИ, длина записи 4—64 Мбайт. Развертка по вертикали 2 мВ — 1 В/дел. Развертка по горизонтали 50 пс/дел — 10 с/дел;

TDS-7404B: 4 ГГц, 4 канала (50 Ом), частота дискретизации до 20 ГГц, XGA-ЖКИ, длина записи 4—64 Мбайт. Развертка по вертикали 2 мВ — 1 В/дел. Развертка по горизонтали 50 пс/дел — 10 с/дел;

TDS-7704B: 7 ГГц, 4 канала (50 Ом), частота дискретизации до 20 ГГц, XGA-ЖКИ, длина записи 4—64 Мбайт. Развертка по вертикали 2 мВ — 1 В/дел. Развертка по горизонтали 50 пс/дел — 10 с/дел.

Серия TDS8000B

70-гигагерцовый модульный цифровой сэмплирующий (проще говоря — стробоскопический) осциллограф, до 8 каналов (электрических и оптических сменных модулей), длина записи до 4000 точек, развертка по горизонтали 0,5 пс/дел — 5 мс/дел, сенсорный цветной 10-дюймовый ЖКИ с разрешением 640 × 480 точек. Это уникальный прибор, который есть только в самых престижных лабораториях мира.

Серия THS700

100 или 200 МГц, 2 гальванически развязанных канала, встроенный мультиметр, частота дискретизации 500 или 1000 МГц. Память на 10 файлов (форм сигнала). черно-белый ЖКИ, длительность записи 2,5 Кбайт/канал. Чувствительность 5 мВ — 50 В/дел. Развертка 5 нс — 50 с/дел. Вертикальное разрешение 8 бит. Погрешность 2%. Максимальное входное напряжение (1 МОм) — 300 В RMS. Курсорные измерения. 25 автоизмерений, 11 видов синхронизации. Режим регистратора. Подключение к ПК через RS232. Аккумулятор, вес 1,45 кг, 177 × 217 × 51 мм

Отличия приборов:

THS-720A: 100 МГц, 2 канала, частота дискретизации 500 МГц;

THS-720P: 100 МГц, 2 канала, частота дискретизации 500 МГц, дополнительно анализ гармоник, автоматические измерения мощности, синхронизация по двигателю с приводом ИШМ, пробники с максимальным напряжением 1 кВ;

THS-730A: 200 МГц, 2 канала, частота дискретизации 1 ГГц.

Сводная таблица осциллографов фирмы Tektronix, которые на российском рынке предлагает компания «Эликс», представлена на рис. 3.27. Приведенные данные можно использовать для выбора осциллографа для тех или иных работ.

[illegible]

Рис. 3.27. Внешний вид и технические характеристики цифровых осциллографов компании Tektronix

3.3.6. Осциллографы фирмы Tektronix с цифровым люминофором

До сих пор инженеры и ученые были вынуждены мириться с принципиально разными возможностями аналоговых и цифровых осциллографов, отмеченными выше. И должны были иметь в арсенале своих средств измерений как те, так и другие приборы. Объединение лучших черт цифровой и аналоговой технологий в одном приборе привело к созданию новой архитектуры осциллографов. Компанией Tektronix вначале была реализована технология InstaVu™, увеличивающая скорость вывода сигнала на дисплей до 400000 осциллограмм в секунду. Последняя техническая реализация, придающая экранам цифровых осциллографов динамику ЭЛТ АО, получила название *Digital Phosphor Oscilloscopes (DPO)* — *осциллографы с цифровым люминофором*.

ДРО предлагает все традиционные преимущества ЦО — от памяти до изолированной синхронизации, и при этом дает расширенные средства отображения сигнала дисплеем с градацией по яркости в режиме реального времени (цифровая эмуляция химического процесса свечения ЭЛТ), тем самым обеспечивая трехмерную информацию о сигнале: амплитуду, время и интенсивность (распределение амплитуды во времени). Это превращает цифровой осциллограф в универсальный инструмент для исследования формы сигналов.

Новая технология осциллографов с цифровым люминофором (DPO) обладает следующими преимуществами:

- сверхвысокой скоростью сбора и вывода данных на дисплей;
- возможностью обеспечения на цветном дисплее трехмерной информации о сигнале (амплитуда, время, интенсивность);

- возможностью исследования сложных сигналов без искажений;
- современными методами анализа данных посредством трехмерного изображения сигнала.

Для этого в DPO сигнал сначала оцифровывается, как в типовом цифровом осциллографе, затем данные преобразуются и размещаются в трехмерной базе данных, структура которой соответствует экранному растру. Оттуда информация периодически отсылается в систему дисплея, которая обслуживается собственным процессором. Следует отметить, что системный процессор DPO не загружен задачами управления дисплеем, процессор предназначен для автоматического измерения и анализа — это отличительная черта DPO от типового ЦО. Такая параллельная обработка необходима для DPO, чтобы поддерживать высокую скорость сбора и отображения трехмерной информации о сигнале.

Сердце DPO — процессор представления сигнала (Waveform Imaging Processor). Процессор DPXTM (технология КМОП, 0,65 мкм, 1,3 миллиона транзисторов) преобразует оцифрованный сигнал в дисплейный кадр в виде растровой структуры. Эти кадры накапливаются в динамической трехмерной базе данных, называемой «цифровой фосфор» (Digital Phosphor) и представляющей собой массив данных с размером 500×200 . Каждому элементу массива соответствует пиксель на дисплее. При этом в массиве создается карта интенсивности сигнала: если сигнал проходит многократно через одну точку, то факт многократного прохождения отражается на карте. Результатом всех преобразований является след сигнала, яркость которого изменяется пропорционально интенсивности появления сигнала в каждой точке — по типу «градации серого», как происходит на ЭЛТ аналогового осциллографа.

Архитектура DPO позволяет записывать более 200000 дисплейных кадров в секунду, что в 1000 раз быстрее, чем у типового цифрового осциллографа. Пересылка кадра из «цифрового фосфора» на дисплей происходит 30 раз в секунду. При этом процесс работы АЦП не прерывается, в результате чего «образ» реагирует на изменение сигнала в реальном времени, а избыток данных точно отображает мельчайшие изменения сигнала.

Время работы АЦП типового аналогового осциллографа занимает не более 1% от общего времени работы, остальная часть времени затрачивается на обработку сигнала для отображения на дисплее, при этом все изменения сигнала за этот период игнорируются. Для отображения нестационарных изменений в ЦО иногда используется метод «накопления», но отображение происходит не в реальном времени, а после обработки. В результате часть информации о сигнале неизбежно теряется.

Таким образом, для исследования сигналов в реальном времени необходим осциллограф с цифровым люминофором. DPO имеет высокую скорость сбора и вывода информации, следовательно, он не пропустит короткий, нестационарный сигнал, а градация по яркости позволяет рассмотреть все нюансы на осциллограмме.

Поскольку DPO хранит данные о форме сигнала в динамической трехмерной базе данных, то из нее легко может быть получена статистическая информация об этом сигнале. Построение гистограмм является встроенной функцией осциллографа. Гистограмма может быть построена как для реального, так и для сохраненного во внутренней памяти сигнала. Для расчета гистограммы используется количественная информация относительного распределения сигнала, которая хранится в динамической трехмерной базе («цифровом фосфоре») DPO.

Ведущее издание в индустрии измерительного оборудования, журнал Test and Measurement World еще в 2000 году присудил осциллографам серии TDS 3000 DPO компании TEKTRONIX, первую премию Best in Test, как самым популярным (реализовано более 10000 штук) моделям года. К сожалению, в России эти приборы мало известны из-за своей высокой цены. В конце главы 5 мы вернемся к описанию возможностей осциллографов с цифровым люминофором и приведем примеры их применения в измерительной практике.

3.3.7. Цифровые осциллографы фирмы RIGOL

Известным производителем цифровых осциллографов является также фирма RIGOL. Ее интересы на российском рынке представляет ОАО «Прист». В рекламном проспекте этой фирмы представлена серия осциллографов DC 5000 CA/C/MA/M, насчитывающая 15 моделей. Внешний вид одной из моделей показан на рис. 3.28.



Рис. 3.28. Внешний вид цифрового запоминающего осциллографа фирмы RIGOL

Характеристики наиболее распространенных моделей цифровых осциллографов фирмы RIGOL представлены на рис. 2.29. Приборы выпускаются с частотами вертикального отклонения от 25 до 200 МГц и коэффициентами отклонения от 2 мВ/дел до 25 В/дел. Развертка от 2 нс/дел до 50 с/дел. Входной импеданс 1 Мом/13 пФ в моделях с частотами до 100 МГц, у более высокочастотных осциллографов 50 Ом. У последних эквивалентная частота дискретизации доходит до 50 ГГц.

3.3.8. Цифровые осциллографы фирмы LeGroy (общая оценка)

Фирма LeGroy сравнительно новый продавец на рынке цифровых широкополосных осциллографов. Но она быстро зарекомендовала себя как серьезный конкурент фирм Tektronix и Agilent Technologies. Продажа приборов этой фирмы организована ОАО «Прист». Подробные данные об осциллографах фирмы LeGroy можно найти на Интернет-странице www.lecroyscope.ru и в описаниях этих осциллографов [35—37].

Тут уместно отметить, что в наше время СВЧ-устройства вторгаются в нашу жизнь поразительно быстрыми темпами. Достаточно указать на микроволновые печи, сотовую и мобильную телефонию на СВЧ, беспроводные интерфейсы для компьютеров, микропроцессоры с тактовой частотой до 4 ГГц и т. д. и т. п. Для разработки, производства и ремонта таких устройств стали остро необходимы осциллографы с диапазоном рабочих частот в несколько ГГц, а в отдельных случаях и до десятков ГГц.

ХАРАКТЕРИСТИКИ	ПАРАМЕТРЫ	DS 5202CA	DS 5152 CA/MA/С/М	DS 5102 CA/MA/С/М	DS 5062 CA/MA/С/М	DS 5042 M	DS 5022 M
КАНАЛ ВЕРТИКАЛЬНОГО ОТКЛОНЕНИЯ	Полоса пропускания (-3 дБ)	200 МГц	150 МГц	100 МГц	60 МГц	40 МГц	25 МГц
		Ограничена полоса пропускания до 20 МГц					
	Коэф. отклонения ($K_{откл}$)	2 мВ/дел...5 В/дел (шаг 1-2-5), плавная регулировка					
	Погрешность установки $K_{установка}$	$\pm 3\%$ ($\pm 4\%$ при 2...5 мВ/дел)					
	Время нарастания	$< 1,8$ нс	$< 2,3$ нс	$< 3,5$ нс	$< 5,8$ нс	$< 8,7$ нс	< 14 нс
	Входной импеданс	1 МОм ($\pm 2\%$) / (13 ± 2) пФ 50 Ом ($\pm 2\%$) в моделях DS5202/5152					
КАНАЛ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ОТКЛОНЕНИЯ	Макс. входное напряжение	400 В при 1 МОм и пробнике $\times 10$ 5 В при 50 Ом					
	Коэф. развертки ($K_{разв}$)	1 нс...50 с/дел (шаг 1-2-5)					
СИНХРОНИЗАЦИЯ	Погрешность установки $K_{установка}$	$\pm 0,01\%$					
	Источники синхросигнала	Канал 1 (2), сеть, внешний, внешний 1:5					
	Режимы запуска развертки	Автоколлапсительный, ждущий, ТВ (NTSC, PAL / SECAM)					
	Вид связи выхода синхронизации и фильтры	Открытый, закрытый, ФНЧ, ФВЧ					
	Внешняя синхронизация (1:1)	Чувствительность: 200 мВ Уровень: $\pm 1,6$ В					
АНАЛОГ-ЦИФРОВОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ	Разрешение по вертикали	8 бит					
	Частота дискретизации	250 МГц (С / М); 1 ГГц (CA / MA); эквив. 50 ГГц					
	Объем памяти	4 кб на канал					
	Режимы сбора данных	Стандартная выборка, усреднение (2 / 4 / 8 / 16 / 32 / 64 / 128 / 256)					
	Интерполяция	(y/x, x/y)					
КУРСОРНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ	Ручной режим	ΔU ; ΔT ; $U/\Delta T$					
АВТОМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ	По вертикали	Пик-пик, амплитуда, максимальное, минимальное, «высокий» уровень, «низкий» уровень, среднее, среднеквадратическое, выбросы на вершине и в паузе					
	По горизонтали	Частота; период; время нарастания и спада; n - ширина импульса, n - скважность, задержка					
ПРОБНИКИ	Режим работы	X 1			X 10		
	Полоса пропускания	6 МГц			200 МГц		
	Коэффициент деления	1:1			10:1		
	Входное сопротивление	1 МОм $\pm 2\%$ // 85-115 пФ			10 МОм $\pm 2\%$ // 14,5-17,5 пФ		
ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ	Интерфейс	Возможна установка коммуникационного модуля с интерфейсами RS-232 и КОП					
	Математика	Функции сложения, вычитания, умножения, деления, БПФ					
	Документирование результатов	Возможность сохранения 10 осциллограмм и 10 профилей настроек					
ОБЩИЕ ДАННЫЕ	ЖК-дисплей	Диагональ 145 мм (разрешения 320 x 240)					
	Напряжение питания	100...240 В ($\pm 10\%$), 50 Гц					
	Габаритные размеры	255 x 350 x 145 мм					
	Масса	4,5 кг					
	Комплект поставки	Шнур питания (1), делитель 1:1/10/2, руководство по эксплуатации (1)					

Рис. 3.29. Характеристики основных моделей цифровых осциллографов фирмы RIGOL

Создание таких устройств оказалось чрезвычайно сложным делом. Достаточно отметить, что создание и промышленное производство современных крупных авиалайнеров успешно освоено рядом крупных фирм в 5 странах мира. А создание осциллографов с частотами до 5—7 ГГц и выше освоено только на трех указанных выше фирмах — Tektronix, Agilent Technologies и LeGroy. Можно сказать, что на этих трех китах и держится мир современной высокоскоростной осциллографии.

Успех фирмы LeGroy во многом обязан не только доступом к сверхскоростной элементной базе, но и ориентацией фирмы на разработку осциллографов на базе стандартной открытой платформы персональных компьютеров, с новейшими микропроцессорами корпорации Intel — Pentium 4. Говоря проще, основой вычислительной мощи осциллографов фирмы LeGroy является системная плата от обычного ПК с микропроцессором Pentium 4 с тактовой частотой 2,6 ГГц. Никогда еще цифровые осциллографы не имели такого «мощного и высокооборотного двигателя».

Такой подход не только упрощает построение цифровой части осциллографов, но и позволяет использовать мощный встроенный видеоадаптер системной платы и обычный ЖКИ-дисплей. Большой цветной дисплей (26 × 26 см) осциллографов позволяет отображать очень четкие и хорошо различимые осциллограммы. Разумеется, высокие характеристики осциллографов получены и благодаря тщательной отработке осциллографических блоков. Толщина осциллографа всего в 15–16 см и вертикальная ориентация корпуса обеспечивают малое место, нужное для установки осциллографа на рабочем столе инженера или ученого.

В современных осциллографах компании LeCroy для обработки входного сигнала применена новая технология X-Stream, позволяющая в десятки и сотни раз быстрее обрабатывать входной сигнал, чем у аналоговых моделей конкурентов. А при исследовании СВЧ-сигнала с помощью цифровых запоминающих осциллографов (ЦЗО или DSO), обладающих, как известно рядом недостатков, остро встает проблема увеличения скорости захвата осциллограмм и уменьшения времени обработки входного сигнала при выводе на дисплей. Технология X-Stream позволяет решить эту техническую проблему.

X-Stream-технология основана на том, что входной сигнал поступает на SiGe АЦП (на основе гетеропереходов, дающих самое высокое быстродействие транзисторов) и оцифровывается в реальном времени с частотой до 10 Гв/с. После чего сигнал разбивается на пакеты и хранится в быстрой КМОП-памяти (DRAM) тракта оцифровки. По двум высокоскоростным каналам сигнал из памяти передается в центральный процессор (ЦП). ЦП производит необходимую математическую обработку сигнала и вывод на ЖК-дисплей.

Программно-аппаратная реализация собственных уникальных технологий позволила обеспечить не превзойденную другими производителями скорость преобразования входного сигнала, вывода и продвижения цифрового потока данных X-Stream после работы АЦП, а также синхронную и взаимосвязанную работу памяти DRAM и центрального процессора (фактически ПЭВМ) посредством использования шины PCI и 1-гигабитного Ethernet. Такое ускорение продвижения данных, в конечном итоге формирующих на экране ЦЗО исследуемый сигнал в реальном формате времени, в том числе при наблюдении длительных (распределенных по времени) сигналов, позволяет задействовать значительные объемы памяти для обеспечения всестороннего и полного их анализа.

Кроме того, применение технологии X-Stream позволяет программные процедуры и задачи, написанные при помощи таких средств, как MATLAB, Mathcad, Excel или Visual Basic, корректно помещать (инкапсулировать) в поток цифровых данных.

В таких отраслях промышленности, как радиоэлектроника, в сферах телекоммуникаций и связи, при производстве компьютерной техники и многих других, в которых необходимо тестировать и оценивать происходящие переходные, неустойчивые пикосекундные процессы. Это позволяют осциллографы фирмы LeCroy.

3.3.9. Цифровые осциллографы LeCroy WaveRunner

Осциллографы LeCroy WaveRunner 6030A, 6050A, 6051A, 6100A, 6200A, 6030, 6050, 6051, 6100, 6200 (рис. 3.30) рекламируются как предназначенные для ежедневной работы. В этой серии приборов инженеры LeCroy реализовали свою мечту создать простой, доступный и необыкновенно производительный осциллограф. До недавнего времени исследователь должен был либо выбирать дорогостоящий, сложный, мощный осциллограф для ежедневной аналитической работы, либо покупать

дешевую маломощную модель низшего класса и малых возможностей. Лабораторный осциллограф серии WaveRunner 6000 устраняет проблему трудного выбора.



Рис. 3.30. Цифровой универсальный осциллограф серии LeCroy WaveRunner

Что дают серии WaveRunner 6000 такие многофункциональные возможности?

Интуитивный двухуровневый пользовательский интерфейс позволяет кончиками пальцев решать общие задачи, а при более глубоком анализе — достаточно просто двух легких прикосновений к сенсорному экрану. Выпускаются следующие модификации осциллографов:

- WaveRunner 6030/WaveRunner 6030A, 4 канала, 350 МГц, 2,5 Гбайт/с;
- WaveRunner 6050/WaveRunner 6050A, 4 канала, 500 МГц, 5 Гбайт/с;
- WaveRunner 6051/WaveRunner 6051A, 2 канала, 500 МГц, 5 Гбайт/с;
- WaveRunner 6100/WaveRunner 6100A, 4 канала, 1 ГГц, 5 Гбайт/с;
- WaveRunner 6200/WaveRunner 6200A, 4 канала, 2 ГГц, 5 Гбайт/с.

Приборы с индексом «А» относятся к обновлённой линейке (анонсирована LeCroy в конце 2004 года). Они обладают улучшенными техническими характеристиками:

- изменена схема и элементная база входного усилителя, что привело к значительному снижению шума каналов вертикального отклонения;
- в стандартной комплектации длина внутренней памяти увеличена до 2 Мбайт;
- применен новый высококонтрастный ЖКИ, обладающей более значительной светоотдачей, что сделало картинку на экране более четкой, даже при сильном освещении в помещении;
- применена новая интеллектуальная схема управления вентиляторами, что позволило значительно снизить акустический шум от работающего осциллографа;
- в качестве операционной среды используется Windows XP;
- в программном обеспечении ЦЗО добавлена новая функция LabNotebook™, что позволяет создавать, корректировать и отправлять отчеты на основе полученных осциллограмм прямо из ПО осциллографа (ранее для этого требовалось использование трех различных ПО из ОС Windows).

С помощью панели управления WaveRunner 6000 можно контролировать просмотр и измерение необходимых форм сигналов. Установка коэффициента откло-

нения, смещения, изменение масштаба, инсталлированные процедуры, курсоры и документирование находятся под управлением кончиков пальцев и органов управления.

Серия лабораторных осциллографов WaveRunner 6000 поддерживает полосу пропускания от 350 МГц до 2 ГГц и частоту дискретизации от 2,5 до 10 Гв/с. Стандартная длина памяти составляет 1 Мбайт, расширяемая до 12 Мбайт на всех каналах, а в случае объединения двух каналов — до 24 Мбайт. Осциллографы WaveRunner с данными параметрами работы стоят намного меньше своих предшественников со старыми технологиями. Так, даже при небольшом бюджете, можно получить доступ к передовой технологии осциллографирования.

Новый пассивный делитель PP007 на частоты до 500 МГц поставляется в комплекте с серией WaveRunner 6000. Делитель имеет размер иглы 2,55 мм и позволяет производить измерения в маленьких пространствах без касания другого устройства. Малая емкость (<9,5 пФ) и плоская АЧХ гарантируют хорошее согласование с высокоомным входным усилителем WaveRunner. Делитель совместим с более чем 30 приспособлениями, включая зажимы, крючки, наконечники, «земляные» провода и адаптеры BNC. Это позволяет применять его в различных областях. PP007 является одним из 25 пассивных, активных, электрических и дифференциальных пробников от LeCroy, которые совместимы с WaveRunner 6000.

Осциллографы серии WaveRunner 6000 используют те же технологии SiGe, которая применяется в высокоскоростных осциллографах WaveMaster от LeCroy (они описаны ниже). Высокие частоты дискретизации в сочетании с низким значением джиттера (3 пс) и высокостабильным опорным генератором дают такое разрешение по времени, которое могут дать только осциллографы других фирм, стоящие в два раза дороже.

Память осциллографа WaveRunner 6000 сохраняет тысячи событий, которые могут быть сохранены для просмотра на досуге. Можно воспроизводить историю сигнала, искать и просматривать сигнал от развертки к развертке и останавливать сигнал, если пользователя что-то заинтересовало.

Компания LeCroy внедрила собственную X-Stream-технология в осциллографы WaveRunner 6000, что позволило значительно увеличить производительность и повысить скорость отображения на дисплее. Собственные алгоритмы обработки, КМОП-память, а также усилители и АЦП на основе SiGe-полупроводниковой технологии позволяют захватывать и обрабатывать данные в 10–100 раз быстрее, чем осциллографы конкурентов. По крайней мере так утверждают разработчики этих приборов.

Серия WaveRunner 6000 сконструирована таким образом, что при увеличении потребностей пользователей растут ее возможности и производительность. Дополнительные пакеты программ позволяют этому многофункциональному лабораторному осциллографу выполнять самые сложные математические и аналитические задачи с легкостью, независимо от сложности применения. Более того, цена на данный осциллограф намного меньше цен его конкурентов, которые не являются столь же многофункциональными и не имеют столько дополнительных приспособлений и программ. Впрочем, специалисты конкурирующей компании Tektronix оспаривают эти доводы и справедливо отмечают, что при регистрации однократных процессов ее осциллографы имеют определенные преимущества.

Возможности подобных приборов во многом определяются не только совершенством их аппаратных решений, но и программными средствами. Ориентация WaveRunner на самую массовую операционную систему Windows XP способствует

разработке пакетов программ для осциллографов этой серии. Например, расширенный математический пакет XMATH предоставляет полный набор инструментальных средств, предназначенных для выполнения анализа формы сложных сигналов. Он позволяет использовать более 30 стандартных математических функций и выполнять измерения более 40 параметров. Он дает возможность измерений со слежением, расширенное БПФ (до 24 Мбайт), расширенное построение гистограмм и построение графиков различных параметров во времени вплоть до одного миллиона событий. Для максимально глубокого выполнения анализа можно подключать неограниченное количество функций. Для использования этой возможности XMATH обладает графическим интерфейсом, который позволяет осуществлять связь с источником входного сигнала, выполнять измерение и отображать пиктограммы для весьма простого выполнения расширенного анализа.

Расширенный пакет индивидуального анализа XDEV позволяет создавать индивидуальные программы для параметров измерений или математических функций с использованием таких программных обеспечений, как Excel, MATLAB и Mathcad. XDEV позволяет интегрировать без каких-либо дополнительных настроек индивидуальные измерения непосредственно в информационный канал осциллографа, устраняя необходимость выполнения программ по отдельности. Можно также использовать XDEV для настройки интерфейса осциллографа. Если необходимо создать шаблон для специальной задачи или для конкретной аудитории (например, для технического персонала предприятия или студентов) или даже если вы просто любите настраивать интерфейс на свой собственный вкус, вы без труда сможете это сделать.

Осциллографы серии WaveRunner 6000 обладают многочисленными опциями, касающимися программирования. В дополнение к унаследованному от LeCroy языку команд дистанционного управления можно использовать COM-команды или драйверы IVI и LabView. Операционная система осциллографа WaveRunner 6000, построенная по принципу открытой платформы Windows, предоставляет возможность устанавливать любое Windows-совместимое программное обеспечение, позволяя использовать наилучшие программные средства и периферийные устройства, подключаться к Интернету и даже работать с осциллографом дистанционно.

Пакет DFP2 позволяет вам применять любой из линейно-фазовых фильтров с конечной импульсной характеристикой. Данный пакет расширяет возможности в исследовании важных компонентов сигнала с помощью отфильтровывания нежелательных спектральных компонентов, например шума. Можно воспользоваться стандартными фильтрами или создавать свои собственные.

Пакет измерений для дисковых приводов (DDM2) включает в себя множество новых измерений, предназначенных для дисковых приводов. DDM2, в сочетании с расширенной системой синхронизации, предлагает идеальное решение для выполнения анализа неисправности при проверке дисковых приводов.

Только для WaveRunner 6200 поставляется пакет для проверки локальных сетей Ethernet.

Данный пакет (ENET) позволяет выполнять полную проверку сигналов для стандартов Ethernet 1000Base-T, 100Base-TX и 10Base-T. Измерения джиттера и по маске импульса выполняются с автоматическим совмещением формы сигнала, а все полученные результаты имеют индикаторы прохождения или непрохождения тестирования в соответствии с проверяемым стандартом IEEE 802.3-2000 и ANSI X3.263.

Пакет JTA2 используется для определения эффектов модуляции и дрожания неустойчивого сигнала, для отслеживания изменений по времени и для выполнения измерений во временных, частотных и статистических областях. Просмотр дрожания сигнала и гистограмма дрожания сигнала позволяют вести наблюдения за системой такими способами, которые ранее даже не предполагались.

Для анализа и измерения мощности служит пакет PMA2, занимающий ведущую роль в промышленных областях применения, автоматизирует и расширяет возможности по выполнению анализа устройств и схем преобразования энергии. Использование вспомогательных принадлежностей, типа дифференциальных усилителей, дифференциальных датчиков, датчиков тока и приспособлений для компенсации сдвига по фазе способствует полному решению поставленной задачи измерения и анализа мощности.

Пакет средств SDM, благодаря расширенной памяти и собственному низкому значению джиттера цифрового запоминающего осциллографа WaveRunner, предоставляет возможность измерения параметров характеристик последовательных шин. Пакет SDM позволяет выбрать необходимую маску из обширного перечня стандартных глазковых диаграмм или создать свой собственный шаблон. Нарушения условий шаблона ясно обозначаются на дисплее, поэтому вам не нужно постоянно теряться в догадках. SDM также позволяет использовать программное обеспечение Golden PLL, предназначенное для восстановления глазковой диаграммы, получаемой из длительного сбора данных. Измерения выполняются очень быстро, и при этом устраняется явление джиттера синхроимпульса, предоставляя наиболее точный результат измерения. Поставляется и ПО для тестирования протоколов передачи интерфейса USB 2.0 (только для WaveRunner 6200). Порт USB2 полностью обеспечивает сбор и анализ данных для устройств с интерфейсом USB 2.0.

Осциллографы компании LeCroy разработаны, произведены и тестированы так, чтобы обеспечить высокую надежность работы. На них дается трехгодичная гарантия. Для минимизации потерь от простоя LeCroy осуществляет обновление версий ПО, поверки, страховки и пересылки приборов, находящихся на гарантийном обслуживании, без взимания платы. Долгосрочная поддержка осуществляется в течение семи лет.

3.3.10. Цифровые осциллографы LeGroy WaveSurfer

Еще одна серия приборов фирмы LeGroy — осциллографы серии WaveSurfer (рис. 3.31). Эти приборы в большей степени ориентированы на массовые применения. Они имеют полосы частот вертикального тракта 200, 350 и 500 МГц. Панель управления несколько упрощена.

Основные технические характеристики осциллографов серии WaveSurfer представлены таблицей на рис. 3.32, а дополнительные — на рис. 3.33. Представленные характеристики дают достаточно полное представление об этой серии осциллографов.

3.3.11. Цифровые осциллографы LeGroy WavePro

Серия цифровых осциллографов LeCroy WavePro (рис. 3.34) оснащена АЦП и входными усилителями, выполненными по технологии SiGe, в них также применена технология X-Stream™. Серия WavePro 7000 предоставляет возможности по быстрым и точным измерениям в полосах 1 ГГц и 3 ГГц.

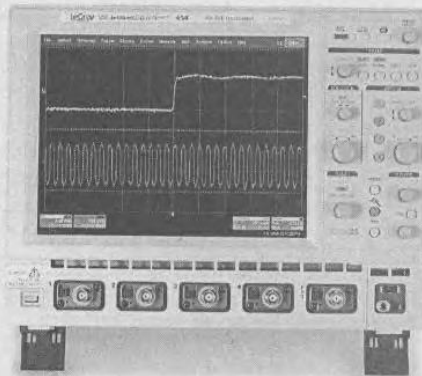


Рис. 3.31. Цифровой осциллограф серии WaveSurfer

Основные характеристики	
Тип осциллографа	424 422 434 432 454 492
Полоса пропускания	200 МГц 350 МГц 500 МГц
Время нарастания	2 нс 1.15 нс 500 пс
Количество каналов	4 2 4 2 4 2
Частота дискретизации	1 Гвыб/с (при однократном запуске); 2 Гвыб/с (при объединении каналов)
Эквивалентная частота дискретизации	50Г выб/с
Стандартная длина памяти	250 К (500К при объединении каналов)
Максимальная длина памяти (при использовании опции)	1М (2М при объединении каналов)
Стандартное время захвата сигнала	250 мкс при максимальной частоте дискретизации
Максимальное время захвата сигнала (при использовании опции расширения памяти)	1 мс при максимальной частоте дискретизации
Вертикальное разрешение АЦП	8 бит
Коэффициент отклонения	1 мВ/дел - 10 В/дел (1 МОм) 1 мВ/дел - 2 В/дел (50 Ом)
Погрешность измерения напряжения	$\pm(0.015\%U + 0.005\%K)$ K - величина численно равная установленному значению коэффициента отклонения, В.
Ограничение полосы пропускания	20 МГц 20 МГц
Максимальное входное напряжение	400В пикового значения
Связь входа	постоянная переменная, заземлено
Входное сопротивление	1МОм (16пф) 50 Ом 1%
Тип делителей	разъем BNC или ProBus®
Делитель (стандартный)	PP007 (500 МГц) на каждый канал
Коэффициент отклонения	1 нВ/дел - 1000 В/дел в режиме самописца от 500 мВ/дел до 1000 В/дел
Погрешность измерения временных интервалов	10 ppm

Рис. 3.32. Основные характеристики цифровых осциллографов серии WaveSurfer

Просмотр сигнала на экране с высоким разрешением является необходимым, однако сегодняшние инженерные задачи требуют возможности проведения новых видов измерений и анализа формы сигнала. Такие возможности дают большую уверенность в результатах измерений и позволяют сделать измерения более быстрыми, более точными и достоверными. Этому способствует высокая частота дискретизации в реальном времени 10 ГГц (20 ГГц при объединении каналов), захват до 48 миллионов точек для анализа сложных сигналов при высоких частотах дискретизации и входные переключаемые сопротивления 1 МОм или 50 Ом. Осциллографы имеют малый джиттер (дрожание фронта импульсов) на уровне 2 пс.

Уникальный процесс обработки сигналов дает возможность добавлять собственные виды измерений в программу.

Дополнительные характеристики	
Система синхронизации	автоматический, ждущий, однократный
Режимы запуска:	один из каналов, внешняя, внешняя 1:10, от сети
Источник синхронизации	постоянная составляющая, переменная составляющая, ВЧ, ВЧ режесторный, ИЧ режесторный
Фильтры синхронизации	0-100% от полной шкалы
Предзапуск	0-10.000 делений
Послезапуск	от 2с до 20с или от 1 до 99 999 999 событий
Удержание	5 делений от центра
Диапазон внутренней синхронизации	ВНЕС 10 $\pm$ 5В, ВНЕС 10 $\pm$ 500мВ
Диапазон внешней синхронизации	1МОм или 50 Ом
Входное сопротивление	Фронт по выбранной полярности фронта (положительной, отрицательной или оном) с установленным уровнем
Виды синхронизации	Синхронизация сбоем положительным или отрицательным сбоем с установкой интервала сбоя в пределах от 2нс до 20с или по прерывистому сбою, включая режимы запуска по прерывистому сбою по заданной длительности импульса.
Дополнительные виды синхронизации (опция)	Рамковая синхронизация Синхронизация по скорости нарастания напряжения. По интервалу (сигнал или образец). Спящая По качеству (состояние или фронт).
Автоматические измерения	Одновременно может быть отображено до 6 измеряемых параметров различных осциллограмм: Амплитуда, Область, Нижнее значение, Задержка, Связанность, Время спада (90%-10%), Время спада (80%-20%), Частота, Максимум, Минимум, Среднее значение, Положительный выброс, Отрицательный выброс, Период, Пиковое значение, Время нарастания (90%-10%), Время нарастания (80%-20%), Среднеквадратичное значение, Асимметрия, Стандартное отклонение, Верхнее значение, Длительность.
Растяжка	Растяжка сигнала с использованием органов управления передней панели, мыши или сенсорного экрана для выделения увеличиваемой области.
Стандартные математические функции	Суммирование, разность, продукт, отношение и БПД (использование прямоугольного, плоского окон или окна Вольтана). Всего возможно использование одной математической функции одновременно.
Расширенные математические функции (опция MathSurfer)	Добавляет следующие математические функции: Абсолютное значение, Усреднение (суммированное и продольное), Производная, Отбрасывающая, Повышение разрешения (до 11 бит), Минимальный уровень, Интеграл, Инвертирование, Обратная величина, Максимальный уровень, Квадрат и Корень квадратный. Также добавляется возможность использование одновременно двух математических функций и пересчет в другие единицы.
Рабочие условия	Температура: От +5 °C до +40 °C Влажность: От 5% до 80%, при температуре 30 °C без образования конденсата
Размеры	260 мм x 340 мм x 152мм
Вес	6.8 кг. Включая аксессуары
Гарантия	3 года, 7 лет техническая поддержка программного обеспечения
Стандартная комплектация	
• 10.4 дюймовый цветной сенсорный экран • PPO07, 10:1 пассивный пробник (1 на канал) • Сетевой порт 10/100 Base T • Три порта USB 2.0 • Порт вывода видеосигнала SVGA • Последовательный порт RS232-C • Параллельный порт 'Центроник' • Встроенная система оперативной консультативной информации на выбранном языке • Защитная крышка передней панели • Комплект-диск с руководством по эксплуатации и дистанционному управлению, обучающее руководство, руководство по быстрому ознакомлению • Комплект-диски с утилитами и восстанавливающим программным обеспечением • Сертификат о калибровке • 3-х летняя гарантия, 7-ми летняя техническая и программная поддержка	

Рис. 3.33. Дополнительные характеристики цифровых осциллографов серии WaveSurfer

Приборы серии WavePro делятся по полосе пропускания канала Y:

- WavePro 7300, 4 канала, 3 ГГц;
- WavePro 7200, 4 канала, 2 ГГц;
- WavePro 7100, 4 канала, 1 ГГц;
- WavePro 7000, 4 канала, 1 ГГц.

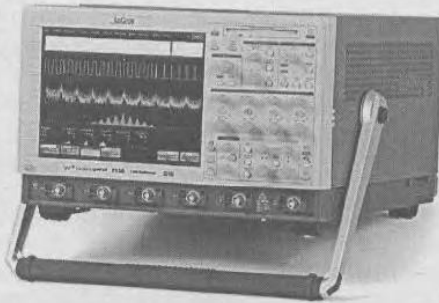


Рис. 3.34. Внешний вид осциллографа LeCroy серии WavePro

В запатентованной технологии X-Stream компании LeCroy реализована высокоскоростная потоковая архитектура, позволяющая избежать проблем выбора между большими объемами записей и быстрой обработкой. WavePro с технологией X-Stream может проводить анализ в 10–100 раз быстрее, чем любой другой осциллограф с полосой пропускания 1–3 ГГц. Это делает их отличными приборами для исследований в таких проектах, как разработка устройств Datacom/telecom, высокоскоростной Ethernet, USB 2.0 и т. д.

Осциллографы WavePro имеют множество других возможностей, которые упрощают работу. Среди них новая структуризация настроек для измерения и анализа, большой цветной сенсорный экран, а также быстрый доступ к расширенным возможностям по анализу сигнала.

Осциллографы WavePro являются единственными приборами с такой полосой пропускания, которые могут точно измерить длинные сложные сигналы, применяемые в современных устройствах. Основа этому — собственная технология компании LeCroy X-Stream. Никакая другая компания не может предложить технологию, аналогичную X-Stream. Только LeCroy дает ту уверенность в результатах измерений, в которой вы нуждаетесь.

Технология X-Stream обеспечивает:

- захват и анализ длинных сигналов быстрее чем когда-либо;
- расширенный набор инструментов для детального анализа сигнала;
- настройку режимов измерений под потребности пользователя;
- отображение сигнала наряду с обычными осциллограммами в трехмерном виде и в виде гистограмм.

КМОП-память, также являющаяся собственной разработкой компании LeCroy, принимает 10 Гбайт данных в секунду в реальном времени от каждого аналогово-цифрового преобразователя SiGe, объединяет их в пакеты и передает данные через два гигабитных канала Ethernet. Как только данные попадают в центральный процессор, то алгоритмы программного обеспечения, являющиеся собственностью компании LeCroy, «захватывают» каждый пакет и выполняют требуемые вычисления в кэше первого уровня центрального процессора. Этот процесс устраняет «получение» данных и математических инструкций из оперативной памяти для минимизации времени вычисления. Он позволяет также пользователю разрабатывать собственные функции анализа и виды измерений и вставлять их в процесс обработки данных, используя опцию XDEV.

С операционной системой MS Windows® 2000 Pro осциллограф работает под ОС, обеспечивающей устойчивую работу, а также интуитивный и информативный пользовательский интерфейс. Приборы имеют большой объем памяти 1 Мбайт на канал в стандартной комплектации, возможно расширение памяти до 24 Мбайт на канал.

Есть ряд и дополнительных функций, например, автоматическая растяжка всех разверток в 10 раз, а также «аналоговое послесвечение» — выбор между цифровым режимом отображения и режимом аналоговой эмуляции для исследования модуляции сигнала. Автоматическая настройка сигнала возможна нажатием одной кнопки, что обеспечивает захват сигнала и его вывод на дисплей. Большой сенсорный экран SVGA с размером по диагонали 26,4 см имеет на 200% большую площадь, чем у других осциллографов.

Еще одна серия цифровых осциллографов WavePro 7000 характерна применением аналогово-цифрового преобразователя SiGe, большого экрана с высоким разрешением, операционной системы Windows и технологии X-Stream. SiGe-усилители осциллографа обеспечивают равномерную АЧХ. Используется частота дискретизации 10 ГГц (5 ГГц для модели 7000). Модель 7100 является первым осциллографом с полосой пропускания 1 ГГц с частотой дискретизации 10 ГГц. Стандартная память — 1 Мбайт на канал (500 кбайт для модели 7100) с опцией расширения до 24 Мбайт на канал (48 Мбайт при объединении каналов). Уровень джиттера в 2 пс позволяет обнаружить даже слабые искажения в сигнале. Осциллограф WavePro 7300 является первым осциллографом, который предоставляет возможность работы с входным сопротивлением как 1 МОм, так и 50 Ом в полосе частот до 3 ГГц. Такая гибкость позволяет WavePro 7300 захватывать низкочастотные сигналы до 500 МГц при работе с высокоомным входом и высокочастотные до 3 ГГц при сопротивлении 50 Ом. Прибор легок в обращении и прост при просмотре результатов

Управление цифровым запоминающим осциллографом WavePro является простым и интуитивным. Можно регулировать временную развертку, коэффициент отклонения и курсоры при помощи кнопок на передней панели или использовать сенсорный экран с пользовательским интерфейсом. Доступ к режимам измерений является быстрым и визуальным, что является дополнительным удобством и позволяет работать так, как нравится. ОС Windows 2000 помогает реализовать режимы ниспадающих меню и возможности ввода/вывода информации, а также устойчивость в работе.

Просмотр результатов является таким же легким, как и их сбор. Все модели WavePro оснащены 26,4 см SVGA-сенсорным экраном с площадью на 200% большей, чем у других осциллографов. Кроме того, LeCroy разработал для WavePro возможности, которые позволяют просматривать сигнал во временной, частотной или статистической областях. Например, осциллографы WavePro могут создать до восьми самостоятельных окошек с разными масштабами или математическими процедурами, каждое из которых предназначено для анализа различных сегментов сигнала. Вычисления могут быть и при включении масштабирования. Особенности режима растяжки позволяют просматривать скоррелированные временные события, а для прокрутки сигнала есть функция AutoScroll.

Другой уникальной особенностью просмотра являются гистограммы, маленькие иконки просмотра гистограмм, которые обеспечивают визуальный просмотр вида распределений измеряемого параметра. Одновременно может быть отображено до восьми гистограмм и статистика по ним, что не влияет на время обработки.

Сегодня осциллографы WavePro имеют пакет для анализа входного сигнала, который позволяет инженерам искать неисправности в цепях на частотах 1—3 ГГц теми способами, которые ранее не были доступны. Пакет ХМАР дает осциллографам возможности, которые обычно использовались для приборов, работающих в более высоком диапазоне частот и более высокой ценовой категории.

Представьте себе захват большого количества данных и их графическое представление в интуитивной и понятной форме. Возможности построения гистограмм и графиков позволяют использовать большую память цифрового запоминающего осциллографа WavePro с максимальными преимуществами. Расширенные алгоритмы БПФ обеспечивают уникальные возможности по спектральному анализу. Можно упростить пользование осциллографом, когда необходимо задать собственные настройки для измерений или математических операций.

Анализ джиттера и временных параметров позволяет измерять период, длительность и другие параметры. Результаты могут быть представлены в виде статистики, гистограмм или временных графиков. Пользователи могут также изучить сигнал с помощью БПФ, которое обеспечивает спектральный анализ. Приборы обеспечивают различные виды математической обработки сигналов, курсорные измерения, включение в работу новых функций и методов анализа, работу совместно с языком программирования Visual Basic, математическими системами MATLAB, Mathcad и др., с электронными таблицами Excel и без каких-либо проблем встраиваться в процесс обработки сигнала вашим осциллографом. Пакет программ компании LeCroy CustomDSO позволяет создавать пользовательский интерфейс под заданный процесс, начиная с панели управления.

Дистанционное управление осциллографами WavePro может быть также настроено пользователем. Используя стандартный язык команд компании LeCroy или LabView, осциллографы WavePro можно соединять с любым программным обеспечением. Команды Active-X Microsoft также можно использовать для интеграции в большинство программ на основе Windows. Дистанционное управление может осуществляться через стандартную сеть 10/100Base-T или через дополнительный интерфейс КОП.

3.3.12. Цифровые осциллографы LeCroy WaveMaster

Серия осциллографов LeCroy WaveMaster (рис. 3.35) — расширяет возможности анализа сигналов в диапазоне до 3—6 ГГц. WaveMaster — первый многофункциональный запоминающий осциллограф, обеспечивающий работу в широком диапазоне частот, высокую частоту дискретизации, большую память при регистрации сигнала. Передовая технология X-Stream позволяет быстро и удобно проводить анализ формы регистрируемого сигнала. Современные математические пакеты ХМАТН и ХDEV повышают скорость и гибкость работы, позволяя решать уникальные задачи быстрее, чем когда-либо. В этих приборах также используются усилитель, аналого-цифровой преобразователь и схема синхронизации на базе SiGe-технологии, а также технология X-Stream. Приборы имеют интуитивный пользовательский интерфейс, с ними поставляются математические пакеты ХМАТН и ХDEV.

Приборы классифицируются по полосе пропускания:

- WaveMaster 8620A, 4 канала, 6 ГГц;
- WaveMaster 8600A, 4 канала, 6 ГГц;
- WaveMaster 8500A, 4 канала, 5 ГГц;
- WaveMaster 8300A, 4 канала, 3 ГГц.

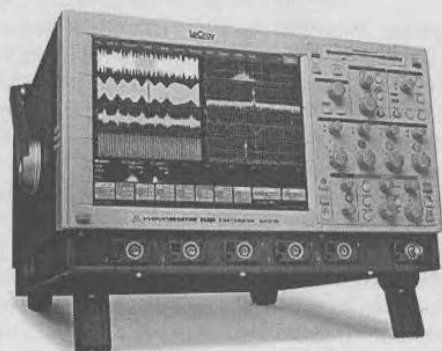


Рис. 3.35. Цифровые запоминающие осциллографы WaveMaster фирмы LeCroy

WaveMaster первый цифровой запоминающий осциллограф с полосой пропускания 6 ГГц (ЦЗО), обладающий частотой дискретизации входного сигнала в реальном времени 20 ГГц и объемом памяти до 100 Мбайт. Поскольку такие высокие скорости дискретизации входного сигнала требуют большого объема памяти даже для обработки коротких временных интервалов, осциллографы серии WaveMaster в стандартной комплектации оснащены 1 Мбайт памяти на каждый канал. Схема синхронизации в осциллографе WaveMaster обеспечивает самую широкую полосу пропускания в режиме запуска по фронту импульса (до 5 ГГц) и уникальную чувствительность.

Стандартный объем памяти в осциллографе WaveMaster составляет 1 Мбайт на канал (с возможностью расширения до 50 Мбайт на канал). Осциллограф WaveMaster использует КМОП-память (оригинальная разработка компании LeCroy), которая во много раз превосходит по скорости аналогичные устройства. SMART-память компании LeCroy дает значительные преимущества при анализе формы сигнала и позволяет избежать нежелательных искажений сигнала, которые могут появиться при работе с небольшой памятью в цифровых осциллографах.

Временная стабильность

Источник опорной частоты осциллографа WaveMaster имеет относительную погрешность $1 \cdot 10^{-6}$, а джиттер прибора составляет около 1 пс. При этом достигается погрешность измерения временных интервалов не более $0,06/\text{ГГц} + 10 - 6 \cdot \text{Тизм}$. SiGe-система синхронизации осциллографа WaveMaster гарантирует запуск развертки в диапазоне частот до 5 ГГц и высокую чувствительность даже при захвате импульсных сигналов малой амплитуды. Джиттер системы синхронизации составляет не более 2,5 пс. Дополнительные возможности синхронизации по захвату кратковременных импульсных помех (гличей) и логических последовательностей обеспечиваются при помощи интеллектуальных режимов запуска схемы синхронизации X-Stream.

3.3.13. Стробоскопические осциллографы серии Wave Expert с полосой до 100 ГГц

По данным ЗАО «Прист» (www.prist.ru), 04 апреля 2005 года компания LeCroy представила цифровые стробоскопические осциллографы серии WaveExpert 9000 и SDA 100G, которые на настоящий момент являются самыми высокочастотными осциллографами в мире, с полосой пропускания 100 ГГц и памятью, которая мо-

жет наращиваться до 512 Мбайт. Одновременно чуть раньше была полностью завершена работа по локализации осциллографов производства компании LeCroy. С апреля 2005 года при покупке любой модели цифрового ЦЗО LeCroy (серий WaveSurfer, WaveRunner, WavePro, WaveMaster, SDA, WaveExpert, SDA 100G) российский покупатель получает прибор, имеющий панель на русском языке, русифицированное ПО осциллографа, русифицированную ОС MS Windows и руководство по эксплуатации на русском языке.

Ныне компания LeCroy представляет цифровые стробоскопические осциллографы серии WaveExpert 9000 и SDA 100G с полосой пропускания 100 ГГц, работающие на основе эксклюзивной патентованной технологии когерентных интервалов стробирования (КИС). Развертка КИС позволяет захватывать и отображать длинную последовательность входных данных без применения внешнего запуска по шаблону.

WaveExpert — это первый осциллограф в мире, соединяющий в себе высокую полосу пропускания и высокую достоверность измерения, присущую стробоскопическим осциллографам, с высокой скоростью сбора данных, гибкостью и простотой управления, присущей осциллографам реального времени. Внешний вид осциллографа представлен на рис. 3.36.

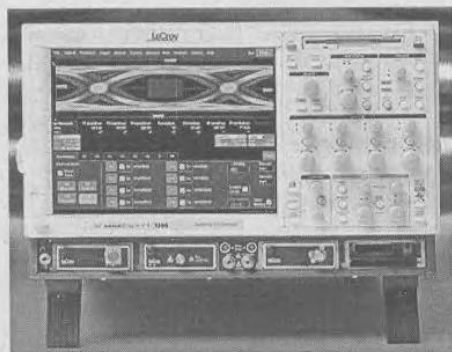


Рис. 3.36. Стробоскопический осциллограф WaveExpert фирмы LeCroy, с полосой частот до 100 ГГц

Осциллографы WaveExpert и SDA 100 G имеют скорость сбора данных 10 Мбит в секунду, что в 100 раз превышает скорость сбора данных для осциллографов такого класса, существующих в мире на настоящий момент. Приборы построены на модульном принципе, что позволяет использовать совместно с ними 4 различных модуля сбора информации. Дополнительно осциллографы имеют опциональные модули генераторов сигналов. Генератор сигналов воспроизводит псевдослучайную последовательность PRBS, которая обычно используется для тестирования коэффициента ошибок различных устройств передачи. Дополнительный модуль рефлектометра может выдавать в линию импульс длительностью менее 20 пс с малым временем нарастания, что позволяет производить измерения неоднородности сопротивления линий передачи.

Развертка КИС, разработанная LeCroy, создает импульс дискретизации, используя опорный генератор стабильной частоты с применением ФАПЧ. Среднеквадратическое значение джиттера КИС составляет менее 500 фс. Результатом применения КИС является высокая частота дискретизации и точное воспроизведение

сигнала при любой скорости передачи. Когерентная дискретизация позволяет осциллографу захватить шаблон из потока данных точно и просто определить его длину. В результате параметры входного сигнала, отображаемого на экране осциллографа, могут быть измерены или преобразованы такими же методами и способами, как и у осциллографа реального времени.

Полоса пропускания 100 ГГц является вершиной разработки технологий осциллографов на сегодняшний день. Это достижение стало возможным при использовании монолитной смесительной головки, разработанной с использованием патентованной технологии нелинейной линии передачи (НЛЛП). Тут уместно отметить, что сокращение фронта импульсов при прохождении через нелинейную линию до 0 (и даже до отрицательных величин, что означает, что вершина волны-импульса обгоняет основание и имеет место разрыв в импульсе) было описано еще в [11]. НЛЛП используется для генерирования серии стробирующих импульсов с почти прямоугольной апертурой. Все предыдущие смесители имели форму апертуры, приближенную к гауссовской. Прямоугольная апертура стробирующих импульсов позволяет увеличить на 60% эффективность стробирования, расширить полосу пропускания, снизить джиттер. Монолитная конструкция смесителя позволила увеличить частоту дискретизации по сравнению с предыдущими моделями стробоскопических осциллографов.

Осциллографы WaveExpert и SDA 100G — специально разработаны для решения прикладных задач отображения и анализа высокоскоростных сигналов. Измерения в современных системах передач на скоростях свыше 3 Гбайт/с требуют средств измерения с высокой полосой пропускания и малым временем нарастания. Отличительной особенностью этих приборов является свойство отображения входного сигнала так же, как и на осциллографе реального времени, обеспечение измерения как суммарного, так и случайного и систематического джиттера устройств. Объем стандартной памяти составляет 4 миллиона точек на канал, что позволяет анализировать джиттер в длинных кодовых посылках. Расширение памяти до 512 миллионов точек на канал дает возможность захвата, отображения и измерения шаблона с длиной в несколько миллионов бит.

Удобный пользовательский интерфейс дает возможность быстрого и легкого доступа к более чем 50 измерениям и математическим функциям. Сохранение преемственности построения пользовательского интерфейса с осциллографами реального времени LeCroy дает возможность инженерам-пользователям быстрого перехода к использованию стробоскопических осциллографов без какого-либо дополнительного обучения. Пользовательский интерфейс осциллографов WaveExpert и SDA 100 G также позволяет комбинировать и создавать свои собственные функции измерения.

WaveExpert и SDA 100G имеют возможность отображения и исследования высокоскоростных сигналов реального времени, таких как PCI Express, SAS, Fibre channel и FB-DIMM.

WaveExpert и SDA 100G предназначены и для использования в области общего применения, включая рефлектометрию, построение глазковых диаграмм и анализа по шаблону, анализ джиттера. Программное обеспечение осциллографа WaveExpert может производить анализ глазковых диаграмм и джиттера в соответствии с различными стандартами передачи данных. Осциллограф SDA 100G разработан специально для использования в системах последовательной передачи данных и имеет когерентную развертку, прекрасно подходящую для измерения всех параметров джиттера. В дополнение к двум основным блокам осциллографа существу-

ют несколько дополнительных вставных модулей, предназначенных для измерения электрических или оптических сигналов. Модули преобразования электрических сигналов имеют полосы пропускания 20 ГГц, 30 ГГц, 50 ГГц, 70 ГГц и 100 ГГц. Модули преобразования оптических сигналов имеют полосы пропускания 25 и 50 ГГц. Данные модули разработаны с упором на то, чтобы дать клиенту возможность конфигурирования осциллографов WaveExpert и SDA 100G с учетом стоящих перед ним задач на основе гибкой модульной системы, позволяющей в любой момент увеличить возможности осциллографа при расширении круга выполняемых задач.

Также существуют модули восстановления тактовой частоты. Эти модули используются для восстановления тактовой частоты сигнала из потока данных, когда доступен только непосредственно поток данных. Модули могут быть предназначены как для работы с электрическими, так и с оптическими сигналами. Диапазон восстанавливаемых частот составляет от 622 Мбайт/с до 13,5 Гбайт/с.

Осциллографы WaveExpert и SDA 100G включают полный комплект масок, предназначенных для исследования сигналов в кодах RZ и NRZ. Когерентная развертка обеспечивает быстрое тестирование по маскам — около 3 миллионов точек в секунду, что в 75 раз быстрее существующих на сегодняшний день технических решений. Этот уровень сбора данных обеспечивает самую высокую степень достоверности и минимальные погрешности.

WaveExpert 9000-стробоскопический осциллограф — основной блок. SDA 100G это стробоскопический анализатор систем последовательной передачи данных. Для них поставляются:

- SE 100 смеситель, 100 ГГц;
- SE 70 смеситель, 70 ГГц;
- SE 50 смеситель, 50 ГГц;
- SE 30 смеситель, 30 ГГц;
- ST 20 модуль рефлектометра, 20 ГГц;
- SO 50 оптический модуль, 50 ГГц;
- SO 25 оптический модуль, 25 ГГц.

Таким образом, осциллографы серии WaveExpert и SDA перекрывают диапазон частот до 20—100 ГГц. Конечно, это уникальные приборы, отражающие наивысшие достижения в технике осциллографии.

3.3.14. Цифровые осциллографы фирмы Agilent Technologies

Фирма Agilent Technologies еще один крупный поставщик на рынке высококачественных (их называют High End) осциллографов. Это одна из немногих фирм, владеющих новейшей технологией производства современных цифровых осциллографов. Она выпускает ряд серий осциллографов с частотами от десятком МГц до десятков ГГц. На российском рынке эта фирма представлена слабо, скорее всего, вследствие очень высокой цены ее изделий. С характеристиками осциллографов можно ознакомиться на Интернет-сайте этой компании www.home.agilent.com.

Серия Agilent 54600 — это цифровые запоминающие осциллографы с цветными дисплеями и диапазоном верхних частот от 50 до 500 МГц. Приборы способны выводить до 100 000 кривых в секунду при 256 уровнях интенсивности. Число каналов 2 или 4, но у некоторых приборов может быть расширено еще на 16 каналов. Частоты стробирования от 200 Мв/с до 2 Гв/с. Стоимость приборов от \$ 2800 до \$ 11000.

Новая серия Agilent 6000 — это осциллографы с диапазоном верхних частот от 0,3 до 1 ГГц. Внешний вид приборов этой серии показан на рис. 3.37. Частота выборок у этих приборов от 2 до 4 Гв/с, емкость памяти 1 Мбайт с расширением опционально до 2 или 8 Мбайт. Цена приборов доходит до \$ 6000.

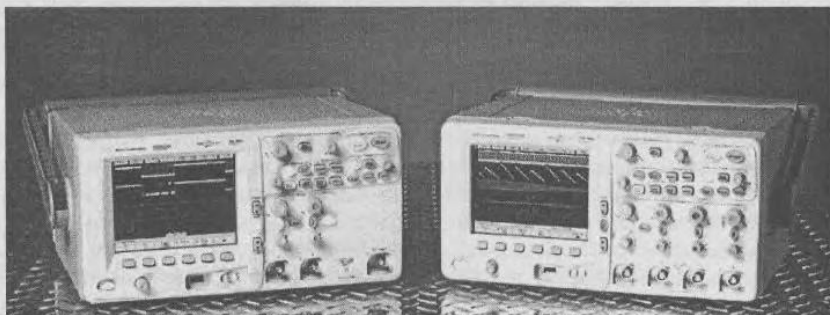


Рис. 3.37. Внешний вид цифровых осциллографов серии Agilent 6000

Серия 4-канальных цифровых осциллографов Agilent 8000 — это сверхширокополосные осциллографы с верхними частотами от 8 до 12–13 ГГц. Прибор этой серии DSO80804A с верхней частотой 8 ГГц и частотами квантования 20 Гв/с при использовании одного канала и 40 Гв/с при использовании двух каналов. Стоимость 10- и 12-гигагерцевых осциллографов этой серии достигает \$ 94 000 и \$ 115 000. Это самые дорогие приборы фирмы Agilent.

Цифровой осциллограф этой серии DSO81304A (рис. 3.38) имеет полосу рабочих частот до 12–13 ГГц при частоте квантования до 40 Гв/с. Нестабильность запуска менее 0,5 пс. В приборе использованы электронные аттенюаторы. Усилители канала Y минимизированы по уровню шумов. Стоимость такого прибора около \$ 75 000.

Самым широкополосным прибором фирмы Agilent является осциллограф 86100C DCA-J. Прибор объединяет 4 инструмента в одном: цифровой анализатор коммуникационных устройств, временной рефлектометр TDR для импедансного анализа, осциллограф с полосой частот до 80 ГГц и анализатор джиттера для сверхскоростных электронных и оптических устройств. Цена этого прибора \$ 17 834 при поставке в течение трех недель.

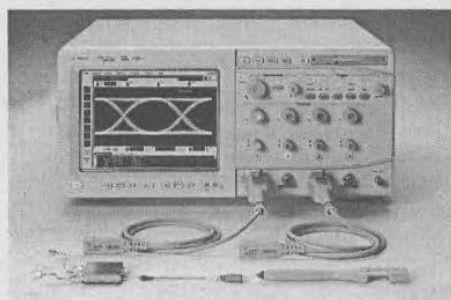


Рис. 3.38. Цифровой 12-гигагерцевый осциллограф DSO81304A

Приборы фирмы Aligent Technologies, как и отмеченные выше стробоскопические осциллографы фирм LeGroy и Tektronix, представляют высшие достижения осциллографической техники сегодняшнего дня. Они позволяют ученым заглянуть в тайны микромира и оценить чудеса свехскоростных процессов. Но даже они не способны угнаться за высокоскоростной микроэлектроникой. Как уже отмечалось, кремниевые микротранзисторы корпорации Intel уже работают на частотах выше 1000 ГГц (1 ТГц), а кремниево-германиевые транзисторы с гетеропереходами на еще более высоких частотах. Это подстегивает гонку в разработке сверхширокополосных осциллографов.



Рис. 3.39. Осциллограф с частотой до 80 ГГц Agilent 86100C DCA-J

Основными узлами современных цифровых осциллографов (АЦП, ЦАП, память, фильтры и т. д.) выполняются в виде интегральных, чаще всего монолитных, микросхем. Это, наряду с применением плоских и даже тонких ЖКИ-дисплеев, открывает обширные возможности в миниатюризации электронных цифровых осциллографов. Ныне такие осциллографы выпускаются в виде миниатюрных приборов — вплоть до шупов с миниатюрным экраном и мультиметров.

3.4. Портативные цифровые осциллографы

3.4.1. Тенденция микроминиатюризации цифровых осциллографов

Разумеется, технические характеристики миниатюрных приборов достаточно скромны, поскольку в такие приборы невозможно встроить сверхширокополосные усилители и скоростные устройства выборки. Кроме того, такие приборы ориентированы на рынок массовых сервисных устройств и должны иметь предельно простую конструкцию. Только в этом случае они будут не слишком дороги и смогут использоваться в ремонтных мастерских и в радиолюбительской практике. Постоянное совершенствование их и рост функциональных возможностей делает перспективным применение портативных осциллографов в промышленности, науке и образовании.

Разумеется, технические характеристики миниатюрных приборов достаточно скромны, поскольку в такие приборы невозможно встроить сверхширокополосные усилители и скоростные устройства выборки. Кроме того, такие приборы ориентированы на рынок массовых сервисных устройств и должны иметь предельно простую конструкцию. Только в этом случае они будут не слишком дороги и смогут использоваться в ремонтных мастерских и в радиолюбительской практике. Постоянное совершенствование их и рост функциональных возможностей делает перспективным применение портативных осциллографов в промышленности, науке и образовании.

3.4.2. Миниатюрные осциллографы АКТАКОМ

Достаточно широкую номенклатуру портативных осциллографов выпускает торговое объединение АКТАКОМ. Под его маркой выпускаются осциллографы ряда зарубежных фирм, имеющих уровень параметров, соответствующий мировому уровню разработки и производства осциллографов.

АСК-4201

Портативный цифровой осциллограф в виде мультиметра с ручкой (рис. 3.40). Основные характеристики: 2 канала с гальванической развязкой, полоса пропускания 20 МГц, ЖКИ 58 × 38 мм с разрешением 128 × 64 точки, чувствительность

0,1 В/дел...5 В/дел, коэффициенты развертки 0,5 мкс/дел...0,2 с/дел, максимальное входное напряжение 40 В, время установления 17,5 нс, входное сопротивление 1 МОм, входная емкость 60 пФ. Режимы разверток: автоколебательный, ждущий, однократный, X—Y, предварительная запись осциллограмм. Источники синхронизации: CH1, CH2, внешний; память 8192 байт/канал. Дополнительные функции: курсорные измерения, интерфейс RS-232, программное обеспечение (ПО). Питание: сетевой адаптер, батареи с напряжением 9 В (6 × 1,5 В). Габариты 200 × 90 × 55, масса 0,75 кг (со сменным модулем осциллографа).

Прибор позволяет выполнять измерения в полевых и цеховых условиях.

Малые габариты и вес позволяют носить его в кейсе или дипломате. Открытая модульная конструкция позволяет наращивать возможности прибора. Например, модуль осциллографа (рис. 3.41) имеет два независимых канала, которые позволяют проводить различные специальные измерения, например, канал 2 может быть использован для записи и представления части осциллограммы канала 1. Прибор можно использовать как цифровой частотомер и мультиметр.



Рис. 3.40. Портативный цифровой измеритель — мультископ АСК-4201



Рис. 3.41. Сменный модуль осциллографа АСК-4201

АСК-4011

Цифровой портативный осциллограф-щуп (минископ): 2 канала, полоса пропускания 5 МГц, ЖКИ 35 × 12 (2 м), коэффициенты развертки 0,05 мкс/дел...2 мс/дел, максимальное входное напряжение 80 В. Режимы разверток: автоколебательный, однократный. Источники синхронизации: внутренний, внешний. Дополнительные функции: вольтметр, интерфейс RS-232, программное обеспечение. Питание через сетевой адаптер. Габариты 165 × 33 × 20, масса 86 г. Внешний вид минископа АСК-4011 показан на рис. 3.42.

Этот сверхминиатюрный прибор позволяет наблюдать форму сигнала в заданной точке проверяемого устройства и отображать осциллограмму процесса и уровень потенциала в точке. Для измерения достаточно коснуться нужной точки ост-

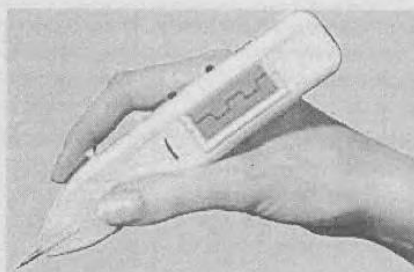


Рис. 3.42. Минископ (осциллограф-щуп) АСК-4011

рием щупа (разумеется, надо позаботиться и о подключении к земле устройства). Небольшой экран (с разрешением 16×64 точки) сбоку прибора позволяет просматривать нужные данные.

3.4.3. Цифровые осциллографы — скопметры фирмы FLUKE

Еще недавно квалифицированный настройщик электронного оборудования был вынужден иметь целый арсенал измерительных приборов — тестер или мультиметр, электронный осциллограф, частотомер, измеритель емкости и индуктивности, анализатор спектров и т. д. и т. п.

Новую концепцию инструментальных средств и приборов для отладки электронных устройств предложила фирма Fluke (США). Помимо выпуска стандартных приборов (например, мультиметров разного класса) фирма создала новый тип приборов — скопметры. Из самого названия этих приборов ясно, что они предназначены для измерения скопом всего, что можно только измерить: напряжения, тока, частоты, длительности импульсов и их времени нарастания, наблюдения и запоминания формы электрических и радиотехнических сигналов и т. д.

Сейчас выпускаются скопметры типа 123 и серии В. Их сравнительные характеристики взяты из [15] и представлены ниже.

Сравнительные характеристики скопметров фирмы Fluke

	Fluke 123 Industrial Scopemeter	ScopeMeter серии В
Сходства	Собраны полностью на ИС. Питание от батарей. Цифровой осциллограф с памятью, измеритель истинного эффективного значения и мультиметр в одном компактном корпусе	
	Прочная, не боящаяся падений конструкция, выдерживающая эксплуатацию в жестких условиях производства	
	Электробезопасность измерений систем промышленного электропитания по категории III — 600 В зф	
	Яркий флюоресцентный дисплей с холодным катодом и фоновой подсветкой, хорошо видный в темноте и на свету	
	Оптоэлектронный компьютерный интерфейс RS-232 с изоляцией на 600 В.	
	Полная укомплектованность аксессуарами и готовность к работе	
	Гарантия 3 года	

Различия	Осциллограф и мультиметр с полосой 20 МГц Измерение истинного эффективного значения 5000 отсчетов/0,5% точность	Осциллограф с полосой 60 или 100 МГц Мультиметр с полосой 5 МГц Измерение истинного эффективного значения 3000 отсчетов/0,5% точность
	Поддержка технологии работы Connect-and-View («без рук») для устойчивого к тряске, надежного и воспроизводимого отображения сигнала. Даже для сигналов сложной формы, как в призодах двигателей или видеосигналов	Широкие возможности схемы запуска Синхронизация полным видеосигналом в системах NTSC, PAL, SECAM и ТВ высокого разрешения со встроенным селектором строк и кадров Синхронизация развертки по времени, внешняя или серией импульсов для захвата практически любого сигнала
	Двухканальный мультиметр. Режим отображения для каждого канала — полноэкранный осциллограф или дисплей мультиметра.	Измерения по курсору, наблюдение формы сигнала. Математические функции для углубленного анализа сигнала
	Двухканальная функция TrendPlot™	ScopeRecord™, память объемом 30 к для записи большой длительности и опорной частоты для фиксации моментов времени

Технические данные скопметра 123

Осциллограф	
Полоса пропускания	20 МГц
Максимальная частота квантования	1,25 ГГц
Число каналов	2
Время нарастания характеристики	< 17,5 нс
Скорость развертки (время/дел.)	20 нс – 60 с
Длина записи (в байтах)	512
Память экранов/сигналов/установок	2/-/10
Задержка запуска развертки (в дел.)	От -10 до +10
Цифровой мультиметр с автоматическим определением пределов измерения и измерением истинного эффективного значения	
Число каналов мультиметра	2
Разрядность дисплея (отсчетов) (основная погрешность на переменном токе 0,5%)	5000
Запись TrendPlot™ с отметками даты и времени	2 канала
Общие технические данные	
Работа от никель-кадмиевой батареи с зарядным устройством	5 ч

Автоматическая настройка	26 измерений
Размеры (высота × ширина × глубина)	23 × 11,5 × 5 см
Вес	1,1 кг

Скопметры поставляются с сетевым адаптером/зарядным устройством PM8907, комплектом экранированных щупов STL120, зажимами «крокодил» AC120, клипсами HC120, экранированными байонетными разъемами BB120, руководством по эксплуатации и аккумуляторной батареей BP120. Опционально поставляются многие другие полезные аксессуары (футляры для переноски, чехлы, пробники и зажимы, запасные аккумуляторные батареи и т. д.). Пользуется популярностью комплект ЗИП SCC120, содержащий жесткий футляр для переноски, кабель интерфейса RS232 с оптической изоляцией, экранированный коаксиальный переходник и программное обеспечение FlukeView ScopeMeter для Windows. Стоимость такого прибора с ЗИП около 1800 долларов США.

Fluke Industrial Scopemeter® 123 (рис. 3.43) — идеальный выбор для обслуживающего персонала при поиске неисправностей в промышленном оборудовании, аппаратуре управления и в системах электропитания. Прибор представляет собой надежный двухканальный осциллограф и измеритель с возможностью «бесбумажной» записи. Новый, запатентованный метод работы «без рук» (hands off operation) Connect-and-View™ («подключайся и смотри») экономит время, затрачиваемое на поиск неисправностей, и помогает минимизировать время простоя производственных систем.

Наряду с обычными измерениями в электронных схемах скопметр 123 предназначен для проверки и поиска неисправностей в приводах двигателей постоянного и переменного тока, датчиках и исполнительных механизмах, линиях электропитания, трансформаторах и преобразователях, линейных и импульсных схемах управления. Работа по технологии Connect-and-View(tm) обеспечивает надежное отображение сигнала на дисплее без необходимости нажимать на кнопки — даже для самых сложных сигналов, включая приводы двигателей и видеосигналы.

Прибор имеет интуитивную легкость использования с уникальной возможностью выполнить «все» измерения за один раз. Используется один и тот же щуп для осциллографических наблюдений, измерений на мультиметре, измерений сопротивления и емкости и проверки целостности электрических цепей. И все это сочетается в миниатюрном ручном приборе (рис. 3.43) весом всего в 1,1 кг, что обеспечивает легкость переноски. Небольшие размеры позволяют положить прибор в карман большинства комбинезонов. Жесткая ударопрочная конструкция корпуса с чехлом-футляром обеспечивает длительный срок эксплуатации и надежной работы в производственных условиях.

Благодаря объединению трех наиболее популярных измерительных инструментов — осциллографа, мультиметра и самописца прибор позволяет обнаруживать неисправности от процессов длящихся наносекунды, до процессов длительностью в меся-



Рис. 3.43. Скопметр фирмы Fluke 123

цы. Двухканальный цифровой осциллограф с полосой пропускания 20 МГц и двухканальный цифровой мультиметр позволяют измерять множество параметров. Цифровой мультиметр истинного эффективного значения с разрядностью дисплея в 5000 отсчетов при точности 0,5% обеспечивает 26 типов измерений, включая напряжение постоянного тока, эффективное напряжение переменного тока, частоту в Гц, скважность, длительность импульсов, фазовый сдвиг двух сигналов, ток, температуру, Crest Factor, дБВ, дБм, сопротивление, целостность цепей, характеристики диодов, емкость.

Двухканальная функция TrendPlot™ отслеживает сбои за счет непрерывной записи показаний в течение времени от минут до нескольких суток. Записываются максимальные и минимальные показания с отметками даты и времени. Двухканальность обеспечивает поиск по критериям «причина и результат».

Большой и яркий флуоресцентный дисплей с фоновой подсветкой и холодным катодом обладает отличным контрастом и прекрасно виден как в темном углу, так и при ярком дневном свете (рис. 3.44). Батарейное питание с индикатором позволяет пользоваться прибором в любом месте. Время работы от батарей — до 5 часов. Обеспечивается быстрая перезарядка аккумуляторов.

Возможная поставка с принтером и интерфейсом к ПК, а также программное обеспечение для Windows упрощают задачи документирования. Подключение скопметра 123 к компьютеру создает уникальный компьютеризированный контрольно-измерительный комплекс. Показания скопметра можно теперь просматривать на большом экране дисплея ПК, фиксировать их в устройствах памяти компьютера, распечатывать любым принтером и выполнять любую математическую и статистическую обработку данных.

Портативный цифровой запоминающий осциллограф серии 120 имеет 2 канала с предельными частотами 20 или 40 МГц/канал, до 25 млн. выборок/с на канал (одиночный сигнал), вертикальную развертку от 5 мВ/дел до 500 В/дел, 26 автоизмерений, встроенный мультиметр и регистратор, память 500 точек на канал, черно-белый ЖКИ — 102 мм, аккумулятор, вес 1,2 кг, 232 × 115 × 50 мм.

Отличия приборов

FLK-123: 2 канала 20 МГц/канал (20 нс/дел — 1 мин/дел.), память на 10 экранов; FLK-123S: 2 канала 20 МГц/канал (20 нс/дел — 1 мин/дел.), память на 10 экранов; расширенная комплектация — набор SCC120: кабель для ПК, ПО, чемоданчик;

FLK-124: 2 канала 40 МГц/канал (10 нс/дел — 1 мин/дел.), память на 20 экранов, курсорные измерения;

FLK-124S: 2 канала 40 МГц/канал (10 нс/дел — 1 мин/дел.), память на 20 экранов, курсорные измерения; расширенная комплектация — набор SCC120: кабель для ПК, ПО, чемоданчик.

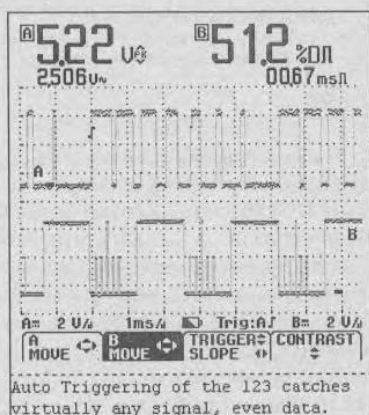


Рис. 3.44. Дисплей скопметра Fluke 123

Приборы серии В это более широкополосные осциллографы. Так, скопметр 99В содержит осциллограф с полосой в 100 МГц, частотой отсчетов 5 млрд в одну секунду и 30 кбайт памяти. Этот прибор можно взять куда угодно. Легкий, не боящийся ударов, водонепроницаемый, защищенный от попадания пыли и грязи. ScoreMeter весит всего 4 фунта (1,8 кг). Его размеры: высота 10,8" (275 мм); ширина 5,5" (140 мм); толщина 2,5" (65 мм). С аккумуляторной батареей, рассчитанной на 4 часа работы, можно проводить измерения в любом месте. Высокая верность отображения сигнала обеспечиваются полосой в 100 МГц, двухканальным сигнальным трактом и непрерывной частотой отсчетов в 5×10^9 1/с.

Яркий, высококонтрастный жидкокристаллический дисплей, способный соперничать с настольными осциллографами, обеспечивает легкую читаемость при работе в любом месте.

Внешний запуск позволяет легко решить сложные проблемы синхронизации. Возможен запуск по фронту, от видеосигнала, ждущий или по счетчику импульсов. Задержка запуска меняется от 20 делений (опережение) до 640 делений шкалы развертки.

Функция прогнозирования (TrendPlot®) с отметкой даты и времени запоминает любое из 28 измерений на срок до 40 дней. Она помогает указать тенденцию (мин., макс., средн.) и точно отметить момент достижения.

Память скопметра имеет объем 30 кбайт. Экранная запись позволяет сохранить до 125 экранных изображений, работает в режиме однократной или непрерывной развертки, схватывая только начальные события или полный машинный цикл. Идеальное средство для контроля запуска машин, полного рабочего цикла, источников питания и систем бесперебойного питания.

Дополнительная память способна хранить до 40 пользовательских установок, 20 осциллограмм и 10 экранных изображений для мгновенного вызова, сравнения или печати.

Разнообразные средства измерения с помощью курсора включают измерения среднего напряжения, эффективного значения переменного напряжения, частоты, времени нарастания и спада, размаха, временного промежутка между курсорами, временной отметки курсора (времени суток или времени от начала), разность напряжений между минимальным и пиковым, фазовый сдвиг, мгновенное значение напряжения под курсором. Возможна оцифровка шкалы в амперах.

Запуск от видеосигнала с выбираемым номером строки. Выбор из систем NTSC, PAL, PAL/M, SECAM или прогрессивной развертки с выбором номера строки до 32000.

В приведенных ниже таблицах даны параметры скопметров серии В фирмы Fluke.

Скопметры серии 9XB имеют ряд новинок: развертку произвольных строк телевизионных сигналов множества форматов, возможность работы в качестве запоминающего осциллографа (могут фиксироваться сигналы за месяцы наблюдений), хранение многих экранов в памяти, математическую обработку сигналов и др. Как и скопметры серии 123, они могут подключаться к компьютерам, и на их основе возможно создание компьютерных измерительных комплексов. Цена наиболее продвинутых моделей этой серии достигает 5000 долларов США.

Сводная таблица приборов ScopeMeter® В

Функции осциллографа				
Тип прибора	Fluke 105B	Fluke 99B	Fluke 96B	Fluke 92B
Полоса пропускания	100 МГц	100 МГц	60 МГц	60 МГц
Макс. частота повторения отсчетов	5 Гвыб/с	5 Гвыб/с	2,5 Гвыб/с	2,5 Гвыб/с
Количество каналов	2+внеш. зап.	2+внеш.зап.	2+внеш. зап.	2+внеш. зап.
Время нарастания переходной характеристики	< 3,5 нс 5нс – 60 с	< 3,5 нс 5нс – 60 с	< 5,7 нс 5нс – 60 с	< 5,7 нс 5нс – 60 с
Развертка Время/дел	1мВ – 100В	1мВ – 100В	5мВ – 100В	5мВ – 100В
Масштаб по вертикали В/дел	512	512	512	512
Длина записи (байт)	10/20/40	10/20/40	5/10/20	-/-/-
Экран/Осциллограмма/Память установок	+	+	+	+
Непрерывная самонастройка	+	+	+	+
Фиксирование пиков длительностью в 40 нс				
Запуск от видеосигнала NTSC, PAL, SECAM и ТВВЧ (с выбором строк и полей)	+	+	+	+
Опережение/задержка запуска (в делениях)	-20 / +640	-20 / +640	-20 / +640	-20 / +640
Режим огибающей (мин/макс) и сглаживания осциллограммы	+	+	+	+
Измерение тока со спец. зажимами (дополн.)	+	+	+	+
ScopeRecord™ – Память осциллограмм 30k	+	+	+	-
Измерения с курсором	+	+	+	-
Мат. операции над осциллограммами (умножение, интегрирование, +, -, фильтрация)	+	+	-	-
Функции мультиметра с автовыбором диапазона и измерением истинного эффективного значения				
Тип прибора	Fluke 105B	Fluke 99B	Fluke 96B	Fluke 92B
Шкала дисплея (основная погрешность 0,5%)	3000 отсч.	3000 отсч.	3000 отсч.	3000 отсч.

3.4. Портативные цифровые осциллографы

Дополните. возможности (измерение темп-ры, тока, скажности, длит. импульсов, дБ, частоты, тока, дБм, об/мин. и др.)	+	+	+	+
Проверка диодов и звуковая сигнализация отсутствия обрывов	+	+	+	+
Функция TrendPlot (мин/макс) с отметкой даты и времени	+	+	+	+
Функции цифрового мультиметра над осциллограммой	+	+	+	+
Общие характеристики				
Тип прибора	Fluke 105B	Fluke 99B	Fluke 96B	Fluke 92B
Высококонтрастный полутонный черно-белый ЖК дисплей с фоновой подсветкой	+	+	+	+
Передача осциллограммы и содержимого экрана в ПК, дистанционное управление	+	+	+	+
Передача содержимого экрана в ПК	+	+	+	+
Зарядное устройство и NiCd батарея на 4 часа работы	+	+	+	+
Принтерный интерфейс с оптронной развязкой и (дополн.) интерфейсный кабель к ПК (для 105B)	+	+	+	+
Справочная информация по вызову	+	+	+	+
Защита IEC-1010-1, EN61010-1 кат. III и UL на 600 В эфф.	40	40	40	28
Автоматическая установка измерений	+	+	+	+
Генератор/Выход проверки компонентов	+	+	+	—
Программное обеспечение для ПК и кабель PM 9080	+	+	+	—
Жесткий корпус для переноски	+	+	—	—

Серия 190 — ScopeMeter

Для сложных применений Fluke предлагает самые мощные скопметры 190 серии со спецификациями, которые встречаются только у высококачественных настольных осциллографов. С диапазоном частот до 200 МГц и частотой выборки реального времени до 2,5 Гв/с на входе и объемом памяти регистрации событий в 27500 точек на входе, приборы идеально подходят для специалистов, которым нужны серьезные осциллографы, совмещающие функции ряда измерительных приборов и имеющие батарейное питание.

Отличия приборов:

Fluke-192B: 2 изолированных канала по 60 МГц — 500 MS/c (10 нс/дел — 2 мин/дел), черно-белый ЖК-экран;

Fluke-192B/S: Fluke 192B + интерфейсный набор SCC190: кабель, ПО, чемоданчик;

Fluke-196B: 2 изолированных канала по 100 МГц — 1 GS/c (5 нс/дел — 2 мин/дел), черно-белый ЖК-экран;

Fluke-196B/S: Fluke 196B + интерфейсный набор SCC190: кабель, ПО, чемоданчик;

Fluke-199B: 2 изолированных канала по 200 МГц — 2,5 GS/c (5 нс/дел — 2 мин/дел), черно-белый ЖК-экран;

Fluke-199B/S: Fluke 199B + интерфейсный набор SCC190: кабель, ПО, чемоданчик;

Fluke-196C: 2 изолированных канала по 100 МГц — 1 GS/c (5 нс/дел — 2 мин/дел), цветной ЖК-экран;

Fluke-196C/S: Fluke 196C + интерфейсный набор SCC190: кабель, ПО, чемоданчик;

Fluke-199C: 2 изолированных канала по 200 МГц — 2,5 GS/c (5 нс/дел — 2 мин/дел), цветной ЖК-экран;

Fluke-199C/S: Fluke 199C + интерфейсный набор SCC190: кабель, ПО, чемоданчик.

Дополнительные аксессуары:

- адаптер для подключения принтера к ScopeMeter PM9080/001;
- оптический RS-232-интерфейсный кабель для подключения ScopeMeter к ПК SW90W/033EFG;
- ПО для FLK-123-190.

Сводная таблица параметров и внешний вид новых серий скопметров компании Fluke представлены на рис. 3.45.

Осциллографы Fluke 199C и 196C имеют цветной жидкокристаллический экран, что позволяет легко различать отдельные осциллограммы по их цвету и наблюдать их при максимальном размере. Другие скопметры имеют черно-белый экран и для четкого разделения осциллограмм их осциллограммы приходится нередко смещать по вертикали. При этом полное разделение осциллограмм возможно при уменьшении их размеров. Приборы имеют режим инерции (послесвечения или персистенции). Осциллографы с цветным экраном имеют регулируемый режим послесвечения, а приборы с монохромным экраном только включение или выключением этого режима.

Во всех приборах возможна работа как с обычными осциллографическими входами, так и со входом с гальванической развязкой, что важно, например, при измерениях разности напряжений между двумя незаземленными точками. Приборы удовлетворяют существующим требованиям к безопасности при работе с приборами без заземления. В сочетании с автономной работой, малыми габаритами и массами это способствует их применению в полевых и промышленных условиях.

Приборы Fluke 199C и 196C имеют хотя и не рекордные, но достаточно высокие частоты каналов вертикального отклонения (верхняя граничная частота от 60 до

СЕРИЯ МОДЕЛЬ	СЕРИЯ 190C SCOREMETER (ЦВЕТНОЙ ДИСПЛЕЙ)		СЕРИЯ 190B SCOREMETER			СЕРИЯ FLUKE 120	
	FLUKE 190C	FLUKE 190C	FLUKE 190B	FLUKE 190B	FLUKE 190B	FLUKE 124	FLUKE 123
							
Полоса	Подобнее	Подобнее	Подобнее	Подобнее	Подобнее	Подобнее	Подобнее
Макс. частота дискретизации в режиме быстрого времени	200 МГц	100 МГц	200 МГц	100 МГц	60 МГц	40 МГц	20 МГц
Макс. длина записи (на прибор)	2,5 Гц	1,0 Гц	2,5 Гц	1,0 Гц	0,5 Гц	25 МГц	25 МГц
Минус входов	1200 точек					512 точек (min/max пар)	
Входная чувствительность	2 осциллографических и 1 DMM (норм.)					2 осцилогр. или DMM	
Изменяемые изолированные плавящиеся входы	от 2 мВ/дел. до 100 В/дел.					от 5 мВ/дел. до 500 В/дел.	
Дисплей и режимы отображения	+					—	
Дисплей (Параметризация)	Цветной		Монохромный			Монохромный	
Инерция (Параметризация)	Цифровая с регулируемым временем		Вкл/Выкл			—	
Режимы отображения	—		+			+	
Сравнение осциллограмм	—		—			—	
Тестирование годен/негоден	+		—			—	
Синхронизация	—		—			—	
Collect-and-View™	—		+			+	
По фронту, одиночный, произвольный	—		+			+	
Видео	—		—			+	
Видеостроки	—		—			+	
По ширине импульса	—		—			—	
Внешняя	—		+			с опцией ITR 120	
Дополнительные функции	—		—			—	
Г-трассы	—		+			+	
Zoom	—		+			—	
2-х входовой TrendPlot™	—		+			—	
Режим ScopeRecord™	—		+			—	
Автоматический захват и воспроизведение последних 100 экранов	—		+			—	
Математика с осциллограммами	—		+			—	
Сохранение настроек и экранов	—		10			20	
True RMS-мультиметр	—		—			—	
Безопасность, питание и гарантия	—		5000 отсчетов Напряжение, ток, сопротивление, прозвонка, проверка входов, температура			—	
Возможность (EN61010-1)	—		1000 V CAT II / 600 V CAT III			600 V CAT III	
Батареи	—		4 часов Ni-MH			7 часов NiMH / 4 часов NiCd	
Интерфейс ПК/принтер	—		Оптический изолированный кабель RS-232 типа RM9000 (опция)			—	
Гарантия	—		3 года на прибор и 1 год на стандартные аксессуары			—	
Размерные размеры	—		250x169x64 мм			232x115x50 мм	
Вес	—		4 кг			1,2 кг	

Рис. 3.45. Сводная таблица параметров новых серий скопметров фирмы Fluke

200 МГц), что позволяет использовать их при наладке и исследовании умеренно высокочастотных электронных устройств. Тут они могут конкурировать с массовыми моделями осциллографов Tektronix. Что касается более низкочастотных приборов Fluke 123/124 с граничными частотами 40 и 20 МГц, то они рассчитаны на применение в качестве сервисных осциллографов с расширенными возможностями.

Портативные осциллографы Fluke отличаются своими дополнительными возможностями. За исключением приборов Fluke 123/124 все другие осциллографы имеют функции изменения размера осциллограмм (Zoom), режим записи осциллограмм (ScopeRecord), автоматический захват и воспроизведение 100 последних осциллограмм, математическую обработку осциллограмм и функции сохранения настроек. Все приборы (кроме Fluke 123) имеют режимы курсорных измерений. Для подключения принтера к осциллографам используется оптический кабель с интерфейсом RS-232. В обязательный комплект он не входит и поставляется опционально.

Удобству работы с приборами способствует встроенный True RMS-мультиметр, обеспечивающий цифровое отображение параметров исследуемых сигналов на экране осциллографов. Благодаря этому осциллографы Fluke одновременно выполняют функции мультиметра, обеспечивая типовые измерения напряжения, тока и сопротивления, а также «прозвонку» диодов и измерение температуры. Возможно запоминание до 5000 отсчетов измеряемых встроенным мультиметром параметров.

Для портативных осциллографов одним из важнейших параметров является время непрерывной автономной работы от аккумуляторных батарей. Это время составляет 4 часа, за исключением Fluke 124, у которого это оно больше и достигает 7 часов. Естественно, все приборы могут питаться и от стандартной сети переменного тока. Стоит однако помнить, что в США используется сеть переменного тока с напряжением 120 В и частотой 60 Гц. На приборы дается трехгодичная гарантия, а на аксессуары к ним годичная гарантия.

3.4.4. Графические мультиметры-осциллографы фирмы BEETECH

Портативные цифровые приборы — мультиметры получили поистине массовое применение. Обычно они применяются для измерения постоянных и переменных напряжений и токов, резистивности, емкости и индуктивности (иногда еще температуры, параметров диодов и транзисторов и т. д.). Эти малогабаритные и дешевые приборы почти вытеснили из сферы сервиса дорогие и громоздкие цифровые вольтметры, омметры, частотомеры и другие приборы. Единственно, что не хватало этим приборам — наличия осциллографа.

Рынок мультиметров с встроенным осциллографом был быстро заполнен рядом фирм. Одной из них стала BEETECH, выпустившая серию из трех графических мультиметров-осциллографов, показанную на рис. 3.46.



Рис. 3.46. Графические мультиметры-осциллографы фирмы BEETECH

Все приборы являются полноценными мультиметрами, дополнительно выполняющими функции простого осциллографа. Технические характеристики графических мультиметров-осциллографов представлены на рис. 3.47.

Из приборов фирмы BEETECH особый интерес вызывают старшие модели 700 и 700S (рис. 3.48). Они содержат цифровой осциллограф с полосой частот от 0 до 5 МГц и частотой выборок 25 Мв/с. Разрешение дисплея 160 × 160 точек обеспечивает если и не выдающееся, то достаточно высокое качество представления осциллограмм — конечно далекое от того, которое характерно для настольных моделей цифровых осциллографов. В осциллографах старших моделей предусмотрены простейшие курсорные измерения и даже захват импульсных сигналов.

Отличительная особенность модели 700S — встроенный функциональный генератор. Он позволяет получать синусоидальные, прямоугольные и треугольные импульсы. Диапазон частот сигналов от 40 Гц до 5 МГц разбит на 6 диапазонов. Выходное напряжение функционального генератора от 2 до 10 В (амплитудное значение), возможно изменение скважности импульсов. Наряду с встроенным цифровым частотомером это превращает 700S в миниатюрную измерительную лабораторию.

3.4.5. Портативные осциллографы фирмы Velleman

Портативные цифровые осциллографы выпускает фирма Velleman. Данные о продукции фирмы Velleman можно найти на ее Интернет-сайте www.velleman.be.

Параметры	33N	70	700	700S
Осциллограф	200 кГц	100 кГц	5 МГц	5 МГц
Полоса пропускания	-	-	-	-
Временная развертка	1-10° выб./сек.	1-10° выб./сек.	25-10° выб./сек.	25-10° выб./сек.
Дисплей	128 x 64	128 x 64	160 x 160	160 x 160
Подсветка дисплея	-	-	+	+
Кол-во каналов	Один			
Используемые щупы	Для мультиметра			
Режимы настройки	Автоматический / Ручной			
Развертка	20 с/дел, 17 мВ (В/дел, 6 мВ (А/дел.	18 с/дел, 9 мВ (В/дел, 2 мВ (А/дел.	23 с/дел, 14 мВ (В/дел.	23 с/дел, 14 мВ (В/дел.
Триггер	-	-	+	+
Курсор	-	-	+	+
Захват импульсных сигналов	+	+	+	+
Мультиметр	+	+	+	+
Дисплей 3-х разряда (макс. 4000) + аналог. шкала	Автоматический			
Выбор пределов измерений	+	+	+	+
Измерения True RMS	+	+	+	+
АСУ	до 700 В			
DCV	до 1000 В			
ACI	до 20 А			
DCI	до 20 А			
Ω	400 Ом - 40 МОм			
С	4 нФ - 4 мФ	4 нФ - 40 мФ	4 нФ - 400 мФ	4 нФ - 400 мФ
Выход сигнала	20 кГц макс., TTL уровня	20 кГц макс., TTL уровня	78 кГц макс.	Функция генератор
Тестирование логики	+	+	+	Логический анализатор
Измерение частоты	100 кГц макс.		0.5 Гц - 45 МГц макс.	Частотомер
Запись значений	внутр./век	внутр./век	внутр./век	внутр./век
Режим относительных измерений	+	+	+	+
Режим измерения с заданными допустимыми отклонениями	+	+	+	+
Измерение периода	+	+	+	+
Измерение рабочего цикла	+	+	+	+
Режим поиска, энергосбережения	+	+	+	+
Частотомер	-	-	-	Каналы А, В Диапаз. 5 МГц - 1.3 ГГц Дисплей 8 цифр
Функциональный генератор	-	-	-	Вых. сигнал: синус, треугол., прямоугол. 6 диапазонов от 40 Гц до 5 МГц. Аналог. шкала скважности (25-75%) и амплитуды (2-10 В) Дисплей 3 цифры
Логический анализатор	TTL, C-MOS (0, 5 В)	-	Один канал	Один канал
Автоматический анализатор	-	-	+	-
Возможность измерений с дополнительным адаптером	Температура, влажность, давление, высота токи			
ПК подключение, RS232 интерфейс	+	+	+	+
Режимы HELP	-	+	+	+
Режимы SET UP	-	+	+	+
Полное подключение к принтеру	-	-	+	+
Питание	Адаптер или набор батарей			
Размер	192 x 92 x 55 мм	210 x 107 x 56 мм	210 x 107 x 56 мм	210 x 107 x 56 мм
Вес	450 г	800 г	800 г	800 г
Стандарты безопасности	CE, UL	CE, UL	CE	CE

Рис. 3.47. Технические характеристики графических мультиметров-осциллографов фирмы BEETECH

Вид одного из ее осциллографов HPS5 показан на рис. 2.49. Это не мультиметр, а миниатюрный цифровой осциллограф с полосой пропускания 1 МГц и частотой дискретизации 5 Мв/с. Диапазон разверток прибора от 2 мкс/дел до 20 с/дел. Такие параметры прибора удовлетворяют разве что начинающего радиолюбителя или мастера по обслуживанию аудио- и телевизионной аппаратуры. Поэтому фирма Velleman называет такие приборы «персональными осциллографами».

Технические характеристики этого осциллографа представлены на рис. 3.50. Несмотря на простоту этого прибора, ему присущи некоторые виды измерений, свойственные солидным цифровым осциллографам: курсорные измерения, индикация результатов измерений в цифровой форме на экране дисплея, измерение целого ряда параметров напряжения и мощности, автоматическая



Рис. 3.48. Портативный мультиметр-осциллограф 700S фирмы BEETECH



Рис. 3.49. Портативный осциллограф HPS5 фирмы Velleman



Рис. 3.51. Персональный осциллограф HPS10 фирмы Velleman

Дискретизация:	5 МГц
Полоса пропускания усилителя:	1 МГц (-3дБ при установке 1 В/дел)
Входной импеданс:	1 МОм/20 пФ (стандартный щуп осциллографа)
Вертикальное разрешение:	8 бит (0 бит на ЖКИ)
Жидкокристаллический дисплей:	64х128 точек
Измерение амплитуды в дБ (0 дБ=0,775 В):	-73 дБ +40 дБ (до 60 дБ с пробником x10), точность ±0,5 дБ
Измерение эфф. значения переменного напр.:	0,1 мВ - 80 В (до 400 В с пробником x10), точность 2,5%
Скорость развертки:	от 20 с/дел до 2 мкс/дел
Диапазон чувствительности на входе:	12 дмилливольт 5мВ/дел до 20 В/дел, (до 200 В/дел с пробником x10)
Напряжение питания:	9 В/300 мА, постоянного тока (нерегулируемое)
Батареи:	тип AA или аккумулятор NiCd/NiMH 750 мА/ч (5шт.)
Время автономной работы:	20 часов
Размеры:	105х220х35 мм
Вес:	395 гр. без батарей

- автоматическая установка напряжения дел. и время/дел.
- Режимы запуска: автоматический, обычный, ждущий, фронт/спад
- Показания среднеквадратичного значения и дБ
- Значения: Vdc, Vpp, Vrms, cBm (масштаб x1 и x10)
- Режим подачи визуальной информации: обычный, маркеры, сетка, визир
- Показатель маркера: dt, 1/dt, dV
- Связь по постоянному/переменному току
- Режим автоматического выключения и непрерывной работы
- Индикатор разряда батареи
- Включает цепь подзарядки (при использовании аккумуляторов)

Рис. 3.50. Технические характеристики портативного осциллографа HPS5 фирмы Velleman

установка режимов измерения и т. д. Экран осциллографа жидкокристаллический и имеет разрешение 64×128 точек. Это действительно миниатюрный прибор — его вес менее 400 г (без батарей), а размеры $105 \times 220 \times 35$ мм позволяют не только носить его в дипломате, но и засунуть в карман среднего размера.

Персональный осциллограф Velleman HPS10 это усовершенствованный вариант описанной выше модели. На рис. 3.51 он представлен в пластиковой упаковке. В таком виде прибор поступает в продажу. Кстати, приборы этой фирмы можно приобрести в ряде российских магазинов, например в «Чип и Дип».

Полоса частот наблюдаемых сигналов у этого осциллографа расширена до 2 МГц, а частота квантования составляет 10 МГц. Прибор имеет довольно высокую чувствительность — от 5 мВ до 20 В на 12 делений, диапазон разверток от 200 нс до 1 часа на 32 деления. Имеется автоматическая установка масштаба по напряжению и по времени. Есть маркерные функции для измерения ряда амплитудных параметров сигнала, временных и частотных параметров. Для хранения отсчетов сигнала имеются две области памяти. Питание прибор получает от сети через адаптер PS905 или щелочных либо NiCd-аккумуляторных батарей. Время работы от батарей до 20 часов.

Дисплей осциллографа HPS10 жидкокристаллический с разрешением 128×64 точки. Вид реальных осциллограмм и другой отображаемой информации показан на рис. 3.52. Довольно грубо можно рассмотреть даже телевизионный сигнал.

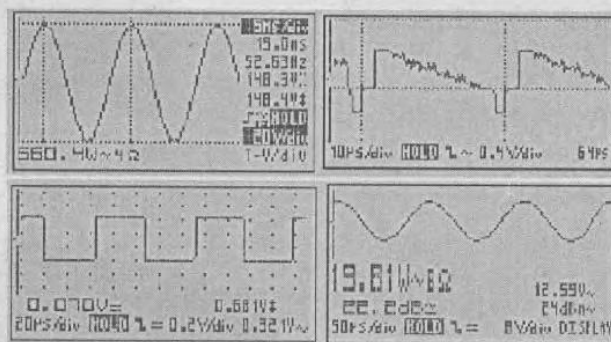


Рис. 3.52. Изображения на экране осциллографа HPS10 в различных режимах вывода

Еще один представитель осциллографов класса HPS40 показан на рис. 3.53. На этот раз он представлен в переносном чемоданчике — кейсе. Этот прибор рекламируется как переносной персональный осциллограф.

Полоса пропускания прибора расширена до 5 МГц при чувствительности 5 мВ/дел и даже до 12 МГц при чувствительности от 50 мВ/дел до 20 В/дел, а частота дискретизации до 40 МГц (12 МГц для единичных импульсов). Входной импеданс прибора 1 МОм/20 пФ, используется стандартный щуп осциллографа. Разрядность квантования 8 бит. Скорость развертки от 50 нс/дел до 1 ч/дел (всего экран имеет 32 дел). Экран осциллографа (рис. 3.54) жидкокристаллический и имеет разрешение 112×192 точек. Вес прибора — менее 450 г (без батарей) а размеры $105 \times 220 \times 35$ мм. Питание от сетевого адаптера или батарей (9 В, 300 мА). Время непрерывной работы от батарей 20 часов.

Новое конструктивное исполнение осциллографов — панельные осциллографы — реализовано в приборе VPS10 фирмы Velleman (рис. 3.55). Прибор имеет высококонтрастный ЖКИ-дисплей и по техническим характеристикам соответствует HPS10. Размеры прибора $165 \times 90 \times 35$ мм.

Самой серьезной разработкой в области миниатюрных осциллографов фирмы Velleman является цифровой осциллограф APS 320 (рис. 3.56). Это двуканальный осциллограф с частотой пропускания каждого канала от 0 до 30 МГц и скоростью выборки 230 Мв/с для каждого канала. Прибор имеет чувствительность 30 мкВ, чувствительность канала Y от 1 мВ/дел до 20 В/дел, входной импеданс



Рис. 3.53. Персональный осциллограф HPS40 фирмы Velleman в кейсе



Рис. 3.54. Внешний вид персонального осциллографа HPS40

1 МОм/20 пФ, разрядность выборок 8 бит, развертка от 25 нс/дел до 1 ч/дел. Дисплей с белым фоном имеет разрешение 192×128 точек.

Таким образом, по своим параметрам прибор превосходит типовые параметры аналоговых сервисных осциллографов, но имеет целый ряд дополнительных функций, присущих цифровым осциллографам: запоминание осциллограмм до 170 часов, стыковку с компьютером по порту RS-232 (опционально и по USB), ряд цифровых измерений амплитудных и частотно-временных параметров, курсорные измерения, измерения мощности, стереоскопический режим представления звуковых сигналов. Размеры прибора $230 \times 150 \times 50$ мм, масса с батареями 850 г.

3.4.6. Портативный осциллограф-мультиметр DMM-740

Фирма SUMM выпускает портативный осциллограф-мультиметр DMM-740, внешний вид которого показан на рис. 3.57. Это одноканальный цифровой осциллограф с предельной частотой 1 МГц и частотой стробирования 25 Мв/с. Достаточно высокая для



Рис. 3.55. Панельный цифровой осциллограф VPS19 фирмы Velleman



Рис. 3.56. Портативный цифровой осциллограф APS 320 фирмы Velleman

полосы в 1 МГц частота стробирования обеспечивая малый уровень шума квантования в канале Y, что позволяет эффективно отлавливать шумы, наводки и помехи в аппаратуре. Цифровой мультиметр позволяет, как обычно, измерять постоянные и переменные напряжения и токи, измерять резистивность (сопротивление) и емкость, проверять диоды и тестировать логические схемы.

Прибор имеет интерфейс RS-232 и может подключаться к компьютеру или принтеру. Может работать от сети и от батарей. Комплектуется программным обеспечением, щупами, адаптером сетевого питания, кабелем для подключения к компьютеру, батарейками и инструкцией по эксплуатации.



Рис. 3.57. Портативный осциллограф-мультиметр DMM-740

3.4.7. Портативные осциллографы-мультиметры фирмы METEX

Фирма METEX выпускает ряд осциллографов-мультиметров — MS-1280, MS-2000, MS-2640 и DG Scope. Одноканальный цифровой запоминающий осциллограф MS-2000 (рис. 3.58) помимо 2-мегагерцевого осциллографа содержит цифровой мультиметр и частотомер. Цифровой мультиметр служит для измерения постоянных и переменных токов и напряжений, сопротивления и емкости, а также для тестирования диодов и логики. Дисплей имеет 3 3/4 разряда (максимальное число 3999), автоматический выбор диапазонов. Частотомер служит для измерения частот от 5 Гц до 10 МГц. Данные могут передаваться на компьютер через порт RS-232 для последующей обработки. Стандартная комплектация: прибор, адаптер, аккумулятор, щупы, кабель для подключения к компьютеру + программное обеспечение, чехол, инструкция. Может поставляться с логическим анализатором на 8 каналов. Программное обеспечение работает в среде MS-DOS и WINDOWS. Адрес разработчика в Интернете: <http://www.imetex.com>.

Более современная модель комбинированного прибора DG SCOPE (рис. 3.59) имеет аналогичный мультиметр и частотомер повышенной точности с 5 разрядами индикации. Двухканальный цифровой запоминающий осциллограф имеет полосу частот до 20 МГц.

Пределы измерения мультиметра DG SCOPE:

- постоянное напряжение (400 мВ, 4/40/400/1000 В);
- переменное напряжение (400 мВ, 4/40/400/750 В);
- постоянный ток (400 мкА, 4/40/400 мА 20 А);
- переменный ток (400 мкА, 4,40, 400 мА, 20 А);
- резистивность (400 Ом, 4 кОм, 40 кОм, 400 кОм, МОм, 40 МОм);
- проверка диодов: (2 В);
- автоматические измерения: dBm, Auto/Data/Min./Max. Hold, Relative off-set.

Параметры осциллографа:

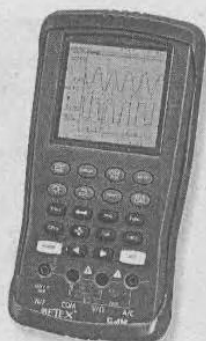


Рис. 3.58. Портативный мультиметр-осциллограф MS-2000 фирмы METEX



Рис. 3.59. Внешний вид комбинированного прибора DG SCOPE

- частотный диапазон 0—20 МГц;
- чувствительность по вертикали: 5 мВ/дел — 2 В/дел;
- длительность развертки: 50 нс/дел — 2 с/дел;
- виды измерений: CH1, CH2, Dual, ADD, SUB, X-Y;
- запуск: Auto, Normal;
- курсорные измерения: напряжения Voltage, времени Time, частоты Frequency;
- автоматическая установка пределов, запись осциллограмм, интерфейс RS-232C, печать;
- разрешение дисплея: 320 × 24 точек (CCFL).

3.4.8. Портативные осциллографы корпорации Tektronix

В целом можно отметить, что портативные цифровые осциллографы по своим характеристикам заметно уступают полноценным универсальным и даже сервисным осциллографам. Но они стали полезным дополнением к мультиметрам и имеют большие перспективы применения в службах сервиса и в радиолюбительской практике.

Приятным исключением из этого «правила» стали портативные осциллографы корпорации Tektronix. Она выпускает целый ряд таких приборов с батарейным питанием, что позволяет использовать их в походных условиях или в случаях работы по вызову в местах, где доступ к промышленной сети переменного тока ограничен или когда подключение осциллографа к сети нежелательно по тем или иным соображениям.

Серия осциллографов Tektronix THS700 это ручные приборы с возможностью питания от батарей. Выпускаются следующие типы осциллографов: THS730A/THS720A/THS720P. Внешний вид прибора THS730A представлен на рис. 3.60, а HHS720A на рис. 3.61.

Основные характеристики этих приборов следующие:

- полоса частот: до 200 и 100 МГц;
- скорость выборки: 1 Гв/с и 500 Мв/с на канал;
- число каналов: два канала с цифровыми фильтрами для интерполяции;



Рис. 3.60. Внешний вид портативного осциллографа TDS370A



Рис. 3.61. Внешний вид портативного осциллографа TDS720P

- автоматические измерения: 21 параметр;
- порт для подключения к ПК: RS-232;
- питание: от NiCd-батарей или сетевого адаптера;
- время автономной работы: 2 часа;
- только для TDS720P: расширенные средства запуска, измерение до 31 гармоники сигналов с частотой от 30 до 450 Гц; измерение мощности, статистика, пробник: для высоких напряжений до 1 кВ.

Серия цифровых запоминающих осциллографов TPS2012/2014/2024 имеет традиционное для Tektronix оформление, показанное на рис. 3.62. Приборы выполнены в строгих прямоугольных «тонких» корпусах.

Основные характеристики этих приборов:

- полоса частот: 100 МГц и 200 МГц;
- скорость выборки: 2 Гв/с;
- число каналов: 2 или 4 изолированных канала и 1 канал запуска;
- автоматические измерения: 11 параметров;
- порт для подключения к ПК: RS-232;
- запись осциллограмм: на флэш-память;
- дополнительные функции: быстрое преобразование Фурье (FFT);
- питание: от NiCd-батарей (2 комплекта) или сетевого адаптера;
- время непрерывной работы от батарей: до 4—8 часов;
- только для TDS720P: измерение до 31 гармоники сигналов с частотой от 30 до 450 Гц;
- пробник: для высоких напряжений до 1 кВ.

Новейшая серия портативных осциллографов с цифровым люминофором TDS3000B (рис. 3.63) объединяет достоинства аналоговых и цифровых осциллографов и открывает уникальные возможности в исследовании сложных сигналов в реальном масштабе времени с запоминанием и математической обработкой осциллограмм.



Рис. 3.62. Внешний вид портативных осциллографов TPS2012/2014/2024



Рис. 3.63. Внешний вид осциллографов серии TDS3000B

Эта серия содержит ряд приборов, технические характеристики которых представлены в таблице рис. 3.64 (получена с сайта корпорации Tektronix http://www.tek.com/site/ps/0,,3G-12482-SPECS_EN,00.html).

Приборы этой серии имеют 2 или 4 канала с полосой частот от 100 до 600 МГц. Полный VGA ЖКИ-дисплей дает прекрасное качество отображаемой информации в цвете. В качестве примера представления информации на рис. 3.65 дана осциллограмма тестирования телекоммуникационной системы. Она позволяет наглядно судить о богатстве возможностей представления информации на экране осциллографов этой серии.

На другом рисунке (рис. 3.66) представлена осциллограмма телевизионного сигнала, снятая с помощью осциллографа серии TDS3000B. На сайте корпорации Tektronix можно найти множество примеров осциллографирования сложных процессов в современном телекоммуникационном и связанном оборудовании. Там же можно познакомиться со спецификой применения осциллографов с цифровым люминофором.

Частота дискретизации в приборах этой серии достигает до 5 Гв/с, экран обновляется со скоростью до 3600 фреймов/с. Приборы могут автоматически измерять 25 параметров сигналов и осуществлять быстрое преобразование Фурье. Имеют

	TDS3012B	TDS3014B	TDS3024B	TDS3032B	TDS3034B	TDS3044B	TDS3052B	TDS3054B	TDS3064B
Bandwidth	100 MHz	100 MHz	200 MHz	300 MHz	300 MHz	400 MHz	500 MHz	500 MHz	600 MHz
Channels	2	4	4	2	4	4	2	4	4
Sample rate on each channel	1.25 GS/s	1.25 GS/s	2.5 GS/s	2.5 GS/s	2.5 GS/s	5 GS/s	5 GS/s	5 GS/s	5 GS/s
Maximum record length	10 K points on all models								
Vertical resolution	9 Bits on all models								
Vertical sensitivity (/div)	1 mV ΔT 10 V on all models								
Vertical accuracy	$B \pm 2\%$ on all models								
Max input voltage (1 MO Ω)	150 V _{RMS} CAT I on all models (300 V CAT II with standard 10X probe)								
Position range	$B \pm 5$ div on all models								
BW limit	20 MHz	20 MHz	20, 150 MHz	20, 150 MHz	20, 150 MHz	20, 150 MHz	20, 150 MHz	20, 150 MHz	20, 150 MHz
Input coupling	AC, DC, GND on all models								
Input impedance selections	1 MO Ω in parallel with 13 pF or 50 Ω on all models								
Time base Range	4 ns ΔT 10 s/div	4 ns ΔT 10 s/div	2 ns ΔT 10 s/div	2 ns ΔT 10 s/div	2 ns ΔT 10 s/div	1 ns ΔT 10 s/div	1 ns ΔT 10 s/div	1 ns ΔT 10 s/div	1 ns ΔT 10 s/div
Time base Accuracy	20 ppm on all models								
Display (VGA)	Color active matrix LCD on all models								

Рис. 3.64. Технические характеристики осциллографов серии TDS3000B

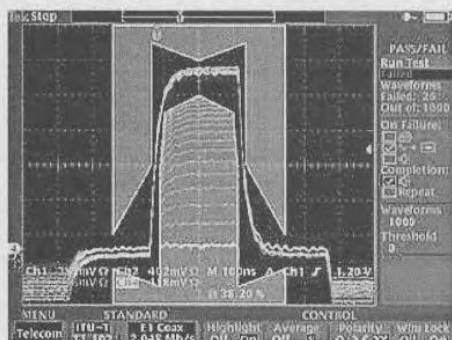


Рис. 3.65. Оциллограмма тестирования коммуникационной системы с помощью осциллографа серии TDS3000B

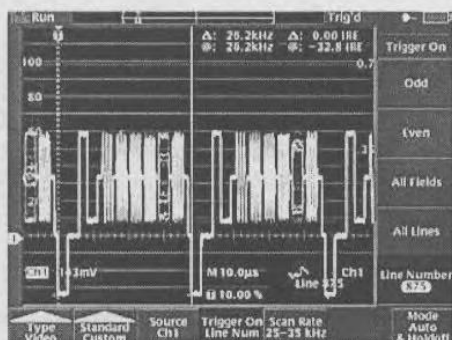


Рис. 3.66. Оциллограмма телевизионного сигнала на экране осциллографа серии TDS3000B

широкие возможности для подключения к компьютеру: встроенный Ethernet-порт, порты GPIB и RS232, разъем VGA. В комплект приборов входит обширное программное обеспечение. Единственное, что всегда омрачает впечатление от замечательных приборов корпорации Tektronix — это их высокая цена. Но, как говорится, — за удовольствие надо платить!

3.4.9. Цифровые осциллографы — ноутбуки фирмы Hitachi

Японская фирма Hitachi также выпускает цифровые осциллографы. Некоторые из них оригинальны, поскольку выполнены в виде миниатюрного ноутбука — субноутбука или обычного ноутбука.

VC-5410

2 канала, 20 МГц, осциллограф-ноутбук, 15 МС/с, автоустановка времени развертки и аттенюатора, память 2 Кслов/канал, чувствительность 1 мВ/дел — 5 В/дел, скорость развертки 20 нс/дел — 50 с/дел, 5 режимов синхронизации, курсорные измерения, память на 10 установок, измерение параметров импульса, RS-232, полное ДУ, выход на принтер, цветной дисплей.

VC-5430

2 канала, 50 МГц, осциллограф-ноутбук, 30 МС/с, автоустановка времени развертки и аттенюатора, память 2 Кслов/канал, чувствительность 1 мВ/дел — 5 В/дел, скорость развертки 5 нс/дел — 50 с/дел, 5 режимов синхронизации, курсорные измерения, память на 10 установок, измерение параметров импульса, RS-232, полное ДУ, выход на принтер, цветной дисплей.

VC-5470

2 канала, 150 МГц, осциллограф-ноутбук, 100 МС/с, пиковый детектор 10 нс, автоустановка времени развертки и аттенюатора, память 8 Кслов/канал, чувствительность 1 мВ/дел — 5 В/дел, скорость развертки 2 нс/дел — 50 с/дел, 6 режимов синхронизации, режим огибающей 2-2048, память сигналов 8 Кслов/25 сигн., курсорные измерения, память на 10 установок, измерение параметров импульса, RS-232, полное ДУ, выход на принтер, цветной дисплей.

VC-5810-E-K

4 канала, 150 МГц, осциллограф-ноутбук, 100 МС/с, память 64 кбайт/канал (возможность расширения до 2 Мбайт/канал), чувствительность 1 мВ/дел — 5 В/дел, скорость развертки 2 нс/дел — 50 с/дел, 7 режимов синхронизации, курсорные измерения, измерение параметров импульса, пиковый детектор 10 нс, GO-NOGO, автосинхронизация, FFT, FDD 3.5", GPIB, Centronics, PCMCIA & VGA, RS-232, полное ДУ, выход на принтер, цветной дисплей (диагональ 26,4 см).

VC-5810-E-M

4 канала, 150 МГц, осциллограф-ноутбук, 100 МС/с, память 2 Мбайт/канал, чувствительность 1 мВ/дел — 5 В/дел, скорость развертки 2 нс/дел — 50 с/дел, 7 режимов синхронизации, курсорные измерения, измерение параметров импульса, пиковый детектор 10 нс, GO-NOGO, автосинхронизация, FFT, FDD 3.5", GPIB, Centronics, PCMCIA & VGA, RS-232, полное ДУ, цветной дисплей (диагональ 26,4 см).

VC-5850

2 канала, 300 МГц, осциллограф-ноутбук, 500 МС/с, память 64 кбайт/канал (возможность расширения до 2 Мбайт/канал), чувствительность 1 мВ/дел — 5 В/дел, измерение параметров импульса, курсорные измерения, RS-232, Centronics, VGA.

Внешний вид и параметры таких осциллографов приведены в таблице (рис. 3.67). Для сравнения там приведены данные и цифровых осциллографов серии VC65XX обычной конструкции.

СЕРИЯ VC-5400: VC-5430, VC-5470	СЕРИЯ VC-5800: VC-5810, VC-5850	СЕРИЯ VC-6500: VC-6523, VC-6525, VC-6545
		
Цифровой 2-канальный осциллограф в виде с/б-ноутбука с цветным ЖК-дисплеем	Профессиональный цифровой осциллограф в виде ноутбука с большим цветным ЖК-дисплеем и ультрасовременными возможностями	2-х каналный аналогово-цифровой осциллограф серии VC-6500 сочетает преимущества аналогового и цифрового осциллографа в одном приборе. Предназначен для широкого круга применений.
• 4" цветной ЖК-дисплей • Полоса пропускания: 50МГц (VC-5430), 150МГц (VC-5470) • Макс. частота дискретизации на канал: 30Мс/с (VC-5430), 100Мс/с (VC-5470) • Память на канал: 2К (VC-5430), 8К (VC-5470) • Автоустановка • Память на 100 осциллограмм (VC-5430) или 25 осциллограмм (VC-5470) • Память на 10 настроек • Двойная развертка • Режим захвата глитчей • Пред/После запись • Курсорные и автоматические измерения • Сравнение GO/NOGO • Математические функции • В комплекте аккумулятор. Батареи на 2 часа работы • Интерфейс к ПК/принтеру: RS-232C и Serialbus • 3 года гарантии	• 2 канала (VC-5850) или 4 канала (VC-5810) • 10,4" цветной ЖК-дисплей • Полоса пропускания: 150МГц (VC-5810), 300 МГц (VC-5850) • Макс. частота дискретизации на канал 100 Мс/с (VC-5810) или 500 Мс/с (VC-5850) • Память на канал от 64К до 2МБ • Память на 10 осциллограмм • Память на 10 настроек • Автоустановка • Двойная развертка • Режим захвата глитчей до 10 нс • Пред/После запись • Расширенная синхронизация (TV-строк, оконная, задержка, пропуск, событие, набор логических состояний, ширине импульса) • Курсорные и автоматические измерения • Сравнение GO/NOGO • Math. функция вкл/откл. БПВ • Функция разделения памяти • Встроенная помощь на экране • Интерфейсы к ПК/принтеру: RS-232C, GPIB, Serialbus и PCMCIA • VGA выход • 3 года гарантии	• ЭНТ с диагональю 8" • Полоса пропускания: 20МГц (VC-6523), 50МГц (VC-6525), 100МГц (VC-6545) • Макс. частота дискретизации: 20Мс/с (VC-6523, VC-6525), 40Мс/с (VC-6545) • Память на канал: 2К (VC-6523, VC-6525), 4К (VC-6545) • Память на 2 осциллограммы • До 50 шаг развертки в режиме пропуск • Двойная автоматическая развертка (VC-6525, VC-6545) • Пред/После запись • Стандартная синхронизация (Single, Auto, Norm, TV-N в TV-V) • Курсорные измерения напряжения, времени и частоты • Встроенный 4-разрядный частотометр (VC-6525, VC-6545) • Интерфейс RS-232C для подключения к ПК или принтеру (HP GL) • 2 года гарантии

Рис. 3.67. Внешний вид и характеристики цифровых осциллографов фирмы Hitachi

Осциллографы серии VC-5400 примечательны питанием от аккумуляторной батареи, что позволяет применять их в полевых условиях и на производстве. Осциллографы серии VC-5800 имеют большой экран, большую память и самые современные возможности (в частности синхронизацию от телевизионных сигналов). Есть курсорные вычисления, память на 10 настроек, поиск глитчей (сбоев) с длительностью до 10 нс, математические функции, справка на экране и т. д.

Глава 4. Виртуальные осциллографы и лаборатории

4.1. Виртуальные PC-осциллографы

4.1.1. Назначение виртуальных осциллографов и их типы

В последние годы наряду с обычными аналоговыми осциллографами часто используются *цифровые* и *запоминающие осциллографы*, которые допускают подключение к персональному компьютеру (ПК). Это резко расширяет возможности таких приборов, позволяя использовать очень мощные и доступные средства обработки сигналов. Однако известные приборы этого типа, например фирм Tektronix или Fluke, очень дороги и недоступны большинству специалистов и радиолюбителей. Кроме того, существуют определенные проблемы при их подключении к ПК с помощью довольно дорогих и редких в продаже дополнительных аксессуаров.

В связи с этим представляют интерес *виртуальные осциллографы*, выполненные в виде приставок к ПК (поэтому их называют также *PC-осциллографы*). Название этих приборов, прямо скажем, не очень удачное. Их «виртуальность» проявляется лишь в том, что передняя панель осциллографа создается на экране дисплея ПК соответствующими программными средствами. Управление осциллографом осуществляется с помощью графического манипулятора — мыши (или тачпада в ноутбуках).

В действительности подобные аппараты являются цифровыми или стробоскопическими осциллографическими приставками к настольному или мобильному ПК, позволяющими исследовать вполне реальные сигналы и строить высококачественные осциллограммы с высоким разрешением, разными цветами линий и с отсутствием геометрических искажений. Их можно обрабатывать на компьютере, наблюдать на экране его дисплея и печатать принтером. С помощью компьютера реализуются и функции запоминания осциллограмм и обмена ими — в том числе через Интернет и с помощью электронной почты.

Принцип действия таких осциллографов заключается в стробировании входного сигнала путем выделения из него коротких вырезок-отсчетов. Они оцифровываются с помощью быстродействующего аналого-цифрового преобразователя приставки или платы, и коды отсчетов передаются в ПК через тот или иной порт связи с внешними устройствами. Применение цифровых и стробоскопических осциллографических приставок для ПК дает следующие преимущества:

- резко упрощается конструкция прибора, поскольку становятся ненужными электронно-лучевая трубка, органы управления осциллографом, мощный и высоковольтный источник питания и др.;
- уменьшается стоимость приборов;
- реализуется естественная стыковка с ПК (настольным или ноутбуком), что обеспечивает легкость цифровой обработки данных, например с помощью систем компьютерной математики;
- появляется возможность легко реализовать цифровые методы обработки сигналов, например построение спектра методом быстрого преобразования Фурье или регистрации сигналов на протяжении длительного промежутка времени с записью сигнала в память ПК.

Есть у приставок определенные недостатки: соединение с ПК многожильным кабелем, питание от отдельного сетевого адаптера, необходимость в применении специального программного обеспечения и др. Приставки обычно уступают куда более дорогим осциллографам по предельным частотно-временным параметрам и скорости обмена данными между измерительной схемой приборов и экраном.

4.1.2. Виртуальные осциллографы в виде плат расширения ПК

Миниатюризация узлов цифровых осциллографов развивается так быстро, что уже с десятков лет тому назад появились первые цифровые осциллографы, выполненные в виде карт расширения персональных компьютеров. Такие карты размещаются в корпусе компьютера и содержат разъемы для подключения исследуемых устройств, размещаемые на задней стороне карты.

Такое конструктивное решение имеет ряд достоинств:

- происходит дальнейшее упрощение конструкции средств осциллографирования;
- отпадает необходимость в корпусе приставки и источнике ее электропитания;
- становится возможным подключение приставки прямо к скоростной системной шине ПК;
- сокращается число кабелей.

В то же время можно отметить и недостатки такого решения:

- габариты плат расширения малы, особенно по толщине, что затрудняет применение высококачественных и широкополосных узлов;
- платы занимают слот, а чаще даже два слота расширения;
- питание плат от источников электропитания ПК может вызвать их перегрузку;
- платы нуждаются в серьезном экранировании;
- удлиняется длина сигнальных кабелей;
- эта возможность отсутствует у портативных ПК — ноутбуков, у которых платы расширения не применяются.

Нередко фирмы, выпускающие такие платы, выпускают и приставки-осциллографы в отдельном корпусе. Часто они стоят заметно дешевле, чем аналогичный по параметрам цифровой или стробоскопический осциллограф. Однако рассчитывать на большую экономию от применения таких плат не приходится — сверхширокополосные платы-осциллографы стоят достаточно дорого.

4.2. Виртуальные осциллографы фирмы Velleman

4.2.1. Виртуальные осциллографы фирмы Velleman

Одним из известных разработчиков таких достаточно дешевых приборов является голландская фирма Velleman Instruments, приборы которой (виртуальные осциллографы PCS500, PCS100 и K8031) можно приобрести в магазинах Chip-Dip. Их продают также многие фирмы, торгующие радиоизмерительным оборудованием. Ниже представлены основные характеристики осциллографиче-

ских приставок фирмы Velleman и требования к системе, необходимые для применения приставок [40—42].

Параметр	PCS500	PCS100/K8031
Число каналов	2	1
Входной импеданс	1 МОм/30 пФ	1 МОм/30 пФ
Разрядность	8 бит	8 бит
Чувствительность	5 мВ — 15 В/деление	10 мВ — 3 В/деление
Максимальное $U_{вх}$	100 В	100 В
Диапазон частот	0 — 50 МГц	0 — 12 МГц
Неравномерность АЧХ	± 3 дБ	± 3 дБ
Погрешность отсчета	2,5%	2,5%
Временная развертка	20 нс — 100 мс/дел	0,1 мкс — 100 мс/дел
Частота стробирования:	1,25 кГц 50 МГц	0,8 кГц — 32 МГц
максимальная	1 ГГц	—
Длина записи	4096/канал	4079
Напряжение питания	9—10 В/1А	9—10 В/0,5 А
Размеры	230 × 165 × 45 мм	230 × 165 × 45 мм
Вес	490 г	400 г
Режимы входов	AC, DC, Ground (в K8031 нет).	
Интерполяция: линейная или сглаженная.		
Маркеры: для напряжения и частоты.		

Требования к системе ПК следующие:

- операционная система Windows 95, 98, 2000, NT или XP;
- SVGA-видеокарта (минимальное разрешение 800 × 600);
- принтерный порт LPT1, LPT2 или LPT3;
- арифметический сопроцессор для работы анализатора спектра.

Таким образом, приставка PCS500 (рис. 4.1) обеспечивает создание виртуально-го двухканального осциллографа с частотами вертикального отклонения до 50 МГц. Это самые скоростные из моделей осциллографов фирмы Velleman. На лицевой панели приставки расположены лишь разъемы входов (одного или двух) и вход внешних импульсов запуска. Кроме того, имеется светодиодный индикатор включения.

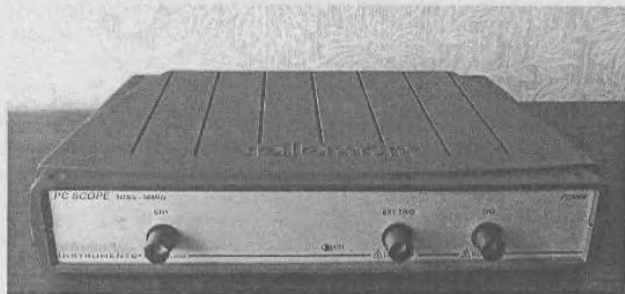


Рис. 4.1. Внешний вид приставки PCS500 спереди

Виртуальный осциллограф фирмы Velleman имеет следующие преимущества:

- внешний триггер с запуском по нарастанию и спаду сигнала;
- улучшенная входная чувствительность;
- пониженный уровень шумов в канале вертикального отклонения;
- улучшенная временная развертка осциллографа;
- возможность отображения суммы и разности сигналов на входах и инвертированного сигнала;
- возможность отображения периодических сигналов с частотой стробирования до 1 ГГц;
- расширенный до 25 МГц частотный диапазон анализатора спектров.

Внешний вид приставки PCS500 сзади представлен на рис. 4.2. Здесь приставка имеет разъем параллельного принтерного порта LPT и разъем для подключения внешнего адаптера питания от сети переменного тока с выходным напряжением 9 В. Имеется также клемма для заземления прибора.

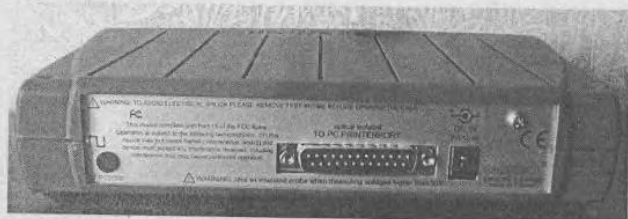


Рис. 4.2. Внешний вид приставки PCS500 сзади

Приставка PCS100 является основной для построения одноканального стробоскопического осциллографа с полосой до 32 МГц. А приставка K8031 выполнена в виде радиоконструктора «Сделай сам» (рис. 4.3) и позволяет радиолюбителям сэкономить немного средств при покупке набора деталей для прибора и получить удовольствие от его сборки. Приборы имеют гальваническую развязку сигнальных цепей от компьютера. Вид корпуса приставки K8031 показан на рис. 4.4.

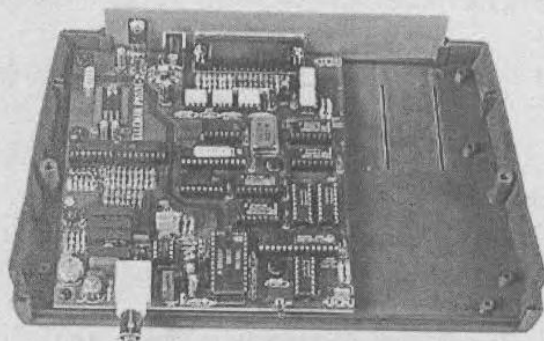


Рис. 4.3. Осциллограф-приставка K8031 в виде конструктора для самостоятельной сборки



Рис. 4.4. Вид корпуса приставки K8031

4.2.2. Спектроанализатор на базе виртуального осциллографа фирмы Velleman

Приставки позволяют также строить спектры сигналов, используя для этого быстрое преобразование Фурье (БПФ) с достаточно большим числом отсчетов (несколько выше 4000). Фурье-анализатор приборов обеспечивает следующие характеристики:

Фурье-анализатор	PCS500	PCS100/ K8031
Частотный диапазон	0—1,2 кГц до 25 МГц	0—0,4 кГц до 16 МГц
Разрешение БПФ	2048 строк	2048 строк
Входные каналы	канал 1 или канал 2	канал 1
Дополнительные функции	функция масштабирования	
Маркеры для напряжения и частоты.		

В режиме фурье-анализатора возможен выбор различных видов частотных окон: прямоугольное, Бартлетта, Хамминга и Блэкмана. Возможна работа с регистрацией максимумов пиков и с усреднением. Таким образом, ряд математических операций над сигналами приставка-осциллограф выполняет самостоятельно, что делает ее применение более привлекательным.

4.2.3. Самописец на базе виртуального осциллографа фирмы Velleman

Приборы могут использоваться в качестве самописца-регистратора, имеющего следующие характеристики:

Самописец	PCS500 и PCS100/ K8031
Временной масштаб:	20 мсек/дел. — 2000 сек/дел.
Мах время записи:	9,4 ч/экран.
Диапазон выборок:	1 выборка/20 с — 100 выборок/с.
Запись данных:	автоматическая в течение до 1 года и более.
Дополнительные функции:	функция масштабирования.
Маркеры:	для времени и напряжения.

Применение прибора в качестве самописца незаменимо при выявлении случайно появляющихся неисправностей, когда пользователь не может непрерывно наблюдать за исследуемым устройством или системой.

4.2.4. Работа с РС-осциллографом фирмы Velleman

По существу приставки (РС-осциллографы) заменяют три прибора: осциллограф, спектроанализатор и электронный регистратор. Для входов вертикального отклонения предусмотрены следующие возможности:

- AC — отсев постоянной составляющей сигнала и работа с сигналами переменного тока;
- DC — непосредственное подключение (с передачей постоянной составляющей сигнала);
- Ground — заземление входа.

Чувствительность входов и режимы их работы изменяются программным путем. Возможно применение шупа — делителя с отношением 1/10. К приставкам опционально могут прилагаться один-два таких делителя с миниатюрными зажимами — крокодилами. Но обычно поставляются соединительные экранированные провода без делителя. Следует учитывать, что они имеют довольно большую дополнительную емкость, доходящую до 50—100 пФ.

В режиме осциллографа (рис. 4.5) частота дискретизации входного сигнала задается режимом работы осциллографа. Основной режим — реального времени. При нем частота дискретизации задается достаточно большой автоматически, при этом для соединения точек осциллограмм используется линейная интерполяция или интерполяция со сглаживанием. Возможен также режим однократного запуска. Управление осциллографом осуществляется группами виртуальных кнопок — двух каналов вертикального отклонения под окном осциллограммы и группы кнопок горизонтальной развертки справа. Такое управление основано на метафоре работы с обычным современным осциллографом и вполне интуитивно понятно.

У приставки PCS500 предусмотрен еще один режим для просмотра осциллограмм периодических сигналов. При этом дискретизация задается генератором случайных чисел, что создает эквивалентную частоту дискретизации до 1 ГГц. Об-

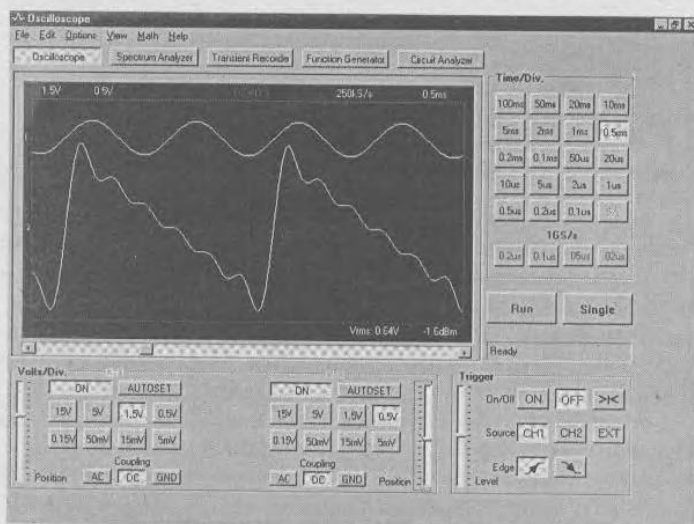


Рис. 4.5. Окно виртуального осциллографа PCS500 в режиме осциллографа

работка осциллограмм при этом занимает несколько секунд, но позволяет наблюдать осциллограммы сигналов с частотами до нескольких десятков МГц. Более высокочастотные сигналы наблюдать бессмысленно, поскольку верхняя граничная частота усилителей вертикального отклонения ограничена значением 50 МГц, да и триггер синхронизации на таких частотах работает неустойчиво.

Осциллографы-приставки PCS100/K8031 имеют один канал, и их окно несколько упрощено (рис. 4.6). В частности, имеются органы управления только одним каналом. На рис. 4.6 показана возможность вывода курсоров и проведения курсорных измерений двойной амплитуды и периода синусоидального сигнала. Для этого используется пара курсоров в виде горизонтальных пунктирных линий и пара курсоров в виде вертикальных пунктирных линий. Они перемещаются с помощью мыши.

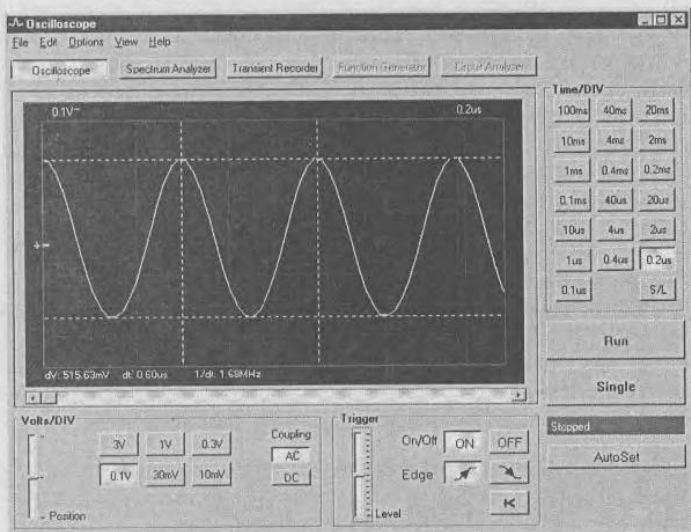


Рис. 4.6. Окно виртуальных осциллографов PCS100/K8031 в режиме осциллографа с курсорными измерениями

Сверху окна виртуального осциллографа (рис. 4.5) расположено обычное Windows-меню и под ним кнопки видов работы приставки. На рис. 4.7 показан вид окна в режиме фурье-анализа сигнала на нижнем входе. Показано также открытое меню View, позволяющее устанавливать или удалять различные сообщения — метки на «экране» осциллографа или фурье-анализатора.

Любую осциллограмму (спектрограмму), которая видна на виртуальном экране, можно записать в виде файла — графического с расширением .bmp и текстового с расширением .txt. Текстовый файл записывается в формате ASCII, причем каждая точка представлена своим номером (от 0 до 4095) и значением (от 0 до 255, ноль соответствует числу 128). Это позволяет использовать полученные данные для обработки программами, написанными на практически любом языке программирования — даже на популярном Бейсике.

Предусмотрен вывод на экран цифровых данных о масштабах по вертикали (напряжение или дБ) и горизонтали (время). Можно также нанести надпись и вы-

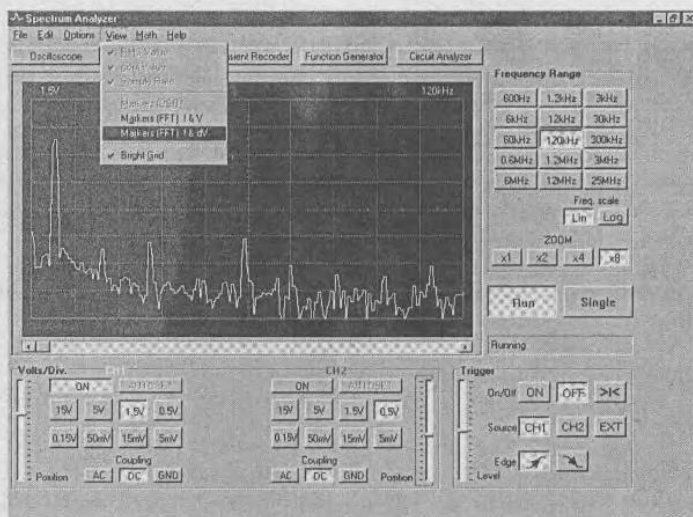


Рис. 4.7. Окно виртуального фурье-анализатора приставки PCS500

вести курсоры для проведения курсорных измерений. Все это позволяет создавать наглядные отчеты по измерениям.

Следует, однако, отметить, что полноценной заменой современного аналогового осциллографа цифровые и стробоскопические осциллографические приставки все же не являются. Им присущи довольно характерные сильные искажения вида сигналов при их дискретизации. Например, при наблюдении синусоидальных сигналов даже на медленных развертках форма сигнала резко искажается и он напоминает перемодулированный сигнал. Это связано с характерными биениями, возникающими при смещении частот сигнала с частотой генератора стробирующих импульсов. Обычный осциллограф таким эффектом не обладает и дает неискаженное представление синусоиды даже на длительных развертках — правда, обычно в виде широкой полосы, ширина которой задается двойной амплитудой сигнала.

По указанной причине практически невозможно наблюдать амплитудно-модулированные высокочастотные сигналы, хотя на обычном осциллографе они наблюдаются легко. Естественно, что у приставок нет специальной синхронизации для телевизионных сигналов — например, выделения строк кадров, которая часто есть у обычных осциллографов. Тем не менее получение достаточно качественных осциллограмм телевизионных кадров или строк вполне возможно.

4.3. Виртуальные функциональные генераторы фирмы Velleman

4.3.1. Функциональные измерительные генераторы

Для исследований и практики ремонта и налаживания электронной аппаратуры необходимы и измерительные генераторы. Наиболее распространенными являются генераторы синусоидальных колебаний и генераторы импульсов прямо-

угольной формы. Связано это с тем, что именно эти простые сигналы используются для снятия амплитудно-частотных, фазочастотных и переходных характеристик различных устройств (прежде всего усилителей) и тестирования различных радиоэлектронных систем.

Особое место занимают *функциональные генераторы*, генерирующие, как минимум, три сигнала различной формы — синусоидальной, прямоугольной и прямоугольный меандр. Выпускаются функциональные генераторы как довольно дорогие, так и дешевые приборы. Чем шире диапазон частот и амплитуд таких генераторов и чем выше стабильность их частоты, тем они дороже.

4.3.2. Виртуальные функциональные генераторы фирмы Velleman

В последнее время резко возрос интерес к виртуальным измерительным генераторам, выполненным в виде приставок к ПК. «Виртуальность» приборов, как и осциллографов, проявляется в том, что передняя панель приборов создается на экране дисплея ПК соответствующими программными средствами. Управление приборами осуществляется с помощью графического манипулятора, например мыши. Ниже рассмотрены виртуальные функциональные генераторы фирмы Velleman Instruments PCG10 [41], которые, как и виртуальные осциллографы PCS500 и PCS100, можно приобрести в наших магазинах. Выпускается и набор для их сборки K8016.

Приставка — виртуальный функциональный генератор поставляется в двух вариантах: конструктора (K8016) и готового изделия (PCG10) — рис. 4.8. Уникальная особенность генератора — его совместимость с PC-осциллографами Velleman PCS64i и PCS500 для создания измерительного комплекса с расширенными возможностями отображения данных на дисплее.

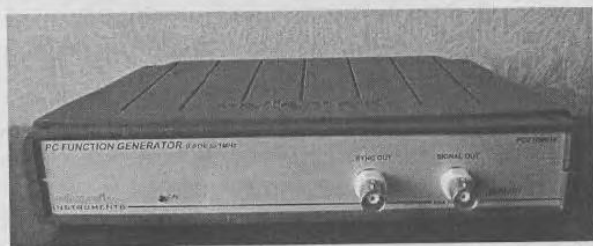


Рис. 4.8. Приставка — функциональный генератор PCG10 (вид спереди)

Приставка — функциональный генератор имеет следующие особенности построения:

- кварцевая стабилизация частоты;
- оптическая изоляция от ПК;
- основные формы сигналов: синусоидальная, прямоугольная (меандр) и треугольная симметричная;
- дополнительный выход для синхронизации сигнала TTL-уровня;
- библиотека форм дополнительных сигналов;
- возможность создания индивидуальных форм сигналов.

Основные параметры генератора следующие:

- диапазон частот: 0,01 Гц — 1 МГц;

- источник питания: адаптер 12 В/800 мА (PS1208);
- разрешение по частоте: 0,01%;
- вертикальное разрешение: 8 бит (0,4 % от полной шкалы);
- диапазон амплитуды: 100 мВ — 10 В при нагрузке 600 Ом;
- отклонение от нуля: от 5 В до +5 В max (0,4 % от полной шкалы);
- максимальная частота дискретизации: 32 МГц;
- коэффициент гармоник синусоиды: менее 0,08%;
- выходной импеданс: 50 Ом;
- размеры: 235 × 165 × 47 мм.

Внешний вид приставки сзади показан на рис. 4.9. Особенностью приставки является возможность ее работы совместно с виртуальными осциллографами фирмы Velleman. Для этого приставка оснащена двумя разъемами принтерного порта LPT — одним она подключается к порту компьютера, а другим к приставке виртуального осциллографа. В результате создается комплекс для проведения самых различных измерений и исследований с возможностью обработки результатов на ПК. Кроме того, сзади приставки имеется разъем для подключения внешнего адаптера питания от сети переменного тока с выходным напряжением 9 В постоянного тока.



Рис. 4.9. Приставка — функциональный генератор PCG10 (вид сзади)

4.3.3. Работа с виртуальным функциональным генератором фирмы Velleman

Функциональный генератор включается с помощью программы PC-Lab 2000, окно которой показано на рис. 4.10. В разделе Function Generator надо установить темный кружок у выбранного типа генератора.

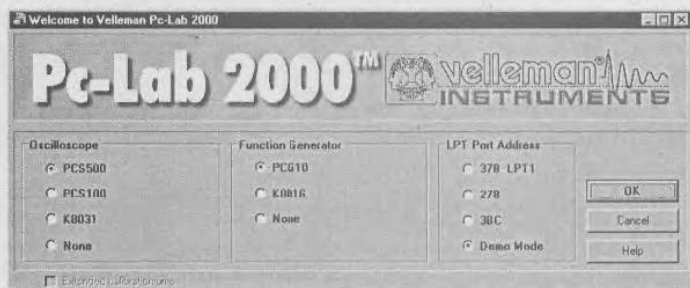


Рис. 4.10. Окно программы PC-Lab 2000

Для запуска генератора достаточно активизировать мышью кнопку Function Genetator. При этом появится окно управления генератором, показанное на рис. 4.11 справа. В нем есть окошко для наблюдения осциллограммы генерируемого сигнала, а также кнопки (снизу) установки частоты и формы импульсов, органы плавной регулировки частоты, амплитуды и смещения импульсов.

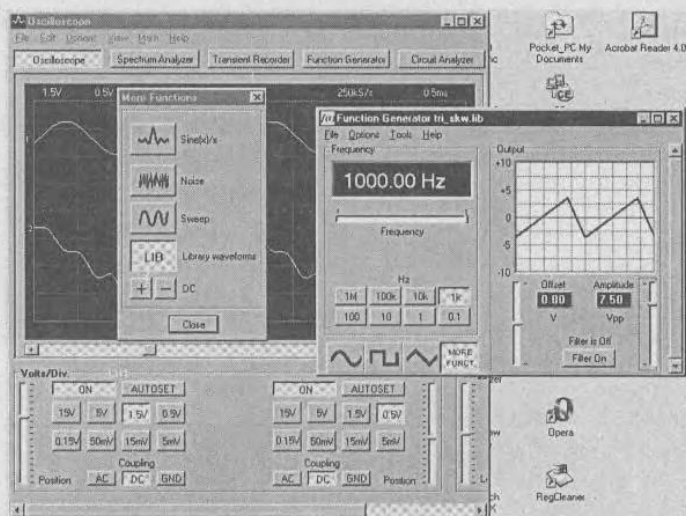


Рис. 4.11. Работа с генератором PCG10 с помощью программы PC-Lab 2000

Программное обеспечение прибора позволяет устанавливать форму импульсов загрузкой соответствующего библиотечного файла. Для этого надо активизировать кнопку MORE FUNC. Появится еще одно окно генератора (оно также видно на рис. 4.11). В нем помимо кнопок ряда форм генерируемых сигналов имеется кнопка Library Waveforms (Библиотека форм сигналов), которая открывает стандартное Windows-окно загрузки библиотечных файлов. Среди них достаточно выбрать подходящий, и форма импульсов будет изменена.

Есть также возможность задать импульсы самим пользователем. Для этого достаточно исполнить команду Wave Editor в позиции Tools меню окна функционального генератора. Откроется окно редактора формы импульсов, показанное на рис. 4.12.

В этом окне можно задать последовательность до 32 Кбайт, определяющую форму генерируемого импульса. Каждый байт задает значение от 0 до 255, причем значение 128 соответствует цен-

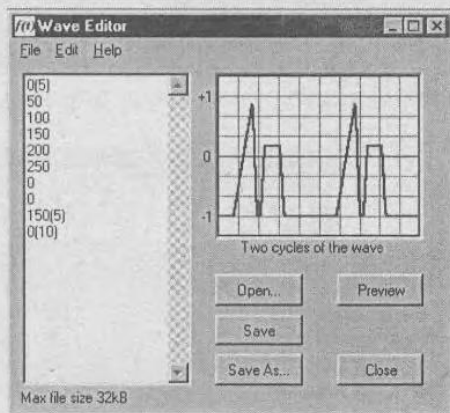


Рис. 4.12. Окно редактора формы импульсов

тральной позиции экрана формы импульсов. Повторяющиеся значения байтов можно указывать в скобках, например, 150(5) означает, что значение 150 повторяется пять раз подряд. На экране форм строится осциллограмма двух периодов импульсов.

Благодаря возможности работы совместно с персональным компьютером и виртуальными осциллографами функциональный генератор PCG10 может использоваться для создания достаточно дешевой и простой компьютеризированной лаборатории.

4.4. Компьютеризированная лаборатория PC-Lab 2000

4.4.1. Создание компьютеризированной лаборатории PC-Lab 2000

Как уже отмечалось ранее, фирма Velleman Instruments выпускает виртуальные осциллографы PCS500, PCS100 и K8031 и виртуальные функциональные генераторы PCG10 и K8016. Эти приборы выполнены в одинаковых по конструкции корпусах и, вместе с прилагаемым программным обеспечением на CD-ROM, могут использоваться для создания компьютеризированной лаборатории на базе обычного настольного или мобильного компьютера. Вместе с обычным персональным компьютером они образуют миниатюрную многофункциональную лабораторию, позволяющую исследовать и отлаживать различные электронные схемы, устройства и системы. На рис. 4.13 представлена такая действующая лаборатория на основе мобильного компьютера — ноутбука Satellite 1800-314 корпорации Toshiba [42].

Компьютер (настольный или мобильный — ноутбук), используемый совместно с описанными приборами, должен работать с операционной системой Win-

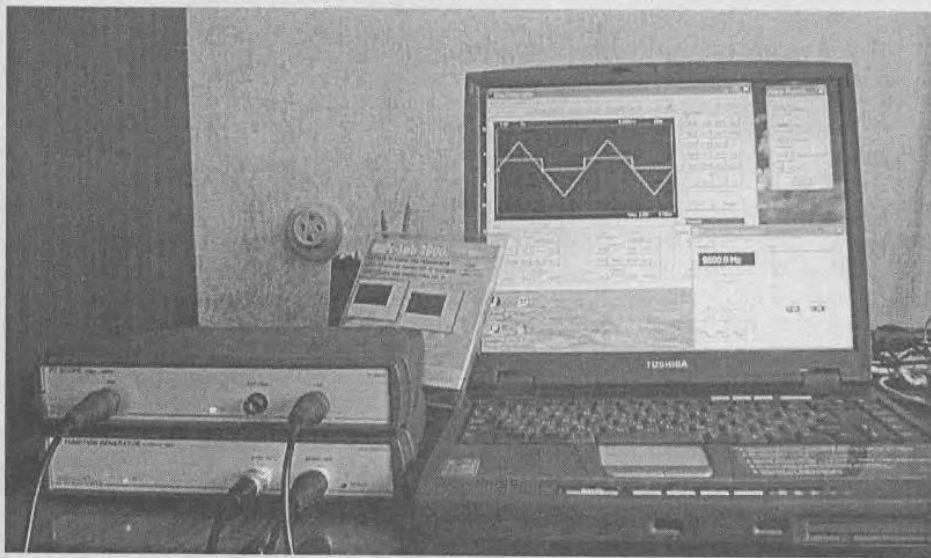


Рис. 4.13. Внешний вид компьютерной измерительной системы на базе виртуальных приборов и мобильного компьютера — ноутбука Satellite 1800-314 корпорации Toshiba

dows 95, 98, 2000/NT/XP, иметь SVGA-видеокарту (с разрешением 800×600) и арифметический сопроцессор для спектроанализатора. Подключение устройств осуществляется через принтерный порт LPT1, LPT2 или LPT3. Сборка лаборатории и подключение ее к компьютеру занимает от силы пару минут. Она сводится к подключению кабелей к разъемам, расположенным сзади корпусов осциллографической приставки и приставки-генератора. Сигнальные коаксиальные кабели подключаются со стороны передних панелей к коаксиальным разъемам — они видны на рис. 4.13. Следует отметить, что приставки имеют оптическую изоляцию от цепей компьютера, что надежно защищает последний (но не сами приставки) от повреждений.

Необходимо также установить программное обеспечение — программу PC-LAB 2000 с прилагаемого CD-ROM (он виден на рис. 4.13). Установка этой программы ничем не отличается от установки любого Windows-приложения. Однако надо учитывать, что для ПК с операционной системой Windows NT или Windows 2000 нужно дополнительно установить драйвер локального Администратора, который также имеется на CD-ROM (возможна его установка после установки самой программы).

После установки программы PC-LAB 2000 создается папка с ее ярлыком и рядом вспомогательных файлов ее справки, содержащей описание программы и работы с основными компонентами лаборатории с ней в целом. К сожалению, русскоязычной справки нет. Хотя, надо сказать, что работа с лабораторией достаточно опытному пользователю (специалисту или радиолюбителю) вполне ясна и понятна.

Интересно отметить, что программу PC-LAB 2000 можно бесплатно скачать с Интернет-сайтов корпорации Velleman Instruments и нашей сети магазинов электронных компонентов Chip-Dip. Это позволяет познакомиться с возможностями лаборатории с помощью демонстрационного режима demo. Его можно задать в окне начального запуска программы, показанном на рис. 4.10. Это окно позволяет также выбрать тип осциллографа, тип генератора и адрес принтерного порта LPT, через который компоненты лаборатории подключаются к ПК.

4.4.2. Специальные возможности лаборатории PC-Lab 2000

Поскольку работа с осциллографом и функциональным генератором уже была описана в предшествующих разделах этой главы, остановимся на некоторых других возможностях лаборатории. Кнопка Transient Recorder позволяет использовать лабораторию в качестве электронного записывающего устройства — рекордера переходных процессов (рис. 4.14). От осциллографического режима работы режим рекордера отличается длительностью разверток и возможностью записи в файл очень длительных процессов — вплоть до года. Далеко не каждый даже запоминающий осциллограф позволяет вести такие записи.

Еще один доступный режим — построитель частотных характеристик электронных цепей Circuit Analyzer. Он открывает окно Bode Plotter (рис. 4.15), в котором можно задать вид графика, чувствительность, начальную и конечную частоту свипирования. В этом режиме функциональный генератор работает как свип-генератор (генератор качающейся частоты), что позволяет строить АЧХ электронных цепей и схем. К сожалению, верхняя частота свипирования не может превышать 1 МГц, так что этот режим годится для исследования не очень высокочастотных схем и устройств. Как в режиме построения АЧХ, так и просмотра

рамму, спектрограмму, запись переходных процессов или АЧХ можно сохранить в файлах данных. Для этого интерфейс лаборатории предусматривает окно загрузки файла данных с кнопкой просмотра, выводящей окно предварительного просмотра (рис. 4.16).

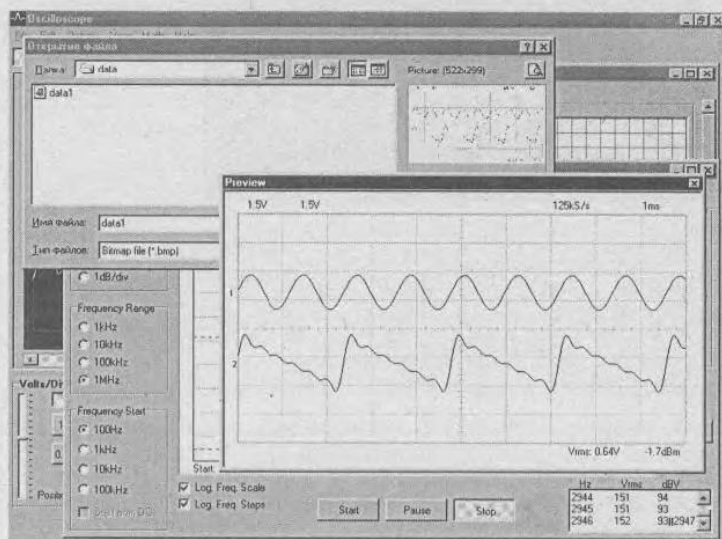


Рис. 4.16. Работа лаборатории с файлом данных

Лаборатория формирует два вида файла данных — текстового формата и графического формата. Текстовый файл имеет формат ASCII и может просматриваться и редактироваться любым текстовым редактором, например популярным Word (при формате файла .txt). Файл содержит вполне очевидные данные: шаг по времени, масштаб по вертикали, номера точек N и данные в восьмиразрядном формате (от 0 до 255) для каналов осциллографа. Такие данные легко переносятся в любую их обрабатывающую программу — начиная от простенькой программы на Бейсике и кончая программами обработки данных на основе систем компьютерной математики Mathcad, Maple, Mathematica или MATLAB. Это открывает широчайшие возможности математической и компьютерной обработки данных и результатов исследований и экспериментов.

Графический файл имеет расширение .bmp и представляет собой высококачественный рисунок (рис. 4.17). Такие рисунки можно использовать для подготовки отчетов по результатам исследований или экспериментов. Их можно, например, включать в текстовые материалы, подготовленные в среде текстового редактора класса Microsoft Word.

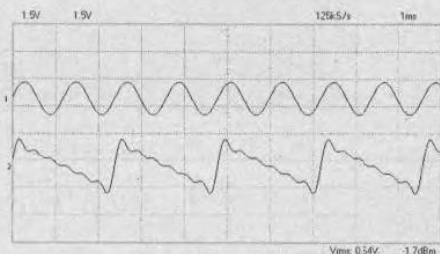


Рис. 4.17. Рисунок — осциллограммы с двух каналов осциллографа

4.5. Новые возможности виртуальной лаборатории PC-Lab 2000 v. 1.38

4.5.1. Развитие лаборатории PC-Lab 2000

С 2001 по 2004 год виртуальная лаборатория PC-LAB 2000 прошла ряд модернизаций, и хотя ее название PC-LAB 2000 не изменилось, возможности лаборатории были существенно улучшены и обновлены. В настоящее время для создания интерфейса пользователя лаборатории PC LAB 2000 используется программа версии v. 1.38. Обновленную программу PC-LAB 2000 v. 1.38 можно бесплатно скачать с Интернет-сайтов корпорации Velleman Instruments. Установка ничем не отличается от установки любого Windows-приложения. Стоит, однако, напомнить, что для ПК с операционной системой Windows NT или Windows 2000 нужно дополнительно установить драйвер локального Администратора, который также имеется на CD-ROM (возможна его установка после установки самой программы).

4.5.2. Установка обновленной лаборатории PC-Lab 2000

Окно начального запуска программы представлено на рис. 4.18. Это окно позволяет также выбрать тип осциллографа, тип генератора и адрес принтерного порта LPT, через который компоненты лаборатории подключаются к ПК. Возможен демонстрационный режим Demo, позволяющий познакомиться с основными возможностями PC-LAB 2000 без подключения к компьютеру аппаратных средств лаборатории.

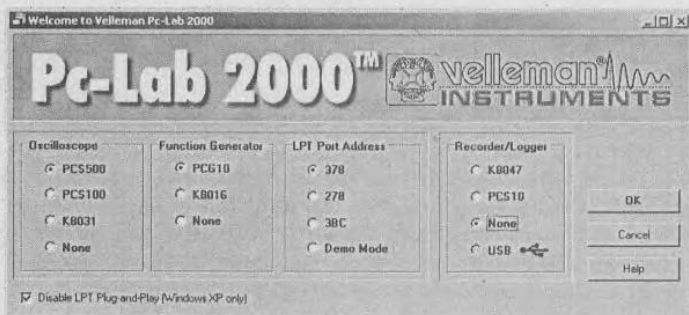


Рис. 4.18. Начальное окно запуска лаборатории PC-LAB 2000

Поскольку работа с осциллографом и функциональным генератором уже была описана в sit, остановимся только на новых возможностях лаборатории. Прежде всего, отметим возможность включения в лабораторию новых устройств K8047 и PCS10, обеспечивающих повышенные возможности работы с сигналами. Подключение новых устройств и устройств с USB-портом задано в новом разделе окна установки — Recorder/Logger. Если эти устройства не используются, надо установить опцию None.

4.5.3. Новый режим запоминания осциллограмм PERSIST

В новой версии программы PC-LAB 2000 v. 1.38 по сравнению с версией 1.14, представленной в 2001 году, существенно расширены функции виртуального

осциллографа. Его окно представлено на рис. 4.19. В нем выведено также окошко с сообщением о версии программы. Для вывода этого окошка достаточно исполнить команду About... в позиции Help меню.

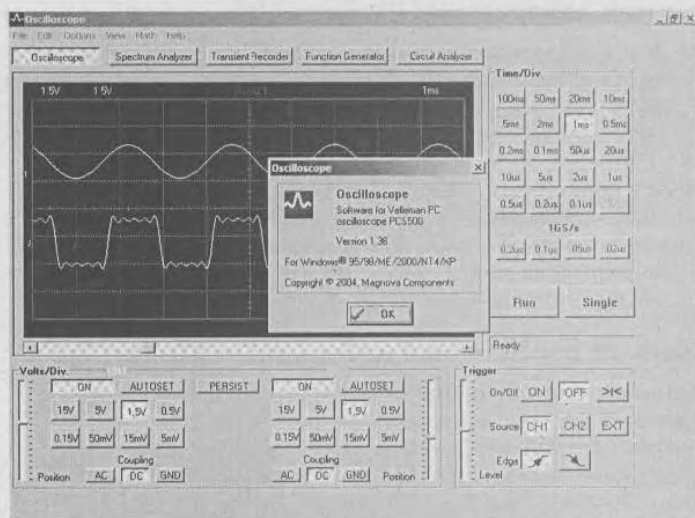


Рис. 4.19. Окно обновленного виртуального осциллографа PCS500

Из рис. 4.19 нетрудно заметить, что в окне осциллографа между панелями каналов CH1 и CH2 появилась новая кнопка PERSIST. Она вводит новый режим работы осциллографа с запоминанием ранее сделанных осциллограмм. Нормально эта кнопка отжата, и осциллограф работает в обычном режиме с обновлением осциллограмм при каждом пуске. Вид осциллограмм для этого случая представлен на рис. 4.19.

При «нажатии» кнопки PERSIST (активизируется мышью) осциллограф переходит в режим запоминания осциллограмм. Рис. 4.20 показывает пример работы в этом режиме — выполнено пять однократных пусков и все пять осциллограмм представлены на «экране» осциллографа. Подобное запоминание очень полезно для оценки влияния шумов и джиттера, а также в случае, когда в процессе исследования устройств происходит авария. В обычном режиме осциллографа это ведет к утере предшествующих осциллограмм, а в режиме запоминания их можно рассмотреть и установить причины аварии.

4.5.4. Отключение режима соединения точек графиков

В позиции View меню осциллографа (рис. 4.21) введен ряд новых опций, существенно повышающих возможности осциллографа. Прежде всего отметим опцию Dot Join (Объединение точек). По умолчанию она включена, что означает представление осциллограмм сплошными линиями — используется интерполяция между точками и сами точки (выборки при стробировании) не видны. Отключение этой опции ведет к точечному представлению осциллограмм, при чем каждая точка соответствует выборке сигнала.

В ряде случаев точечное представление оказывается весьма полезным, например, для оценки времен быстрых изменений сигналов и крутизны этих изме-

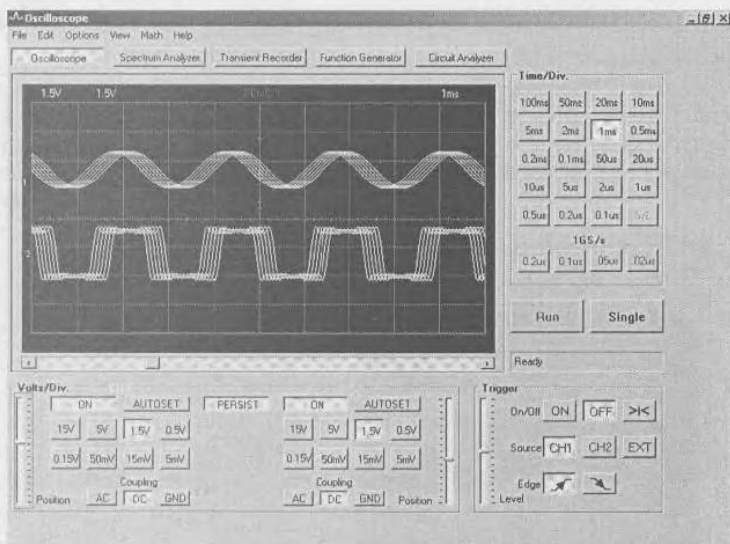


Рис. 4.20. Пример работы виртуального осциллографа в режиме запоминания осциллограмм (PERSIST)



Рис. 4.21. Окно осциллографа с открытой позицией View меню и осциллограммами с точечным представлением

ний. Это хорошо видно при просмотре на рис. 4.21 сигнала в виде полуволны меандра с отрицательной полярностью (на фронтах хорошо заметны точки и их число нетрудно подсчитать).

4.5.5. Автоматизация измерений параметров осциллограмм

Наиболее серьезное дополнение в программу PC-LAB 2000 введено в версии v. 1.34 и сохранено в последующих версиях. Это цифровая обработка осциллограмм обоих каналов, позволяющая автоматически вычислять 21 амплитудный и временной параметр. Для этого в позиции View меню введена опция Waveform Parameters ... (Параметры волн). Ее активизация приводит к появлению специального окна с параметрами, показанного на рис. 4.22 в правой части окна осциллографа.

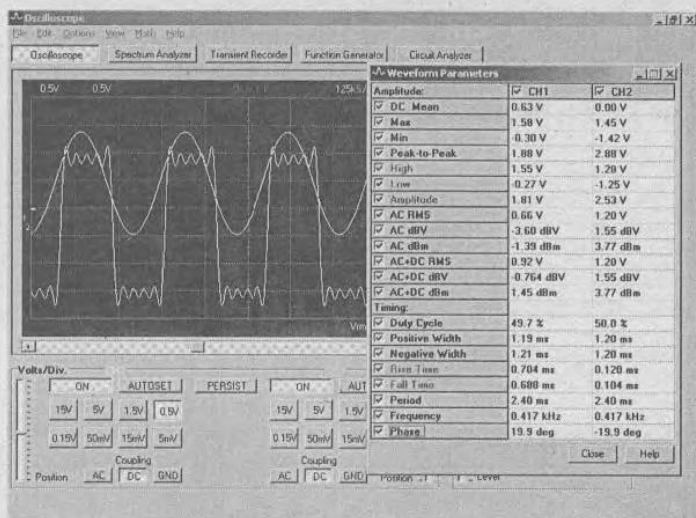


Рис. 4.22. Работа с окном Waveform Parameters амплитудных и временных параметров осциллографа

В окне Waveform Parameters можно задать опции вывода того или иного параметра. При использовании двухканального осциллографа PCS500 эти опции можно задавать для каждого канала (CH1 и CH2) или только одного из них. Как правило, для выполнения правильных вычислений форма осциллограмм должна быть достаточно простой и на экране размещаться несколько отчетливо видных периодов наблюдаемых сигналов. Если средства обработки не способны четко вычислить тот или иной параметр, вместо его значения индицируется знак «?», а при невозможности вычисления знак «???». Последнее возможно, если осциллограмма не содержит достаточной информации для вычисления параметра, например, на ней отображена только часть периода или слишком много периодов.

Чтобы работать с окном параметров, нужно четко представлять, как определен тот или иной параметр. На рис. 4.23 показано определение основных амплитудных параметров импульсов в том виде, как они выдаются в окне Waveform Parameters.

Ниже представлено определение основных амплитудных параметров:

- DC Mean — арифметическое среднее значение;
- Max — максимальное значение с учетом короткого выброса;
- Min — минимальное значение с учетом короткого выброса;

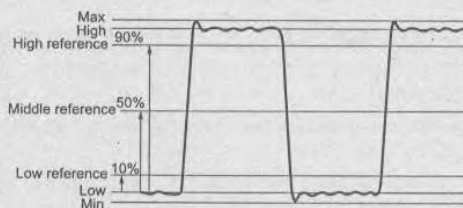


Рис. 4.23. К определению амплитудных параметров импульсного сигнала

- High — статистическое максимальное значение без учета короткого выброса;
- Low — статистическое минимальное значение без учета короткого выброса;
- Peak-to-Peak — двойное пиковое значение;
- Amplitude — амплитуда сигнала (разность между High и Low);
- AC RMS — правильное RMS-значение AC-компоненты сигнала, преобразованное в вольты;
- AC dBV — измеренный сигнал (только AC), преобразованный в dBV (0 дБ = 1 В);
- AC dBm — измеренный сигнал (только AC), преобразованный в dBm (0 дБ = 0,775 В);
- AC + DC RMS — правильное RMS-значение (AC + DC)-волны, вычисленное и преобразованное в вольты;
- AC + DC dBV — измеренный сигнал (только AC), преобразованный в dBV (0 дБ = 1 В);
- AC + DC dBm — измеренный сигнал (только AC), преобразованный в dBm (0 дБ = 0,775 В).

Определения основных временных параметров представлены на рис. 4.24. Для отсчета временных параметров используются три уровня отсчетов, относительно амплитуды сигнала: High reference — 90-процентный уровень, Middle reference — 50-процентный уровень и Low reference — 10-процентный уровень.

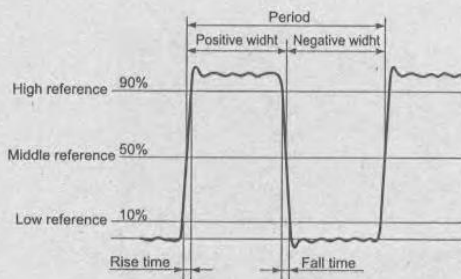


Рис. 4.24. К определению основных временных параметров импульсного сигнала

Ниже представлены определения временных и частотных параметров реального импульсного сигнала:

- Duty Cycle — отношение длительности положительной полуволны сигнала к его периоду, выраженное в процентах;
- Positive Width — длительность положительной полуволны сигнала;

- Negative Width — длительность отрицательной полуволны сигнала;
- Rise Time — время нарастания сигнала, измеренное на уровнях 10% и 90% от амплитуды сигнала;
- Fall Time — время спада сигнала, измеренное на уровнях 90% и 10% от амплитуды сигнала;
- Period — период повторения сигнала, измеренный на уровне 50% от амплитуды сигнала;
- Frequency — частота повторения сигнала (обратная периоду величина);
- Phase — фазовый сдвиг между сигналами в каналах CH1 и CH2, выраженный в градусах deg ($1 \text{ deg} = 1/360$ от периода сигнала, условно принятого за 1, частоты сигналов в обоих каналах должны быть одинаковыми).

Следует отметить, что приведенные определения параметров приняты в большинстве западных цифровых осциллографов, допускающих автоматическое измерение параметров сигналов.

4.5.6. Режим запоминания спектрограмм

В режиме спектрального анализа (кнопка Spectrum Analyzer) также имеется возможность запоминания спектрограмм при нажатой кнопке PERSIST. На рис. 4.25 показано окно осциллографа в режиме спектрального анализа после 10 пусков кнопкой Single. Обычно сильно изломанная снизу спектрограмма теперь представлена широкой шумовой дорожкой, из которой более отчетливо видны всплески на частотах гармоник сигнала. На рис. 4.25 показана также работа анализатора спектра в режиме маркерных вычислений.

В меню опций добавлена новая опция Vector Average для усреднения данных в векторе. Такое усреднение может существенно повысить разрешающую способность анализатора спектра. Более подробно работа с анализатором спектра описана в главе 6.

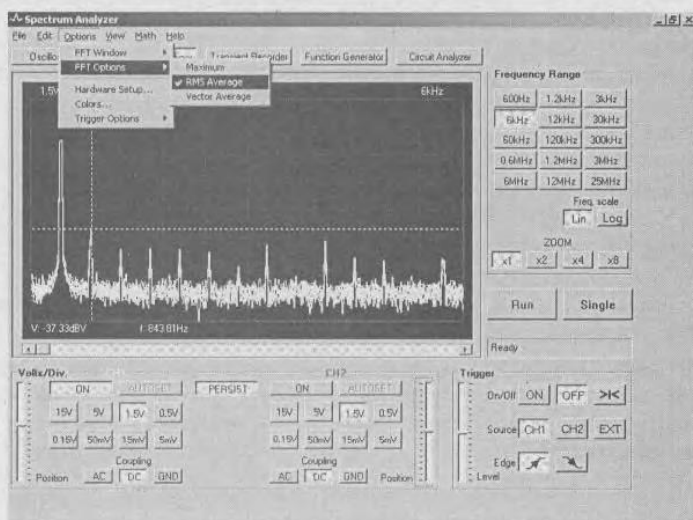


Рис. 4.25. Работа анализатора спектра в режиме запоминания спектрограмм

4.5.7. Другие возможности обновленной PC-Lab 2000

Активизация кнопки Transient Recorder позволяет использовать лабораторию в качестве электронного записывающего устройства — *рекордера* переходных процессов (рис. 4.26). От осциллографического режим рекордера отличается длительностью разверток и возможностью записи в файл очень длительных процессов — вплоть до года. Как видно из рис. 4.26, в этом режиме возможны курсорные измерения.

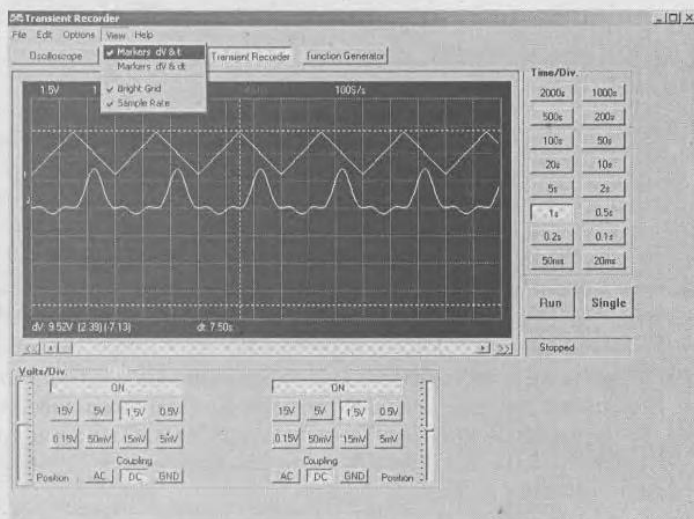


Рис. 4.26. Работа лаборатории в режиме электронного записывающего устройства с курсорными измерениями

Для последнего из режимов работы — построения частотных характеристик электронных цепей — достаточно активизировать кнопку Circuit Analyzer. В этом случае выводится окно Bode Plotter (рис. 4.27), в котором можно задать вид графика, чувствительность, начальную и конечную частоту свипирования. В этом режиме функциональный генератор работает как свип-генератор (генератор качающейся частоты), что позволяет строить АЧХ электронных цепей и схем в диапазоне частот до 1 МГц. Как в режиме построения АЧХ, так и просмотра осциллограмм возможны курсорные измерения с помощью перемещаемых мышью курсоров, а также вывод ряда масштабных параметров. В новой версии PC-LAB 2000 v. 1.34 возможно построение и фазочастотной характеристики (ФЧХ), если задать ее новой опцией Phase Plot в позиции меню View.

Как видно из приведенных примеров, в новых реализациях виртуальной лаборатории PC-LAB 2000 осуществлены многие возможности компьютерной обработки данных и результатов экспериментов уже на уровне прилагаемого программного обеспечения. По этим возможностям обновленная лаборатория не уступает гораздо более дорогим цифровым осциллографам многих известных фирм, что открывает широкие возможности ее применения в сервисных службах, научных исследованиях и в лабораториях вузов и университетов. Более подробно работа с виртуальной лабораторией PC-Lab 2000 описана в главе 6.

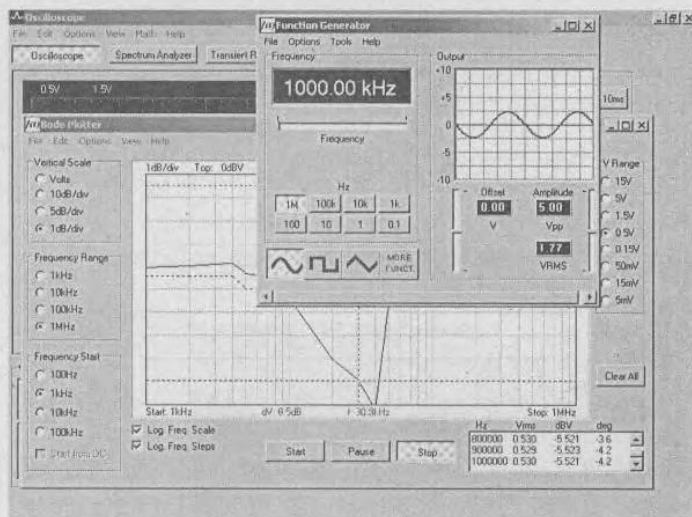


Рис. 4.27. Работа лаборатории в режиме построения АЧХ и ФЧХ

В настоящее время компьютеризованные лаборатории отнюдь не ограничены описанными изделиями фирмы Velleman Instruments. Подобные лаборатории могут строиться на изделиях фирмы ACK, осциллографах ОСЗС-01 и генераторах ГСПФ-052 (поставщик ЗАО «Руднев-Шилиев», аппаратуре (увы, довольно дорогой) фирм Fluke и Tektronix и др.

4.6. Осциллографические модули и платы фирмы BORDO

4.6.1. Цифровой осциллограф BORDO-421 с USB-интерфейсом

Компания BORDO, продукция которой представлена на сайте ЗАО «Компания Сигнал» (www.signal.ru) выпускает ряд осциллографических модулей и плат для персональных компьютеров. Ниже мы рассмотрим некоторые из них.

Двухканальный цифровой осциллограф BORDO-421 (рис. 4.28) выполнен в пластмассовом корпусе с внешним блоком питания и имеет интерфейс USB 2.0. С переходом на скоростной интерфейс USB реализуется новая концепция приставок, выполняющих функции цифровых осциллографов. Высокая скорость передачи данных в таком порте (до 40 Мбит/с) позволяет создавать приставки с высокой скоростью обмена данными между платой-осциллографом и компьютером. Это способствует не только повышению скорости работы с приставками, но и реализации новых алгоритмов обработки осциллограмм.

Прибор BORDO-421 предназначен для исследования однократных и периодических электрических сигналов, обеспечивает автоматические, маркерные измерения и математическую обработку сигналов, имеет дополнительно выход ЦАП. Основные технические характеристики BORDO-421:



Рис. 4.28. Двухканальный цифровой осциллограф BORDO-421

- число входных измерительных каналов: 2;
- ширина пропускания входного тракта: 150 МГц;
- вертикальное разрешение: 10 бит;
- открытый/закрытый вход: 1 МОм, работа со стандартными осциллографическими делителями;
- аппаратное смещение уровня входного сигнала: на плюс-минус входной диапазон;
- 7 калиброванных коэффициентов отклонения по вертикали с шагом 1-2-5:
 - без делителя: — 10 мВ/дел...1 В/дел;
 - с делителем 1:10: 100 мВ/дел...10 В/дел;
- макс. частота дискретизации: для однократных сигналов — 100 Мв/с, для повторяющихся сигналов — 20 Гв/с;
- коэффициенты развертки: от 5 нс/дел до 50 мс/дел;
- максимальные временные диапазоны: от 1280 мкс до 64 с;
- максимальная длина памяти на канал: 64 Квыб;
- источники синхронизации: внутренний канал 1/канал 2/внешний;
- режимы запуска развертки: ждущий/автоматический/однократный/стоп;
- вход внешней синхронизации: 1 МОм;
- диапазон частот синхронизации: от 10 Гц до 110 МГц;
- регистрация предыстории;
- задержка запуска регистрации после срабатывания синхронизации;
- выход ЦАП: частота дискретизации максимальная 100 кГц, диапазон выходного сигнала ± 10 ;
- интерфейс: USB 2.0, USB 1.1;
- питание: 220 В/50 Г;
- потребление: 7 Вт;
- размеры: 155 × 195 × 45 мм;
- масса: 0,4 кг;
- программное обеспечение: на основе Windows 9x/2K/X;
- автоматический поиск синхронизации.

Дополнительные функции:

- частотомер;
- спектроанализатор;

- автоматические и маркерные измерения 22 параметров сигналов;
- дополнительная математическая обработка: сглаживание, усреднение;
- возможность использования запомненного сигнала в качестве постоянного фона;
- экспорт в формат ASCII (пригоден для дальнейшей математической обработки в MS Excel и других пакетах).

Состав программного обеспечения:

- программа цифрового осциллографа Oscilloscope 1.1.2;
- драйвер для Windows 9x//2k/XP;
- документация и библиотека дополнительных функций по драйверу для использования осциллографа в качестве встраиваемого устройства;
- примеры использования драйвера для MS Visual C++.

Приставка BORDO-421 является одной из лучших среди такого рода устройств. При умеренной цене она вдвое превосходит приставку фирмы Velleman по ширине полосы пропускания. Ее возможности вполне соответствуют возможностям 150-мегагерцевых цифровых осциллографов.

4.6.2. Цифровые осциллографы — плата В-121 и приставка В-323

Цифровой осциллограф-плата В-121 (В-323) предназначен для исследования однократных и периодических электрических сигналов, проведения автоматических, маркерных измерений и математической обработки сигналов. Дополнительно осциллограф обеспечивает работу в режимах анализатора спектра и частотометра. Внешний вид платы показан на рис. 4.29.

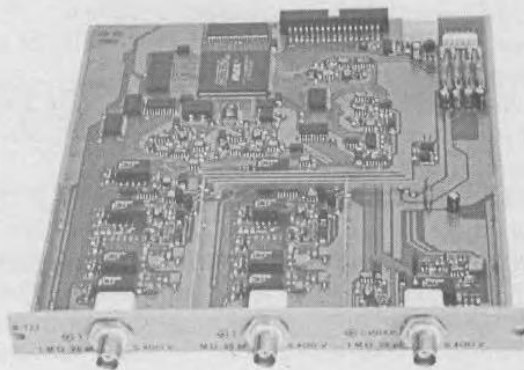


Рис. 4.29. Внешний вид осциллографа-платы В-121

Варианты исполнения:

- измерительный модуль комплекса УНИПРО, модель В-121;
- в отдельном блоке с встроенным источником питания, модель В-323.

Основные технические характеристики платы В-121 и осциллографа В-323:

- число входных измерительных каналов: 2;
- полоса пропускания входного тракта: от 0 до 200 МГц;

- открытый/закрытый вход: 1 МОм, работа со стандартным выносным делителем;
- аппаратное смещение уровня входного сигнала в широких пределах;
- вертикальное разрешение: 8 бит;
- основная погрешность: $\pm 1\%$, с выносным делителем $1:10 \pm 2\%$;
- чувствительность: 11 калиброванных коэффициентов отклонения по вертикали с шагом 1-2-5: без делителя от 2 мВ/дел до 5 В/дел, с делителем 1:10 от 20 мВ/дел до 50 В/дел;
- максимальная частота дискретизации: для однократных сигналов 200 (100, 2 канала одновременно) Мвыб/с, для повторяющихся сигналов 10 Гвыб/с;
- коэффициенты развертки: от 10 нс/дел до 10 с/дел;
- диапазон развертки по горизонтали: от 650 мкс до 6500 с;
- максимальная длина памяти: 64 Квыб/канал;
- источники синхронизации: внутренний канал 1/канал 2/внешний/сеть;
- режимы развертки: ждущий/автоматический/однократный/стоп;
- тип входа: открытый/закрытый/открытый с ФНЧ/ закрытый с ФВЧ/закрытый ФНЧ;
- параметры входа внешней синхронизации: 1 МОм; делители 1:1/1:10;
- диапазон частот синхронизации: 10 Гц...110 МГц;
- регистрация предыстории и задержка запуска регистрации;
- ТВ-синхронизация (PAL, SECAM, NTSC);
- синхронизация по параметрам сигнала.

Прочие возможности:

- принтерный порт, протоколы ECP/EPP;
- последовательный порт RS-232;
- универсальная шина USB;
- питание: 220 В/50 Гц;
- потребление: 12 Вт;
- размеры: измерительного модуля В-123 — $190 \times 240 \times 20$ мм, комплекса УНИПРО — $295 \times 265 \times 110$ мм, приставки В-323 — $200 \times 300 \times 60$ мм;
- масса: измерительного модуля В-123 — 0,33 кг, осциллографа В-121 в сборе — 2,6 кг, осциллографа В-323 в сборе — 1,6 кг.

Конструктивно модель осциллографа В-121 состоит из корпуса УНИПРО с блоком питания и интерфейсом В-102/В-112 и модуля осциллографа. Модель осциллографа В-323 состоит из пластмассового корпуса с блоком питания и интерфейсом В-112 и модуля осциллографа, показанного на рис. 4.30.

Основные программно-функциональные характеристики:

- программное обеспечение для Windows 95/98/NT/2k/XP;
- калибровка метрологических параметров;
- автоматический поиск сигналов.

Дополнительные функции:

- спектроанализатор;
- цифровой вольтметр;
- частотомер;
- автоматические и маркерные измерения 22 параметров сигналов;



Рис. 4.30. Внешний вид осциллографа-приставки В-323

- временное/спектральное представление сигнала в реальном времени;
- дополнительная математическая обработка: сглаживание, усреднение, произвольные математические операции над сигналом;
- до четырех реально обработанных сигналов на экране одновременно, возможность использования запомненного сигнала в качестве постоянного фона;
- режим самописца параметров;
- экспорт в формат ASCII (пригоден для дальнейшей математической обработки в MS Excel и в других пакетах).

Состав программного обеспечения:

- программа цифрового осциллографа BoxDO версия 2.0;
- драйвер BoxDO для Windows 95/98/NT/2k/XP;
- документация и библиотека дополнительных функций по драйверу BoxDO для использования В-123 в качестве встраиваемого устройства;
- примеры использования драйвера для MS Visual C++, Delphi 4.0.

Осциллографическая приставка В-323 отличается высокими техническими характеристиками (полоса частот от 0 до 200 МГц) при умеренной цене чуть менее \$ 1000.

4.6.3. Двухканальные цифровые осциллографы — платы PCI

Подключение осциллографов-приставок через параллельный порт PRN, последовательный порт RS-232 и даже через порт шины USB не обеспечивают предельно высокую скорость обмена между платой и компьютером. Это препятствует эффективной реализации некоторых методов обработки информации и замедляет общение пользователя с виртуальным осциллографом. Выходом из такого положения является разработка плат расширения ПК, устанавливаемых в разъемы расширения современных персональных компьютеров класса IBM PC/AT с системной шиной PCI. Фирма BORDO выпускает ряд таких плат одноканальных (рис. 4.31) и двухканальных цифровых осциллографов серии В-2XX.

Более современный двухканальный 150-мегагерцевый цифровой осциллограф В-220/221 выполнен также в виде платы расширения компьютера для стандартной шины PCI (рис. 4.32). Он предназначен для исследования однократных и периодических электрических сигналов, обеспечивает автоматические, маркерные измерения и математическую обработку сигналов. Дополнительно осциллограф обеспечивает работу в режимах анализатора спектра и частотомера. Программное

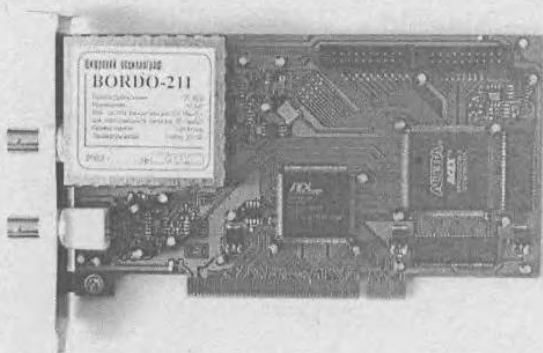


Рис. 4.31. PCI плата одноканального 120-мегагерцевого осциллографа B-211

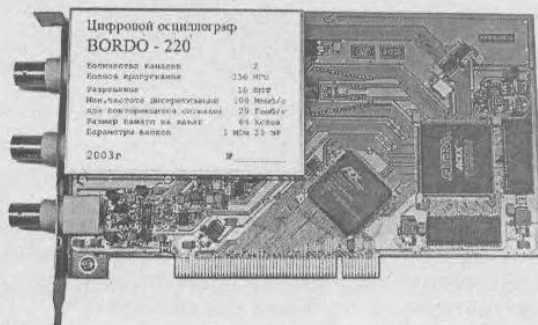


Рис. 4.32. Цифровой осциллограф — PCI-плата BORDO 221

обеспечение поддерживает совместную работу нескольких (до 6) плат B-221, при этом на экране формируется 12-канальный осциллограф.

Основные технические характеристики B-220/221:

- число входных измерительных каналов: 2;
- ширина пропускания входного тракта: 150 МГц;
- вертикальное разрешение: 10 бит (многие платы имеют разрешение всего в 8 бит);
- открытый/закрытый вход: 1 МОм, работа со стандартным выносным делителем;
- аппаратное смещение уровня входного сигнала на плюс-минус входной диапазон;
- 7 калиброванных коэффициентов отклонения по вертикали с шагом 1-2-5:
 - без делителя — 10 мВ/дел...1 В/дел;
 - с делителем 1:10 — 100 мВ/дел...10 В/дел;
- максимальная частота дискретизации: для однократных сигналов — 100 Мвыб/с, для повторяющихся сигналов — 20 Гвыб/с;
- коэффициенты развертки — 5 нс/дел...50 мс/дел, соответствующие максимальные временные диапазоны — 1280 мкс...64 с;

- максимальная длина памяти на канал: 64 Квыб;
- источники синхронизации: внутренний/внешний;
- режимы работы развертки: ждущий/автоматический/однократный/стоп;
- тип входа синхронизации: открытый/закрытый;
- вход внешней синхронизации: 1 МОм;
- диапазон частот синхронизации: от 10 Гц до 110 МГц;
- регистрация предыстории;
- задержка запуска регистрации после срабатывания синхронизации.
- Прочие данные:
- интерфейс: PCI, 33 МГц, 32 разр.;
- потребление: 7 Вт;
- размеры: 200 × 105 × 20 мм;
- масса: 0,13 кг.

Основные программно-функциональные характеристики B-221:

- программное обеспечение для Windows 98/NT/2K/XP;
- автоматический поиск сигналов.

Дополнительные функции:

- спектроанализатор;
- частотомер;
- автоматические и маркерные измерения 22 параметров сигналов;
- временное/спектральное представление сигнала в реальном времени;
- дополнительная математическая обработка: сглаживание, усреднение, произвольные математические операции над сигналом;
- возможность использования запомненного сигнала в качестве постоянного фона;
- режим самописца параметров;
- экспорт в формат ASCII (пригоден для дальнейшей математической обработки в MS Excel и других пакетах);
- состав программного обеспечения B-221;
- программа цифрового осциллографа BorDO 1.0;
- драйвер BorDO для Windows 98/NT/2k/XP;
- документация и библиотека дополнительных функций по драйверу BorDO для использования осциллографа в качестве встраиваемого устройства;
- примеры использования драйвера для MS Visual C++, Delphi 4.0.

4.6.4. Интерфейс пользователя осциллографов фирмы BORDO

Виртуальные осциллографы фирмы BORDO имеют превосходный графический интерфейс, реализованный в операционных системах Windows, в частности в самой современной и массовой системе Windows XP. О степени совершенства интерфейса можно судить по рис. 4.33, на котором показано окно интерфейса виртуальных осциллографов фирмы BORDO. Оно содержит достаточно наглядные органы управления (списки, кнопки и т. д.), очень похожие на органы управления обычных цифровых осциллографов. В результате особых трудностей с усвоением осциллографов не возникает.



Рис. 4.33. Окно графического интерфейса виртуальных осциллографов фирмы BORDO

Рис. 4.33 демонстрирует высокое качество осциллограмм (они цветные) и удобство самого графического интерфейса, позволяющего пользователю работать с ним интуитивно. Множество настроек осциллографа сведено в окно контрольной панели, также показанное на рис. 4.33. С деталями работы с осциллографами фирмы BORDO можно познакомиться по прилагаемой достаточно подробной документации.

4.7. Платы-осциллографы других фирм

4.7.1. Ультраскоростные платы M8-500, M8-500U и M8-1000

PCI-платы — осциллографы M8-500 (рис. 4.34), M8-500U и M8-1000 служат для ультравысокочастотного сбора данных аналоговой и цифровой информации, регистрации быстропротекающих процессов и широкополосного сигнала. Данные об этом и других устройствах этого раздела имеются на сайте ЗАО «Компания Сигнал» (www.signal.ru). Эти платы рассчитаны на установку внутрь обычного компьютера в качестве плат расширения. Расположенные сзади плат разъемы при этом выводятся на заднюю сторону системного блока компьютера и превращают его во вполне современный и высококачественный цифровой запоминающий осциллограф.

Отличительные особенности плат:

- 2 мультиплексных аналоговых входа;
- входное сопротивление (импеданс): 1 МОм, 17 пФ и 50 ± 1 Ом;
- защита по входу: ± 150 В;
- время преобразования: 2 нс;
- максимальная частота дискретизации: 500 МГц;

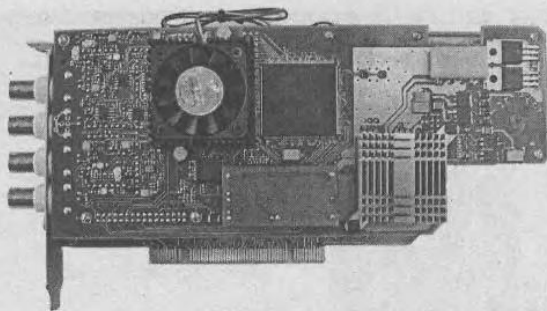


Рис. 4.34. Ультраскоростная PCI-плата M8-500

- шина интерфейса PCI: Bus-Master;
- реальный динамический диапазон: 53 дБ;
- шина интерфейса PCI: Bus-master.

Выполняемые функции и области применения:

- осциллограф цифровой запоминающий;
- регистратор быстропротекающих процессов;
- панорамный мониторинг широкополосного сигнала;
- исследования в науке, технике и промышленности;
- неразрушающий контроль;
- лазерный фазовый доплеровский анемометр;
- диагностика светового импульсного излучения;
- ядерные исследования.

Технические характеристики:

- число аналоговых входов: 2 мультиплексных;
- входное сопротивление (импеданс): 1 МОм/17 пФ (вход 0), 50 Ом (вход 1);
- полоса пропускания (на уровне -3 дБ): 100 МГц (канал 0), 180 МГц (канал 1);
- диапазоны входного сигнала (устанавливаются программно): ± 5 В; $\pm 2,5$ В; ± 1 В; $\pm 0,5$ В (канал 0); $\pm 2,5$ В; ± 1 В; $\pm 0,5$ В; $\pm 0,2$ В (канал 1);
- защита по напряжению входных каналов (при включенном питании): ± 150 В (канал 0), ± 15 В (канал 1);
- объем буфера памяти максимальный: 2048 кбайт;
- организация буфера памяти: покадровый сбор данных с переменным числом кадров;
- программное чтение результата преобразования в Slave-режиме по установлению бита готовности или по прерыванию, передача по каналу DMA Bus-Master. Разбросанная по памяти (Scatter-Gatter) передача DMA;
- разрешение АЦП: бит;
- время преобразования АЦП: 2 нс;
- максимальная частота дискретизации: 500 МГц;
- запуск АЦП: от внутреннего кварцевого генератор;
- данные сигнала АЦП: частота сигнала не более 500 МГц, длительность импульса не менее 1 нс, амплитуда от 0,3 до 1 В;

- источник синхронизации: внутренний/внешний;
- диапазоны входного напряжения внешнего сигнала синхронизации (устанавливаются программно) ± 5 В, ± 1 В;
- тип синхронизации: по фронту или по спаду;
- число уровней квантования: 256.

Общие данные:

- шина интерфейса ПК PCI;
- потребляемая мощность +5 В; 1,7 А/+12 В, 1,5 А;
- габариты 122 × 220 × 29 мм;
- масса 350 г.

Выпускается также плата M8-1000 с частотой дискретизации 1000 МГц. Следует отметить, что ультравысококачественные платы очень «дорогое удовольствие» — стоимость плат M8-500 и M8-500У составляет соответственно 63 000 и 120 000 руб, платы M8-1000 — 143 000 руб.

4.7.2. Приставка-осциллограф DSO-2100

Малоприметная приставка-осциллограф DSO-2100 фирмы Protek (рис. 4.35) вместе с ПК выполняет функции 30-мегагерцевого цифрового осциллографа с памятью. Изображения сигналов — как на обычном осциллографе. ПО под Windows 95/98. Подключение через параллельный порт ПК. Два независимых канала сигналов с разрешением 100 Мв/с каждый. Прикладное ПО позволяет автоматически устанавливать режимы обработки сигналов. DSO-2100 можно использовать как спектральный анализатор.

Характеристики устройства:

- число каналов: 2;
- полоса пропускания: 30 МГц;
- разрешение АЦП: 8 бит;
- пределы входных напряжений: от 50 мВ до 5 В с шагом 1, 2, 5;
- точность: 3% (Gain), 0,01% (Time);
- пределы горизонтальной развертки: 5 нс/дел — 320с/дел;
- входы: DC/AC/GND, максимальное входное напряжение 100 В;
- входной импеданс: 1 МОм/25 пФ;
- память: 32 Кбайт/канал;
- пределы вертикальной развертки: 50 мВ/дел — 5 В/дел, точность 3%;
- экран: 8 × 10 дел (DSO);
- порт подключения: параллельный.

Остальные возможности типичные для таких устройств. Стоимость приставки 16 000 руб.

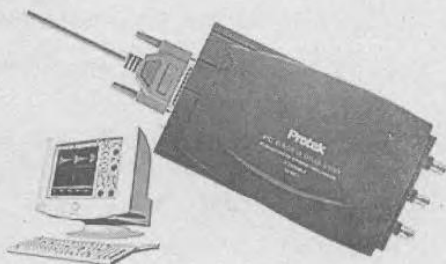


Рис. 4.35. Приставка-осциллограф DSO-2100

4.7.3. Осциллографическая приставка SDS200

Неплохими характеристиками обладает еще одна осциллографическая приставка SDS200, которую можно найти на нашем рынке (рис. 4.36). В режиме реального времени она обеспечивает частоту стробирования 100 Мв/с на один канал или 50 Мв/с на два канала. Эквивалентная максимальная частота стробирования 5 Гв/с.



Рис. 4.36. Внешний вид приставки SDS200

Основные характеристики приставки SDS200:

- число каналов: 2;
- ширина полосы пропускания: 200 МГц (на уровне -3дБ), для одиночного слота 20 МГц;
- разрешение АЦП: 9 бит/канал;
- входные напряжения: от 10 мВ/дел до 10 В/дел (8 диапазонов);
- входное сопротивление: 1 МОм;
- погрешность измерения: $\pm 3\%$;
- длительность развертки: от 2 нс/дел до 10 с/дел;
- временное разрешение: 200 пс;
- емкость буфера памяти: 10К отсчетов;
- интерфейс: USB;
- размеры: 5,1 × 4,4 × 1,5 дюйма.

Остальные возможности типичны для устройств такого рода. Эта приставка имеет неплохое программное обеспечение, обеспечивающее удобный графический интерфейс пользователя. На рис. 4.37 показано окно виртуального осциллографа, созданного на основе этой приставки. Интерфейс рассчитан на интуитивное применение пользователем, знакомым с применением осциллографов. Есть возможность вывода курсоров и проведения курсорных измерений.

Возможно автоматическое вычисление ряда параметров сигнала. Данные таких измерений выводятся в специальное окно, показанное на рис. 4.38. Выбор измеряемых параметров выполняется в окне виртуального осциллографа (в левой его части) с помощью меню с изображениями импульсов и определениями их параметров.

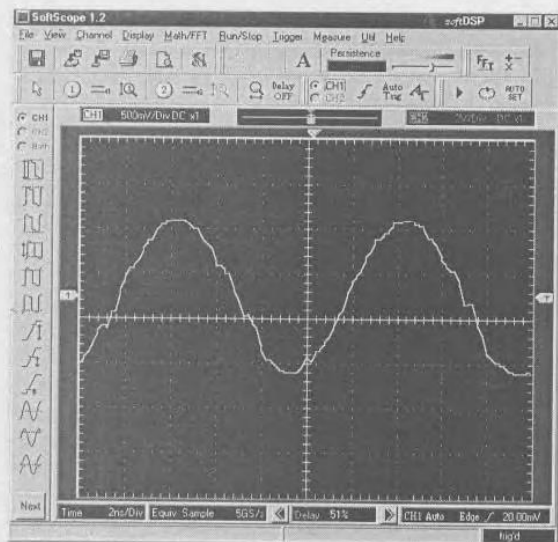


Рис. 4.37. Окно виртуального осциллографа приставки SDS200

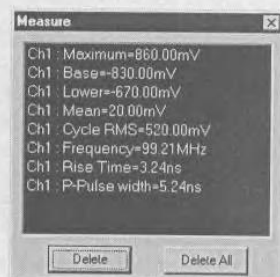


Рис. 4.38. Окно с данными автоматических измерений

Приставка, как обычно, может выполнять функции анализатора спектра. На рис. 4.39 показано окно виртуального анализатора спектра. В нем показан спектр слегка искаженного шумами синусоидального сигнала с частотой 100 МГц. Пик на частоте 100 МГц выделяется довольно отчетливо, приятно отметить малый уро-

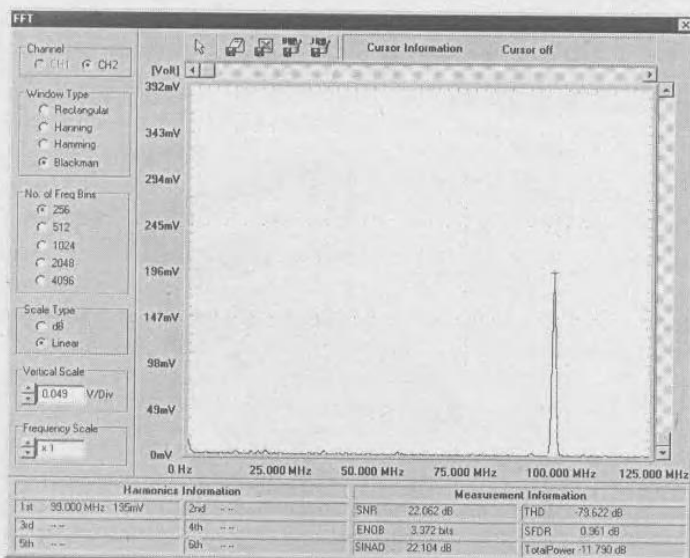


Рис. 4.39. Окно виртуального анализатора спектра приставки SDS200

вень шумов спектрограммы. Для построения спектра могут использоваться четыре типа частотных окон: прямоугольное, Ханнинга, Хамминга и Блэкмана. Возможны: выбор канала для анализа спектра (CH1 или CH2), задание длины последовательности отчетов, линейной или логарифмической шкал.

4.8. Виртуальная USB-лаборатория АКТАКОМ

4.8.1. Управляемые источники питания АТН-1535/1539

Торговое объединение АКТАКОМ выпускает несколько приставок к персональным компьютерам (как настольным, так и ноутбукам), образующих довольно мощную виртуальную лабораторию. Во всех приборах используется подключение к ПК через скоростной последовательный порт USB, хотя сохранена возможность подключения и через параллельный порт. Ниже кратко рассмотрены характеристики USB-лаборатории АКТАКОМ, взятые из каталога изделий этого объединения (www.aktakom.ru) и данных о продукции объединения, размещенных на сайте компании «Эликс» (www.eliks.ru).

Управляемые источники питания АТН-1535/1539 выполнены в виде приставок к персональному компьютеру и обеспечивают программируемые с его помощью выходные напряжение 0–30 В и ток 0–5 А (для АТН-1535). Они имеют линейный стабилизатор напряжения, порт USB-1.1, 3-разрядные индикаторы напряжения и тока, погрешность установки напряжения и тока 2% + 2 младших разряда индикатора. Размеры приставок 124 × 160 × 326 мм, масса 5,1 кг. Предусмотрена запись всех установок в виде файла и их осуществление после загрузки соответствующего файла.

4.8.2. Функциональные генераторы АНР-3121/3122

Функциональные генераторы АНР-3121/3122 (рис. 4.40) предназначены для генерации сигналов стандартной формы (синусоида, меандр, треугольный сигнал и др.) и произвольных с заданием и программированием их параметров с помощью персонального компьютера.

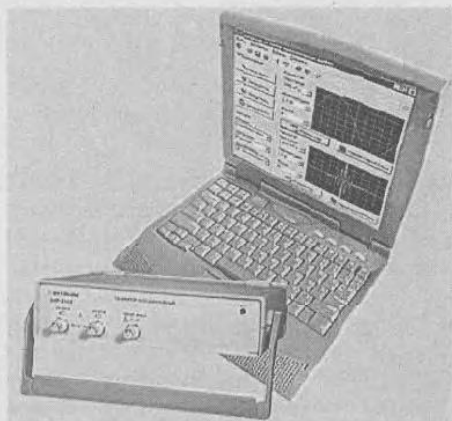


Рис. 4.40. Приставка — функциональный генератор АНР-3121/3122

Приставка имеет следующие возможности:

- генерация сигналов разной формы, программируемых с помощью ПК;
- встроенный редактор сигналов произвольной формы;
- встроенный калькулятор формул;
- режим «Лазерное шоу» для генерации произвольных фигур Лиссажу;
- внутренний и внешний запуск;
- управление синхронизацией, частотой и фазовым сдвигом;
- запись в файлы и чтение из них данных и форм сигналов;
- подключение ПК через последовательный порт RS-232 и параллельный порт;
- программное обеспечение под операционные системы Windows 98/ME/NT 4/2000/XP (на прилагаемом компакт-диске).

Генератор обеспечивает следующие возможности:

- генерация стандартных сигналов (синусоида, меандр, треугольные импульсы, пилообразные импульсы и «вспышка») в одном канале;
- диапазон частот от 0,02 Гц до 10 МГц;
- максимальный размах напряжения $\pm 2,5$ В (АНР-3121) и ± 10 В (АНР-3122);
- сопротивление нагрузки от 50 Ом и выше;
- фильтр низких частот с граничной частотой 15 МГц;
- максимальная частота формирования выходного сигнала 80 МГц;
- длина памяти 128 кбайт на канал.

4.8.3. Генератор измерительных телевизионных сигналов АНР-3125/3126

Генератор измерительных телевизионных сигналов АНР-3125 служит для генерации в двух каналах типовых телевизионных сигналов, которые используются для испытания телевизоров и иного телевизионного оборудования. Технические характеристики приставки АНР-3125 следующие:

- 2 канала с 12-разрядными ЦАП;
- генерация измерительных и испытательных телевизионных сигналов по ГОСТ 18471-83;
- возможность редактирования сигнала;
- возможность сохранения сигналов в файлах;
- максимальная амплитуда сигнала от пика до пика 1,5 В;
- встроенный отключаемый фильтр НЧ с граничной частотой 15 МГц;
- длина памяти 128 кбайт на канал;
- интерфейсы связи с ПК USB 1.1 и LPT (EPP);
- питание от сети 220 В;
- габаритные размеры 210 × 70 × 260 мм;
- масса 1,3 кг.

Приставка АНР-3126 формирует телевизионные сигналы в отечественном стандарте SECAM. Обеспечивается формирование 25 видов телевизионных сигналов в соответствии с ГОСТ 4845-92.

4.8.4. Цифровые запоминающие осциллографы АСК-3106/3107/3116/3117

Объединение АТАКОМ предлагает на рынке обширную серию приставок — цифровых запоминающих осциллографов АСК-3106/3107/3116/3117. Внешний вид двухканальной приставки АСК-3106 представлен на рис. 4.41.

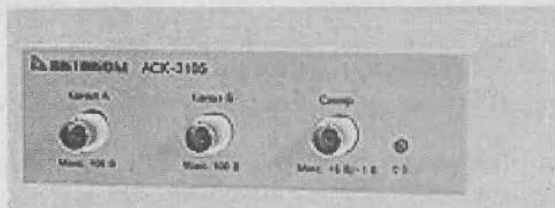


Рис. 4.41. Внешний вид двухканальной 100-мегагерцевой приставки АСК3106

Основные технические характеристики этих приставок:

- дискретизация до 100 МГц в режиме реального времени;
- 2 или 4 независимых канала с полосой до 100 МГц на канал;
- большая, определяемая пользователем длина записи — до 132 кБ на канал;
- произвольно настраиваемый режим предзаписи/послезаписи;
- высокая чувствительность (от 2 мВ/дел);
- высокоомный (1 МОм) и низкоомный (50 Ом) вход, программно коммутируемые входы;
- интерфейс — LPT-порт (режим EPP) или USB 1.1;
- режим (безбумажного) самописца, аварийная сигнализация;
- кнопка автоматической настройки развертки/синхронизации;
- автоматические измерения, в т. ч. определение фазового сдвига;
- статистические измерения и построение гистограмм;
- спектроанализатор (БПФ);
- цифровое послесвечение;
- цифровая фильтрация;
- программная эмуляция входного сигнала;
- русскоязычный или англоязычный (по выбору пользователя), интуитивно-понятный интерфейс с изменяемым оформлением;
- сохранение данных и конфигурации прибора;
- трансляция данных в MS Excel с сохранением масштабов по осям осциллограммы.

Цифровые запоминающие осциллографы — приставки к компьютеру АСК-31xx предназначены для широкого диапазона осциллографических измерений, встречающихся в электронике, разработке и научно-исследовательских лабораториях, и используется совместно с персональным компьютером, снабженным параллельным портом LPT или USB-портом.

Виртуальные осциллографы АСК-31xx позволяют пользователю наблюдать форму сигнала, используя два (АСК-3106, АСК-3116) или 4 (АСК-3107, АСК-3117 — рис. 4.42) независимых канала с разрешением 8 бит и чувствительно-

стью от 2 мВ/дел до 10 В/дел в полосе частот от 0 до 100 МГц с аппаратным буфером на 131071 выборку для каждого канала. Входное сопротивление выбирается программно — 1 МОм или 50 Ом.

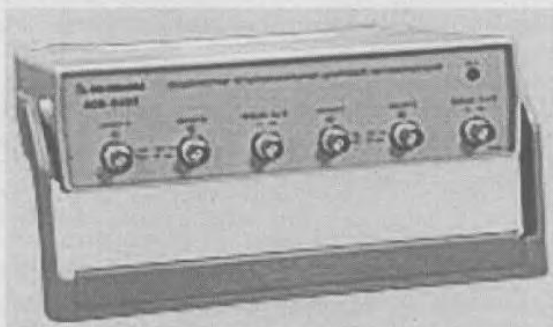


Рис. 4.42. Приставки — виртуальные 4-канальные осциллографы АСК-3107/3117

Приборы имеют стандартную систему синхронизации, работающую в режимах «ждущий», «одиночный» и «авто» с регулируемым уровнем запуска. Дополнительно запуск может осуществляться по входу внешней синхронизации (порог срабатывания TTL-уровня). Горизонтальная развертка варьируется в широких пределах и соответствует трем основным режимам осциллографа:

- осциллограф в режиме реального времени (диапазоны развертки — от 500 нс/дел до 50 мс/дел; частота дискретизации — до 100 МГц);
- стробоскопический осциллограф (диапазоны от 25 нс/дел до 200 нс/дел; эквивалентная частота дискретизации — до 2 ГГц);
- самописец (безбумажный, диапазоны развертки — от 500 мкс/дел до 50 ч/дел, частота дискретизации — до 50 кГц — зависит от используемого ПК).

Программным обеспечением поддерживаются щупы 1:1, 1:10 и 1:100. Режим открытого и закрытого входа (DC или AC) может быть выбран независимо для каждого канала. В режиме AC подавляются частоты ниже 1 Гц. Любой из входов может быть заземлен без отсоединения щупов от измеряемой системы. Измерение может синхронизироваться по каналу А, В или по сигналу на внешнем входе синхронизации. Порог синхронизации может быть установлен независимо для каждого канала в диапазоне целого экрана осциллографа. Порог внешнего входа синхронизации — TTL-совместимый (1,2 В). Прибор имеет стандартную систему синхронизации, работающую в режимах «ждущий», «одиночный» и «автоматический».

Для связи с компьютером в АСК-3105 используется расширенный параллельный порт (EPP). АСК-3106, АСК-3107, АСК-3116, АСК-3117 помимо LPT снабжены USB 1.1-портом.

АСК-3116, АСК3117 имеют гальваническую развязку по USB, а также имеют выносной блок питания на 6,5 В, который существенно расширяет возможности применения этих приборов в полевых условиях, придавая необходимую гибкость и мобильность в решении конкретных задач.

Программное обеспечение (ПО) дает возможность полного управления прибором, а также предоставляет ряд сервисных возможностей (экспорт/импорт дан-

ных, математическая обработка сигналов, расширенные измерения, цифровая фильтрация, аварийная сигнализация в режиме самописца и т. д.).

Каждый канал АСК-31хх имеет собственный АЦП. Это означает, что АСК-31хх является «истинным двух/четырёхканальным осциллографом», где отсутствуют побочные эффекты, свойственные приборам с мультиплексированием каналов.

АСК-310х имеет понятный и удобный интерфейс, который может настраиваться пользователем. Например, пользователь может выбрать внешний вид и цветовое оформление панелей прибора, цветовую схему для осциллограмм, язык панелей (русский или английский), включить и записать свой вариант звукового сопровождения событий и др. К услугам пользователя — всплывающие подсказки, «прилипающие» панели (прилипшие панели располагаются вплотную друг к другу и перемещаются совместно, как одно окно).

Каждый режим работы осциллографа выполнен в виде отдельного окна, которые пользователь может располагать в удобном для себя участке экрана монитора. Главное окно осциллографа — масштабируемое и может работать в полноэкранном режиме. В этом окне можно изменить масштаб, установить масштаб по области графика, ограниченной курсорами. Для того чтобы пользователь мог иметь общее представление о характере информации полного буфера и выбрать нужную часть для подробного отображения, служит дополнительный обзорный отключаемый график в нижней части панели, индицирующий всегда полный буфер собранных данных.

4.8.5. Комбинированный прибор АСК-4106

Комбинированный прибор АСК-4106 (рис. 4.43) сочетает возможности двухканального запоминающего цифрового осциллографа и генератора сигналов произвольной формы двухканального цифрового. Прибор работает совместно с компьютером по интерфейсам USB 1.1 или LPT в режиме EPP. По существу, прибор является вполне законченной виртуальной лабораторией с довольно высокими техническими характеристиками и обширными функциональными возможностями.

Прибор состоит из двух функциональных модулей: модуля двухканального цифрового запоминающего осциллографа и модуля генератора сигналов произвольной формы.

Модуль двухканального цифрового запоминающего осциллографа предназначен для изучения сигналов от внешних устройств, их отображения на мониторе компьютера, измерения параметров сигналов и математической обработки с помощью программного обеспечения. Модуль генератора предназначен для выдачи сигналов произвольной формы, включая стандартные, а также задаваемые пользо-

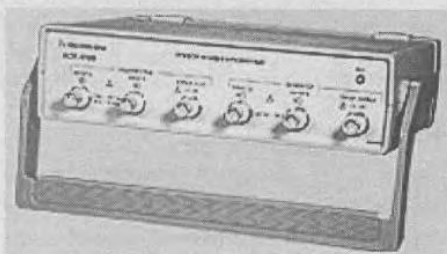


Рис. 4.43. Внешний вид приставки — комбинированного прибора АСК-4106

вателем с помощью математических выражений или графически. Модули могут работать как независимо друг от друга, так и совместно под управлением соответствующего программного обеспечения.

Прибор применяется для наладки, ремонта, лабораторных исследований и испытаний приборов и систем, используемых в радиоэлектронике, связи, автоматике, вычислительной и измерительной технике, приборостроении. Рассмотрим технические характеристики прибора.

Технические характеристики осциллографического модуля:

- количество каналов с независимым АЦП: 2 (все каналы идентичны);
- максимальная эквивалентная частота выборок в стробоскопическом режиме: 10 ГГц;
- максимальная частота дискретизации: 100 МГц;
- максимальное число выборок на канал: 131072;
- число разрядов АЦП: 8 бит;
- режимы каналов: А, В, А и В;
- выбор режима работы осциллографа: одно-, двухканальный;
- число отображаемых точек на экране: 100...131072;
- курсорные измерения: по уровню и длительности сигналов;
- тип интерфейса ПЭВМ: LPT, USB 1.1;
- тип входных разъемов: BNC (CP-50);
- ширина линии графика: 1 пиксель;
- диапазон частот входных сигналов по уровню -3 дБ: на пределах 20 мВ/дел...1 В/дел не менее 100 МГц и на пределах 2 В/дел...10 В/дел не менее 70 МГц;
- входной импеданс: 1 МОм $\pm 5\%$, 20 пФ ± 5 пФ; 50 Ом $\pm 2\%$;
- входное сопротивление: 1 МОм и 50 Ом;
- пределы допускаемой основной относительной погрешности коэффициентов отклонения: $\pm 2,5\%$;
- дополнительные значения коэффициента отклонения: 2 мВ/дел, 5 мВ/дел, 10 мВ/дел;
- разрешение: 8 бит (256 точек на шкалу);
- коэффициент развязки между каналами: не менее -40 дБ во всем частотном диапазоне.

В стробоскопическом режиме при коэффициентах развертки менее 1 мкс/дел возможна нестабильность амплитуды отображаемого сигнала до $\pm 2\%$, а также искажение формы сигнала или его отсутствие на краях собираемого буфера данных в пределах 10 нс. Максимальное входное напряжение не более двукратного превышения полной шкалы для каждого предела, но не более 100 В пикового значения при сопротивлении входа 1 МОм и не более 5 В пикового значения при сопротивлении входа 50 Ом.

Параметры синхронизации:

- источник синхронизации: каналы А, В, внешний вход;
- выбор фронта синхронизирующего сигнала: передний или задний фронт;
- максимальная частота: не меньше верхней границы полосы пропускания;
- внутренняя синхронизация: минимальный размах синусоидального сигнала;
- не более 1 клетки масштабной сетки в диапазоне частот до 40 МГц;

- параметры сигнала для запуска внешних устройств (разъем «СИНХРОНИЗАЦИЯ ВХОД/ВЫХОД»): перепад от 0 В до 3 В в момент запуска синхронизации. В конце регистрации перепад от 3 В до 0 В на нагрузке не менее 1 кОм;
- внешняя синхронизация: минимальный период повторения синхронизирующего импульса 20 нс, минимальная длительность синхронизирующего импульса 10 нс, TTL-уровень напряжения;
- предельные значения напряжения на входе синхронизации: от -1 В до +6 В;
- импеданс входа синхронизации: не менее 50 кОм/20 пФ.

Параметры развертки:

- диапазон значений коэффициента развертки (при установке 1000 выборок на экран): 10 нс/дел...0,1 с/дел;
- пределы допускаемой основной абсолютной погрешности коэффициентов развертки: $\pm(0,001 \cdot T + 10 \text{ } \mu\text{s} - 9 \text{ } \mu\text{s})$, где T — длительность развертки, $T = \text{Кразв} \cdot 10 \text{ дел}$, Кразв — коэффициент развертки;
- дополнительные значения коэффициента развертки в режиме самописца: от 1 мс/дел до 100 ч/дел;
- дополнительная погрешность, вызванная изменением температуры в пределах рабочей области температур: не более предела основной погрешности на каждые 10 °C изменения температуры.

Параметры калибратора:

- выходной сигнал: прямоугольный, со скважностью 2;
- частота выходного сигнала: 1 кГц;
- выходное напряжение: 3 В от пика до пика;
- выходное сопротивление: $(150 \pm 50) \text{ Ом}$;
- выходной разъем: BNC, совмещен со входом внешней синхронизации.

Параметры функционального генератора:

- количество выходных каналов: 2;
- диапазон частот выходного сигнала: от 0,1 Гц до 10 МГц;
- частота сигнала, воспроизводимая генератором, определяется его тактовой частотой и длиной сигнала по формуле: $f = fT/N$, где f — частота сигнала; fT — тактовая частота генератора, может быть установлена в одно из 16 значений: максимальное — 80 МГц, каждое последующее в 2 раза меньше — 40 МГц, 20 МГц, 10 МГц и т. д. до 2,441 кГц; N — длина сигнала: любое четное целое число выборок в диапазоне от 8 до 131000;
- основная относительная погрешность воспроизведения частоты: не превышает $\pm 0,05\%$;
- дополнительная погрешность воспроизведения частоты, вызванная изменением температуры в пределах рабочей области температур: не превышает 0,05% на каждые 10 °C изменения температуры;
- максимальный размах выходного напряжения: на нагрузке 1 МОм $\pm 2,5 \text{ В}$, на нагрузке 50 Ом $\pm 1,25 \text{ В}$;
- шаг дискретной установки выходного напряжения: на нагрузке 1 МОм не более 1,5 мВ, на нагрузке 50 Ом не более 1,0 мВ;

- неравномерность уровня выходного синусоидального напряжения в диапазоне частот относительно уровня на частоте 1 кГц: не превышает ± 1 дБ;
- длительность фронта и среза (каждого в отдельности) прямоугольного сигнала: не превышает 20 нс.

Режимы синхронизации

- выбор режимов синхронизации: перезапуск, однократный (ручной) или непрерывный источник внешний или внутренний;
- полярность: по восходящему или по спадающему фронту;
- входной сигнал внешней синхронизации: прямоугольный импульс с ТТЛ-уровнями, длительностью фронта не менее 10 нс;
- выходной сигнал синхронизации — прямоугольный импульс, ТТЛ-уровень на нагрузке 1 кОм, длительность импульса в нс $2/fT$, где fT выражена в МГц, длительность фронта не более 20 нс;
- выбор формы для обоих каналов: независимый;
- максимальное число точек на канал: 131000;
- частота среза отключаемого фильтра нижних частот: 15 МГц $\pm 20\%$;
- максимальная тактовая частота: 80 МГц.

Прочие характеристики:

- интерфейс связи с ПК: USB 1.1 или LPT в режиме EPP;
- питание: 220 В $\pm 10\%$, 50 Гц;
- потребляемая мощность: не более 20 Вт;
- время непрерывной работы: не менее 8 ч;
- время установления рабочего режима: не более 15 мин;
- срок службы прибора: не менее 6 лет;
- рабочие условия эксплуатации: температура $+5...+40$ °С, относительная влажность воздуха не более 80 % при 25 °С, атмосферное давление от 630 до 800 мм рт. ст.;
- условия хранения: температура $-30...+50$ °С, относительная влажность воздуха 30...80 %;
- габаритные размеры (ширина $\times$ высота $\times$ глубина) 260 $\times$ 70 $\times$ 210 мм;
- масса: не более 2,0 кг.

Возможности USB-лаборатории объединения АКТАКОМ будут описаны в главе 6.

4.9. Виртуальный характериограф АСС-4211

4.9.1. Приставка АСС-4211 и ее параметры

Как уже отмечалось, иногда возникает необходимость снятия вольт-амперных характеристик различных полупроводниковых приборов — диодов, кремниевых стабилитронов, полевых и биполярных транзисторов и т. д. Простейшие характериографы на базе аналоговых осциллографов не удовлетворяют пользователей, которые нуждаются в детальном исследовании этих приборов. Для этой цели выпускается приставка к ПК АСС-4211 (рис. 4.44). Она рассчитана на снятие ВАХ семейства маломощных полупроводниковых приборов.

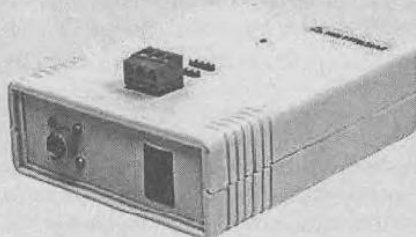


Рис. 4.44. Внешний вид приставки АСС-4211 для снятия ВАХ маломощных полупроводниковых приборов

Приставка выполнена в небольшом корпусе (размер $120 \times 50 \times 100$) и имеет массу 150 г. Сверху корпуса расположены колодки для подключения испытуемого прибора. Прибор имеет также разъем для подключения термодатчика и позволяет измерять температуру в диапазоне от 50 до 120 °С с погрешностью 0,5 °С. Сетевой адаптер приставки имеет габариты $65 \times 70 \times 115$ мм и массу 600 г. Блок имеет гальваническую развязку от сети, что обеспечивает безопасность работы с приставкой.

Прибор позволяет снимать ВАХ транзисторов при максимальном напряжении на коллекторе (или стоке) до 50 В и максимальном токе коллектора (или стока) 0,1 А. Диапазон задания входного напряжения от 0 до 10 В, тока базы биполярных транзисторов до 1,25 мА.

4.9.2. Работа с приставкой АСС-4211

Приставка подключается к компьютеру через последовательный интерфейс RS-232. Питание она получает от блока сетевого адаптера. На компьютере должно быть установлено программное обеспечение, создающее виртуальную панель управления, показанную на рис. 4.45.

Приставка позволяет снимать ВАХ двухполюсных приборов (диодов, стабилитронов и др.) и семейства ВАХ трехполюсных приборов (биполярных и полевых транзисторов). Имеется возможность проведения допускового контроля путем сравнения ВАХ проверяемого прибора с образцовой ВАХ. Возможность обработки результатов вычислений на компьютере расширяет возможности приставки. Есть возможность выполнения курсорных измерений. Проведение измерений в импульсном режиме обеспечивает уменьшение саморазогрева приборов, который часто имеет место при измерениях на постоянном токе. Интересной является возможность вывода на экран семейства ВАХ испытуемого прибора и теоретических ВАХ.

К сожалению, приставка АСС-4211 имеет ряд недостатков:

- нельзя снимать ВАХ приборов с N- и S-образными ВАХ, таких как туннельные диоды, однопереходные транзисторы, тиристоры, лавинные транзисторы и др.;
- нельзя снимать ВАХ мощных приборов;
- диапазон рабочих напряжений не позволяет снимать характеристики высоковольтных (даже маломощных) приборов.

Тем не менее приставка закрывает брешь, связанную с отсутствием на российском рынке характериографов, позволяющих снимать семейства ВАХ современных полупроводниковых приборов.

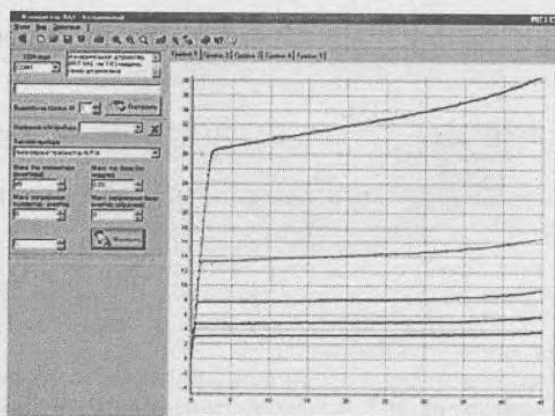


Рис. 4.45. Окно характериографа для снятия ВАХ мало мощных полупроводниковых приборов

Глава 5. Осциллографические измерения

5.1. Подготовка аналогового осциллографа к работе

5.1.1. Включение аналогового осциллографа и подготовка его к работе

Современный аналоговый осциллограф достаточно сложный прибор, по крайней мере для начинающего пользователя. Поэтому стоит сказать несколько слов о его включении и подготовке к работе. Ниже примеры такой подготовки даны для сервисного осциллографа ОСУ20.

При профессиональном применении осциллографов часто приходится фотографировать осциллограммы. В этом случае используются специальные конусные трубы (тубусы), изнутри черные, устанавливаемые на экран ЭЛТ с помощью специальных (обычно винтовых) креплений и имеющие крепление (тоже обычно винтовое) для фотоаппарата. Для измерений используется масштабная сетка с подсветом. Но у дешевого сервисного осциллографа ОСУ20 такой трубы нет, как нет и подсветки масштабной сетки. У него применена ЭПТ с масштабной сеткой, нанесенной прямо на экран ЭЛТ. Поэтому фотографировать осциллограммы приходится при освещении экрана обычным светом, поскольку иначе черные линии подсветки не будут видны. В связи с этим качество приведенных ниже реальных осциллограмм получается не очень высоким, но зато видно все «как есть».

В настоящее время для фотографирования осциллограмм удобно использовать цифровые фотоаппараты. Полученные электронные фотографии можно обрабатывать с помощью обычных графических редакторов, меняя их цвет, яркость и контрастность и даже инвертируя изображение осциллограмм, превращая их из белых на темном фоне в черные на светлом фоне.

Прежде чем включить аналоговый осциллограф, надо проделать следующие действия:

- выбрать место для прибора и установить его;
- отрегулировать наклон ручки и прибора;
- проверить подключение (обычно сзади) кабеля питания и установки напряжения сети;
- заземлить прибор, подключив провод земли к специальной клемме;
- вставить в розетку сети вилку провода питания осциллографа.

После этого прибор можно включить, нажав кнопку включений Power или Сеть, Вкл. и т. д. (названия могут несколько отличаться у разных моделей осциллографов). После этого надо выждать с минуту — должна появиться одна горизонтальная линия на экране одноканального осциллографа или две на экране двухканального осциллографа. Если линий не видно, проверьте установку развертки на автоколебательный режим работы и увеличьте до предела яркость лучей, повернув ручку регулировки яркости по часовой стрелке до упора. Обычно это приводит к появлению линий развертки на экране (рис. 5.1). Если их по-прежнему нет, поищите линии с помощью ручек смещения луча по вертикали и горизонтали. Линии от луча (лучей) должны быть при среднем положении этих ручек. Проверьте их работу, установите нормальную яркость луча и сфокусируйте луч с помощью ручки фокусировки.

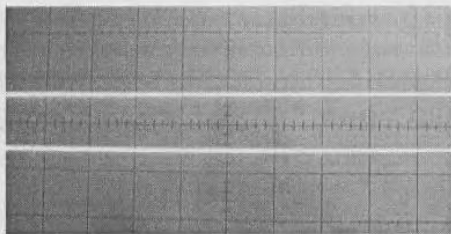


Рис. 5.1. Линии развертки на экране осциллографа при отсутствии сигналов на входах

Обычно, если к входам осциллографа ничего не подключено, то на экране будет наблюдаться чистый луч (или два луча в двухканальном осциллографе), который может быть засорен наводками и шумами. Если это видно, установите переключатель входов в положение GRN (Ground или Земля) — наводки должны исчезнуть. Опытные пользователи быстро проверяют осциллограф, коснувшись входов рукой, — это ведет к появлению сильной наводки с частотой сети переменного тока (у нас 50 Гц). Изменяя длительность развертки, можно наблюдать обычно искаженную синусоиду с частотой сети (рис. 5.2). Это говорит о работе усилителя вертикального отклонения и развертки осциллографа.

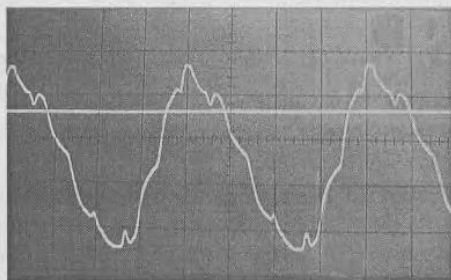


Рис. 5.2. Искраженная синусоида при пробе рукой

5.1.2. Подключение осциллографа к источнику сигнала

Для наблюдения какого-либо источника сигнала нужно прежде всего правильно подключить его ко входу осциллографа [43] или к нескольким входам, если используется многоканальный осциллограф для просмотра нескольких сигналов. Входы современных осциллографов представлены радиочастотными разъемами. Для подключения входа к источнику сигнала чаще всего используется осциллографический пробник в виде кабеля, имеющего разъем для подключения ко входу осциллографа, малоемкостной кабель и головка с иглой или крючком. Иногда вместо такой головки используется пара коротких проводов, оснащенных зажимами — «крокодилами». Некоторые пробники оснащены делителем напряжения или даже активной головкой, обеспечивающей повышенное входное сопротивление и уменьшенную входную емкость.

Такое подключение обеспечивает большое входное сопротивление (обычно от 0,5 до 2 МОм) и умеренную входную емкость (десятки пФ). К сожалению, чем

длиннее кабель пробника, тем выше входная емкость осциллографа. Она может достигать 100 пФ, тогда как емкость входа осциллографа без кабеля составляет 20—30 пФ. Подобный способ подключения осциллографа к источнику сигнала практикуется при испытании устройств на ТТЛ- или МОП-микросхемах, исследовании электротехнических устройств и т. д. Всегда надо помнить, что один из зажимов пробника — земля должен быть подключен к земле испытываемого устройства, а другой к той точке, откуда снимается сигнал.

У широкополосных осциллографов обычно применяется низкоомный вход с сопротивлением 50, 75 или 100 Ом. В этом случае осциллограф подключается к источнику сигнала, имеющему аналогичный выход, с помощью отрезка коаксиального кабеля с ВЧ-разъемами на концах. При этом важно обеспечить точное согласование волнового сопротивления кабеля с входным сопротивлением осциллографа и выходным сопротивлением генератора. Нужно, чтобы они были одинаковыми, например 50 Ом. В случае разных волновых сопротивлений применяются коаксиальные переходники. В режиме согласования отсутствуют отражения сигнала и форма импульсов практически не искажается. При отсутствии согласования наблюдаются отражения от мест рассогласования и форма импульсов может сильно искажаться.

5.1.3. Выбор режимов работы усилителей канала Y

Каждый вход канала Y осциллографа имеет переключатель режимов работы, входной аттенуатор, регулятор чувствительности и регулятор положения линии канала. Переключатель режимов работы обычно имеет три позиции:

- AC — подача только переменной составляющей сигнала;
- DC — подача сигнала с постоянной составляющей;
- GROUND — заземление входа.

В положении AC обычно исследуются сигналы небольшого уровня с отфильтрованной постоянной составляющей. Это могут быть, например, сигналы с выхода усилительных каскадов усилителей. Для отсева постоянной составляющей используются разделительные RC-цепи. Следует помнить, что в этом случае АЧХ осциллографа содержит спад на низких частотах и характеризуется нижней частотой среза $f_{\text{сн}}$, равной 5—20 Гц. Она тем ниже, чем больше постоянная времени разделительной RC-цепи.

В положении DC разделительная цепь отключена и осциллограф реагирует на постоянную составляющую сигнала соответствующим смещением линии канала. Это можно использовать для измерения постоянной составляющей сигнала по отклонению линии от положения, которое она занимает при отсутствии сигнала. Для установки линии в отсутствии сигнала у многих осциллографов есть положение переключателя режимов входа GROUND. Если его нет, то надо просто заземлить вход.

Следует отметить, что большинство осциллографов могут измерять и индцировать сигналы только с одним заземленным выходом — второй именуют «горячим». никоим образом нельзя подключать осциллограф к двум произвольным точкам испытываемой схемы, если одна из них не земля. Лишь очень дорогие осциллографы с гальванической развязкой входов допускают подобное подключение. Кроме того, есть двухканальные осциллографы, у которых входы можно включать по дифференциальной схеме и получать отображение сигналов (CH1 — CH2). Однако «холодные» входы должны подключаться к земле испытываемого устройства.

Двухканальные осциллографы помимо переключателей режимов входа имеют переключатель режимов работы каналов — MODE. Он имеет следующие позиции:

- CH1 — просмотр сигнала канала 1;
- CH2 — просмотр сигнала канала 2;
- DUAL — просмотр обоих сигналов (с двумя линиями);
- ADD — просмотр суммарного сигнала от обоих каналов.

Первые два режима в особых комментариях не нуждаются — осциллограф применяется как одноканальный для просмотра сигнала с канала CH1 или CH2. В режиме DUAL можно просматривать сигналы одновременно с двух каналов. Для этого трубка осциллографа должна иметь два луча или осциллограф оснащается коммутатором, позволяющим просматривать два сигнала даже при одном луче трубки. Каждый луч можно перемещать по вертикали с помощью ручек вертикального смещения.

В режиме ADD просматривается сигнал в виде суммы каналов — CH1 + CH2. Для того чтобы просмотреть разность сигналов в канале CH2, обычно имеется переключатель фазы сигнала. Он позволяет инвертировать сигнал канала. Иногда такой переключатель имеется в обоих каналах.

В каждом канале современного осциллографа имеются калиброванные аттенюаторы, позволяющие менять чувствительность осциллографа по вертикальному отклонению. Обычно чувствительность задается в мВ/дел или В/дел по правилу 1, 2, 5, например 1 мВ/дел, 2 мВ/дел, 5 мВ/дел, 10 мВ/дел, 20 мВ/дел и т. д. Обычно с таким переключателем совмещена ручка плавного изменения (уменьшения) чувствительности. Иногда эта ручка делается отделенной от переключателя.

5.1.4. Калибровка чувствительности

Убедившись в работоспособности осциллографа, можно приступить к его калибровке. У современного осциллографа простейший калибратор имеется в его составе. Он создает прямоугольные симметричные импульсы (меандр) с заданной амплитудой и заданным периодом. Это позволяет осуществить изначальную калибровку осциллографа по напряжению и по времени. Выход калибратора выводится на специальный разъем или на небольшую «петлю» с надписью PROBE, на которую можно повесить крючок входного кабеля (в старых осциллографах для калибровки надо было соединить кабелем вход осциллографа с выходом калибратора).

Для калибровки следует вращением ручек изменения чувствительности и смещения луча по вертикали добиться точного соответствия размера изображения значению двойной амплитуды калибратора. Например, двойная амплитуда сигнала (меандра) калибратора сервисного осциллографа ОСУ20 равна 0,25 В с погрешностью $\pm 5\%$. Частота сигнала 1 кГц. Если установить чувствительность осциллографа 0,1 В/дел (деление большое), то расстояние между вершинами полуцикла меандра должно быть 2,5 большого деления шкалы ЭЛТ. Вид сигнала калибратора показан на рис. 5.3. Калиброванные коэффициенты отклонения указаны для крайнего положения ручки плавного их изменения при ее вращении по часовой стрелке до упора.

Калибровки осциллографа по времени обычно не требуется, поскольку при установке ручки плавной регулировки длительности развертки в крайнее положение (тоже до упора) длительность развертки устанавливается равной той длительности, которая указана позициями переключателя длительности развертки. Тем не

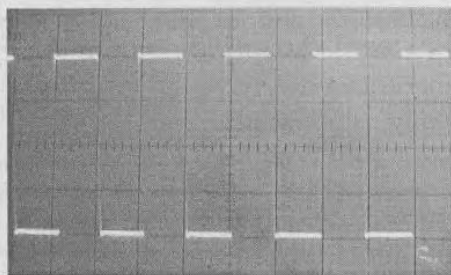


Рис. 5.3. Сигнал калибратора (меандр)

менее стоит убедиться в этом, измерив длительность периода меандра. Позже мы обсудим подробно работу с разверткой.

5.1.5. Учет влияния входной цепи осциллографа

Полное сопротивление $Z_{вх}$ при входе на постоянном токе у аналоговых осциллографов носит комплексный характер, поскольку его компонентами является активное сопротивление $R_{вх}$ и емкость $C_{вх}$. Типичные значения $R_{вх} = 0,5 - 2 \text{ МОм}$, $C_{вх} = 15 - 30 \text{ пФ}$. Например, у осциллографа ОСУ20 $R_{вх} = 1 \text{ МОм}$, а $C_{вх} = 25 \text{ пФ}$.

Если источником входного сигнала является ток $i(t)$, то постоянная времени входной цепи будет равна $R_{вх}C_{вх}$ и имеет довольно большую величину, например, у осциллографа ОСУ20 она равна 25 мкс. Поэтому не приходится рассчитывать на возможность наблюдения импульсов тока с малыми временами нарастания и спада. Для этого надо применять осциллографы с $R_{вх} = 50 - 100 \text{ Ом}$, что и характерно для сверхскоростных осциллографов. Как правило, значение согласуется со стандартным волновым сопротивлением коаксиальных кабелей, по которым можно передавать сигналы без заметных искажений на расстояния до нескольких метров, иногда и десятков метров.

Вообще говоря, токи меряются осциллографом с применением шунта. Например, если мы хотим, чтобы токи до 1 мА соответствовали входному напряжению осциллографа до 0,1 В, то надо параллельно входу включить резистор — шунт $R_{ш}$ с номиналом 100 Ом. Естественно, что при этом постоянная времени входной цепи резко упадет — примерно до $R_{ш}C_{вх}$. Так что проблема большой постоянной времени исчезнет.

При наблюдении импульсов напряжения $u(t)$ надо учитывать внутреннее сопротивление реальных источников напряжения $R_{и}$. Даже на постоянном напряжении это ведет к уменьшению напряжения на входе со значения $U_{и}$ источника до входного напряжения

$$U_{вх} = U_{и} \frac{R_{вх}}{R_{и} + R_{вх}}.$$

Если $R_{и} = R_{вх}$, то ослабление входного сигнала составит 2 раза. Но если $R_{и}$ составляет 1 кОм, то при $R_{вх} = 1 \text{ МОм}$ это ослабление составит всего примерно 0,1%, а коэффициент передачи входной цепи будет 0,999. Таким образом, всегда желательно работать при $R_{и} \leq R_{вх}$.

В этом случае значительно уменьшается и постоянная времени входной цепи, равная

$$\tau_{BX} = C_{BX} \frac{R_H R_{BX}}{R_H + R_{BX}} \approx C_{BX} R_H.$$

Приближенное выражение справедливо при $R_H \leq R_{BX}$. Например, при $R_H = 1 \text{ КОм}$ и $C_{BX} = 25 \text{ пФ}$ она составит 25 нс, против 25 мкс при регистрации токов без шунта.

Для оценки влияния входной цепи на вид импульсов сделаем следующий эксперимент. От генератора прямоугольных импульсов (например, ГЗ-111) подадим на вход осциллографа прямоугольные импульсы — меандр с частотой 100 кГц. Отрегулируем развертку так, чтобы на экране появилось несколько периодов импульсов (рис. 5.4). Из рисунка видно, что форма импульсов весьма близка к прямоугольной, так что быстрые перепады почти не видны.

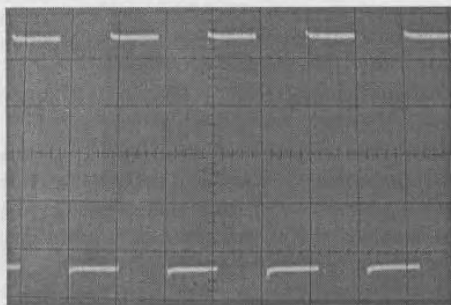


Рис. 5.4. Прямоугольные импульсы с частотой 100 кГц на экране осциллографа

Теперь подадим те же импульсы, но через резистор $R = 51 \text{ КОм}$, имитирующий увеличение выходного сопротивления генератора. Картина на экране осциллографа меняется разительно — от прямоугольности импульсов не осталось и следа (рис. 5.5). Теперь импульсы имеют вид отрезков экспонент заряда и разряда входной емкости осциллографа, при этом амплитуда импульсов заметно упала. Подобные искажения уже явно недопустимы и связаны с увеличением постоянной времени входной цепи сверх разумных значений. Этот пример наглядно иллюстрирует влияние даже небольшой емкости входа.

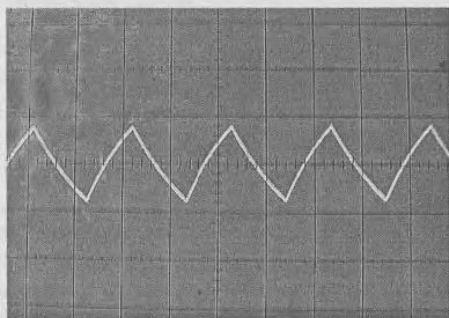


Рис. 5.5. Искажения прямоугольного импульса после увеличения выходного сопротивления генератора на 51 КОм

Иногда бывает полезно оценить частотные искажения, вносимые входной цепью осциллографа. Граничная частота входной цепи, оцениваемая обычно на уровне спада АЧХ на -3 дБ, оценивается как $f_{\text{ВВХ}} = 0,35/\tau_{\text{ВХ}}$. Например, для нашего примера получим $f_{\text{ВВХ}} = 14$ МГц. Даже для 10–20 МГц осциллографов влияние входной цепи оказывается весьма значительным и означает не только ухудшение точности измерений, но и существенное искажение формы импульсных сигналов.

5.1.6. Применение компенсированных делителей напряжения

Выполненный выше анализ показывает, что у аналогового осциллографа желательно иметь как можно большее входное сопротивление и как можно меньшую входную емкость. Однако в реальных условиях имеют место параметры присущие данному осциллографу. Поэтому приходится идти на различные ухищрения ради улучшения параметров входной цепи. Можно, к примеру, применить истоковые или эмиттерные повторители на СВЧ полевых и биполярных транзисторах, но их построение выходит за рамки данной книги.

Если осциллограф обладает высокой чувствительностью по напряжению, что справедливо для большинства современных осциллографов, то можно улучшить параметры входной цепи, применяя компенсированные делители напряжения. Они выполняют и еще одну важную функцию — увеличивают предельно допустимый уровень напряжения, подаваемый на вход осциллографа. Без делителей этот уровень обычно не превышает 50 В, а с делителем 1:10 увеличивается до 400–500 В.

Порою даже применение стандартного делителя позволяет уменьшить искажения формы наблюдаемых импульсов. Возьмем, к примеру, стандартный делитель от осциллографа ОСУ20 и, установив его переключатель в положение 1:10, подадим на вход осциллографа испытательный прямоугольный сигнал с частотой 100 кГц. Увеличив чувствительность осциллографа в 10 раз, получим на экране форму импульсов, показанную на рис. 5.6.

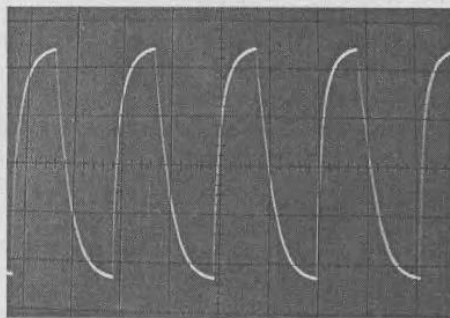


Рис. 5.6. Искажения прямоугольного импульса после увеличения выходного сопротивления генератора на 51 кОм, но при подаче сигнала через делитель 1:10

Очевидно, что искажения формы импульсов довольно заметно уменьшились, хотя явно наблюдаются и на этот раз. Но амплитуда импульсов уже почти достигает исходной величины. Это свидетельствует о том, что входная емкость осциллографа при применении делителя заметно уменьшилась. Разберемся, в чем тут дело.

Компенсированные делители строятся по схеме, приведенной на рис. 5.7. Собственно делитель напряжения строится на резисторах R_1 и R_2 , причем R_2 может

быть просто входным сопротивлением осциллографа. Параметры делителя на постоянном токе вычисляются по формулам:

$$R_{BX} = R_1 + R_2 \text{ и } K_d = R_2 / (R_1 + R_2).$$

Например, если $R_2 = 1$ МОм и $R_1 = 9$ МОм, то имеем $R_{BX} = 10$ МОм и $K_d = 1/10$. Таким образом, входное сопротивление увеличено в 10 раз, но в 10 раз падает и уровень напряжения, поступающего на вход осциллографа.

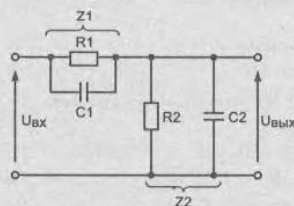


Рис. 5.7. Схема компенсированного делителя осциллографа

Конденсаторы C_1 и C_2 служат для коррекции АЧХ и переходной характеристики делителя. Цепь $R_1 C_1$ вызывает подъем АЧХ на высоких частотах, а цепь $C_2 R_2$ дает завал на высоких частотах. При определенном выборе постоянных времени этих цепей возможна компенсация искажений, откуда и название — компенсированные делители. В самом деле, для коэффициента передачи делителя можно записать:

$$K_d = \frac{U_{ВЫХ}}{U_{ВХ}} = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} = \frac{\frac{R_2}{1 + j\omega\tau_2}}{\frac{R_1}{1 + j\omega\tau_1} + \frac{R_2}{1 + j\omega\tau_2}}.$$

Если $\tau_1 = \tau_2$, то значение K_d определяется как:

$$K_d = \frac{R_2}{R_1 + R_2}.$$

Таким образом, при равенстве постоянных времени цепей $R_1 C_1$ и $C_2 R_2$ коэффициент передачи делителя перестает зависеть от частоты. Практически для достижения условия компенсации емкость C_1 нужно подстраивать, например с помощью подстроечного конденсатора переменной емкости. Для делителя 1:10 резистор R_1 должен быть равен $9R_2$. Это означает, что емкость C_1 должна быть в 9 раз меньше входной емкости C_2 . Входная емкость делителя определяется последовательным соединением C_1 и C_2 :

$$C_{ВХ ДЕЛ} = C_1 \frac{C_2}{C_1 + C_2} \approx C_1.$$

Приближенное значение справедливо при $K_d \geq 1$ и $C_1 \leq C_2$. При $K_d = 10$ входная емкость делителя почти в 10 раз меньше входной емкости осциллографа. Следует помнить, что в C_2 входит не только истинная входная емкость осциллографа, но и емкость монтажа и кабеля. Поэтому на самом деле уменьшение входной емкости делителя по сравнению с входной емкостью осциллографа будет не столь заметным. Тем не менее именно это и объясняет заметное уменьшение искажений им-

пульсов при работе с делителем. Отсюда вывод — если чувствительность по входу Y позволяет наблюдать сигнал с делителем, то всегда применяйте его. Это заодно является и средством защиты входов от больших напряжений.

Увеличение активной составляющей входного сопротивления делителя не всегда полезно, поскольку ведет к изменению нагрузки на испытуемое устройство и получению разных результатов при отсутствии делителя и при его применении. Поэтому делители часто проектируются так, чтобы входное сопротивление осциллографа оставалось неизменным как при работе без делителя, так и при работе с ним. В этом случае делитель не увеличивает входное сопротивление осциллографа, но все же уменьшает входную емкость.

5.1.7. Установка точной компенсации делителя

Конструкция стандартного щупа с делителем 1:10 современного осциллографа представлена на рис. 5.8. Для подключения делителя к нужному месту испытуемой схемы используется миниатюрный крючок, обнажаемый при помощи отжима. На корпусе делителя имеется миниатюрный переключатель — движок, который отключает делитель в положении 1:1 или включает его в положение 1:10. В конце провода у разъема подключения ко входу осциллографа имеется подстроечный конденсатор переменной емкости — *триммер*. Им и устанавливается компенсация (с помощью маленькой отвертки).



Рис. 5.8. Дать подрисовочную надпись

Правильная установка триммера позволяет наблюдать прямоугольные импульсы калибратора практически без искажений (рис. 5.4). Допустимы очень небольшие выбросы на фронтах, но вершины импульсов должны быть строго горизонтальными.

Если емкость C_1 меньше заданной из условия компенсации, то будет иметь место недокомпенсация искажений делителя. При этом осциллограммы меандра имеют характерные подъемы вершины (рис. 5.9). В этом случае преобладает интегрирование сигнала.

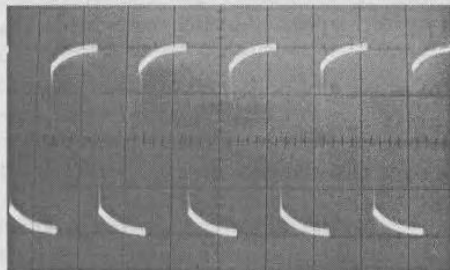


Рис. 5.9. Осциллограммы меандра при недокомпенсации искажений делителя

Напротив, если емкость C_1 выше, чем нужно для компенсации, будут наблюдаться осциллограммы, показанные на рис. 5.10. При этом имеют место заметные выбросы на фронтах импульсов и спад их вершины. В данном случае преобладает дифференцирование импульсного сигнала. Кстати, к такого рода искажениям низкочастотных импульсов ведет и применение разделительной RC -цепи на входе осциллографа, применяемой для отсева постоянной составляющей сигналов.

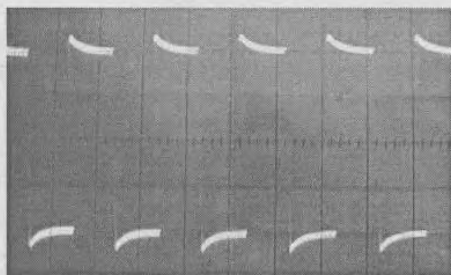


Рис. 5.10. Осциллограммы меандра при перекомпенсации делителя

Еще раз уместно напомнить, что на практике нужна точная компенсация делителей и форма меандра должна быть почти идеальной — как на рис. 5.4. При неточной компенсации возможны заметные искажения формы импульсов, причем не только меандра. Для подстройки компенсации обычно пользуются сигналом калибратора, выдающего симметричные прямоугольные импульсы — меандр.

5.1.8. Лабораторные испытания аналоговых осциллографов

Если осциллограф используется в научной работе или при точных измерениях, то его временные и частотные параметры должны быть достаточно точно измерены и, по возможности, откалиброваны. К сожалению, это требует применения специальных приборов и методик и зачастую возможно только в специализированных измерительных лабораториях.

В России до сих пор действует ГОСТ 8.311-78 «ГСИ. Осциллографы электронно-лучевые. Методы и средства поверки», который был разработан более четверти века тому назад и ныне безнадежно устарел. Тем не менее проверка осуществляется по нему. Как уже отмечалось, проверка коэффициентов чувствительности для современных цифровых осциллографов рекомендуется на постоянном токе, но возможна и с помощью калибраторов, вырабатывающих меандр на частоте 1 кГц. Имеющиеся в России старые калибраторы ПХ типа И1-11, И1-14, И1-15 и И1-12 полноценной проверки современных широкополосных аналоговых и цифровых осциллографов не обеспечивают.

Для измерения времен нарастания и установления переходных характеристик современных осциллографов нужны специальные генераторы испытательных импульсов со временем нарастания в доли нс. Один из таких приборов HZ60-3 с названием Scope Tester (осциллографический тестер) выпускается фирмой HAMEG. Его внешний вид показан на рис. 5.11.

Этот очень простой прибор с батарейным питанием имеет следующие технические характеристики:

- 7 высокостабильных кварцованных частот для калибровки разверток: 1-10-100 Гц, 1-10-100 КГц и 1 МГц;

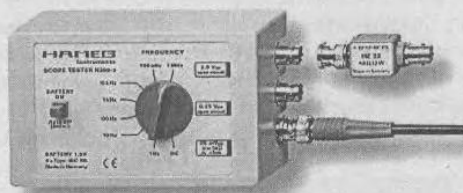


Рис. 5.11. Осциллографический тестер HZ60-3

- калиброванные постоянные напряжения;
- выход импульсов с временем нарастания менее 1 нс;
- 3 уровня напряжений: 25 мВ на нагрузке 50 Ом, 0,25 В и 2,5 В;
- работа от батарей — $4 \times 1,5$ В (элементы АА);
- три высокоэкономичные интегральные микросхемы;
- размеры: $125 \times 80 \times 42$ мм.

Для проверки переходной характеристики осциллографа достаточно подать на него импульсный сигнал от тестера и установками синхронизации и развертки добиться наблюдения фронта импульса (рис. 5.12). Время нарастания переходной характеристики определяется как время, отсчитанное на уровнях роста напряжения от 0,1 до 0,9 от амплитуды импульса, видимого на экране.

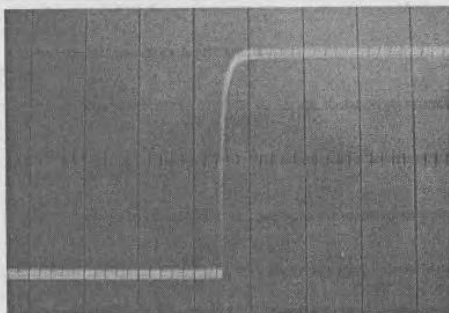


Рис. 5.12. Наблюдение фронта импульса от тестера

Даже с помощью специального прибора измерение временных параметров широкополосных аналоговых осциллографов связано с большими проблемами. Такие измерения приходится выполнять на самых коротких развертках, но даже в этом случае развернуть фронт импульса на значительную часть экрана удастся далеко не всегда. Кроме того, надо обеспечить время нарастания испытательного импульса $t_{\Phi И} \leq t_{\Phi О}$, где $t_{\Phi О}$ — время нарастания осциллографа. Поскольку $t_{\Phi О} = 0,35f_B$, то уже для 350 МГц осциллограф имеет $t_{\Phi О} = 1$ нс, т. е. для испытания такого осциллографа нужны испытательные импульсы с временем нарастания заметно меньше 1 нс. Если по осциллограмме определить $t_{ОСЦ}$, то время нарастания осциллографа можно оценить как:

$$t_{\Phi О} = \sqrt{t_{ОСЦ}^2 - t_{\Phi И}^2}.$$

Например, если $t_{осц} = 2$ нс, а $t_{фн} = 1$ нс, то $t_{ф0} = 1,73$ нс.

Измерение АЧХ каналов вертикального (иногда и горизонтального) отклонения осциллографов выполняется подачей на вход синусоидального сигнала с рядом частот и постоянной амплитудой. При этом вычисляется амплитуда этого сигнала по осциллограмме и строится график АЧХ. Верхняя частота среза осциллографа определяется как частота синусоидального сигнала, на которой его измеренная амплитуда падает до уровня 0,7 (–3 дБ) от уровня синусоиды на низкой частоте — 1 кГц. Обычно АЧХ осциллографа соответствует АЧХ НЧ-фильтра Гаусса. Как известно, такая АЧХ дает переходную характеристику без выброса. Но из-за наличия в усилителе У корректирующих цепей и паразитных индуктивностей у пластин трубки нередко АЧХ отклоняется от гауссовской, что ведет к появлению выброса и даже его колебательному характеру.

Схема для снятия АЧХ осциллографов представлена на рис. 5.13. Сигнал от генератора синусоидальных колебаний подается на вход тройника. С одного его выхода сигнал подается на вход осциллографа, с другого на контрольный ВЧ-вольтметр. С его помощью контролируется постоянство амплитуды синусоидального напряжения, подаваемого на осциллограф. Желательно, чтобы при измерениях размер осциллограммы по вертикали составлял 60–80 % от полного размера экрана по вертикали.

Для проведения измерений можно использовать различные генераторы. Например, простой и малогабаритный генератор GRG-450B фирмы Good Will (рис. 5.14) генерирует синусоидальные напряжения от 0,1 до 150 МГц, что позволяет проверять многие сервисные осциллографы — кроме широкополосных. Однако выходное напряжение этого генератора не калибровано и сильно меняется при изменении частоты. Поэтому его контроль ВЧ-вольтметром обязателен.

Стоит отметить, что дешевые ВЧ-генераторы вроде GRG-450B фирмы Good Will часто дают искаженную форму синусоидального сигнала — искажения видны даже «на глаз». В этом случае замер уровня сигнала даже ВЧ-вольтметром будет давать неточные показания и испытания окажутся довольно грубыми. Генераторы стандартных сигналов с хорошей формой выходного сигнала достаточно дорогие устройства и проверка осциллографов с их помощью осуществляется в специализированных поверочных лабораториях.



Рис. 5.13. Измерительная схема для снятия АЧХ осциллографа

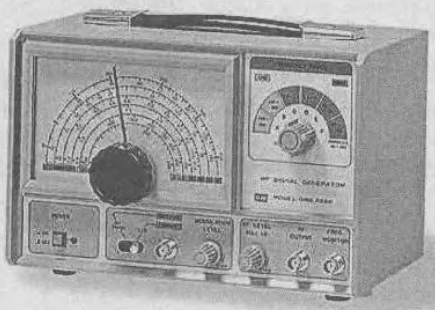


Рис. 5.14. Генератор синусоидальных сигналов GRG-450B фирмы Good Will

5.2. Работа с разверткой и синхронизация

5.2.1. Изменение режимов развертки

Осциллограммы на экране осциллографа получаются как результат развертки сигналов во времени. Для этого служит генератор пилообразных импульсов, называемый генератором развертки осциллографа — иногда просто разверткой. Он может работать в различных режимах работы, переключаемых с помощью переключателя режимов работы развертки MODE (не путать с MODE в тракте вертикального отклонения). Например, в осциллографе ОСУ20 этот переключатель имеет следующие позиции:

- AUTO — автоколебательный режим, при котором луч (лучи) есть на экране даже в отсутствие сигнала синхронизации;
- NORM — ждущий режим, когда развертка срабатывает от однократного или повторяющегося импульса синхронизации;
- TV-V — запуск развертки телевизионным сигналом кадров;
- TC-H — запуск развертки телевизионным сигналом строк.

В автоколебательный режим развертка переводится для начального поиска сигнала или при исследовании периодически повторяющихся сигналов. В этом случае даже при отсутствии сигналов на экране виден один луч или два луча в двухканальном осциллографе (рис. 5.1). У некоторых осциллографов нет позиции AUTO, а переход в автоколебательный режим возможен с помощью ручки чувствительности развертки к запуску (TRIG LEVEL — уровень запуска триггера развертки). Эта ручка позволяет изменять стартовую точку запуска — на рис. 5.15 это показано на примере синусоидального сигнала, фаза которого меняется при изменении уровня запуска развертки.

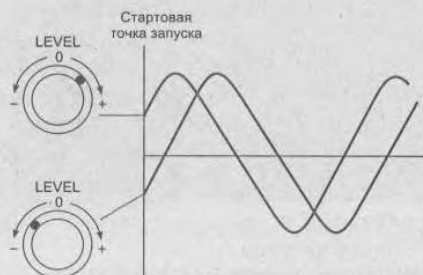


Рис. 5.15. Изменение уровня запуска развертки при синусоидальном сигнале

5.2.2. Запуск нарастающим или спадающим изменениями сигнала

Действие ручки TRIG LEVEL при просмотре прямоугольных импульсов показано на рис. 5.16. Здесь особенно важно отметить роль полярности запуска — ее изменение позволяет производить запуск развертки нарастающей или спадающей частями импульса (или его передним и задним фронтом). Для переключения служит кнопка SLOPE, имеющая позиции (+) и (–) для запуска нарастающим и спадающим изменениями сигнала запуска.



Рис. 5.16. Влияние полярности запуска развертки при просмотре прямоугольных импульсов

5.2.3. Установка длительности и растяжка развертки

Для установки длительности развертки служит переключатель, содержащий ряд позиций. Для каждой позиции указывается длительность развертки, например 1 мкс/дел, 2 мкс/дел, 5 мкс/дел и т. д. (по правилу 1, 2, 5). Число позиций зависит от типа осциллографа. Например, у осциллографа ОСУ20 это позиции от 0,2 мкс/дел до 2 с/дел.

Некоторые осциллографы, например ОСУ20, имеют дополнительно переключатель растяжки развертки в 10 раз, переключатель CALL-VAR установки калиброванных и плавно изменяемых длительностей развертки и ручку плавного изменения длительности развертки VARIABLE (работает в положении переключателя VAR).

Следует отметить, что при использовании растяжки развертки ее длина увеличивается в 10 раз, но на экране видна только примерно 1/10 часть сигнала. С помощью ручки перемещения луча по горизонтали - можно перемещать область просмотра по всему лучу, т. е. в простейшем виде осуществлять функцию «лупы времени». Этот полезный прием иллюстрирует рис. 5.12, на котором представлено выделение переднего фронта наблюдаемого импульса.

У современных аналогово-цифровых и цифровых осциллографов возможна запись сигналов в память большого размера. Видимое изображение составляет лишь малую часть развертки сигнала во времени, соответствующую так называемому *окну просмотра*. Перемещение окна просмотра по записи сигнала осуществляется специальной (нередко многооборотной) ручкой, но у большинства дешевых осциллографов ее функции объединены с функциями ручки смещения луча по горизонтали.

5.2.4. Наблюдение телевизионных сигналов

Некоторые осциллографы, специально предназначенные для просмотра телевизионных сигналов и исследования телевизионных устройств, имеют специальные схемы развертки, позволяющие выделять из телевизионного сигнала (рис. 5.17) любой кадр и любую строку.

Однако в осциллографах широкого применения возможности развертки в этой части более скромные. Они позволяют запускать развертку кадровыми или строчными импульсами синхронизации. Для этого переключатель режимов запуска развертки MODE имеет позиции TV-V и TV-H. Обычно запуск развертки телевизионным сигналом выполняется при отрицательной полярности TRIG LEVEL.

В положении TV-V выделяются кадровые синхроимпульсы и можно просматривать кадры видеосигнала. Для наблюдения одного кадра надо установить пере-

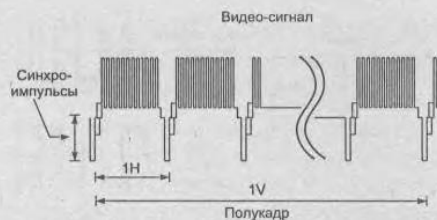


Рис. 5.17. Упрощенный вид телевизионного сигнала

ключатель скорости развертки в положение 2 мс/дел, а для наблюдения двух кадров в положение 5 мс/дел.

В положении TV-H выделяются строчные синхроимпульсы и можно просматривать видеосигнал строк. В этом случае коэффициент развертки надо установить равным 10 мкс/дел. Удобный масштаб изображения можно установить ручкой VARIABLE развертки.

5.2.5. Выбор источника запуска и синхронизации развертки

Для выбора источника запуска и синхронизации развертки у осциллографов имеется специальный переключатель — TRIGGER SOURCE у осциллографа ОСУ20. Последний имеет следующие позиции:

- VERT (DUAL ALT) — в одноканальном режиме синхронизация от канала 2, в двухканальном поочередно с канала 1 и канала 2;
- CH1 — синхронизация от канала 1;
- EXT — синхронизация от внешнего источника (вход EXT TRIG IN);
- LINE — синхронизация от сети.

В двух первых положениях переключателя синхронизация осуществляется исследуемыми сигналами. Однако при изменении параметров сигналов приходится подстраивать синхронизацию. Кроме того, у простых осциллографов линия задержки в каналах вертикального отклонения часто отсутствует, поэтому наблюдать передний фронт импульсных сигналов полноценно не удастся — часть фронта обрывается из-за задержки запуска развертки. В таких условиях удобно пользоваться внешней синхронизацией. Наконец, при исследовании электротехнических устройств полезна синхронизация от сети переменного тока — позиция переключателя LINE.

5.3. Измерение параметров сигналов

5.3.1. Измерение амплитуды и уровней сигнала

Измерение параметров сигнала одно из самых известных применений осциллографа. Наличие калиброванных коэффициентов для чувствительности по оси Y позволяет легко проводить амплитудные измерения. На рис. 5.18 дан пример измерения двойного размаха синусоидального напряжения. Осциллограмма дана с инверсией цвета — она выглядит как черная линия. Нетрудно заметить, что двойной размах осциллограммы составляет 4 больших деления. Если чувствительность осциллографа равна 1 В/дел, то это значит, что двойной размах синусоидального

напряжения равен 4 В. Следовательно, амплитуда синусоидального напряжения равна 2 В, а его эффективное значение $2 \cdot 0,707 = 1,414$ В.

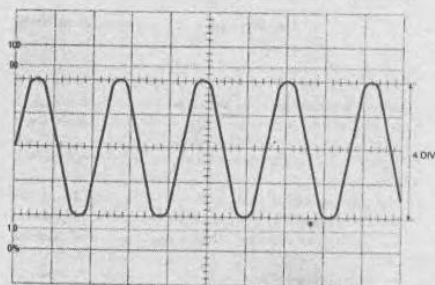


Рис. 5.18. Измерение двойного размаха синусоидального напряжения

Для амплитудных измерений импульсных сигналов (рис. 5.19) надо наметить нулевую линию (REFERENCE LINE) и отсчитывать уровни сигнала относительно нее. Эта линия не обязательно должна совпадать с центральной линией масштабной сетки. Например, за нулевую линию отсчета на рис. 5.19 взята первая линия. Высота импульса в этом случае составляет 5 делений. Умножив это значение на коэффициент отклонения луча по оси Y, можно вычислить амплитуду импульса. Аналогично можно оценить уровни полков импульса, представленного на рис. 5.19.

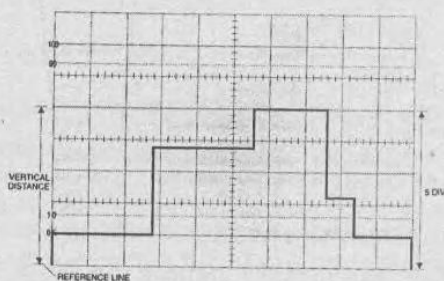


Рис. 5.19. Измерение параметров сложного импульса

5.3.2. Измерение временных интервалов

Столь же просто измеряются временные параметры. Для этого служит масштабная сетка с делениями по горизонтальной оси. По ней отсчитывается расстояние, характеризующее измеряемый процесс, и оно умножается на коэффициент временной развертки. Например, для одной из синусоид на рис. 5.20 период колебаний определяется как 7,2 деления. Если коэффициент развертки установлен 10 мкс/дел, то имеем $T = 72$ мкс и $f = 1/T = 13,89$ кГц.

На масштабной сетке некоторых осциллографов имеются линии, принимаемые за 0, 10, 90 и 100% от уровня сигнала, располагаемого между линиями 0 и 100%. В этом случае линии 10 и 90% используются для отсчета моментов времени, разность которых задает времена нарастания и спада импульсов. На рис. 5.21 показан пример вычисления времени нарастания RISE TIME сигнала с выхода ограничи-

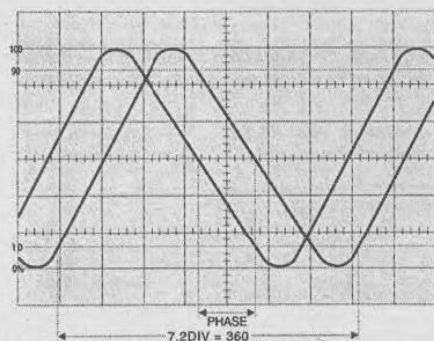


Рис. 5.20. Измерение периода синусоидального сигнала и фазы

теля синусоидального напряжения. Время нарастания оценивается как время, за которое сигнал нарастает от 10-процентного уровня от полного размаха до 90-процентного уровня. Время спада можно оценить как время спада напряжения от уровня 90% от полного размаха до 10% от полного размаха.

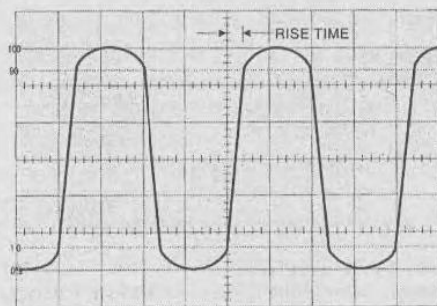


Рис. 5.21. Определение времени нарастания сигнала с выхода ограничителя

Аналогичным образом оцениваются времена нарастания и спада импульсных сигналов. Для этого плавной установкой чувствительности добиваются размаха напряжения, при котором нижний и верхний уровни соответствуют линиям 0% и 100%, затем осциллограмму смещают по горизонтали так, чтобы было удобно измерить времена на уровнях 10% и 90%. Пример измерения времени нарастания импульсного перепада таким методом представлен на рис. 5.22.

5.3.3. Измерение сдвига фаз синусоидальных сигналов

Для измерения фазы синусоидального сигнала необходима точка отсчета его начала. Поскольку она, как правило, не известна, то принято говорить об измерении сдвига фаз между двумя одинаковыми синусоидальными сигналами (рис. 15.20). Если один сигнал сдвинут относительно другого на период T , то это означает сдвиг фаз на угол 2π радиан или на 360° . На рис. 5.20 период колебаний занимает 7,2 дел.

Для определения сдвига фаз двух сигналов надо подать их на входы каналов СН1 и СН2 осциллографа и добиться равенства их амплитуд и положений по вер-

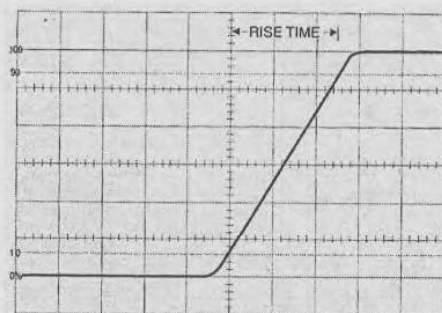


Рис. 5.22. Пример измерения времени нарастания импульсного перепада

тикали. На рис. 5.20 разность фаз определена длиной отрезка PHASE. Поделив ее на 7,2 деления и умножив результат на 360° , получим искомый фазовый сдвиг в градусах, а умножив на 2π , получим фазовый сдвиг в радианах.

Измерение сдвига фазы вполне понятно для двух синусоидальных сигналов. Однако, если один из сигналов не синусоидальный, то можно говорить об этом только в том случае, если оба сигнала имеют точно одинаковые частоты. В этом случае помимо чисто геометрического метода измерения фазы (по временному сдвигу сигналов) могут использоваться и другие, более изощренные методы. Мы их рассмотрим позже.

5.4. Измерения в режиме X—Y

5.4.1. Измерение фазового сдвига с помощью фигур Лиссажу

Некоторые осциллографы имеют режим X—Y, т. е. позволяют строить параметрические кривые, полученные подачей двух сигналов на входы каналов X и Y. Их обычно называют *фигурами Лиссажу*. В осциллографе ОСУ20 режим X—Y устанавливается поворотом ручки установки коэффициентов развертки по часовой стрелке в последнее положение. При этом канал СН1 становится каналом X, а канал СН2 каналом Y. Выполним несколько экспериментов по использованию режима XY.

Вначале подадим от генератора звуковой частоты (например, ГЗ-111) сигнал с частотой 20 Гц на оба канала с открытым входом (режим DC). Нетрудно сообразить, что в результате получится прямая линия, расположенная под углом 45° , если чувствительность по обоим каналам была установлена одинаковой (рис. 5.23). Этот случай иллюстрирует измерение сдвига фаз для случая, когда он близок к нулю (на рис. 5.23 видно, что прямая все же чуть расслаивается в эллипс).

Теперь переведем усилитель СН1 (Y) в режим закрытого входа. Это означает, что входной сигнал теперь подается через разделительную RC-цепь. Такая цепь на низкой частоте в 20 Гц вносит заметный фазовый сдвиг. В результате прямая линия на экране осциллографа превращается в эллипс (рис. 5.24) — это фигура Лиссажу для случая подачи на входы осциллографа двух сигналов с одинаковой частотой, но разной фазой.

Для более точного измерения фазового сдвига (до нескольких градусов) надо определить параметры фигуры Лиссажу A и B, показанные на рис. 5.25. Тогда фазовый сдвиг определяется как $\varphi = \sin^{-1}(A/B)$. Строго говоря, этот результат отно-

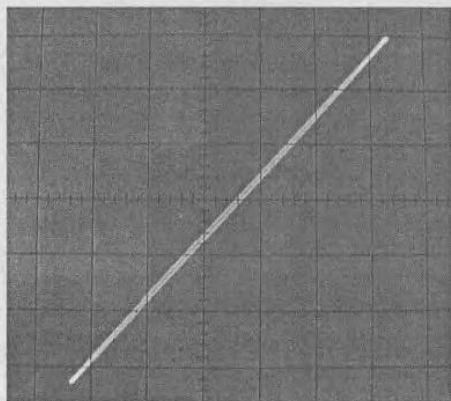


Рис. 5.23. Фигура Лиссажу при подаче на входы X и Y одинакового синусоидального сигнала с частотой 20 Гц

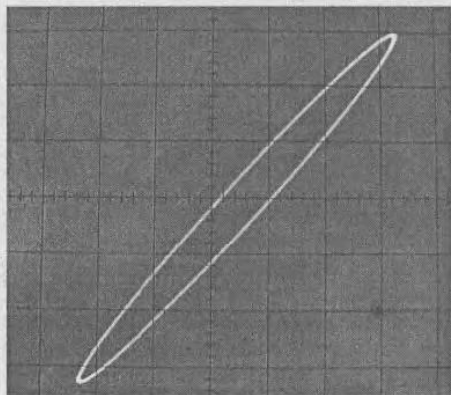


Рис. 5.24. Фигура Лиссажу при подаче на входы X и Y одинакового синусоидального сигнала с частотой 20 Гц с разной фазой

сится только к первому квадранту, так что каждому значению фазового сдвига соответствуют еще 3 значения.

На рис. 5.26 показан вид фигур Лиссажу для нескольких значений фазового сдвига. Эти фигуры позволяют судить о точности описанного метода измерения разности фаз. Разумеется, в наше время, кажется, куда проще измерить фазы с помощью специального прибора — фазометра. Однако это куда более редкий прибор, чем осциллограф, который всегда под рукой. Впрочем, измерение фазы ныне есть даже у некоторых мультиметров.

5.4.2. Сравнение частот с помощью фигур Лиссажу

Фигуры Лиссажу можно использовать и для сравнения частот двух сигналов. В наше время частоту сигнала довольно просто и точно можно измерить с помощью цифрового частотомера или даже мультиметра. Однако если их нет, то несложно измерить частоту сигнала путем сравнения ее с частотой опорного генера-

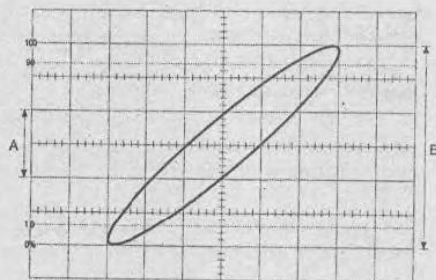


Рис. 5.25. К измерению фазового сдвига двух синусоидальных сигналов

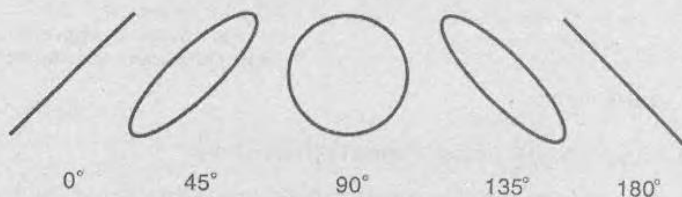


Рис. 5.26. Фигуры Лиссажу для двух синусоидальных сигналов с одинаковой частотой и разной фазой

тора. Несмотря на примитивность этого метода он находит широкое применение для сравнения частот различных генераторов (даже кварцевых) с частотами высокостабильных сигналов эталонов частоты. Такие сигналы передаются, в частности, по радио.

Прежде чем продолжить эту тему, проведем простой эксперимент — измерим частоту наводки сети переменного тока путем ее сравнения с частотой звукового генератора ГЗ-111. Для этого на вход X подадим сигнал с генератора, а на вход Y сигнал наводки. Для этого просто коснемся этого входа рукой. Регулируя частоту генератора, можно добиться очень медленного вращения фигуры на экране осциллографа (рис. 5.27) или даже ее остановки.

Если фигура неподвижна и имеет вид эллипса (возможно искаженного), то это означает точное равенство частот сигналов. Если фигура делает 1 оборот в секунду

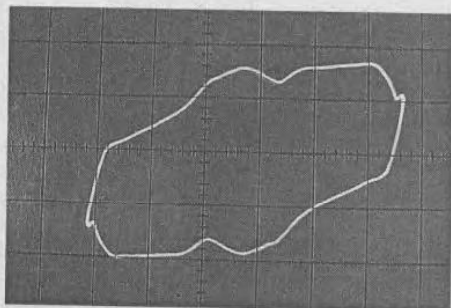


Рис. 5.27. Пример сравнения близких частот

ду, то это означает расхождение частот на 1 Гц, а если за 100 секунд, то расхождение составит 0,01 Гц. Таким образом данный метод позволяет с высокой точностью оценивать малые расхождения частот. Именно поэтому он рекомендуется для сравнения частот высокостабильных по частоте сигналов.

Если вращающаяся фигура напоминает цифру 8 или знак ∞ , то частоты сигналов различаются в два раза. На рис. 5.28 показаны фигуры Лиссажу для кратных частот сигналов, определяемых соотношением:

$$\frac{f_x}{f_y} = \frac{m}{n},$$

где m и n — целые числа.

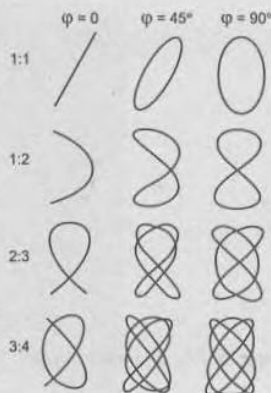


Рис. 5.28. Фигуры Лиссажу при сравнении кратных частот

5.4.3. Осциллограф в роли характериографа

Осциллограф вместе с генератором синусоидального напряжения нетрудно превратить в *характериограф* — прибор для снятия вольт-амперных характеристик различных нелинейных приборов, например варисторов, диодов, кремниевых стабилитронов и т. д. Простейшая схема характериографа на базе осциллографа ОСУ20 и звукового генератора ГЗ-111 представлена на рис. 5.29.

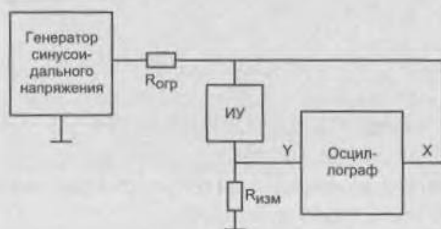


Рис. 5.29. Схема характериографа для снятия вольт-амперных характеристик двухполюсников

Ограничивающий резистор $R_{огр} = 16$ кОм задает через испытуемое устройство ИУ ток, амплитуда которого ограничена. Этот ток контролируется осциллографом по падению напряжения на измерительном резисторе $R_{изм} = 100$ Ом. Для этого напряжение с этого резистора подается на вход усилителя канала Y. Напряжение с ИУ подается на вход X осциллографа.

Если в качестве испытуемого прибора ИУ применить маломощный кремниевой диод, то на экране осциллографа будет построена его вольт-амперная характеристика (ВАХ), показанная на рис. 5.30. Она содержит участок резкого роста тока в прямом направлении и пологий участок с очень малым током в обратном направлении включения. Эта характеристика вполне соответствует теоретической для кремниевого диода.

Если использовать вместо диода кремниевый стабилитрон КС156А, то помимо роста прямого тока при малом напряжении на диоде (примерно 0,8 В) будет на-

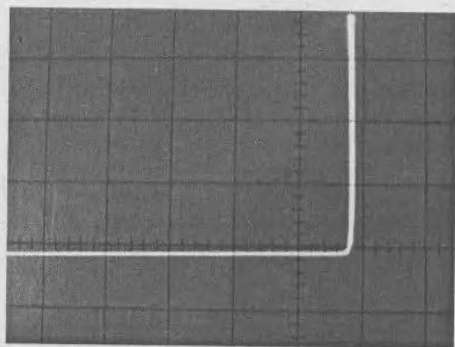


Рис. 5.30. Вольт-амперная характеристика маломощного кремниевого диода

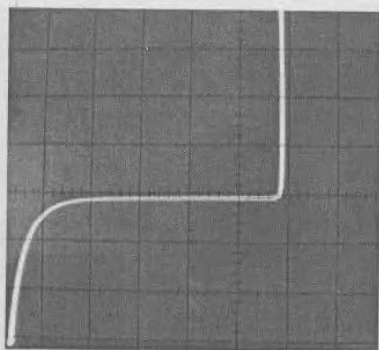


Рис. 5.31. Вольт-амперная характеристика кремниевого стабилитрона

блюдаться и рост тока в обратном направлении, связанный с электрическим пробоем такого диода (рис. 5.31). Нетрудно заметить, что пробой в обратном направлении у этого диода выражен менее резко, чем отпирание диода в прямом направлении. ВАХ кремниевого стабилитрона, как и ВАХ диода, имеют вид, хорошо соответствующий виду теоретических расчетных ВАХ этих приборов.

С помощью характериографа можно снимать характеристики и других приборов, например резисторов, варисторов, туннельных диодов и т. д. На основе этого принципа строятся специальные характериографы, позволяющие снимать не только одну кривую, но и семейства ВАХ таких приборов, как биполярные и полевые транзисторы.

5.5. Некоторые другие применения осциллографа

5.5.1. Наблюдение амплитудно-модулированных сигналов

Амплитудно-модулированные колебания это обычно синусоидальные колебания, амплитуда которых меняется в соответствии с законом модулирующего сигнала. Они находят широкое применение в радиотехнике [44]. Достаточно отметить, что радиовещание с амплитудной модуляцией ведется на длинных, средних и коротких волнах. Многие генераторы высокочастотных сигналов имеют возможности генерации амплитудно-модулированных синусоидальных колебаний, что необходимо для испытания различных устройств, например радиоприемников с амплитудной модуляцией. В то же время у простых и дешевых генераторов, например GRG-450B фирмы Good Will (рис. 5.14), не предусмотрена возможность измерения коэффициента амплитудной модуляции. В таких случаях помочь может аналоговый осциллограф.

Для наблюдения амплитудно-модулированных колебаний удобно использовать двухканальный осциллограф, например ОСУ20. Подключите выход модулирующего сигнала генератора GRG-450B ко входу канала CH1, а выход ВЧ-сигнала генератора ко входу CH2 осциллографа. Установите ручку регулировки коэффициента модуляции в нулевое положение. Затем задайте частоту генератора равной 1 МГц и установите ручку регулировки амплитуды ВЧ-сигнала в среднее положение.

ние. Получающиеся при этом осциллограммы показаны на рис. 5.32. Верхний луч показывает отсутствие модулирующего сигнала, а нижний наличие ВЧ-сигнала. При этом он выглядит как широкая полоса, поскольку длительность развертки выбрана намного большей, чем период ВЧ-сигнала.

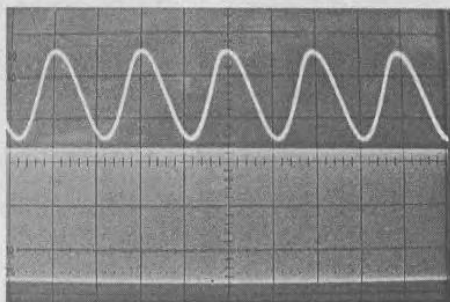


Рис. 5.32. Подготовка к наблюдению амплитудно-модулированного сигнала

Теперь поверните ручку регулировки коэффициента модуляции и установите ее в среднее положение. Ручкой регулировки уровня запуска развертки добейтесь устойчивого изображения на экране осциллографа. Теперь осциллограммы примут вид, показанный на рис. 5.33. Сверху видна осциллограмма модулирующего сигнала, а снизу промодулированного ВЧ-сигнала. Для получения устойчивых осциллограмм целесообразно развертку осциллографа осуществлять только модулирующим сигналом и в режиме синхронизации от внешнего источника. Только тогда пики и впадины модулирующего и ВЧ-сигналов будут точно совпадать.

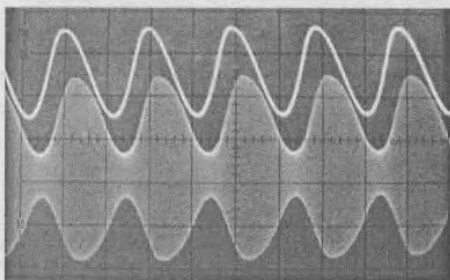


Рис. 5.33. Наблюдение модулирующего и модулированного сигналов

Если амплитуда модулирующего напряжения превышает уровень 100% модуляции, то наступает явление перемодуляции. Такой случай наблюдается, если ручку регулятора коэффициента модуляции генератора GRG-450B установить в крайнее положение при ее вращении по часовой стрелке. Случай перемодуляции иллюстрирует рис. 5.34. В этом случае при близких к нулю уровнях модулированного ВЧ-сигнала наблюдаются характерные «полочки», а огибающая ВЧ-сигнала становится иной, чем модулирующий сигнал.

Можно ли наблюдать одновременно модулирующий сигнал и ВЧ-напряжение в форме переменного напряжения, а не сплошной полосы? Обычно это трудно сделать из-за слишком большой разности частот модуляции и ВЧ-сигнала — в на-

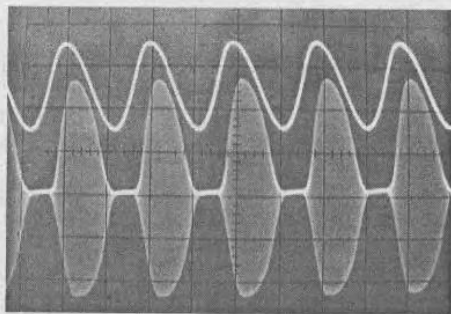


Рис. 5.34. Иллюстрация перемодуляции

шем примере это 1 кГц и 1 МГц (отличие в 1000 раз). Однако, понизив частоту ВЧ-сигнала до 100 кГц, можно наблюдать оба сигнала одновременно (рис. 5.35).

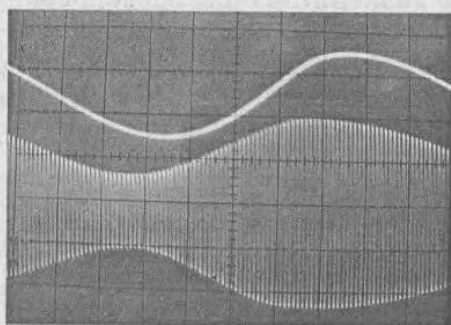


Рис. 5.35. Одновременное наблюдение полного периода модулирующего сигнала и 100 периодов модулированного сигнала

Наконец, уменьшив длительность развертки, можно отчетливо наблюдать ВЧ-сигнал и только часть периода модулирующего сигнала. Такой случай показан на рис. 5.36. Обратите внимание на то, что форма ВЧ-сигнала генератора GRG-450B заметно отличается от синусоидальной, что является недостатком этого простого генератора. И выявляется он осциллографом!

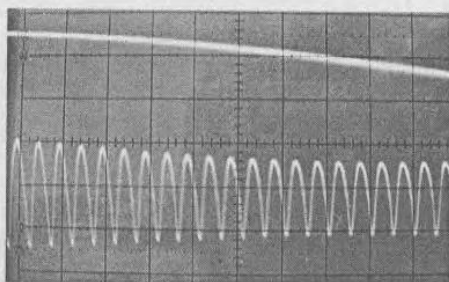


Рис. 5.36. Модулирующий и модулированный сигналы при малой длительности развертки

5.5.2. Вычисление коэффициента модуляции

Количественно глубина модуляции характеризуется коэффициентом модуляции K_m . Им называют отношение максимального отклонения амплитуды модулированного напряжения от его среднего уровня. Для его определения по осциллограмме нижнего луча (рис. 5.33) удобно измерить двойную амплитуду модулированного сигнала в точке минимума и в точке максимума. Например, в нашем случае они составят 1 и 4,2 деления. Средняя амплитуда ВЧ-колебаний будет их полусуммой, т. е. $(1 + 4,2)/2 = 2,6$ дел. Изменение амплитуды будет полуразностью $(4,2 - 1) : 2 = 1,6$ дел. Тогда коэффициент модуляции вычисляется как $1,6/2,6 = 0,62$. Следовательно, в процентах коэффициент модуляции равен 62%.

Приведенные примеры показывают, что аналоговый осциллограф обеспечивает полноценный контроль явления модуляции. Правда, при условии, что частота несущей модулированного сигнала находится в пределах полосы пропускания канала У осциллографа.

5.5.3. Применение калибратора для исследования переходных процессов в RC-цепях

Поскольку калибратор осциллографа ОСУ20 генерирует прямоугольные импульсы (меандр), его можно использовать для исследования переходных процессов в RC-цепях. Две такие цепи (дифференцирующая и интегрирующая) представлены на рис. 5.37.

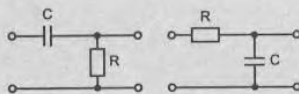


Рис. 5.37. Дифференцирующая (слева) и интегрирующая (справа) RC-цепи

Выход калибратора выполнен в виде маленькой металлической петли, поэтому для подключения входа исследуемых цепей к калибратору надо использовать провод с маленьким «крокодилом», которым надо закусить петлю калибратора. На рис. 5.38 показаны осциллограммы калибратора (верхний луч) и выхода дифференцирующей цепи, имеющей $R = 51$ кОм и $C = 1000$ пФ. Сигнал на выходе цепи представляет собой разнополярные перепады напряжения с экспоненциальным спадом. Постоянная времени спада равна $RC = 51$ мкс. Переходные процессы заканчиваются за время порядка $3RC$. Меняя R или C , можно наблюдать изменения переходных процессов.

На рис. 5.39 показаны осциллограммы напряжений на входе и выходе интегрирующей цепи с указанными выше значениями R и C . Выходное напряжение представляет собой прямоугольные импульсы сильно искаженные зарядом и разрядом C через R . Здесь также переходные процессы заканчиваются за время около $3RC$, а времена нарастания и спада импульсов на выходе цепи составляют $2,3RC$. Проверьте по осциллограмме, так ли это.

5.5.4. Наблюдение переходных процессов в LRC-цепях

Переходные процессы в RC-цепях носят апериодический характер. В радиотехнических устройствах часто применяются LRC-цепи (рис. 5.40). В них обмен энергией между катушкой индуктивности L и конденсатором C может носить ко-

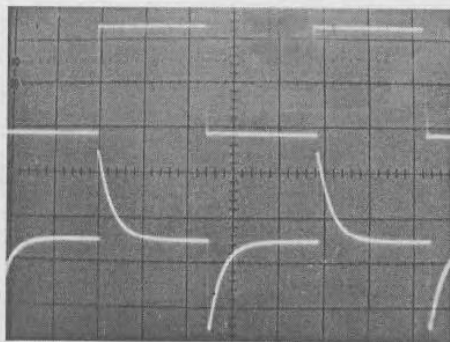


Рис. 5.38. Осциллограммы: калибратора (верхний луч) и выхода дифференцирующей RC-цепи (нижний луч). Масштаб осциллограмм 0,2 В/дел, 0,2 мс/дел

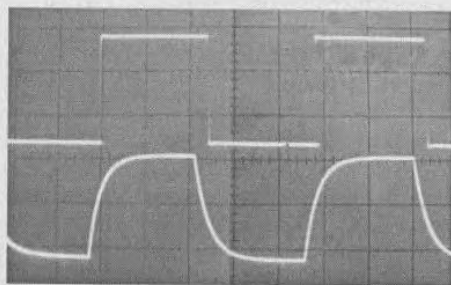


Рис. 5.39. Осциллограммы: калибратора (верхний луч) и выхода интегрирующей RC-цепи (нижний луч). Масштаб осциллограмм 0,2 В/дел, 0,2 мс/дел

лебательный характер, что может приводить к характерным колебательным процессам [44] и возникновению явления резонанса. Электрический резонанс проявляется в возрастании напряжения на выходе LRC-цепи при на частоте

$$f_p = 1/2\pi\sqrt{LC}.$$

Частота f_p называется резонансной или собственной частотой LRC-цепи, которая в таком случае становится резонансным контуром.

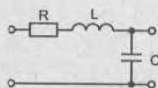


Рис. 5.40. LRC-цепь (резонансный контур)

Подключив выход калибратора ко входу LRC-цепи (рис. 5.40), а ее выход ко входу канала CH2 (на вход CH1 подается сигнал калибратора), можно наблюдать переходные процессы в LRC-цепи. На рис. 5.41 показаны осциллограммы напряжений на входе и выходе цепи, у которой в качестве индуктивности L была взята обмотка выходного трансформатора от транзисторного радиоприемника, а $C = 10$ нФ. Роль резистора R выполняло омическое сопротивление обмотки. Быстрое за-

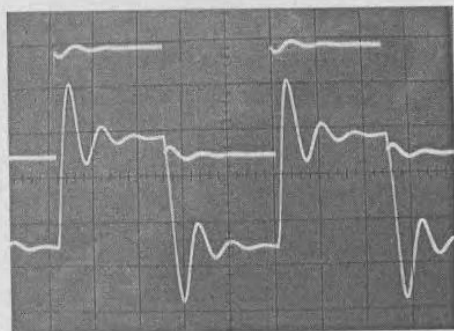


Рис. 5.41. Переходные процессы в LRC -цепи

тухание колебательной компоненты переходного процесса говорит о наличии в контуре значительного затухания.

Кстати, потери в схеме рис. 5.40 резко возрастают, если катушка индуктивности (например, дроссель или трансформатор) содержит короткозамкнутые витки. На этом основан один из способов их обнаружения. Зарисуйте или сфотографируйте осциллограммы переходных процессов LRC -цепи с исправным трансформатором или дросселем. Затем сравните с осциллограммами трансформатора или дросселя, в качестве которого вы сомневаетесь. Если переходной процесс явно затухает сильнее, то это значит, что в них могут оказаться короткозамкнутые витки.

Приведенные выше примеры могут составить основу лабораторной работы по изучению RC , LRC и других электрических цепей с использованием осциллографа (и, разумеется, самих исследуемых цепей). Некоторые осциллографы содержат встроенный генератор функциональных колебаний, генерирующий синусоидальные, треугольные и прямоугольные колебания не одной частоты и амплитуды, как у калибратора, а в широком диапазоне их изменения. Это открывает возможности выполнения полноценных исследований самых различных устройств, например описанных выше простых цепей, линий задержки, фильтров и т. д.

5.5.5. Курсорные измерения

Большинство современных осциллографов высокого класса имеют так называемые *курсорные измерения*. Необходимость их введения была обусловлена сложностью обычных осциллографических измерений и их низкой точностью. Например, если надо с помощью осциллографа поддерживать неизменной амплитуду синусоидального сигнала, то придется многократно менять уровень сигнала и положение синусоиды на экране для того, чтобы она вписалась в нужные уровни. Низкая точность осциллографических измерений обусловлена рядом факторов: параллаксом из-за удаления масштабной сетки от слоя ЭЛТ с люминофором, крутизной экрана, низкой точностью оценки положения осциллограмм относительно масштабной сетки «на глазок» и т. д. В связи с этим погрешность обычных осциллографических измерений очень редко бывает меньше 5%.

Курсорные измерения выполняются с помощью специальных прямых линий — курсоров, которые создаются на экране ЭЛТ-осциллографа. С помощью ручек управления курсорами эти линии могут плавно перемещаться по экрану (рис. 5.42). Обычно создаются две пары курсоров — горизонтальные для измерения напряжений (уровней) сигнала и вертикальные для измерения временных интервалов. Кур-

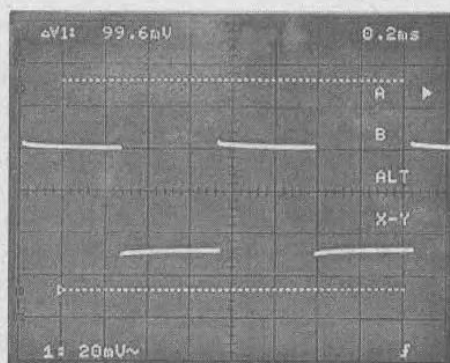


Рис. 5.42. Экран осциллографа с горизонтальными курсорами

сорные измерения проводятся при неподвижной осциллограмме, причем каждый курсор перемещается единственной ручкой управления. Таким образом, вместо манипуляций двумя-тремя ручками можно работать одной, что гораздо удобнее.

Наиболее удобно курсорные измерения реализованы в аналого-цифровых и цифровых осциллографах, у которых данные о положении каждого курсора в виде чисел указываются на экране дисплея, чаще всего у одной из его сторон — рис. 5.42. При этом они автоматически пересчитываются в уровни напряжений или в длительности разверток. Нередко могут автоматически вычисляться максимальные отклонения (амплитуды), разности значений уровня или времени и иные параметры сигналов. Кроме того, заметно повышается точность фиксации курсором того или иного уровня отсчета напряжения или времени.

На рис. 5.43 дан пример курсорных измерений периода прямоугольных импульсов. Один из вертикальных курсоров установлен на задний фронт импульса в начале измеряемого периода, а второй на задний фронт в конце периода. Таким образом, на осциллограмме выделен один из периодов. На экране отображено время 0,920ms (разность времен двух курсоров) и вычисленная частота 1,08KHz, как величина, обратная периоду колебаний.

Однако, ожидать чудес от курсорных измерений в части повышения их точности не стоит. Такие факторы, как нелинейность усилителей или развертки и не-

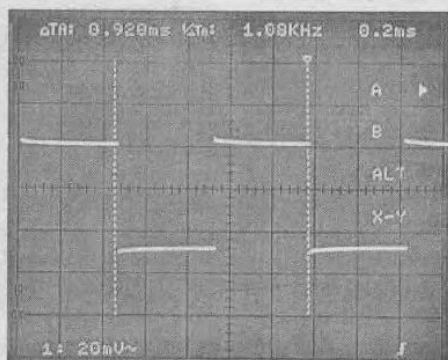


Рис. 5.43. Пример курсорного измерения периода колебаний

точность их калибровки, остаются. Точность совмещения курсоров с нужными точками осциллограммы тоже остается не очень высокой. Тем не менее курсорные измерения позволяют уменьшить погрешность вычислений с 4—10% у обычных осциллографов до 2—4%. В дальнейшем описание техники курсорных измерений будет продолжено на примерах применения компьютеризированных лабораторий (см. главу 6), где эти измерения доведены до совершенства.

5.6. Особенности измерений цифровыми осциллографами

5.6.1. Измерение постоянных напряжений и калибровка

С первого взгляда осциллограммы даже от самых сложных и дорогих цифровых осциллографов выглядят так же, как и осциллограммы аналоговых осциллографов. Однако принципы функционирования у этих приборов заметно отличаются и надо знать не только о достоинствах, но и о недостатках цифровых осциллографов.

Несомненным достоинством цифровых осциллографов является высокая степень автоматизации измерений. Как правило, такие осциллографы дают точный и вполне однозначный результат вычисления большинства параметров исследуемого сигнала. Однако это справедливо для не слишком сложных сигналов и при наличии запасов по полосе частот канала вертикального отклонения. Высокая точность вычислений — также большое достоинство цифровых осциллографов.

Спецификой цифровых осциллографов является аналого-цифровой преобразователь. Проще всего он измеряет постоянные напряжения. Поэтому для калибровки вертикального канала цифровых осциллографов, обычно используются постоянные напряжения, а не импульсные типа меандра (у нас в России рекомендуется калибровать осциллографы по меандру с частотой 1 кГц).

Для калибровки зарубежных цифровых осциллографов созданы специальные калибраторы. Наряду с образцовым меандром они позволяют калибровать осциллографы и по напряжению постоянного тока. Например, калибратор Fluke-9500B вырабатывает высокоточное напряжение 1 В. Его действие видно по смещению луча и показаниям цифрового вольтметра, встроенного в цифровые осциллографы и представленного на экране. Если, к примеру эти показания дают 1,005 В, то, значит, погрешность вычислений составит 0,5%. Типовая нормированная погрешность цифровых осциллографов составляет 2—3%.

На рис. 5.44 показана калибровка чувствительности осциллографа LeCroy Wave Surfer 432 по образцовому импульсному сигналу — меандру. Для калибровки надо добиться совпадения верхушек меандра с верхней и нижней пунктирными линиями шкалы. Вообще говоря, экран современных цифровых

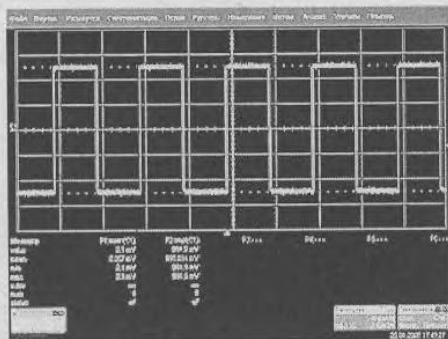


Рис. 5.44. Калибровка цифрового осциллографа LeCroy Wave Surfer 432 по меандру

осциллографов перенасыщен информацией — на нем имеется меню операций, значения различных цифровых установок и результатов вычислений. Поэтому для полноценного использования этой информации надо внимательно изучить инструкцию по конкретному прибору и правильно использовать возможности прибора, в части предоставления информации.

5.6.2. Измерение частотных и временных параметров цифровых осциллографов

Измерение частотных параметров канала Y у цифровых осциллографов имеет свою специфику. Прежде всего надо отметить, что широкополосность этих приборов усложняет снятие АЧХ и ФЧХ канала Y . Кроме того, из-за дискретного представления сигналов их отображение на краях полосы пропускания может оказаться затруднительным. В связи с этим предпочтительны испытания во временной области.

Напомним, что параметры осциллографов во временной области характеризуются параметрами его переходной характеристики. Обычно используются следующие параметры:

- время нарастания (спада) — время, в течение которого импульс изменяет свое значение от уровня 0,1 до уровня 0,9 или (при спаде от уровня 0,9 до 0,1), время измеряется в секундах или долях секунды;
- выброс на вершине (спаде) — процентное отношение значения превышения амплитуды при установившемся импульсе к амплитуде импульса, измеряется в процентах;
- время установления — время, в течение которого колебательные процессы на вершине импульса не станут меньше 1% амплитуды импульса.

Однако спецификой цифровых осциллографов являются очень малые значения этих времен, нередко находящиеся в субнаносекундном и даже пикосекундном диапазоне. При этом практически невозможно обеспечить измерение этих параметров от идеальных перепадов напряжения. Более того, такие измерения часто приводят к слишком большому значению выброса переходной характеристики и возрастанию времени установления. Поэтому при испытаниях цифровых осциллографов нужно оговаривать и выдерживать условия измерения.

На рис. 5.45 приведены данные испытания цифрового осциллографа. Здесь сняты осциллограммы реакции цифрового осциллографа LeCroy WR-6030 на перепад напряжения с длительностью 500, 150 и 50 пс.

Результаты испытаний представлены ниже

$t_{\text{фи}}$	t_n	Выброс
500 пс	572 пс	1,7%
150 пс	467 пс	5,0%
50 пс	450 пс	9,0%

Из них отчетливо видно, что измерения с чрезмерно малой длительностью перепада дают очень небольшое уменьшение времени нарастания переходной характеристики, но резко увеличивают ее выброс.

Цифровые осциллографы, в отличие от аналоговых, практически не нуждаются в калибровке генераторов развертки. Они у них цифровые — ступенчато нарастающие напряжения развертки формируются счетчиками опорной частоты, стабилизированной кварцем. Кварцевые генераторы обеспечивают стабильность около

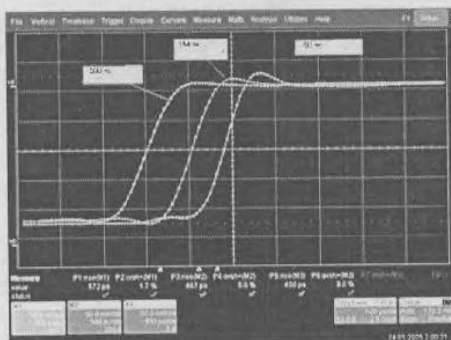


Рис. 5.45. Осциллограммы реакции цифрового осциллографа LeCroy WR-6030 на перепады напряжения разной длительности

10^{-5} даже без термостатирования. Однако погрешность при снятии осциллограмм может быть заметно выше, оставаясь, как правило, не больше 0,01%. При этом надо следить за правилами измерения временных параметров сигналов, например за размером изображения на экране. Некоторые осциллографы, например LeCroy Wave Runner, способны измерять временные и частотные параметры сигналов с погрешностью до 10^{-5} .

5.6.3. Выбор вида интерполяции

При наблюдении почти синусоидальных высокочастотных сигналов аналоговые осциллографы имеют явные преимущества перед цифровыми приборами. У них форма синусоидального сигнала не ухудшается с ростом его частоты. Более того, она обычно улучшается, так как высокочастотные гармоники слабо искаженного сигнала отсекаются, если частота его близка к верхней границе полосы пропускания.

Совсем иначе обстоит дело с цифровыми осциллографами. Как уже отмечалось, у них сигнал представляется конечным числом дискретных значений — выборок. У высокочастотных сигналов число выборок может стать меньше десяти. В промежутках между выборками невозможно судить о характере и форме сигнала. Он может быть постоянным, меняющимся по тому или иному закону, содержащим короткие выбросы и т. д.

Осциллограф может представлять осциллограмму в виде точек, и это будет единственный научно обоснованный способ представления сигналов в виде выборок. Однако вид такой осциллограммы будет не удовлетворительным, да и яркость осциллограммы окажется низкой. Поэтому в цифровых осциллографах принято использовать тот или иной метод интерполяции сигнала в промежутках между точками отсчетов. Простейшая интерполяция обычно бывает линейной, в более сложном случае используется интерполяция функцией $\sin(x)/x$. На рис. 5.46 показаны осциллограммы цифрового осциллографа LeCroy — WS-452, с полосой пропускания 500 МГц и частотой дискретизации 2 Гвыб/с. На оба входа прибора подан синусоидальный сигнал с частотой 500 МГц.

Представленный на рис. 5.46 результат говорит лишь об одном — при осциллографировании синусоидального сигнала интерполяция функцией $\sin(x)/x$ дает явное преимущество, так как функция синуса интерполируется функцией синуса. Можно сделать вывод, что такая интерполяция будет иметь преимущество и для

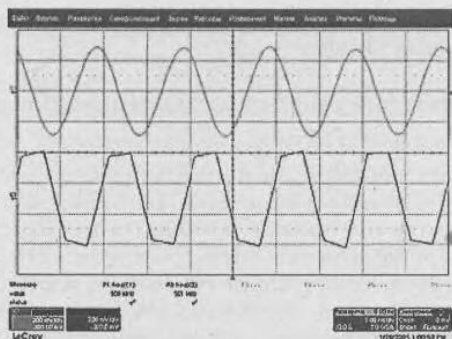


Рис. 5.46. Осциллограммы сигнала 500 МГц, полученные осциллографом LeCroy WS-452 при интерполяции функцией $\sin(x)/x$ (сверху) и при линейной интерполяции (снизу)

представления гладких (плавно изменяющихся) осциллограмм. Однако, осциллограммы разрывных или линейно изменяющихся сигналов будут лучше представляться линейной интерполяцией. Тем более что скорость вывода изображений на экран при этом явно выше.

5.6.4. Использование накопления (аналогового послесвечения)

Мощным средством обработки сигналов в цифровых осциллографах является режим накопления осциллограмм с их усреднением. У некоторых осциллографов он именуется режимом *аналогового послесвечения*, поскольку подобный эффект наблюдался у запоминающих аналоговых осциллографов с длительным послесвечением экрана трубки. Рисунок 5.47 показывает применение этого эффекта для просмотра осциллограмм синусоидального сигнала с частотой 500 МГц с помощью цифрового осциллографа LeCroy WS-452.

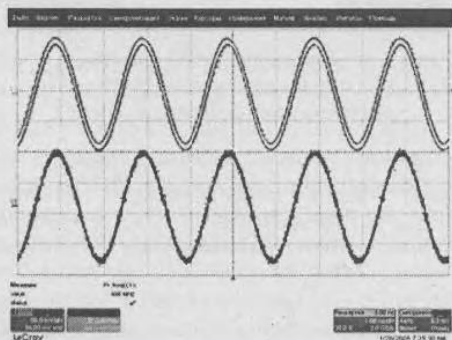


Рис. 5.47. Осциллограммы сигнала 500 МГц, полученные осциллографом LeCroy WS-452 при интерполяции функцией $\sin(x)$ и при линейной интерполяции в случае применения режима аналогового послесвечения

Нетрудно заметить, что при обоих видах интерполяции получена правильная синусоидальная форма сигнала. Осциллограммы при этом получаются «жирными», причем ширина полосок практически одинакова при обоих видах интерполя-

ции. Можно сказать, что в этом случае результаты получаются практически идентичными при обоих видах интерполяции.

5.6.5. Работа с памятью цифрового осциллографа

Специфическим параметром цифрового осциллографа является длина его памяти. Аналоговый осциллограф практически мгновенно реагирует на изменения исследуемого сигнала, и это его достоинство. Впрочем, скорее всего пользователь не слишком оценит его по той простой причине, что он просто не успеет заметить быстро промелькнувшее событие или сфотографировать его осциллограмму.

Цифровой осциллограф обеспечивает обновление изображения на экране после заполнения памяти. Нередко это заметно даже на глаз. Однако использование памяти дает огромное преимущество — можно записать большой фрагмент исследуемого процесса в память и затем спокойно, не торопясь просмотреть любую его часть, вызывая ее из памяти (рис. 5.48). Это делается с помощью окна просмотра, в котором размещается часть хранящейся в памяти осциллограммы. Это напоминает (чисто визуально) наблюдение части изображения при сильно растянутой развертке или при использовании задержанной развертки в аналоговых осциллографах.

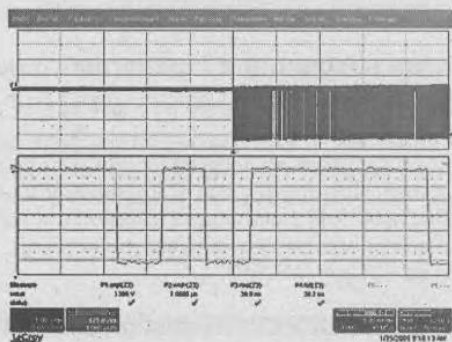


Рис. 5.48. Просмотр части изображения (нижняя осциллограмма) из общего изображения (верхняя осциллограмма), хранящегося в памяти (развертка 5 мс, растянутый фрагмент 1 мкс)

С длиной памяти связаны реальные частоты дискретизации сигналов. Нередко максимальная частота дискретизации (например, 20 или даже 25 ГГц) оказывается недостижимой в режиме реального времени из-за переполнения памяти. Но она может оказаться полезной в режиме усреднения. Память цифровых осциллографов быстро растет — если у Tektronix TDS-3032 она достигает 10 кбайт на каждый канал, то у LeCroy WaveSurfer-432 она составляет 2 Мбайт (правда, на все каналы). Современные цифровые запоминающие осциллографы, например LeCroy Wave Master-8620 A, имеют длину внутренней памяти 96 Мбайт.

5.6.6. Цифровой осциллограф в роли анализатора спектра

Поскольку данные осциллограмм цифровых осциллографов хранятся в виде отсчетов исследуемых сигналов в памяти, то нетрудно организовать вычисление спектров сигналов по алгоритму быстрого преобразования Фурье — чаще всего

дискретного (см. главу 1). Следует сразу отметить, что цифровые анализаторы спектра, построенные по этому принципу, имеют мало общего со специальными анализаторами спектра, выполненными в виде отдельных приборов. Последние представляют собой перестраиваемые радиоприемники с очень узкой полосой частот. Таким образом, они сканируют и строят реальные спектры сигналов, тогда как анализаторы спектра цифровых осциллографов строят всего лишь расчетную спектральную характеристику сигналов, представленных в дискретной форме, программным путем.

Впрочем, стоит отметить, что теоретически и практически преобразования Фурье, лежащие в основе частотного представления сложных сигналов, проработаны настолько глубоко и достоверно, что сомневаться в различии этих двух подходов не стоит. Признаком этого стал массовый выпуск цифровых анализаторов спектров. А также то, что такие анализаторы стали составной частью большинства цифровых осциллографов.

На рис. 5.49 приведен пример спектра амплитудно-модулированного сигнала с несущей частотой 100 МГц, частотой модулирующего колебания 1 кГц и глубиной модуляции 50 %. На спектрограмме отчетливо выделяется пик, соответствующий несущей частоте, и два боковых пика, отстоящих от него всего на 1 кГц.

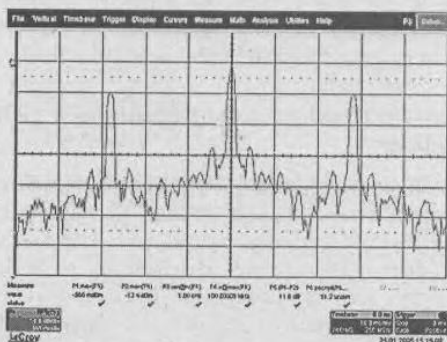


Рис. 5.49. Пример построения спектрограммы АМ-сигнала с помощью цифрового осциллографа LeCroy Wave Pro-7100

Естественно, что для построения такой спектрограммы требуется большой объем памяти. Данная спектрограмма получена на осциллографе LeCroy Wave Pro-7100 при длине памяти 24 Мбайт, причем в режиме автоматических измерений достоверно измерены все параметры АМ-сигнала. Очевидно, что при малой длине памяти спектр сигнала будет сильно искажен, вплоть до потери боковых частот спектра.

5.7. Специальные вопросы осциллографирования

5.7.1. О дискуссии «Good Will против Tektronix»

В последнее время в Интернете развернулась дискуссия о том, какие из цифровых осциллографов — фирмы Good Will или Tektronix — лучше. Участниками дискуссии стали специалисты российских компаний ЗАО «Прист» и Master Tool.

В этом приняла участие и редакция известного журнала «EDN», включившая в арену споров еще и осциллографы фирмы LeGroy.

Подобная дискуссия малопродуктивна, поскольку осциллографы этих фирм реализуют разные концепции осциллографирования и их прямое сравнение не вполне корректно и не объективно. Так, цифровые осциллографы корпорации Tektronix созданы для получения осциллограмм в реальном масштабе времени при максимально возможной частоте дискретизации. В большинстве случаев, если не выходить за рекомендуемые пределы технических возможностей этих приборов, такой подход позволяет получить качественные осциллограммы даже однократных и редко повторяющихся процессов. И это серьезное достоинство осциллографов этой фирмы, которое трудно отрицать перечислением иных достоинств приборов других фирм — «как ни крутись», а все же второстепенных. Ибо главное предназначение осциллографов заключается в правильном отображении производных (в том числе однократных и редко повторяющихся) процессов.

Вместо того, чтобы продолжать эту дискуссию, рассмотрим возможности нового поколения цифровых осциллографов фирмы Good Will. У этих приборов основной акцент сделан на предотвращении потери информации при осциллографировании за счет эффективного применения памяти большой емкости. Некоторые из обсуждаемых возможностей более чем актуальны и для осциллографов другого типа и других фирм. Для иллюстраций воспользуемся материалами статей [30, 31], которые есть в Интернете на сайтах фирм «Прист» и Master Tool.

5.7.2. Как регистрируют процессы различные типы осциллографов

Вначале еще раз и более подробно рассмотрим специфику осциллографирования процессов, у которых возможна временная нестабильность, которую и надо засечь. Допустим, исследуется система, нормально вырабатывающая прямоугольный импульс. Аналоговый осциллограф запускается передним фронтом каждого импульса, и все они будут видны на экране. Внимательный пользователь, скорее всего, засечет момент, когда появится дефектный импульс (рис. 5.50).

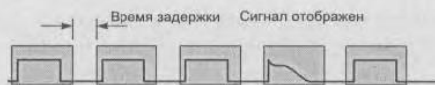


Рис. 5.50. Осциллографирование импульсов аналоговым осциллографом

«Благополучие» аналогового осциллографирования базируется на том, что аналоговые осциллографы имеют малые задержки в выводе информации на экран ЭЛТ. Впрочем, времена нечувствительности есть и тут — это времена выхода луча за пределы экрана и обратного хода развертки. Но хуже другое — скорее всего, пользователь просто не заметит, что один из импульсов (если они достаточно короткие) оказался дефектным — он быстро промелькнет на экране. Тут явно виден главный недостаток аналогового осциллографа — отсутствие памяти. Он устраняется применением аналоговых запоминающих трубок, но осциллографы с ними дороги и очень редки. В связи с появлением цифровых запоминающих осциллографов их выпуск сошел на нет.

А теперь рассмотрим процесс осциллографирования цифровым осциллографом (рис. 5.51). Главный недостаток большинства таких осциллографов — слишком длительное время преобразования сигнала и вывода осциллограмм. В результате

осциллограф захватывает небольшой кусок процесса (в нашем случае первый импульс) и пропускает большую его часть.



Рис. 5.51. Осциллографирование импульсов цифровым осциллографом с памятью на один импульс

Это принципиальный недостаток цифровых осциллографов. В той или иной мере он присущ всем осциллографам этого класса. А потому полное исчезновение аналоговых осциллографов пока не грозит, хотя их выпуск сокращается.

5.7.3. О роли памяти в цифровых осциллографах

Первые достаточно дешевые цифровые осциллографы имели небольшую память — на одну-две осциллограммы. В этом случае риск потерять дефектную часть сигнала был довольно большим. Это иллюстрирует рис. 5.52.

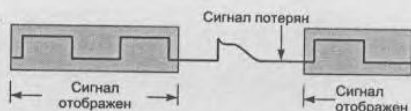


Рис. 5.52. Осциллографирование импульсов цифровым осциллографом с малой памятью

Очевидно, что цифровые осциллографы с большой памятью позволяют схватить сразу большой фрагмент сигнала, в который может попасть и его дефектная часть. Это иллюстрирует рис. 5.53. На нем показан случай, когда память цифрового осциллографа настолько велика, что в нее помещается весь интересующий нас процесс.



Рис. 5.53. Осциллографирование импульсов цифровым осциллографом с большой памятью

То, что для повышения информативности осциллографирования желательна большая память, прекрасно знают разработчики всех цифровых осциллографов. Однако еще с десятков лет тому назад память была дорогой и даже корпорация Tektronix сэкономила на ней в своих младших моделях цифровых осциллографов. Корпорация Good Will воспользовалась этим обстоятельством и из двух зол (низкая частота дискретизации и малый объем памяти) выбрала первую — остановилась на низкой частоте дискретизации. Зато память уже у первых образцов ее цифровых осциллографов была сделана достаточно большой — длина записи на каждый канал 125 кбайт. Уместно отметить, что у некоторых новейших осциллографов она достигает уже десятков Мбайт и имеет явную тенденцию к росту.

5.7.4. Применение окна для просмотра части содержимого памяти

Даже при большой памяти объем информации, отображаемый из нее, ограничен. А поэтому цифровые осциллографы позволяют просматривать ее всю, но по частям — с помощью временного окна, которое как бы перемещается по области просмотра. Это иллюстрирует рис. 5.54, на котором показан просмотр длинной синусоиды. Разумеется, этот способ применим для любого вида просматриваемых процессов.

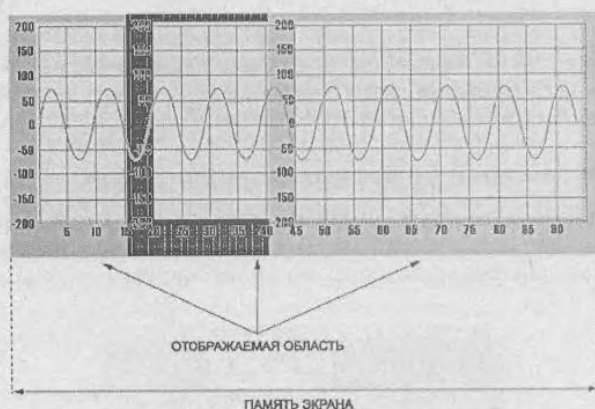


Рис. 5.54. Принцип просмотра содержимого длинной памяти с помощью временного окна

Как такой просмотр осуществляется на практике, демонстрирует рис. 5.55. Здесь дана осциллограмма довольно сложного процесса, содержащего пачки импульсов, представленная на экране цифрового осциллографа GDS-820 фирмы Good Will. На ней рассмотреть сами импульсы невозможно.

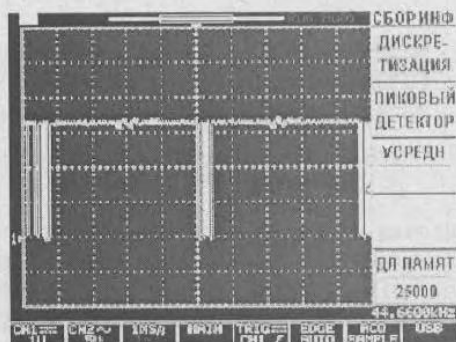


Рис. 5.55. Просмотр сложного сигнала на цифровом осциллографе GDS-820 фирмы Good Will

Однако, включив режим просмотра длинной памяти и используя ручку смещения луча по горизонтали, можно просмотреть всю осциллограмму при достаточно

короткой развертке и выделить для просмотра небольшой фрагмент осциллограммы, сохраненной в памяти. Этот случай показан на рис. 5.56.

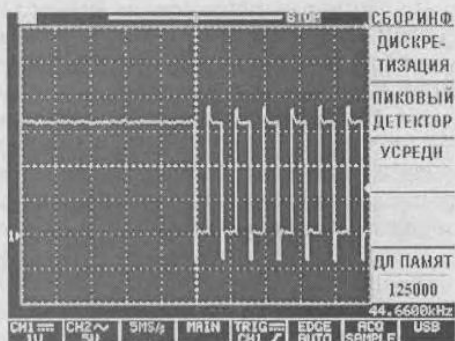


Рис. 5.56. Просмотр фрагмента сложного сигнала на цифровом осциллографе GDS-820 фирмы Good Will

Уменьшив размеры окна просмотра, можно детально просмотреть форму одного импульса. Пример этого дан на рис. 5.57.

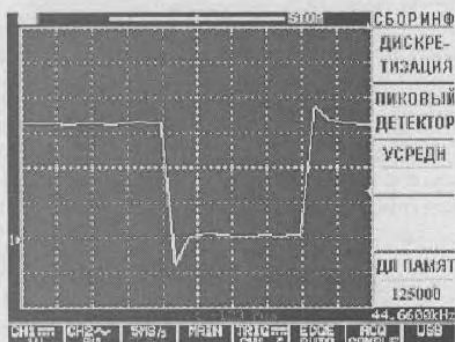


Рис. 5.57. Просмотр одного импульса из сложного сигнала на цифровом осциллографе GDS-820 фирмы Good Will

Каждый цифровой осциллограф имеет специфические особенности в использовании памяти. Она может быть отнесена на один или несколько каналов. Общепринято иметь размер памяти, вдвое превышающий объем, нужный для одного кадра экрана. Так, у осциллографов фирмы Good Will это значит, что осциллограмма соответствует 20 делениям шкалы, хотя экран имеет только 10 делений. Однако, убрав меню с правой части экрана, можно получить два дополнительных деления.

Спецификой, а, пожалуй, правильнее сказать, важным достоинством осциллографов фирмы Good Will является возможность использования внутренней памяти для хранения осциллограмм двух сигналов, задающих допуски на положение и размеры осциллограмм от исследуемого устройства. Это позволяет выполнять допусковый контроль изделий по параметрам их осциллограмм. Такой контроль очень полезен в промышленности.

5.7.5. О случайной дискретизации и эффективной ее частоте

Большинство цифровых осциллографов используют 8-разрядные АЦП для квантования сигналов. По этому параметру осциллографы GW Instek и Tektronix идентичны. Однако способы записи сигналов в АЦП у них различны.

В Tektronix выбран путь дискретизации с заведомо большой и неизменной частотой дискретизации. Так, для 100-мегагерцевых осциллографов частота дискретизации выбрана равной 1 ГГц. Таким образом, на период самой высокочастотной синусоиды остается 10 выборок. Этого мало при линейной интерполяции, но вполне хватает при интерполяции вида $\sin(x)/x$. Именно поэтому осциллографы Tektronix ценятся при исследовании сигналов в реальном масштабе времени, в частности однократных и редко повторяющихся.

Недостатком такого способа является то, что информация между точками дискретизации теряется безвозвратно несмотря на высокую скорость дискретизации. Особенно явно это проявляется при осциллографировании коротких импульсов с выбросами на фронтах (рис. 5.58). Нетрудно заметить, что выбросы могут быть потеряны. Но зато такой способ прост и требует небольшой памяти на хранение отсчетов сигнала.

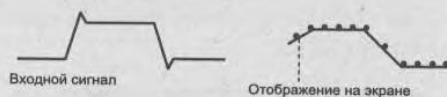


Рис. 5.58. Дискретизация при постоянной частоте выборок

GW Instek в своих моделях использует другой способ дискретизации входного сигнала — нерегулярной дискретизации. Дискретизация входного сигнала происходит с частотой 100 Мв/с в секунду, причем за каждый период развертки точки дискретизации выбираются хаотически и повторные попадания в ранее выбранные точки исключаются (рис. 5.59).

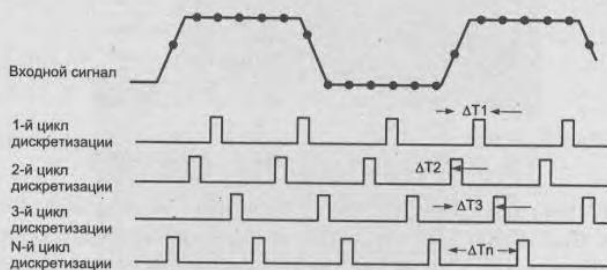


Рис. 5.59. Дискретизация за N циклов развертки со случайным сдвигом моментов стробирования

За количество N периодов развертки на периодическом сигнале не остается точек, не подвергшихся дискретизации, включая мелкие детали (рис. 5.60). Достоинством такого способа является возможность использовать «длинную» память и большая достоверность воспроизведения периодических сигналов. Недостатком — возможность исследования однократных сигналов только с частотой до 7,5 МГц (необходимо, как минимум, 20 точек для отображения сигнала, при частоте входного сигнала 150 МГц).

Наличие «длинной» памяти и возможность изменения ее длины дают возможность манипуляции со скоростью дискретизации в широких пределах, особенно при исследовании сигнала в диапазоне времени развертки до 20 мкс. При уменьшении времени развертки объем памяти автоматически сокращается. Наличие большого объема внутренней памяти и применение передовых принципов обработки сигнала дает возможность получить эквивалентную частоту дискретизации периодических сигналов до 25 Гв/с. Эквивалентная частота дискретизации связана с длиной памяти формулой:

$$f_{\text{вэкв}} = \frac{\text{Длина памяти}}{20 \cdot \text{Длительность развертки}}$$

20 делений на экран выбрано из расчета времени длительности развертки на весь экран (с учетом того, что память 500 бит, т. е. в два раза больше разрешения ЖКИ в 240 точек), поскольку «длина» сигнала в два раза больше «длины» экрана.

При длине памяти 500 бит (это аппаратное ограничение длины памяти на развертке более 200 нс при переходе на эквивалентную дискретизацию) и времени развертки 1 пс, и получаем $f_{\text{вэкв}} = 25$ Гв/с! Еще раз подчеркнем — понятие эквивалентной дискретизации применимо только для периодических сигналов. При исследовании однократных сигналов Tektronix обеспечивает максимальную частоту дискретизации 1 гигавыборку в секунду, а GW Instek только 100 Мв/с. Детальное сравнение (увы, не вполне объективное) можно найти в статье «Цифровые осциллографы компании Good Will Instruments Co. Ltd. (GW Instek)» на Интернет-сайте ЗАО «Прист».

5.7.6. Курсорные и автоматические вычисления

Как и аналого-цифровые осциллографы, приборы фирмы Good Will имеют возможности в проведении курсорных и автоматических измерений (рис. 5.63). Есть также возможности выполнения над сигналами ряда математических операций, например усреднения и сглаживания для очистки сигналов от шума.

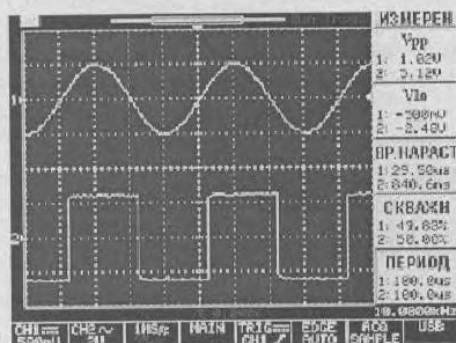


Рис. 5.63. Просмотр осциллограмм с выводом результатов автоматических вычислений на осциллографе фирмы Good Will

В режиме автоматических вычислений определяются:

- временные параметры — частота (F), период (T), время нарастания, время спада, скважность импульсов, длительность импульса (положительная и отрицательная);

- амплитудные параметры — максимальное и минимальное значения ($V_{\max}$, $V_{\min}$); размах от пика до пика (V_{p-p}) — средневыпрямленное, среднеквадратичное, среднее амплитудное значения; среднее из минимального (V_{lo}) и максимального значений (V_{hi}).

На экран можно выводить до 5 измеряемых параметров по обоим каналам. То есть на экран одновременно выводится 10 результатов измерений, плюс результат измерения частоты 6-разрядным частотомером, который всегда присутствует на экране.

Интересно сравнить вывод результатов вычислений в осциллографах других фирм. На рис. 5.64 такой вывод показан для осциллографа фирмы Tektronix серий TDS 1000 и 2000. Нетрудно заметить, что этот прибор выводит меньшее число автоматически измеряемых параметров — максимум 5.

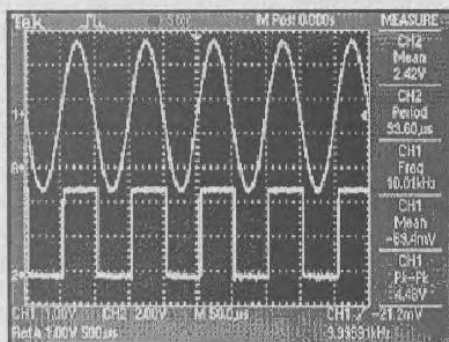


Рис. 5.64. Просмотр осциллограмм выводом результатов автоматических вычислений на осциллографе фирмы Tektronix

5.7.7. Особенности работы разверток и синхронизации

Цифровые осциллографы имеют характерные особенности и в канале X, связанные с работой развертки и синхронизации. Так, помимо традиционных для большинства осциллографов режимов запуска развертки, таких как автоматический, ждущий и однократный запуск развертки, осциллографы серии GW Instek GDS-820 обладают уникальными режимами запуска развертки:

- запуск развертки по длительности импульса;
- задержка запуска развертки по времени;
- задержки запуска развертки по событию;
- выделение телевизионных строк.

В режиме запуска развертки по длительности импульса развертка происходит при длительности импульса соответствующим определенным условиям. Этими условиями могут быть:

- длительность импульса равна заданному значению;
- длительность импульса не равна заданному значению;
- длительность импульса больше заданного значения;
- длительность импульса меньше заданного значения.

При совпадении заданных условий для длительности импульса происходит запуск развертки.

При задержке запуска развертки по времени пользователь может задать время задержки от момента появления импульса синхронизации до момента запуска линии развертки (рис. 5.65). Эту задержку можно регулировать в пределах 100 нс...1,3 мс. В момент появления первого импульса запускается схема задержки синхронизации, время задержки определяется пользователем и равно T , после окончания этого времени линия развертки будет запущена первым импульсом, следующим после окончания времени задержки.



Рис. 5.65. Временные диаграммы запуска развертки по заданному времени задержки

При запуске развертки по событию пользователь может задать количество событий (импульсов) от момента появления импульса синхронизации до момента запуска линии развертки (рис. 5.66). Пользователь может регулировать количество событий в пределах 2...65000. В момент появления первого импульса запускается схема задержки схемы синхронизации, количество импульсов задержки (на рис. 5.66 их два) определяется пользователем, после окончания последнего события линия развертки будет запущена первым импульсом, следующим после окончания времени задержки (третий импульс).

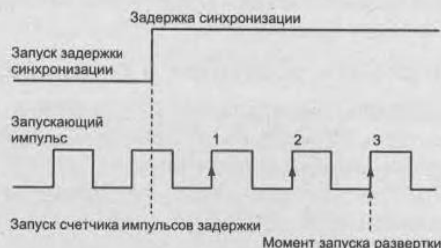


Рис. 5.66. Временные диаграммы запуска развертки по событию

В режиме выделения телевизионных строк возможно выделение телевизионных строк в системах телевидения PAL, SECAM, NTSC по заданному номеру строки и поля, причем в отличие от аналоговых осциллографов, также имеющих такой режим запуска развертки, яркость свечения луча в этом режиме не зависит от выбранного режима.

5.7.8. Быстрое преобразование Фурье и другие возможности осциллографов Good Will

Осциллографы 800-й серии фирмы Good Will обладают и функцией быстрого преобразования Фурье (БПФ). Т. е. они способны выполнять функции цифрового программного анализатора спектра с большим динамическим диапазоном. Он по-

звляет оперативно отобразить спектр сигнала, присутствующего в настоящий момент на экране осциллографа (рис. 5.67), и измерить параметры всех его гармоник.

В серии осциллографов GDS-800 имеются и такие достаточно специфические возможности, как процедура обучения и режим допускового контроля. В режиме обучения осциллограф обучается настройкам и результаты их заносятся во внутреннюю энергонезависимую память прибора. Можно записать состояние всех органов управления, включая не только положение переключателей В/дел и Время/дел, но уровни и режимов синхронизации, режимов работы каналов, режимов измерения и т. д. Вызов этих профилей из памяти достаточно прост и существенно сокращает время установки органов управления при проведении большого числа однотипных операций, при которых необходимо периодически устанавливать разные режимы работы осциллографа. Это необходимо, например, на сборочном конвейере в цеху. Но впервые применена привязка вызова профилей ко времени.

Это означает, что в режиме обучения осциллографа оператор устанавливает необходимый профиль. В этом режиме у оператора нет необходимости вообще производить какие-либо манипуляции с органами управления осциллографа. Этот режим еще более облегчает процесс применения осциллографа на конвейере, где встречаются периодические последовательности однотипных операций.

В режиме допускового контроля в осциллограф, по одному из портов с компьютера или в ручном режиме с передней панели осциллографа, записывается так называемая *маска*. Это некий шаблон, в пределах которого должен находиться сигнал. Если входной сигнал находится в пределах этого шаблона — осциллограф индицирует режим «годен», если какая-нибудь часть входного сигнала выходит за пределы маски — осциллограф индицирует режим «не годен». Гнездо выхода «годен/не годен» находится на задней панели. Этот режим может быть применен в системах телекоммуникации для постоянного контроля за формой сигнала или при наладке и регулировке различного оборудования, когда есть необходимость подстройки формы сигнала по определенному шаблону.

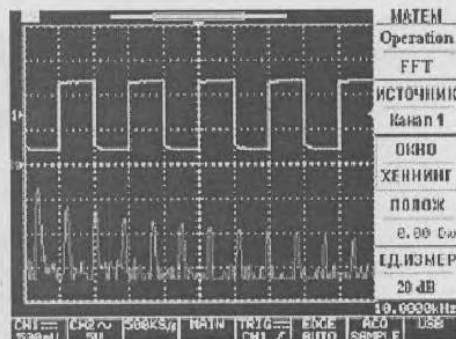


Рис. 5.67. Осциллограммы меандра и его спектра

5.7.9. Применение осциллографов с цифровым люминофором

Как уже отмечалось в главах 3 и 4, в серии 3000 осциллографов фирмы Tektronix реализована новая концепция цифрового люминофора. Так именуют электронный блок с памятью, включенный между АЦП и дисплеем (рис. 5.68). Здесь: Amp — входной усилитель оси Y, A/D — аналого-цифровой преобразователь, Digital Phosphor — блок цифрового люминофора, Display — дисплей, uP — процессор управления дисплеем.

Функциональная схема рис. 5.68 проясняет суть осциллографирования с помощью таких осциллографов: по существу осциллограмма с дополнительным параметром — интенсивностью — формируется в блоке цифрового люминофора и с помощью управляющего процессора периодически и с высокой скоростью передается

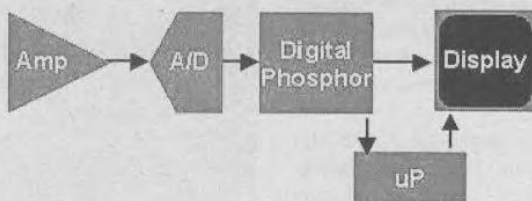


Рис. 5.68. Упрощенная функциональная схема осциллографа с цифровым люминофором

дисплею для отображения. Затрачиваемое на это время не входит во время накопления и преобразования информации. Все это и обеспечивает новые возможности таких осциллографов.

На рис. 5.69 показана осциллограмма сложного нестабильного процесса и содержащая сверху гистограмму интенсивности.

На другом рисунке (рис. 5.70) показана трехмерная осциллограмма множества телевизионных сигналов. Третье измерение здесь задано уже не интенсивностью, а высотой осциллограмм — при их построении помимо осей X и Y введена ось Z, так что осциллограммы строятся как поверхности в 3D-пространстве.

Наличие третьего измерения (интенсивности сигнала или высоты Z) резко расширяет объем информации о сигнале и нередко позволяет выяснить такие его особенности, которые не видны при обычном двумерном (2D) осциллографировании. Это открывает широкие возможности в диагностике сложных процессов, например в двигателях внутреннего сгорания при их тестировании в службах сервиса.

Осциллографы с цифровым люминофором копируют и функции аналоговых запоминающих осциллографов, накапливая в блоке цифрового люминофора множество осциллограмм и отображая затем их на экране дисплея. На рис. 5.71 представлена иллюстрация такого режима работы DSO. Нетрудно понять, что этот режим, подобный режиму аналогового послесвечения в других осциллографах, позволяет эффективно отслеживать случайные сбои в работе исследуемых устройств или редко повторяющиеся неисправности.

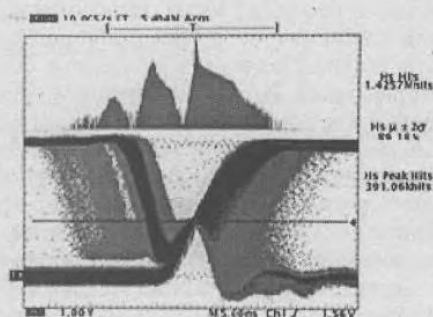


Рис. 5.69. Осциллограмма сложного нестабильного процесса с гистограммой интенсивности

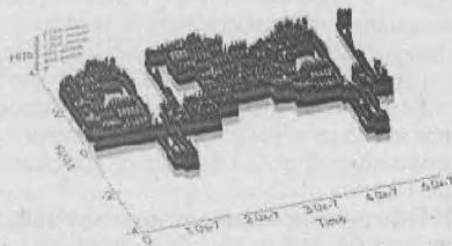


Рис. 5.70. Трехмерные осциллограммы телевизионных сигналов

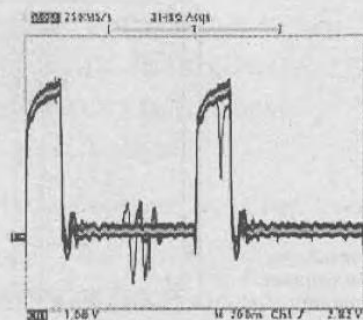


Рис. 5.71. Пример работы осциллографа с цифровым люминофором в режиме накопления осциллограмм

Для наблюдения сложных процессов и построения фигур в плоскости X—Y (например, сложных фазовых портретов систем с несколькими особыми точками, например фокусами) также полезен цифровой люминофор. Рис. 5.72 дает пример осциллограммы такого рода.

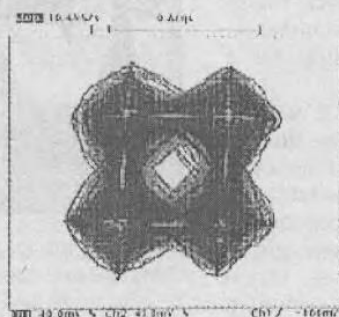


Рис. 5.72. Пример осциллограммы процесса, построенной в плоскости Z

Благоприятной областью применения осциллографов с цифровым люминофором является энергетика и устройства импульсного и иного преобразования электрической энергии. Как известно, ключевые преобразователи на современных переключающих приборах (мощных полевых и биполярных транзисторах, тиристорах, ГТО-модулях и т. д.) теоретически обеспечивают коэффициент полезного действия до 100%, но характеризуются очень сложными процессами. Разобраться в них без современных осциллографов просто невозможно.

На рис. 5.73 показано включение ключа на мощном полевом транзисторе в измерительную схему преобразователя. С помощью токовой петли контролируется ток, текущий через транзистор. Для контроля напряжения на нем желательно применение осциллографа с оптической развязкой входа.

Рис. 5.74 демонстрирует возможность представления серии осциллограмм напряжения и тока ключа рис. 5.73, полученных с помощью осциллографа с цифровым люминофором. Следует отметить, что осциллограммы могут быть цветными, что заметно повышает их информативность.

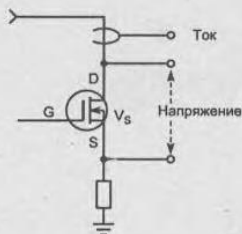


Рис. 5.73. Ключ на мощном полевом транзисторе — основной компонент преобразовательных устройств

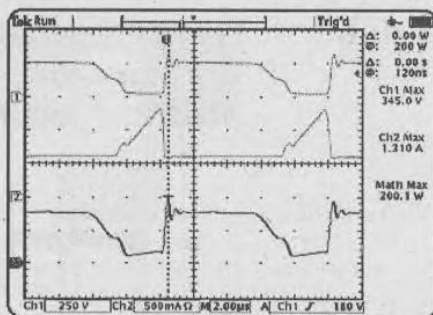


Рис. 5.74. Серия осциллограмм для ключа на мощном полевом транзисторе

Многие преобразователи используют широтно-импульсную модуляцию, уровень которой постоянно меняется при изменении питающего напряжения и нагрузки. Это требует запоминания осциллограмм, иллюстрирующих модуляцию. Пример таких осциллограмм представлен на рис. 5.75. Здесь также используется режим накопления осциллограмм и представление их с разной интенсивностью.

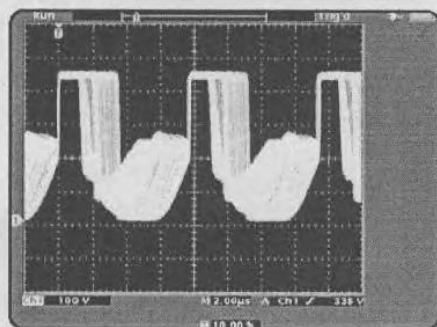


Рис. 5.75. Осциллографирование непрерывно изменяющихся импульсов

Разумеется, осциллографы с цифровым люминофором имеют и многие другие возможности, уже описанные выше. Это курсорные вычисления, автоматические вычисления, представление цифровых данных на экране дисплея вместе с осциллограммами, быстрое преобразование Фурье и работа в режиме анализатора спектра и т. д. Все это делает такие приборы наиболее универсальными в мире современных осциллографов и, несмотря на высокую стоимость таких приборов, обеспечивает им массовость применений и сбыта. Выпуск таких приборов компанией Tektronix достигает десятков тысяч в год.

Глава 6. Практическая работа с компьютеризированными лабораториями

6.1. Интерфейс компьютеризированной лаборатории PC-Lab 2000

6.1.1. Общий вид окна лаборатории PC-LAB 2000

Компьютеризированная лаборатория PC-Lab 2000, описанная в главе 4, является достаточно дешевым комплексом, обеспечивающим вместе с персональным компьютером класса IBM-PC, вполне полноценную и доступную обработку сигналов в двух каналах с полосой частот до 50 МГц. Эта лаборатория может использоваться в научных исследованиях электронных устройств умеренного быстродействия, в качестве учебного комплекса по изучению возможностей цифровой обработки сигналов, а также квалифицированными радиолюбителями.

Ниже представлено описание последней версии 1.38 лаборатории PC-Lab, появившейся в конце 2004 года. Внешний вид окна лаборатории, развернутого во весь экран дисплея компьютера, представлен на рис. 6.1. Жирными надписями поясняется место расположения основных органов управления и важнейших функциональных частей лаборатории. Отметим их назначение:

- меню — основное меню лаборатории с открывающимися позициями (на рис. 6.1 открыта позиция File);
- кнопки режимов работы — ряд больших кнопок, задающих режимы работы лаборатории в качестве осциллографа, анализатора спектра, регистратора событий, функционального генератора и анализатора схем в частотной области;

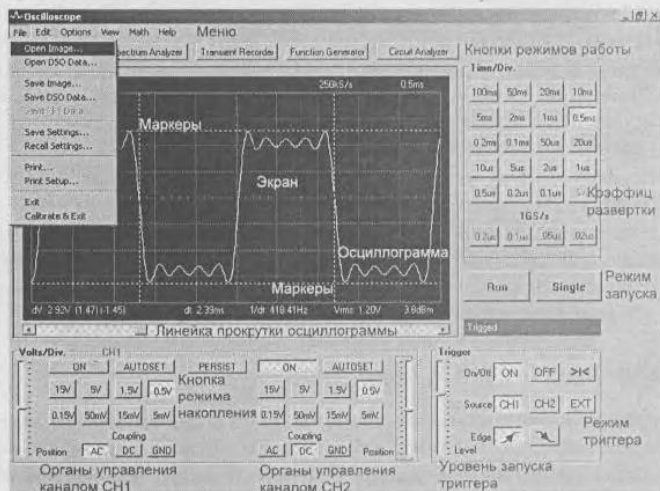


Рис. 6.1. Внешний вид окна лаборатории PC-Lab 2000 (версия 1.38-2004 г.)

- экран — область экрана, в которой отображаются осциллограммы, маркеры (курсоры) для выполнения курсорных измерений и данные основных измерений;
- маркеры — две пары (горизонтальные и вертикальные) точечных линий, представляющих перемещаемый мышью курсор;
- органы управления каналом CH1 — кнопки выбора и автоустановки канала 1, слайдер Position смещения осциллограммы по вертикали, кнопки коэффициентов чувствительности канала CH1 и кнопки выбора типа входа;
- органы управления каналом CH2 — кнопки выбора и автоустановки канала 2, слайдер Position смещения осциллограммы по вертикали, кнопки коэффициентов чувствительности канала CH2 и кнопки выбора типа входа;
- кнопка управления режимом накопления — кнопка PERSIST, задающая режим накопления (запоминания) осциллограмм;
- коэффициенты развертки — набор кнопок, задающих коэффициенты развертки (длительность на 1 большое деление масштабной сетки экрана);
- режимы запуска — кнопки для многократного и разового пуска развертки;
- режим триггера — три группы кнопок, управляющих синхронизацией и триггером развертки (включения и выключения синхронизации On/Off, выбора источника синхронизации Source и управления направлением запуска Edge);
- уровень запуска триггера — слайдер Level, задающий уровень и полярность запуска.

Перечисленные органы управления являются вполне типовыми для современных цифровых запоминающих осциллографов. Это значит, что пользователь, освоивший работу с PC-Lab 2000, готов к грамотному применению любого современного цифрового запоминающего осциллографа. Впрочем, верно и обратное — пользователь таким осциллографом не встретит трудностей при работе с данной лабораторией.

В области каналов окна осциллографа следует особо выделить кнопки ON и AUTOSSET. Первая, будучи отжатой, отключает канал, и его луч не отображается. А вторая включает режим автоматической установки коэффициентов чувствительности и развертки, при которых можно достаточно удобно наблюдать сигнал. Это особенно удобно, если параметры сигнала неизвестны и получение его на экране осциллографа связано с трудностями.

Сразу уместно отметить, что работа с органами управления лабораторий осуществляется мышью. Например, для нажатия той или иной кнопки достаточно установить на нее курсор и щелкнуть левой клавишей мыши. Для перемещения курсора, движка слайдера или линейки прокрутки достаточно установить на них курсор мыши, нажать левую клавишу и, удерживая эту клавишу, начать перемещение мыши. Завершается оно отпусканием левой клавиши мыши.

6.1.2. Добавление текста в окно экрана

Функции правой клавиши мыши в лаборатории PC-Lab 2000 ограничены. Она предназначена только для задания на экране и позиционирования текстового комментария. Установив курсор мыши в нужном месте экрана, надо щелкнуть правой клавишей мыши — появится окно добавления текста Add Text (рис. 6.2), в котором можно задать нужный текст.

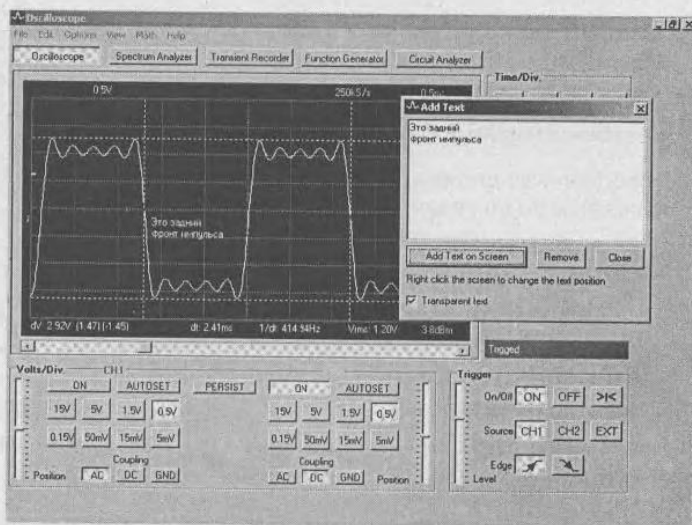


Рис. 6.2. Добавление текста в экран

К сожалению, вставить в экран можно только одну надпись, для чего достаточно в окне Add Text нажать мышью кнопку Add Text on Screen. Надпись с экрана можно убрать, нажав кнопку Remove. Можно закрыть окно Add Text, нажав кнопку Close. Фон текстовой надписи непрозрачный, поэтому изображения курсоров или осциллограмм под текстовой надписью исчезают (рис. 6.3).

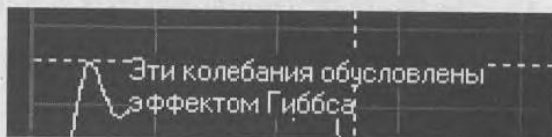


Рис. 6.3. Текстовая надпись, закрывающая осциллограмму и маркеры

Если установить опцию Transparent text, то выводимая надпись приобретает прозрачный фон и через нее можно видеть осциллограмму и маркеры. Этот вариант вывода представлен на рис. 6.4.



Рис. 6.4. Текстовая надпись с прозрачным фоном, не закрывающая осциллограмму и маркеры

Следует отметить, что куда более сложное текстовое и цветовое оформление осциллограмм возможно с помощью обычных графических редакторов. Поэтому усложнять комментирование в PC-Lab 2000 не оправдано. Тем более что PC-Lab 2000 создает графические файлы экрана и их можно обрабатывать в любом графическом редакторе.

ческом редакторе. Это чрезвычайно удобно при оформлении презентаций научных докладов на конференциях, подготовке отчетов, диссертаций и дипломных проектов.

6.1.3. Меню лаборатории PC-Lab 2000

Как всякая программная система, виртуальная лаборатория PC-Lab 2000 имеет стандартное меню (рис. 6.1) с рядом позиций:

- File — операции с файлами;
- Edit — выполнение команд копирования Copy и переноса Paste;
- Options — установка опций лаборатории;
- View — установка видимости параметров на экране;
- Math — установка математических операций;
- Help — открытие окна справки.

Каждая позиция меню открывается указанием на нее курсором мыши и щелчком левой клавиши мыши (см. рис. 6.1 с открытой позицией File). При этом становится возможным исполнение относящихся к ней команд. Меню PC-Lab 2000 является контекстно-зависимым. Проявляется это в отсутствии позиции Math в меню режима регистрации и частотного анализа схем.

Некоторые из позиций меню содержат общепринятые команды. Например, таковы команды Copy и Paste в позиции Edit меню. Команда Copy копирует содержимое экрана в буфер Clipboard операционной системы Windows (для определенности отметим, что приведенное здесь описание относится к работе PC-Lab 2000 в среде операционной системы Windows XP любой модификации). Команда Paste вызывает из буфера изображение и размещает его на экране. Таким образом, можно вернуть изображение на экран, если оно было размещено в буфере. Щелчок левой клавиши мыши при курсоре, установленном на экране, стирает изображение осциллограмм, введенных командой Paste. Но изображения курсоров и масштабной сетки остаются.

6.1.4. Позиция Options меню

В позиции Options меню задается установка следующих опций:

- FFT Windows — установка частотных окон при БПФ;
- FFT Options — установка опций БПФ;
- Hardware Setup... — установка порта, используемого осциллографом;
- Color... — установка цвета объектов экрана;
- Trigger Options — установка опции очистки сигнала синхронизации от шума.

Первые две опции относятся к применению лаборатории в качестве анализатора спектра, и рассмотрены ниже. Позиция Hardware Setup... открывает окно установки режима работы осциллографа (режим демонстрации или реальной работы), а также адрес параллельного порта, по которому осциллограф PCS500 подключается к компьютеру. Это окно представлено на рис. 6.5 и в особых комментариях не нуждается.

Важное значение имеет позиция Color, позволяющая изменить цвета всех объектов экрана и его фона. Эта опция выводит окно смены цветов объекта экрана и

окно выбора цветов (рис. 6.6). Действие с этими окнами вполне очевидно. Второе окно появляется при активизации одной из кнопок первого окна.

По умолчанию экран имеет черный фон и разные цвета осциллограмм и иных объектов, например масштабной сети, курсоров и т. д. Такая цветовая гамма удобна при работе с дисплеем, но не всегда. Более четкое представление осциллограмм получается, если они имеют черный цвет на белом фоне (рис. 6.7). Такая цветовая схема соответствует принятой при черно-белой печати книг и статей и в дальнейшем будет использована именно она.



Рис. 6.5. Окно установки режима работы осциллографа и адреса порта LPT

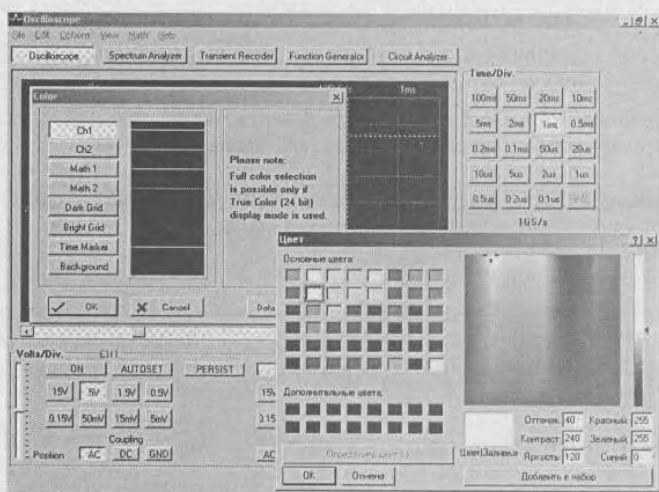


Рис. 6.6. Окна смены цветов объектов экрана (слева, сверху) и выбора цветов (справа, снизу)

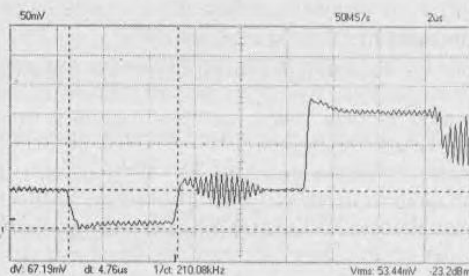


Рис. 6.7. Осциллограмма фрагмента телевизионного сигнала, имеющая черный цвет на белом фоне

6.1.5. Опции позиции View

Позиция View меню содержит контекстно-зависимый набор команд. Это прежде всего опции осциллографа:

- RMS value — вывод данных об измерении значения RMS AC сигнала;
- dBm value — вывод данных об измерении значения dBm AC сигнала;
- Sample Rate — вывод данных о скорости дискретизации (в S/s);
- Waveform Parameters... — вывод окна задания и вывода значений автоматически измеряемых параметров сигналов.

Следующая группа команд задает вывод следующих маркеров:

- Markers DSO;
- Markers FFT f&V;
- Markers FFT f&dV;
- Markers FFT f&Spectral Density dV/sqrt(H).

Есть еще две важные команды:

- Bright Grid — задание повышенной яркости масштабной сетки;
- Dot Join — задание соединения точек.

Соответствующие данные размещаются в верхней или нижней частях экрана и представляют численные значения выбранных параметров.

6.1.6. Позиция Math задания математических операций

Осциллограф PCS500 может выполнять ряд операций с сигналами каналов CH1 и CH2. Они заданы в позиции Math меню:

- CH1 + CH2 — построение осциллограммы суммы сигналов двух каналов;
- CH1 — CH2 — построение осциллограммы разности двух каналов;
- XY Plot — работа в режиме XY (канал CH1 = Y, CH2 = X)
- Inverse CH2 — инверсия сигнала в канале CH2.

Каждый включенный режим выводит изображение кнопки со своим названием под кнопкой PERSIST. Для примера на рис. 6.8 показана подготовка к работе с режимом сложения осциллограмм каналов CH1 и CH2.

Кнопка режима может быть нажатой или отжатой. При нажатой кнопке выполняется соответствующая операция (рис. 6.9). Полученная осциллограмма является суммой осциллограмм, показанных на рис. 6.8. При отжатой кнопке осциллограф возвращается к стандартному режиму отображения сигналов от обоих каналов.

На рис. 6.10 показан пример работы в режиме CH1 — CH2. Нетрудно убедиться в том, что на этот раз полученная осциллограмма представляет разность осциллограмм, представленных на рис. 6.8. Этот режим позволяет осциллографировать разность потенциалов двух любых точек, но при условии, что потенциал каждой точки находится в допустимых пределах.

А рис. 6.11 показывает действие режима XY. Этот режим имеет особо важное значение, поскольку позволяет строить параметрически заданные кривые при раздельной подаче сигналов на оси X (CH2) и Y (CH1). Благодаря этому можно строить фигуры Лиссажу, вычислять фазовые сдвиги, контролировать кратные частоты и использовать осциллограф в качестве характериографа.

Действие команды Inverse CH2 вполне очевидно. Она ведет к перевороту фазы сигнала, наблюдаемого в канале CH2.

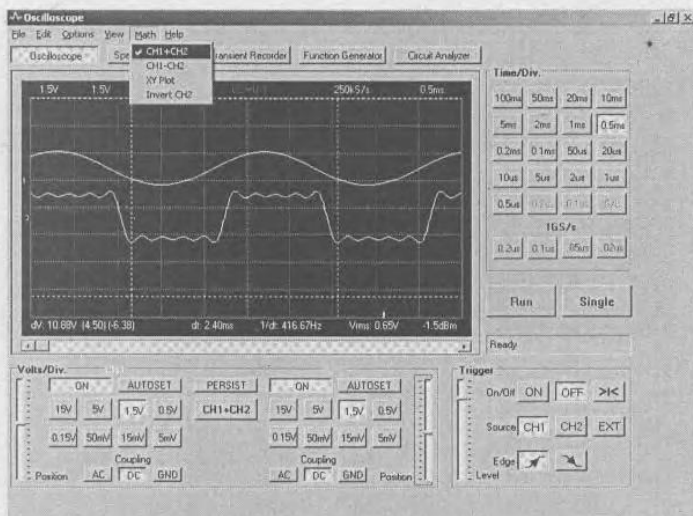


Рис. 6.8. Пример установки режима CH1 + CH2

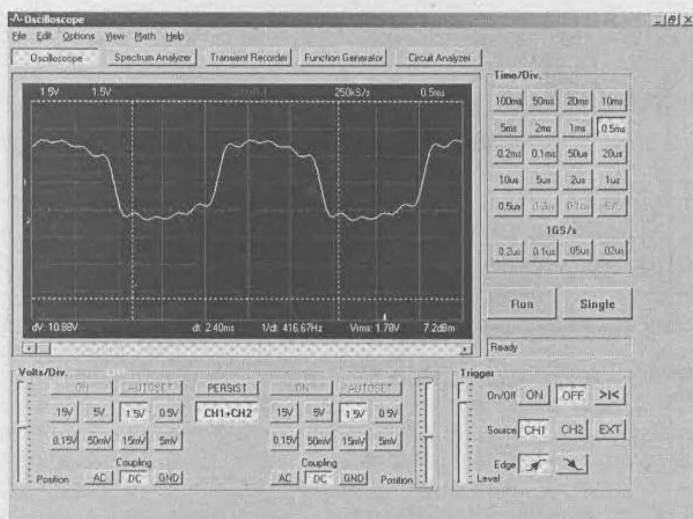


Рис. 6.9. Пример работы в режиме CH1 + CH2

6.1.7. Меню файловых операций File

Как известно, компьютер хранит информацию в виде файлов. Это особая структура кодов, хранящихся на магнитном диске или во флэш-памяти, имеющая название и расширение. Расширение отделяется от названия точкой. Например, data.txt — это текстовый файл с именем data и расширением txt. Расширение файла

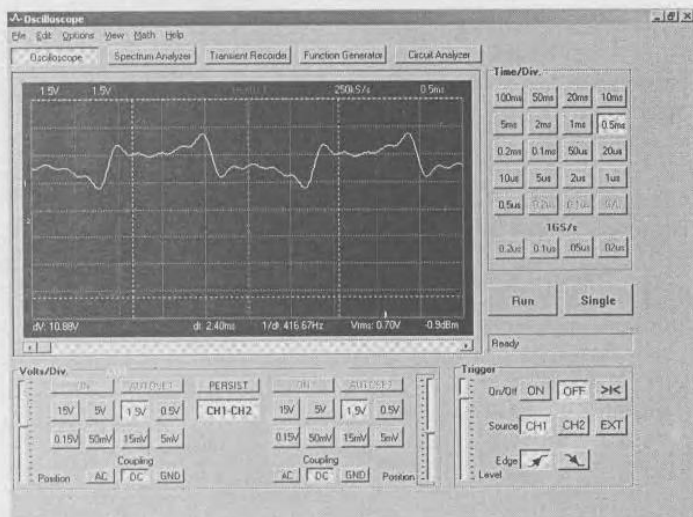


Рис. 6.10. Пример работы в режиме CH1—H2

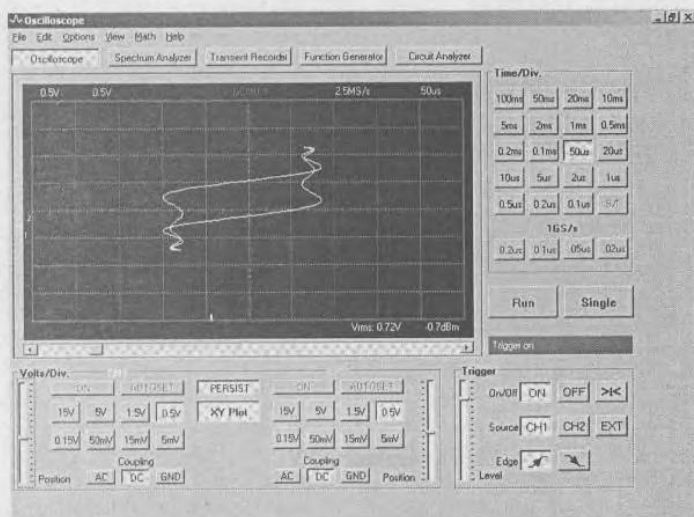


Рис. 6.11. Пример работы в режиме XY

характеризует его тип, например, .txt — текстовый файл формата ASCII, .doc — текстовый файл формата текстового редактора Word, .exe — исполняемый файл и т. д.

Виртуальная лаборатория PC-Lab 2000 обменивается данными с компьютером через файлы. Для этого она позволяет создавать и считывать файлы ряда характерных для нее форматов. Основные файловые операции PC-Lab 2000 сосредоточены в позиции File меню. Она содержит следующие команды (см. рис. 6.1, где эта позиция открыта):

- Open Image... — открытие окна загрузки файла изображения экрана (формат .bmp);
- Open DSO Data... — открытие окна загрузки файла данных осциллографа (в формате .txt);
- Save Image... — открытие окна записи изображения экрана в формате .bmp;
- Save DSO Data... — открытие окна записи данных осциллографа в формате .txt;
- Save FFT Data... — открытие окна записи данных анализатора спектра (в формате .txt);
- Save Settings... — запись сделанных установок в формате .set;
- Recall Settings... — сброс сделанных установок и загрузка ранее сделанных;
- Print... — вывод окна печати изображения экрана;
- Print Setup... — вывод окна установок печати;
- Exit — завершение работы с программой;
- Calibrate & Exit — калибровка и выход из программы.

Знак «...» означает, что соответствующая команда открывает окно файловых операций — загрузки или сохранения файла. Эти окна идентичны и отличаются только титульной строкой. Поэтому ограничимся приведением на рис. 6.12 окна открытия файла рисунков — копий экрана. Отметим, что все записанные файлы хранятся в папке (директории) с именем data, которая имеется в директории программы PC-Lab 2000.

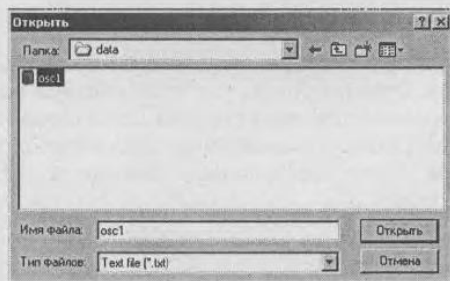


Рис. 6.12. Окно открытия файлов рисунков

6.1.8. Работа со справкой PC-Lab 2000

Позиция Help меню открывает доступ к справке по виртуальной лаборатории PC-Lab 2000. Эта позиция содержит три команды:

- Contents — вывод окна справки;
- Installing Windows XT driver — инсталляция драйвера, необходимого при работе PC-Lab 2000 в среде операционной системы Windows NT;
- About... — вывод окна с данными о текущей версии осциллографа.

Основная команда Contents выводит стандартное и принятое в приложениях под операционную систему Windows окно справки, показанное на рис. 6.13. Окно позволяет работать со справкой и содержит 4 вкладки:

- Содержание — работа с указателем по контексту (содержимому разделов):

- Указатель — работа с алфавитным указателем;
- Поиск — поиск нужных данных по ключевым словам;
- Избранное — просмотр избранных разделов.

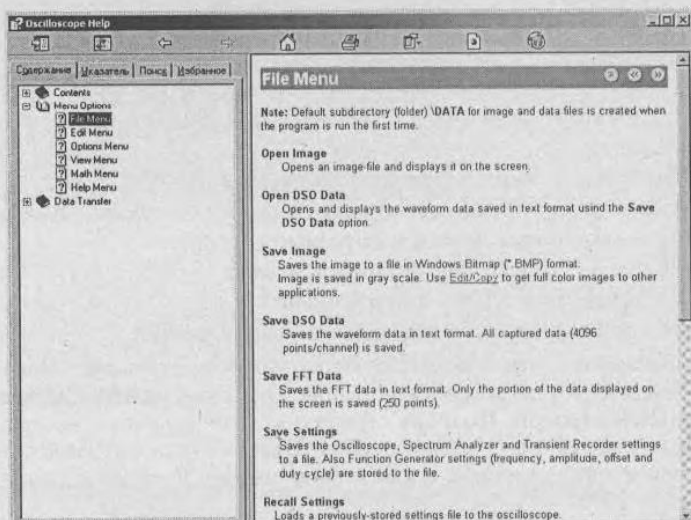


Рис. 6.13. Окно справки по PC-Lab 2000

Работа со справками приложений под Windows общеизвестна и в подробном описании не нуждается. Отметим лишь, что текст справки по PC-Lab 2000 довольно лаконичен (что видно из страницы справки, показанной на рис. 6.13) и представлен на английском языке. Команда About... выводит окно с указанием текущей версии программы — оно уже было показано на рис. 4.19 в центре основного окна PC-LAB 2000.

6.2. Осциллографирование в PC-Lab 2000 в реальных условиях

6.2.1. Просмотр синусоидальных колебаний высоких частот

Выше описаны возможности PC-Lab 2000 в демонстрационном режиме работы. Читатель может с его помощью ознакомиться со многими возможностями этой виртуальной лаборатории, не приобретая ее аппаратуру. Достаточно установить на ПК программу PC-LAB 2000. Однако наибольший интерес, естественно, представляет работа с этой лабораторией в реальных условиях, с реальными сигналами и с реальными аппаратными средствами лаборатории. Только это позволяет выявить как достоинства, так и недостатки данного инструмента и оценить его возможности в измерительной практике.

Начнем изучение возможностей лаборатории с просмотра реального высокочастотного синусоидального сигнала. Осциллограф PC-Lab 2000 имеет диапазон частот до 50 МГц и на этой частоте АЧХ осциллографа уже имеет заметный спад —

до уровня -3 дБ. Подадим на вход осциллографа сигнал от ВЧ-генератора с частотой 50 МГц и кнопкой AUTOSET запустим процесс измерений. Через несколько секунд появится картинка с синусоидой и по кнопкам в окне осциллографа можно судить о заданных параметрах (рис. 6.14).

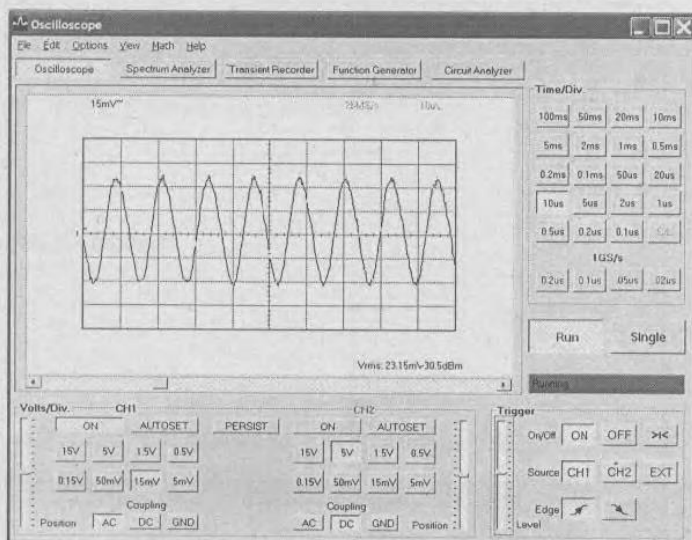


Рис. 6.14. Начало просмотра в автоматическом режиме синусоидального сигнала с частотой 50 МГц

Полученная осциллограмма, несмотря на ее привлекательный вид, типичная «обманка» цифрового осциллографа. Об этом можно судить по установке в нажатое положение кнопки развертки 10 мкс/дел. Из этого можно сделать вывод, что осциллограф показывает частоту сигнала чуть ниже 100 кГц вместо 50 МГц. Откуда же взялась такая неплохая форма сигнала? Это результат работы осциллографа в стробоскопическом режиме, который, вообще говоря, не является для данного осциллографа узаконенным. Обратите внимание на то, что частота стробирования установлена 25 Мс/с (или 25 Мв/с). Этого явно недостаточно для представления сигнала с частотой 50 МГц. Вы можете убедиться в том, что на других развертках можно увидеть все, что угодно (точки, шумы и т. д.), но только не устойчивую 50 -мегагерцевую синусоиду.

В данном случае имеет место именно та ситуация, когда надо воспользоваться работой с частотой выборок 1 Гв/с с усреднением сигналов по многим периодам. При этом можно использовать 4 кнопки установки длительности развертки в $0,2$; $0,1$, $0,05$ и $0,02$ мкс/дел под надписью 1 Гс/с. Выбором самой короткой длительности ($0,02$ мкс/дел), запускается режим осциллографирования с эффективной частотой выборок в 1 Гс/с. При этом в центре окна осциллографа появляется окно с предупреждением о переходе к работе с высокой частотой выборок (рис. 6.15).

Нажав кнопку ОК этого окна, можно увидеть, как в течение нескольких секунд идет обработка осциллограмм. Она завершается выводом осциллограммы синусоиды с частотой 50 МГц (рис. 6.16). На практике осциллограмма немного «дышит»,

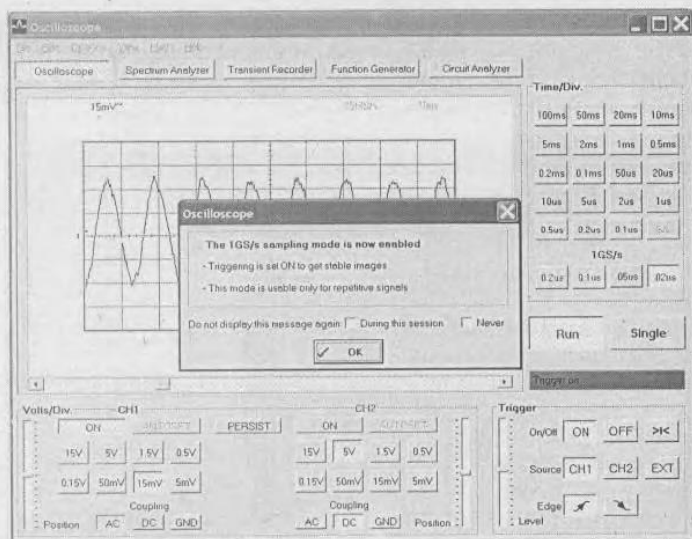


Рис. 6.15. Переход к осциллографированию с высокой частотой выборки

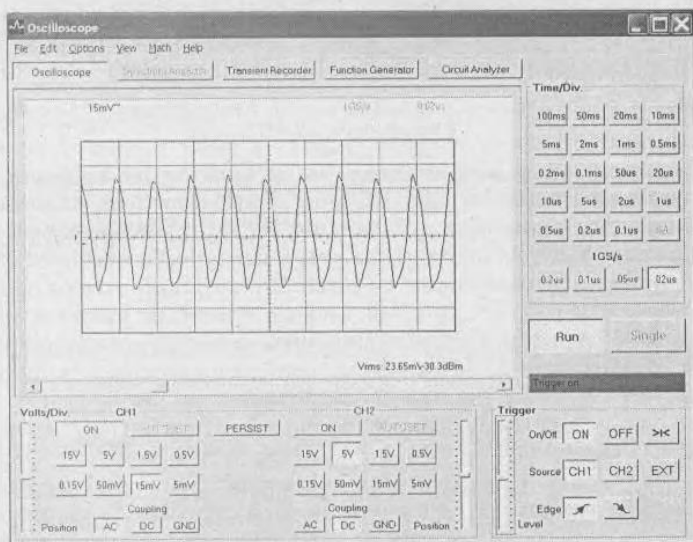


Рис. 6.16. Наблюдение сигнала с частотой 50 МГц и измерение его параметров

что не очень мешает ее наблюдению. Но почти сенсационно выглядит автоматическое вычисление всех двух десятков параметров этого сигнала с предельной для данного осциллографа частотой (рис. 6.17).

Впрочем, если понаблюдать за работой осциллографа, то можно выявить, что время от времени работа автоматической системы измерения параметров нарушается. Для части частотно-временных параметров наступает отказ от их вычисле-

ний и появляются значки ?? (трудности в измерениях) и даже ??? (невозможность измерений) — рис. 6.18. Это наблюдается, если размеры изображения слишком малы или, напротив, велики, если неудачно выбран уровень запуска триггера развертки или длительность развертки. Удивляться этому не стоит — в данном случае осциллограф работает на пределе своих возможностей. И то, что синусоида с частотой 50 МГц все же верно отображена, да еще и с правильным измерением ее параметров в автоматическом режиме, говорит о проработанности аппаратной и программной компонент PC-Lab 2000.

Теперь установим частоту синусоидального сигнала равной 10 МГц. На этот раз измерения проходят вообще «без сучка и задоринки» и параметры сигнала исправно вычисляются (рис. 6.19). Результат в данном случае понятен — частота сигнала хотя и высока для данного типа осциллографа, но уже далека от его высокочастотной границы.

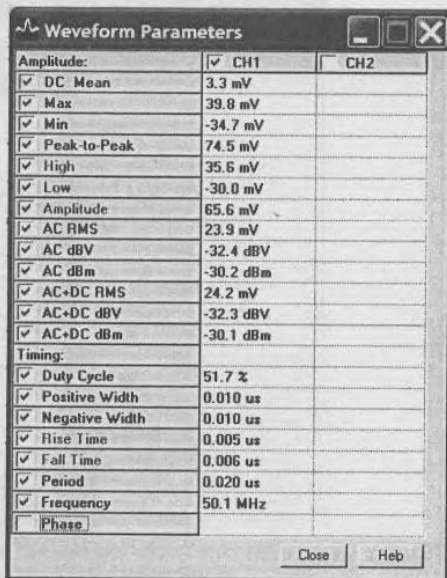


Рис. 6.17. Окно с результатами автоматического измерения параметров синусоидального сигнала с частотой 50 МГц

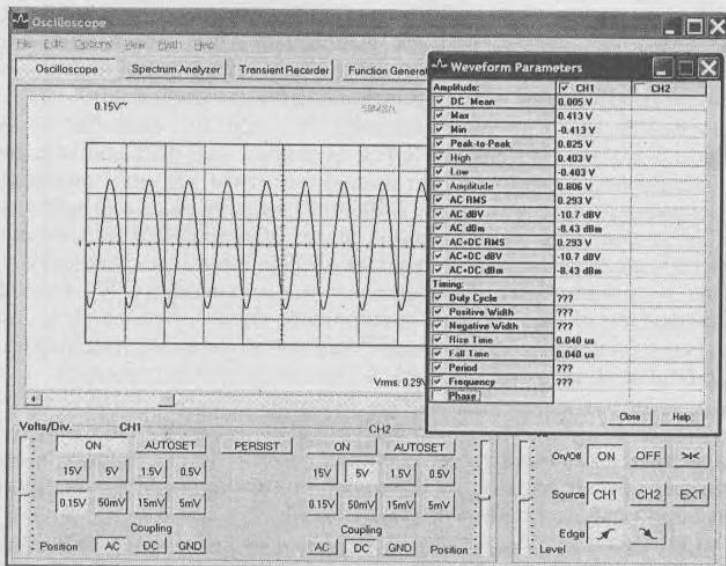


Рис. 6.18. Момент отказа от вычислений ряда частотно-временных параметров

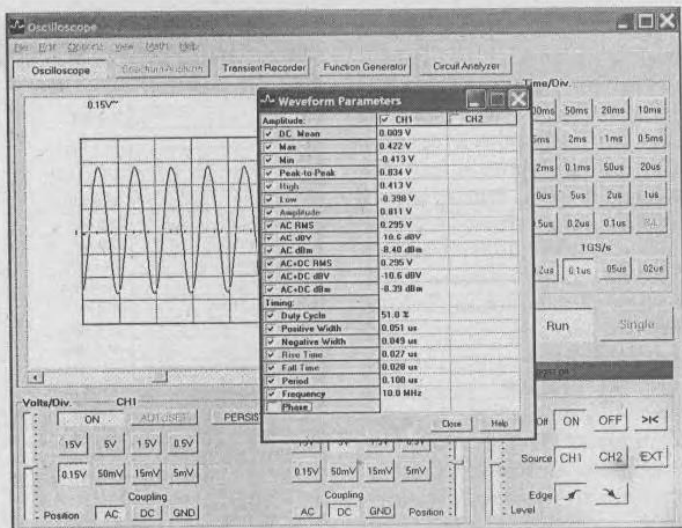


Рис. 6.19. Осциллографирование и автоматическое измерение параметров синусоидального сигнала с частотой 10 МГц

6.2.2. Просмотр амплитудно-модулированного сигнала

Просмотр амплитудно-модулированного высокочастотного сигнала на цифровом осциллографе требует от пользователя особого внимания в виду большой разности частот модулирующего и несущего колебаний. Установки длительности развертки, дающие возможность просмотреть огибающую модулированного сигнала, обычно не позволяют рассмотреть его высокочастотное заполнение. Более того, из-за проявления стробоскопического эффекта иногда можно увидеть «книжное» стилизованное изображение модулированного сигнала (рис. 6.20).

Осциллограмма рис. 6.20 могла бы сойти «за правду», если бы не множитель развертки в 0,5 мс/дел. Из его значения очевидно, что огибающая с частотой в 1 кГц просматривается верно, но вот высокочастотная начинка «выдается» с частотой примерно в 10 кГц, что почти в 1000 раз меньше реальной частоты сигнала в 10 МГц. Тут любопытно только одно — эту стробоскопическую картинку, тем не менее, можно использовать для измерения коэффициента модуляции и установки его нужного значения. Получить картинку модулированного ВЧ-колебания, подобную наблюдаемой на экране аналогового осциллографа (см. например, рис. 5.34) и со сплошной полосой высокочастотного заполнения, можно только у приборов с большой частотой выборки в режиме реального времени.

Впрочем, если резко снизить частоту несущей, то можно наблюдать реальное промодулированное колебание (рис. 6.21). Оно не совсем стабильно, но по нему можно вычислить коэффициент модуляции (в число автоматически вычисляемых параметров он, увы, не входит). С помощью линейки прокрутки можно просмотреть все выборки сигнала в памяти осциллографа и убедиться в том, что моменты достижения амплитудой модулированного колебания минимального и максимального значения периодически повторяются. Это прекрасный пример применения длинной памяти в виртуальной лаборатории PC-Lab 2000.

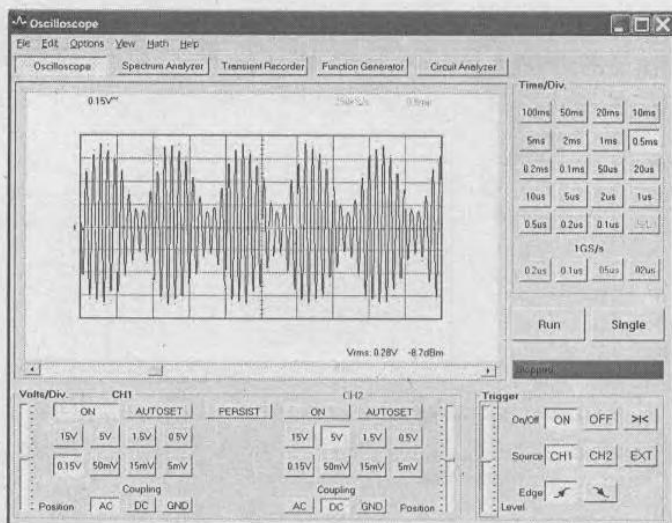


Рис. 6.20. Модулированное колебание с частотой 10 МГц при наличии стробоскопического эффекта

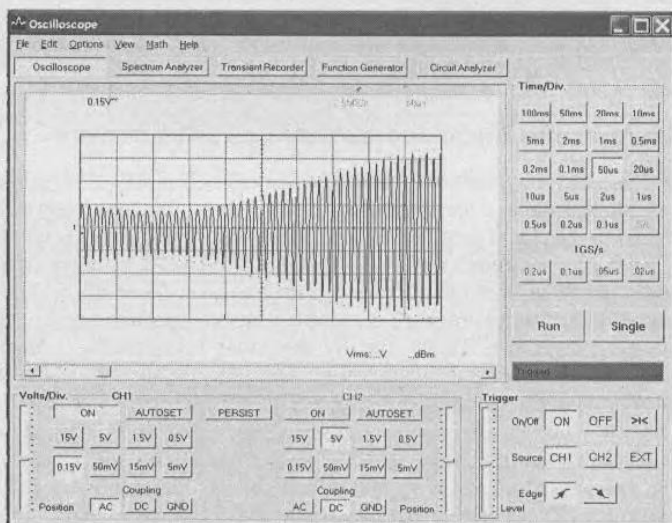


Рис. 6.21. Наблюдение синусоидального колебания с частотой 100 кГц, промодулированного синусоидой с частотой 1 кГц

6.2.3. Функциональная схема исследования электронных цепей и устройств

Для проведения исследования электронных цепей и устройств их надо подключить к виртуальной лаборатории так, как это показано на рис. 6.22. В качестве ге-

нератора испытательного сигнала используется виртуальный генератор PCG10, а для контроля за входным и выходным напряжениями — виртуальный осциллограф PCS500.

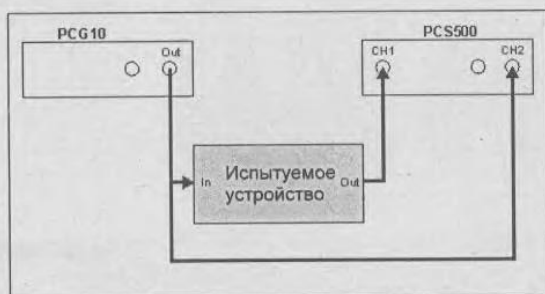


Рис. 6.22. Блок-схема испытания электронного устройства с помощью виртуальной лаборатории PC-Lab2000

При исследовании переходных процессов безразлично, какой канал (CH1 или CH2) используется для контроля входного, а какой — выходного напряжения. Однако при использовании осциллографа в режиме XY (например, для контроля фазы по фигурам Лиссажу) нужно обеспечить использование каналов именно так, как показано на рис. 6.22. Для получения устойчивой внешней синхронизации необходимо соединить показанные на рис. 6.22 свободные разъемы отрезком ВЧ-кабеля.

6.2.4. Исследование дифференцирующей RC-цепочки

Выше уже описано исследование дифференцирующей RC-цепочки с помощью аналогового осциллографа и встроенного в него калибратора, вырабатывающего меандр с частотой 1000 Гц и амплитудой 0,25 В. Применяя виртуальную лабораторию PC-Lab 2000 с функциональным генератором PCG10, получить неизмеримо большие возможности в выборе тестовых сигналов — см. рис. 4.11, на котором показаны окна функционального генератора. Это синусоидальные, прямоугольные, треугольные, шумовые, вида $\sin(t)/t$ сигналы генератора, полтора десятка разных сигналов из библиотеки сигналов и, наконец, сигналы, которые пользователь может задать самостоятельно и включить их в библиотеку сигналов.

Но пока ограничимся применением меандра с частотой 1 кГц и с двойной амплитудой 5 В для исследования дифференцирующей RC-цепи вида, показанного на рис. 5.37 слева, при $R = 51$ кОм и $C = 1000$ пФ. На рис. 6.23 показаны осциллограммы меандра от функционального генератора (верхний луч) и с выхода RC-цепи (нижний луч) при установке коэффициента развертки 0,5 мс/дел. При этом на рис. 6.23 показаны результаты курсорных измерений двойной амплитуды меандра (показания под экраном 5,02 В), периода ($dt = 0,99$ мс) и частоты ($f = 1/dt = 1,01$ кГц). Погрешность измерения периода и частоты оказалась менее 1% (напомним, что частоты сигналов функционального генератора стабилизированы кварцем).

Сравнивая осциллограммы рис. 6.23 с осциллограммами рис. 5.38, полученные с помощью аналогового осциллографа ОСУ20, отметим, что по форме они абсолютно идентичны. Но в случае лаборатории PC-Lab 2000 любой версии появилась возможность курсорных измерений параметров сигналов на входе и выходе

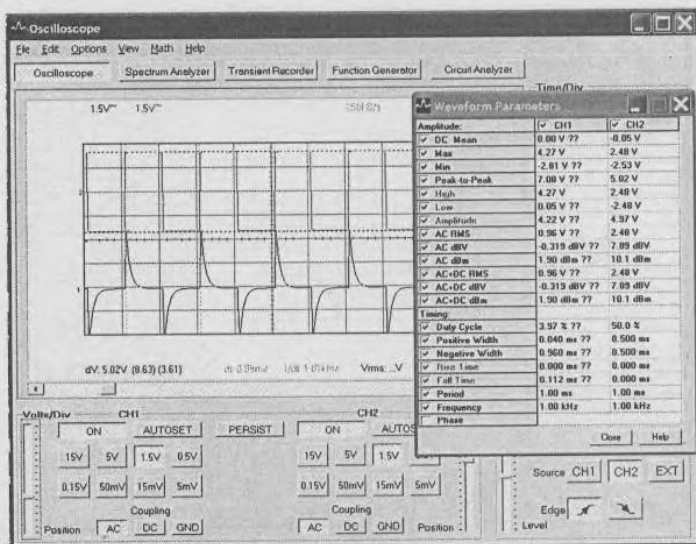


Рис. 6.23. Испытание дифференцирующей RC-цепи средствами лаборатории PC-Lab 2000

испытываемого устройства, да и вид осциллограмм более четкий. А для новейшей версии лаборатории PC-Lab 2000 v. 1.38 (конец 2004 г.) можно провести автоматический замер 21 параметра как входных, так и выходных сигналов. Панель с этими параметрами и результатами их замера показана на рис. 6.23 справа.

6.2.5. Получение семейств осциллограмм в режиме PERSIST

Новая версия лаборатории PC-Lab 2000 v. 1.38 дает еще одну замечательную возможность — построения множества осциллограмм в окне. Это эквивалентно применению 8—10 и более каналов. Для реализации такой возможности используется новый режим накопления осциллограмм PERSIST. Для устойчивой синхронизации в этом случае целесообразно перейти к внешней синхронизации осциллографа с выхода SINC OUT функционального генератора. После этого можно снять серию осциллограмм, например для разных двойных амплитуд меандра в 3, 4, 5 и 6 В. Полученное семейство осциллограмм представлено на рис. 6.24.

Наличие функционального генератора с множеством форм создаваемых им сигналов открывает возможности всестороннего исследования электронных цепей и устройств. Например, на рис. 6.25 представлены семейства осциллограмм, иллюстрирующих реакцию дифференцирующей RC-цепи на импульсы треугольной формы с двойной амплитудой от 1 до 6 В, меняющейся с шагом в 1 В. Применена описанная выше техника съема множества осциллограмм.

6.2.6. Исследование реакции интегрирующей RC-цепочки на меандр

Теперь проведем аналогичное исследование для интегрирующей RC-цепи (рис. 5.37 справа) при тех же значениях R и C . Результаты испытания прямоугольными импульсами (меандр) представлены на рис. 6.26. В правой части рис. 6.26

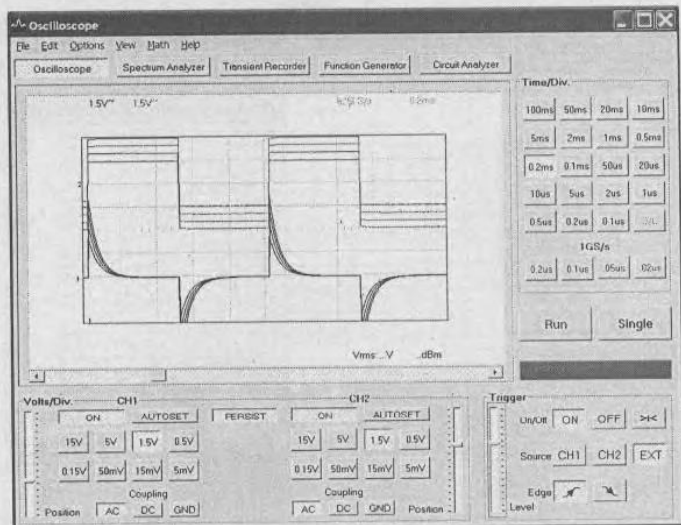


Рис. 6.24. Снятие семейства осциллограмм для разных двойных амплитуд меандра

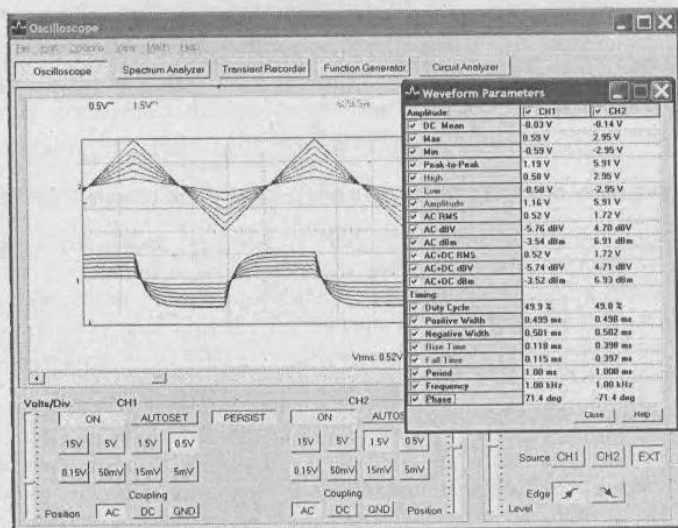


Рис. 6.25. Снятие семейства осциллограмм реакции дифференцирующей RC-цепи на сигнал треугольного вида

показано окно с результатами автоматического измерения параметров входных и выходных импульсов для данного примера.

Сравнивая осциллограммы на входе и выходе интегрирующей RC-цепи рис. 6.26 с ранее представленными результатами ее испытания аналоговым осциллографом ОСУ20, мы вновь убеждаемся в их идентичности и наличии у лаборатории PC-Lab 2000 новых обширных возможностей.

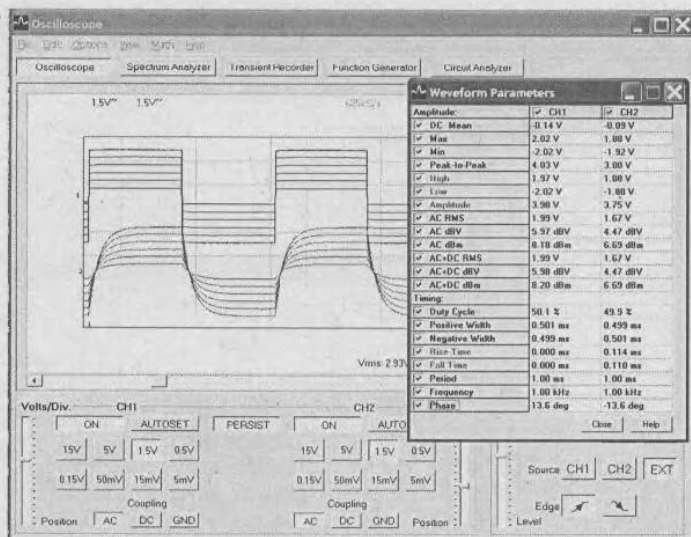


Рис. 6.26. Снятие семейства осциллограмм со входа и выхода интегрирующей RC-цепочки при различных амплитудах меандра на ее входе

6.2.7. Исследование реакции интегрирующей RC-цепочки на сложные импульсы

Как уже отмечалось, функциональный генератор способен генерировать импульсы, временная зависимость которых может описываться библиотечным файлом. Покажем пример этого. На рис. 6.27 представлены окна функционального генератора в момент выбора файла библиотеки с именем trap1, который задает импульсы прямоугольной формы с линейно нарастающей вершиной.

На рис. 6.28 показаны осциллограммы реакции интегрирующей RC-цепи на заданные импульсы. В правой части рисунка выведено окно с результатами автоматических вычислений 21 параметра входного и выходного импульсов.

6.2.8. Исследование реакции LRC-цепочки на меандр

Теперь рассмотрим реакцию LRC-цепочки (колебательного контура — рис. 5.40) на прямоугольные симметричные импульсы (меандр). Осциллограммы для этого случая показаны на рис. 6.29 ($L = 40$ мкГн, $C = 10$ нФ, R как внешний резистор не включалось). Реакция цепи вполне оправдывает ее название — хорошо виден затухающий периодический процесс колебаний в контуре.

Из осциллограмм отчетливо видно, что функциональный генератор имеет конечное выходное сопротивление (50 Ом). В результате колебательный процесс проникает и во входную цепь генератора и видно его наложение на меандр.

6.2.9. Исследование релаксационного генератора

В конце описания классических возможностей осциллографа лаборатории PC-Lab 2000 рассмотрим исследование с ее помощью релаксационного генератора

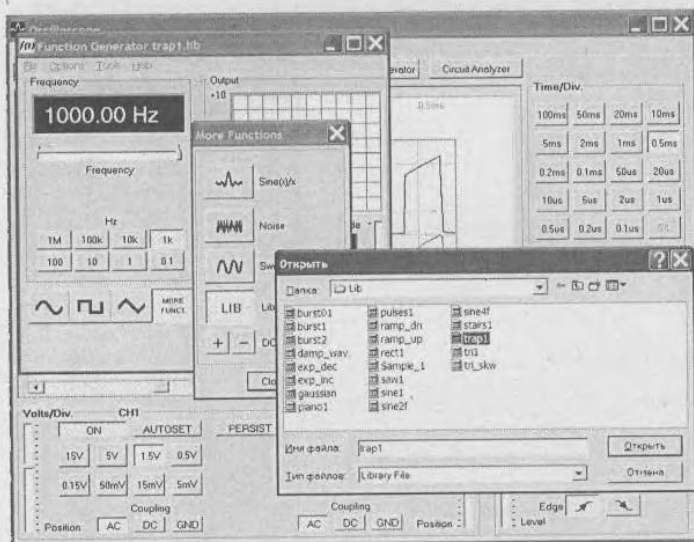


Рис. 6.27. Загрузка в функциональный генератор файла trap1.lib

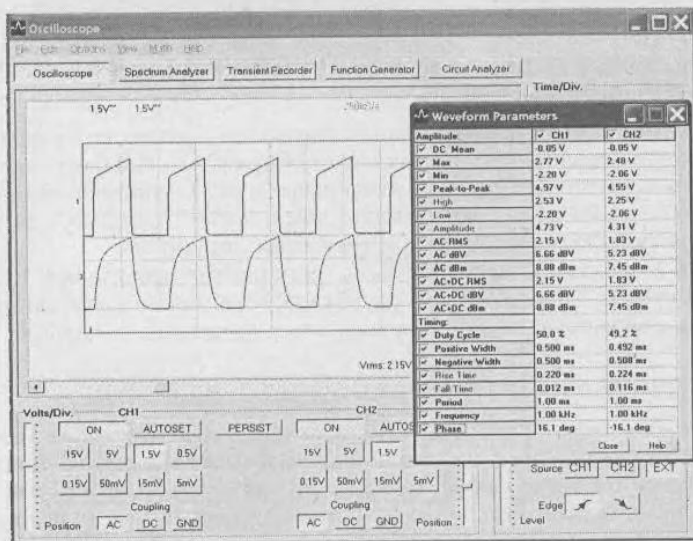


Рис. 6.28. Реакция интегрирующей RC-цепи на импульс из файла trap1.lib

на аналоге однопереходного транзистора, выполненного на двух транзисторах с разным типом проводимости (рис. 6.30). Это устройство имеет S-образную входную характеристику с напряжением включения $U_{вкл}$ и выключения $U_{выкл}$, задаваемыми делителем на резисторах R1, R2 и R3. В автоколебательном режиме работы конденсатор C заряжается через резистор R выключенных транзисторов до напряжения $U_{вкл}$. При этом транзисторы включаются и конденсатор C разряжается до

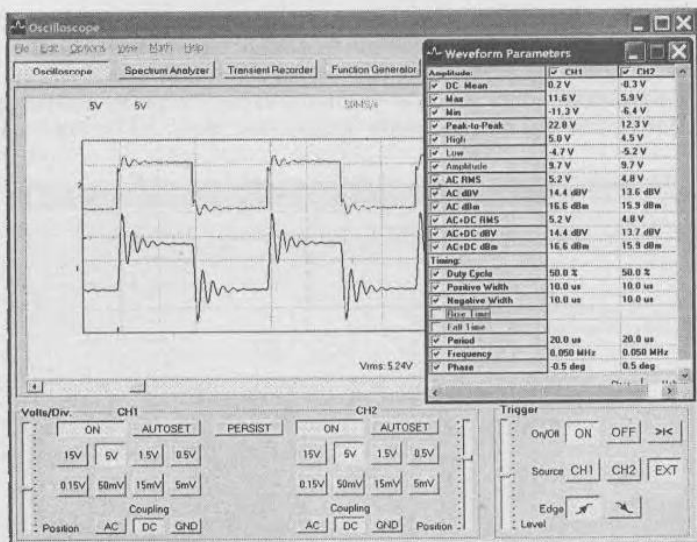


Рис. 6.29. Осциллограммы реакции LRC-цепочки на импульс — меандр

напряжения $U_{\text{выкл}}$. Далее процесс повторяется и на конденсаторе C формируется нелинейно изменяющееся пилообразное напряжение. На этапе разряда C на коллекторе транзистора $T1$ формируется короткий, почти прямоугольный импульс. Его можно использовать для запуска различных импульсных устройств.

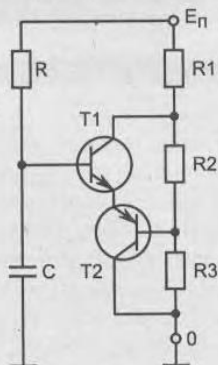


Рис. 6.30. Генератор релаксационных колебания на транзисторном аналоге однопереходного транзистора

На рис. 6.31 показаны осциллограммы и настройки осциллографа, использованные для исследования этого «живого» устройства. Осциллограмма пилообразных колебаний выглядит превосходно и словно срисована с учебника. А вот осциллограмма коротких импульсов с коллектора $T1$ с первого взгляда непонятна. Импульсы имеют странно хорошую прямоугольную форму и разную амплитуду. Некоторые импульсы в моменты разряда C отсутствуют. Это следствие малой частоты стробирования — 2,5 Мв/с на развертке 50 мкс/дел. В результате на каждый

импульс приходится по 2—3 отсчета, что и объясняет их явно неудовлетворительный вид.

Для более четкого представления процессов в данной схеме надо уменьшить длительность развертки до 10 мкс, что увеличит частоту стробирования до 25 Мв/с и позволит наблюдать импульсы более корректно (рис. 6.32). На этом рисунке

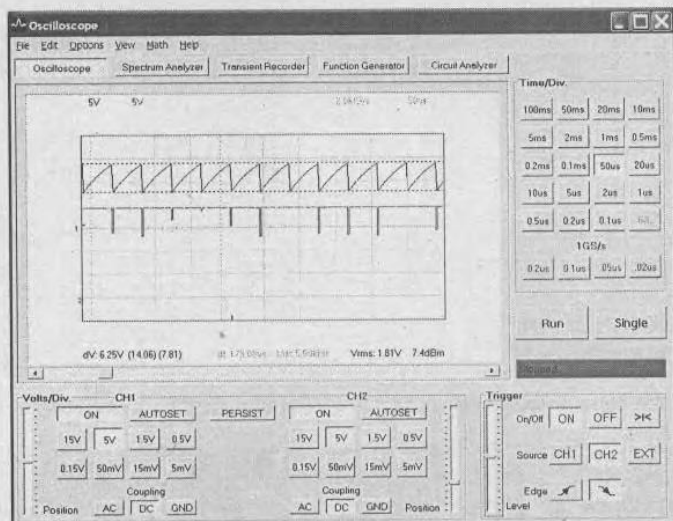


Рис. 6.31. Осциллограммы напряжений на конденсаторе C и коллекторе $T1$ при длительности развертки 50 мкс/дел

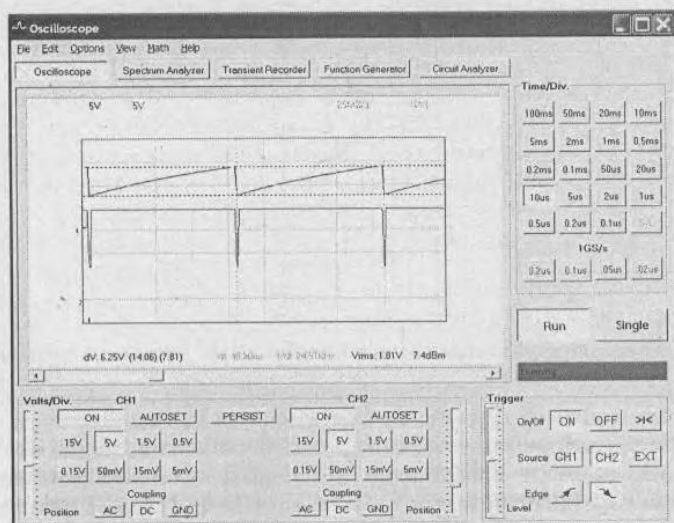


Рис. 6.32. Осциллограммы напряжений на конденсаторе C и коллекторе $T1$ при длительности развертки 10 мкс/дел

представлены и результаты курсорных измерений уровней $U_{\text{вкл}}$ и $U_{\text{выкл}}$, а также периода и частоты колебаний релаксационного генератора.

Чтобы детально просмотреть спад напряжения при разряде C и форму импульсов на коллекторе $T1$, надо уменьшить длительность развертки до 2 мкс/дел. Этот случай показан на рис. 6.33. Заодно на нем показано окно с результатами автоматических вычислений параметров пилообразного напряжения и коротких импульсов на коллекторе $T1$. Они хорошо согласуются с результатами курсорных измерений и дают дополнительную (порой даже избыточную) информацию.

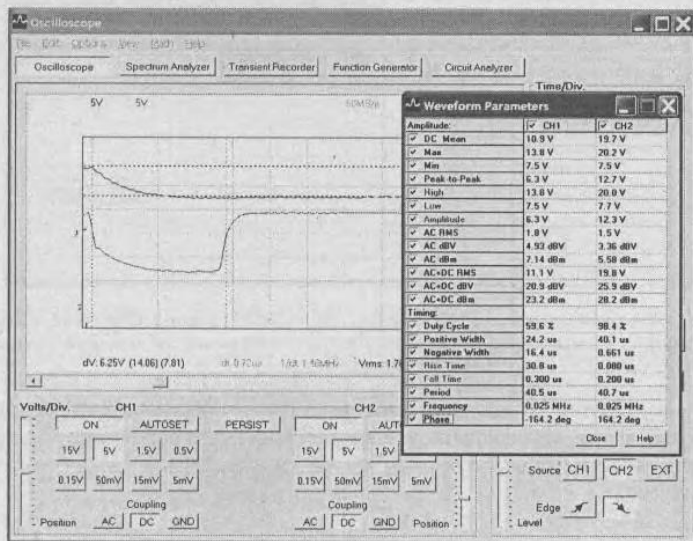


Рис. 6.33. Осциллограммы напряжений на конденсаторе C и коллекторе $T1$ при длительности развертки 2 мкс и окно вывода результатов автоматических вычислений

Рис. 6.34 иллюстрирует работу данного релаксатора в режиме синхронизации от функционального генератора. Вводом резкой несимметрии генератор переведен в режим формирования коротких отрицательных импульсов, которые подаются на базу транзистора $T2$ через конденсатор $C = 30$ пФ. Нижний луч показывает форму напряжения на базе $T2$, верхний — пилообразное напряжение на конденсаторе C .

На базе $T2$ отчетливо видны синхронизирующие импульсы от функционального генератора и хорошо видно, что релаксационный генератор работает в режиме устойчивой синхронизации и деления частоты функционального генератора на три. Каждый третий синхронизирующий импульс вызывает принудительное включение транзисторов и разряд конденсатора C . Изменяя частоту функционального генератора, можно наблюдать синхронизацию для иной кратности частот и срыв синхронизации.

Приведенные примеры применения осциллографа виртуальной лаборатории PC-Lab 2000 наглядно иллюстрирует его корректную работу при грамотном применении и обширные возможности в части представления очень четких осциллограмм, их записи в файлы, возможности представления множества осциллограмм на одном экране, а, главное, возможности автоматизации как начальных устано-

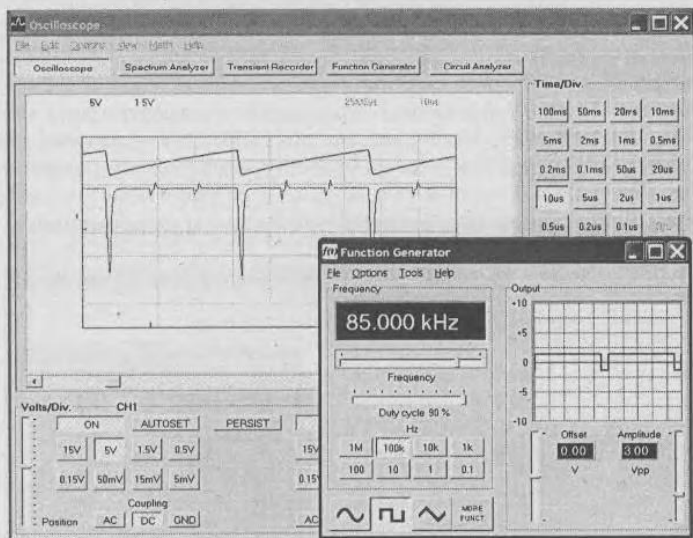


Рис. 6.34. Осциллограммы напряжений на конденсаторе C и базе T_2 в случае синхронизации релаксационного генератора импульсами от функционального генератора

вок, так и измерения 21 параметра осциллограмм. Разумеется, пользователь не должен забывать, что это цифровой осциллограф с конечной скоростью выборки сигналов, что иногда приводит к специфическим эффектам, достаточно подробно отраженным выше.

6.3. Анализ спектра реальных сигналов

6.3.1. Назначение анализаторов спектра

Анализаторы спектра — сложные и дорогие физические приборы. Большинство специалистов в области электротехники и радиотехники, не говоря уже о радиолюбителях, скорее всего в своей жизни никогда не видели анализатора спектра. А многие преподаватели радиотехнических вузов бойко излагают теоретические основы преобразований Фурье на своих лекциях, но практически не могут их подтвердить из-за отсутствия этого очень дорогого прибора.

Анализаторы спектра строят графики спектра различных сигналов. В учебниках такие графики представлены вертикальными черточками для каждой гармоники или иной частотной составляющей спектра. При этом в учебниках рассматриваются спектры идеализированных сигналов, не содержащих шумов и наводок, свойственных реальным сигналам. Поэтому прежде всего стоит уяснить, что от анализаторов спектра нельзя получить идеальных спектров, которые описаны в учебниках. Спектры анализаторов представлены пиками конечной ширины и отягощены шумами и наводками. Нужны специальные навыки, чтобы правильно интерпретировать показания анализаторов спектра.

Существуют различные типы анализаторов спектра. Есть приборы, которые построены на основе перестраиваемого по частоте узкополосного радиоприемни-

ка. Обнаруживая частотную составляющую спектра, приемник создает сигнал, который отображается пиком на экране ЭЛТ. Анализаторы этого типа строят спектр реальных сигналов и наглядно демонстрируют физическую реальность спектров. Тут уместно отметить, что до появления таких анализаторов спектры считали математической абстракцией. На самом же деле спектры вполне реальны, и именно на спектральном подходе базируется большая часть возможностей современной радиотехники и радиоэлектроники.

Другие анализаторы основаны на построении спектров чисто математическими методами, описанными в главе 1. Для этого сигналы дискретизируются и представляются достаточно большой выборкой, позволяющей вычислять сотни и даже тысячи гармоник. Обычно при этом используется дискретное быстрое преобразование Фурье. Благодаря появлению современных ПК такое преобразование стало возможным за вполне приемлемое время.

То, что недавно было доступно избранным из числа специалистов-радиотехников, с разработкой цифровых осциллографов (в том числе виртуальных) стало доступным преподавателям и студентам вузов и даже радиолюбителям. Осциллограф PCS500A виртуальной лаборатории PC-Lab 2000 имеет режим работы в качестве анализатора спектра. Он рассмотрен ниже.

6.3.2. Спектр синусоидального сигнала

Начнем изучать возможности анализатора спектра на базе виртуального осциллографа PCS500A с простого примера — получения спектра реального синусоидального сигнала с частотой 100 кГц от функционального генератора. Получив изображение сигнала на экране осциллографа, переключим его в режим анализатора спектра, нажав мышью кнопку Spectrum Analyzer. Получим спектр такого сигнала, показанный на рис. 6.35.

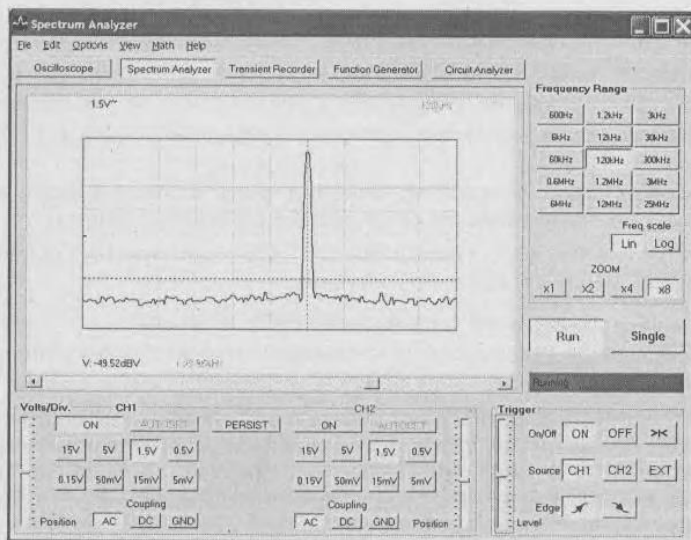


Рис. 6.35. Спектр синусоидального сигнала с частотой 100 кГц

Подвигав ползунок линейки прокрутки под спектрограммой, мы увидим множество и более мелких пиков. Некоторые расположены слева от пика рис. 6.35 и отображают спектральные линии субгармоник сигнала, другие расположены справа и отражают спектры гармоник сигнала. Любой реальный сигнал имеет как субгармоники, так и высшие гармоники. Чем чище сигнал, тем их меньше. Кроме того, отчетливо виден шум у оснований пиков. Это шум как реального сигнала, так и самого анализатора спектра. Частично он обусловлен шумами квантования и джиттером (нестабильностью моментов выборки).

Рис. 6.35 дает явный повод для оптимизма — пик спектра синусоидального сигнала четко выделяется на фоне шумов и является явно самым большим по высоте. По обе стороны от этого пика в основном видны шумовые составляющие. Это говорит о том, что функциональный генератор генерирует достаточно чистый синусоидальный сигнал. С помощью курсорных вычислений высота и положение (частота) пика четко вычисляются. Так, замер частоты дает значение 99,98 кГц. Уровень шумов явно меньше -50 дБ. Ширина пика характеризует разрешающую способность. Она не очень высока и составляет сотни герц.

6.3.3. Работа с окнами и режимами усреднения

Разрешающая способность и точность проведения спектрального анализа в сильной степени зависят от математической обработки данных. Изначально спектральный анализ выполняется из предположения о прямоугольном виде АЧХ, выделяющей частотные составляющие спектра. Однако точность спектрального анализа и степень очистки спектрограмм от шума может быть повышена применением окон специального вида. Напомним, что команда FFT Windows в позиции Options меню анализатора спектра открывает доступ к пяти окнам:

- Rectangle — прямоугольное окно, дающее узкие пики, позволяющие различать синусоидальные составляющие и работать при наличии белого шума;
- Bartlett — окно Бартлетта, дающее узкие пики спектра с быстрым затуханием;
- Hanning — окно Ханнинга, дающее хорошее спектральное разрешение, приемлемое в большинстве случаев и применяемое по умолчанию;
- Blackman — окно Блэкмана с широкой вершиной пиков и быстрым спадом;
- Flat Top — окно с плоской вершиной, дающее хорошее амплитудное разрешение, но плохое разрешение по частоте и размытые пики.

Кроме того, анализатор спектра в PC-Lab 2000 имеет три опции усреднения в позиции Options меню (команда FFT Options):

- Maximum — усреднение по максимальному значению;
- RSM Average — усреднение по среднеквадратическому значению;
- Vector Average — усреднение по вектору данных.

Нормально режимы усреднения отключены и спектрограмма постоянно обновляется. В этом случае шумы, джиттер и наводки ведут к нестабильности спектрограммы. На рис. 6.36 показана спектрограмма синусоиды при использовании опции усреднения RMS Average. Нетрудно заметить существенное ослабление шумовой дорожки спектра.

Другой путь резкого уменьшения шумов заключается в введении операции усреднения в векторе Vector Average. Эта операция, если она включена, работает

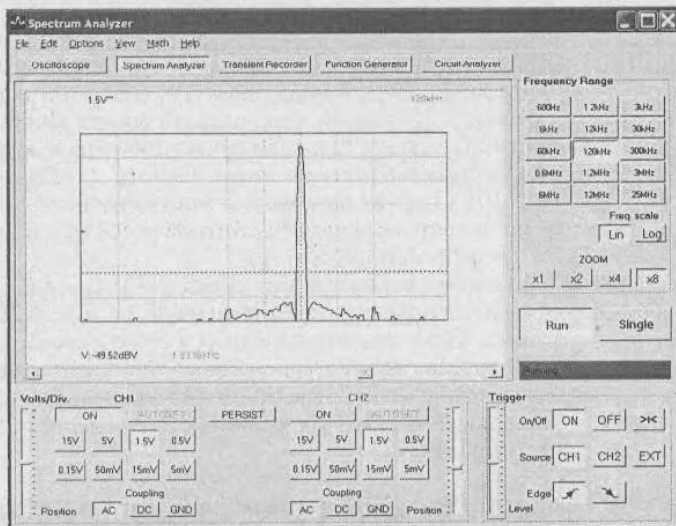


Рис. 6.36. Спектрограмма синусоидального сигнала при использовании опции RMS Average

постоянно и требует длительного времени — порою до десятков секунд. Но она существенно ослабляет шумы и повышает разрешение спектрограмм. На рис. 6.37 показан спектр синусоиды при использовании окна Блэкмана и операции Vector Average. Можно отметить резкое уменьшение шума. Даже самые сильные частотные составляющие имеют уровень меньше 60 дБ, т. е. ослаблены более чем в 1000 раз.

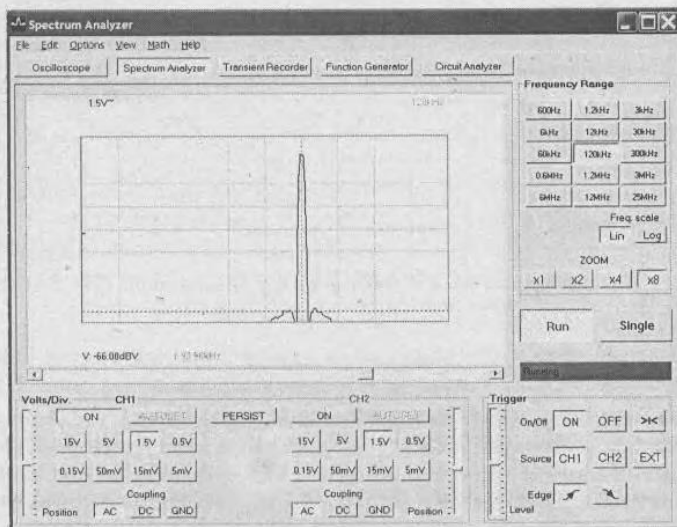


Рис. 6.37. Спектрограмма синусоидального сигнала при использовании окна Блэкмана опции Vector Average

6.3.4. Спектр амплитудно-модулированного колебания

Теперь перейдем к описанию спектра амплитудно-модулированного (АМ) сигнала. Для его получения воспользуемся генератором GW GRG450B и зададим коэффициент модуляции 60—80%. Из теории известно, что спектр амплитудной модуляции представлен частотой несущей (в нашем случае 100 кГц) и двумя боковыми частотами. Если модулирующий сигнал имеет частоту 1 кГц, то боковые частоты будут равны 99 и 101 кГц. Но если форма модулирующего синусоидального сигнала искажена, по появятся боковые частоты 98 и 102 кГц от второй гармоники, 97 и 103 кГц от третьей гармоники и т. д.

Подав сигнал генератора на вход анализатора спектра и установив полосу анализа в 120 кГц, получим spectrogramму, представленную на рис. 6.38. Спектрограмма явно свидетельствует, что с качеством сигнала у этого простого генератора до благополучия далеко. В районе 100 кГц виден большой и размытый пик, в котором едва-едва угадываются боковые полосы от амплитудной модуляции. В области частоты 50 кГц хорошо виден спектр субгармоники. А в области низких частот видны фон и низкочастотные помехи.

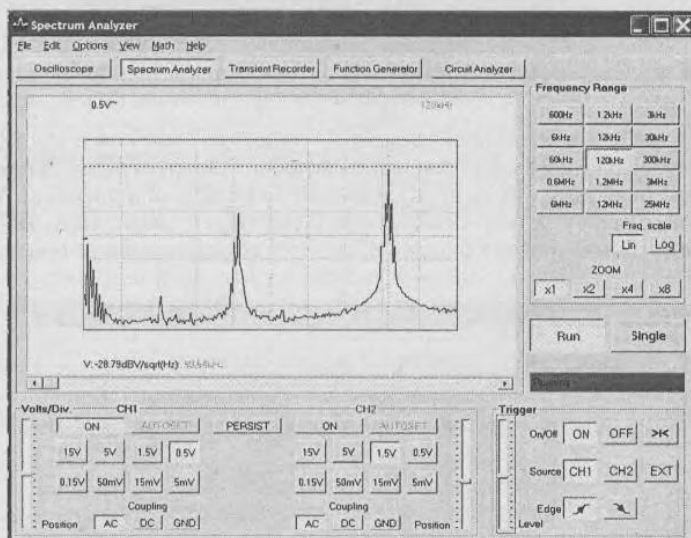


Рис. 6.38. Спектр сигнала с АМ с выхода генератора GW GRG450B при стандартных установках

Для повышения частотного разрешения можно применить «лупу частот» и увеличить разрешение в 1, 2, 4 или 8 раз с помощью кнопок в зоне ZOOM. Если применить еще и окно Блэкмана и задать усреднение RMS Average, то можно получить вполне сносную спектрограмму АМ-сигнала (рис. 6.39). Теперь отчетливо виден не только пик несущей, но и по два пика с каждой стороны от него. Наличие второго пика у спектрограммы говорит о том, что форма модулирующего сигнала заметно отличается от синусоидальной. Так оно и есть — см. рис. 5.34!

Можно избавиться от шума, введя усреднение Vector Average. Полученная в этом случае спектрограмма показана на рис. 6.40.

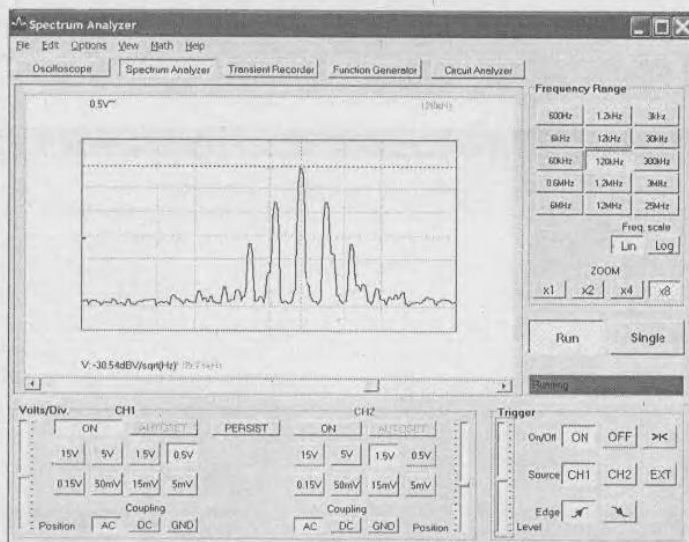


Рис. 6.39. Спектр сигнала с АМ с выхода генератора GW GRG450B при использовании окна Блэкмана и усреднения RMS Average

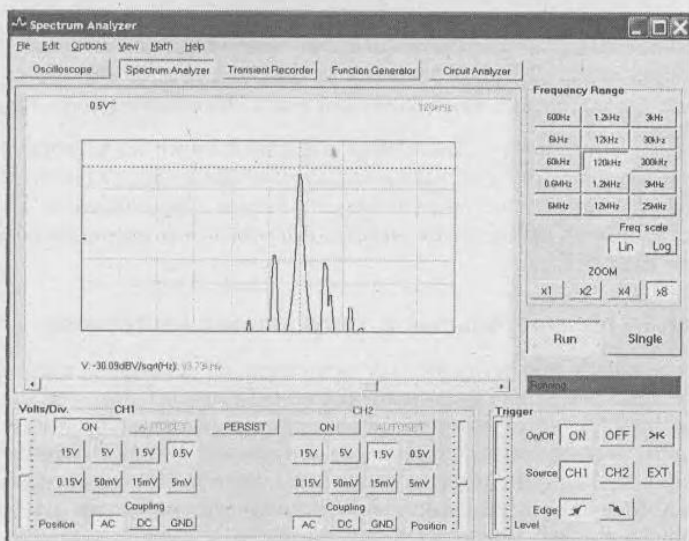


Рис. 6.40. Спектр сигнала с АМ с выхода генератора GW GRG450B при использовании окна Блэкмана и усреднения Vector Average

Теперь отключим амплитудную модуляцию. После нескольких минут усреднения будет получена осциллограмма, показанная на рис. 6.41. Из нее хорошо видно, что полного отсутствия модуляции нет — остались четко видимые пики, говорящие о наличии паразитной модуляции с частотой 1 кГц. Видимо, с экранирова-

нием у генератора GW GRG450B не все в порядке. Зато анализатор спектра оказался на высоте — обратите внимание, что уровень бокового лепестка составляет $-59,06 \text{ dBV}$, т. е. он очень мал.

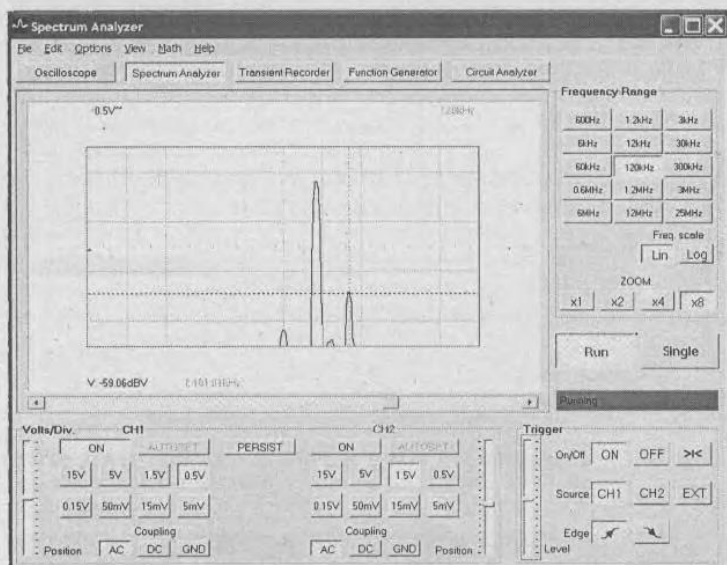


Рис. 6.41. Спектр сигнала с АМ с выхода генератора GW GRG450B при использовании окна Блэкмана и усреднения Vector Average

Амплитудная модуляция применяется в радиовещании на частотах до 30 МГц. Однако на таких частотах анализатор спектра на базе виртуальной лаборатории PC-Lab 2000 практически не применим для анализа этого явления. Его разрешения хватает лишь для наблюдения спектра АМ-сигналов на частотах порядка десятков-сотен кГц.

6.3.5. Спектр прямоугольных и треугольных импульсов

Функциональный генератор PCG10 позволяет генерировать множество видов импульсов с самыми разнообразными формами. Подавая эти импульсы на вход анализатора спектра, нетрудно получить их спектр. Например, на рис. 6.42 представлен спектр прямоугольных импульсов с частотой 100 кГц заполнением 10%. Для получения наглядной спектрограммы она очищена от шума применением опции Vector Average. Нетрудно заметить, что амплитуда гармоник спадает (первый ноль огибающей спектра приходится на частоту $1/t_H$).

Если смириться с конечной «толщиной» всплесков спектральных составляющих, то можно признать, что спектр прямоугольных импульсов вполне соответствует аналитически предсказанному виду.

Спектр треугольных импульсов с частотой 100 кГц, показан на рис. 6.43. Теоретически он должен содержать только нечетные гармоники. Но анализатор спектра показывает, что в спектре явно есть и четные гармоники. Может, анализатор работает нечетко?

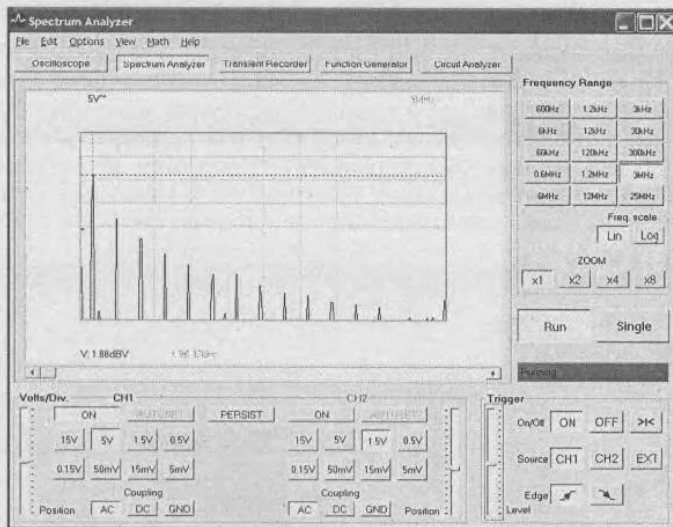


Рис. 6.42. Спектр прямоугольного импульса с заполнением, 10%

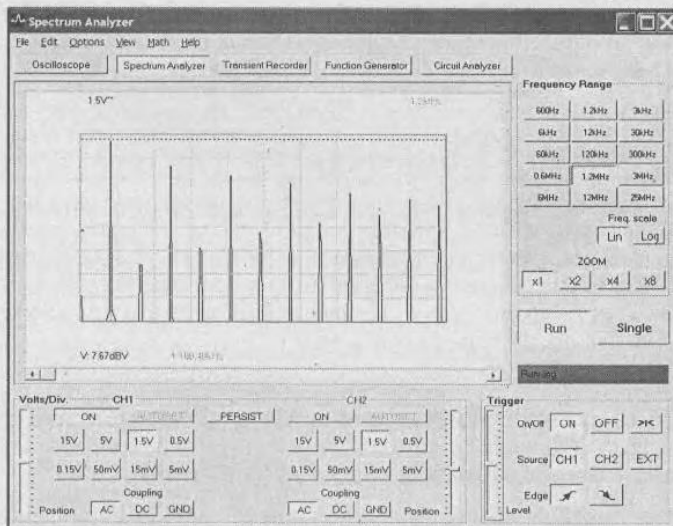


Рис. 6.43. Спектр треугольных импульсов

Нет, здесь все в порядке! Просто надо помнить, что реальный сигнал отличается от идеального. И его спектр содержит не нулевые, а малые по амплитуде четные гармоники. Замерив уровни этих составляющих, можно заметить, что амплитуды 2, 4, 6 и т. д. гармоник и впрямь малы. Но по мере увеличения номеров гармоник разница в амплитудах четных и нечетных гармоник уменьшается. Это еще один пример «отличия» теоретических сведений от наблюдаемых, связанный с высокой чувствительностью анализатора спектра.

6.3.6. Спектр сигнала вида $\sin(t)/t$

В состав дополнительных сигналов функционального генератора включен сигнал $\sin(x)/x$ или $\sin(t)/t$. С помощью этого сигнала выполняется интерполяция точек при восстановлении дискретно заданных временных зависимостей. Но фундаментальное значение этого сигнала состоит не только в этом, но и в том, что такой импульс дает равномерный спектр гармоник. Попробуем убедиться в этом. На рис. 6.44 показана подготовка к этому эксперименту — показана панель функционального генератора с заданием генерации данного импульса и его осциллограмма.

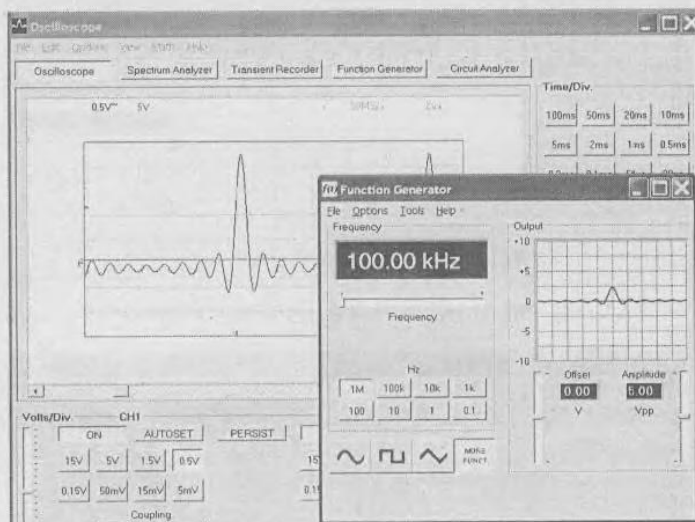


Рис. 6.44. Вывод и осциллограмма импульса вида $\sin(t)/t$

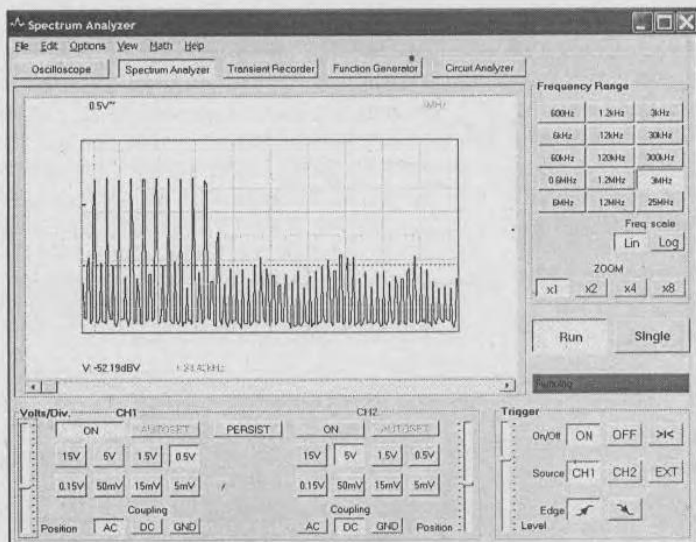
А на рис. 6.45 показана спектрограмма данного импульса. Нетрудно заметить, что первый десяток гармоник и впрямь имеет одинаковую амплитуду, а затем спектр обрывается до уровня шума. Курсор показывает, что уровень шума составляет примерно -52 дБ, то есть он очень мал.

6.4. Работа с построителем АЧХ и ФЧХ устройств

6.4.1. Назначение и роль построителя АЧХ и ФЧХ

Для многих линейных цепей существует прямая связь между переходными характеристиками цепей и их амплитудно-частотными (АЧХ) и фазочастотными (ФЧХ) характеристиками. Однако многие устройства традиционно используют свойства частотной селекции сигнала и для них построение АЧХ и ФЧХ принципиально важно. Для этого приходится использовать набор испытательных генераторов, электронные вольтметры и фазометры. По полученным АЧХ и ФЧХ можно судить о возможных режимах работы линейных цепей, их устойчивости при охвате обратными связями и селективных свойствах.

Утомительная процедура снятия АЧХ и ФЧХ по точкам в виртуальной лаборатории PC-Lab 2000 устранена благодаря применению функционального генератора

Рис. 6.45. Спектрограмма сигнала $\sin(t)/t$

ра в качестве генератора качающейся частоты. Схема измерений соответствует показанной на рис. 6.22. Следует заметить, что построение фазочастотной характеристики возможно реализовать только в лаборатории версии PC-Lab 2000 v. 1.34, в более ранних версиях эта возможность отсутствовала.

6.4.2. Построение АЧХ и ФЧХ дифференцирующей RC-цепи

Подключим в измерительную схему рис. 6.22 дифференцирующую цепь рис. 5.37 (левая цепь). Запустив построение АЧХ и ФЧХ нажатием клавиши Circuit Analyzer, увидим окно, представленное на рис. 6.46. Интерфейс окна построителя АЧХ и ФЧХ вполне очевиден. Слева окна расположены зоны:

- Vertical Scale — выбор коэффициентов вертикального отклонения (ось значений сигнала на входе испытуемого устройства);
- Frequency Range — выбор пределов частоты (максимальной частоты качания);
- Frequency Start — выбор начальной частоты качания.

Слева под окном графиков можно задать опции логарифмической шкалы (Log. Freq. Scale) и шага изменения частоты (Log. Freq. Step). Кнопки управления выполняют следующие функции:

- Start — запуск построения графиков АЧХ и ФЧХ (пунктирной линией);
- Pause — временная остановка построения графиков с возможностью восстановления построения;
- Stop — остановка работы построителя графиков.

На рис. 6.46 представлены построенные АЧХ и ФЧХ дифференцирующей цепи, которая выполняет функции фильтра низких частот первого порядка. Вид характеристик полностью соответствует теоретическим зависимостям за исключением небольшого искажения в конце построения — всплеска. Заметим также, что на последнем шаге построение характеристик неожиданно прерывается и проис-



Рис. 6.46. Построение АЧХ и ФЧХ дифференцирующей RC-цепи

ходит переброс на несколько точек назад. Эта недоработка легко устраняется кнопкой Pause, нажимаемой на предпоследнем шаге. Построение идет довольно медленно, так что вовремя нажать эту кнопку несложно.

6.4.3. Построение АЧХ и ФЧХ колебательного LRC-контура

Совершенно аналогичным образом были построены АЧХ и ФЧХ колебательного (резонансного) LCR-контура, показанные на рис. 6.47. Контур состоит из катушки индуктивности $L = 40$ мкГн и конденсатора $C = 10$ нФ.

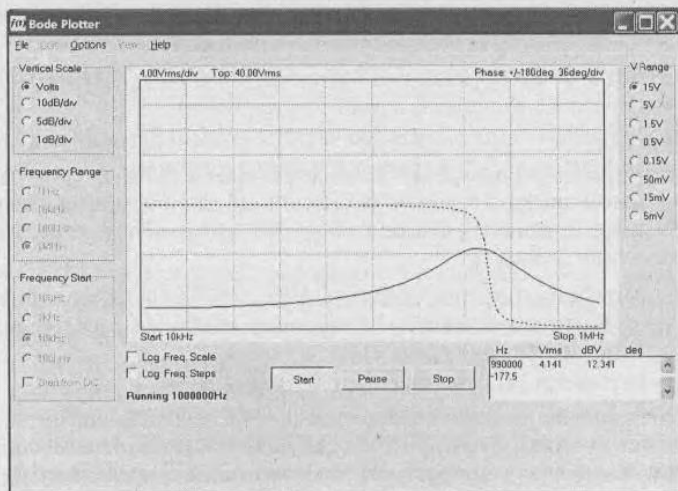


Рис. 6.47. Построение АЧХ и ФЧХ колебательного LRC-контура

Построенные АЧХ и ФЧХ хорошо соответствуют расчетным зависимостям. АЧХ дает заметный выброс на резонансной частоте, а ФЧХ в области этого выброса меняет фазу на -180° .

К сожалению, диапазон частот при построении АЧХ и ФЧХ ограничен максимальной частотой в 1 МГц. Это позволяет проиллюстрировать на специально подобранных примерах большинство нюансов поведения линейных цепей в частотной области. Но выполнить построение АЧХ и ФЧХ в широком диапазоне частот (а он ныне простирается до единиц и десятков ГГц) дешевая виртуальная лаборатория PC-Lab не может. Для этого создана обширная серия построителей АЧХ и ФЧХ радиочастотных цепей, систем и устройств. Любой из приборов этой серии стоит намного дороже, чем лаборатория PC-Lab.

6.5. Работа PC-Lab 2000 с системой Mathcad

6.5.1. Передача осциллограмм в среду системы Mathcad

Важным достоинством виртуальной лаборатории PC-Lab является легкость ее стыковки с программными средствами для обработки информации. К таким средствам относятся языки программирования, например Delphi или Visual Basic. Примеры простых программ на них даны в справке по новым реализациям PC-Lab 2000. Однако куда интересней такая стыковка с мощными системами компьютерной математики, такими как Mathcad, MATLAB, Maple, Mathematica и др., имеющими мощные готовые средства обработки сигналов.

Следует сразу отметить, что необходимость в такой стыковке заметно уменьшилась после реализации в PC-Lab 2000 v. 1.38 автоматического вычисления 21 важнейшего параметра сигналов. В связи с этим пристыковать какую-либо из систем компьютерной математики к PC-Lab разумно только в том случае, когда желательно использовать специфические возможности таких систем. Такая необходимость может возникнуть при выполнении серьезных исследований в области обработки сигналов.

Благодаря текстовому формату данных виртуальной лаборатории и файлов данных системы Mathcad взаимодействие их решается довольно просто. Надо привести в соответствие внутреннюю структуру файлов данных и дать им нужные расширения. Рассмотрим такую главную задачу — нужно передать осциллограммы виртуального осциллографа в среду Mathcad и построить их уже средствами Mathcad.

Для этого надо снять осциллограммы и записать их в среде PC Lab 2000 в виде файла, например, demo.txt. Пример текстового файла данных (осциллограммы двух каналов осциллографа) дан ниже:

TIME STEP:

125 = 1ms

VOLTAGE STEP:

CH1: 32 = 1.5V

CH2: 32 = 1.5V

N	CH1	CH2
0	176	88
1	176	88
2	177	88

3	178	87
4	179	87
5	179	87

....

Как нетрудно заметить, файл имеет заголовок, в котором указаны временной масштаб осциллограмм и масштабные множители для осциллограмм обоих каналов. В таком виде файл системой Mathcad не воспринимается, поскольку файлы данных этой системы (формат .rpn) должны содержать чистую матрицу данных в формате электронных таблиц.

В связи с этим надо преобразовать файл demo.txt в файл demo.rpn. Для этого, в простейшем случае, достаточно загрузить файл demo.txt в текстовый редактор Word и убрать верхнюю часть файла, оставив только матрицу данных. Далее надо записать этот файл с расширением rpn. Если нужно передавать в Mathcad масштабные множители, можно создать трехэлементный вектор из них и записать, например, в виде файла m.rpn.

Документ Mathcad, считывающий файлы demo.rpn и m.rpn, представлен на рис. 6.48. На нем показана матрица данных D, соответствующая файлу demo.rpn, и вывод масштабных множителей из файла m.rpn. Это позволяет построить осциллограммы уже в среде системы Mathcad с реальными масштабами по времени (миллисекунды) и уровню сигналов (вольты). Таким образом уже при построении графика проведена предварительная обработка данных из матрицы D.

Над полученными данными можно выполнять любые операции и преобразования, на которые способна система Mathcad.

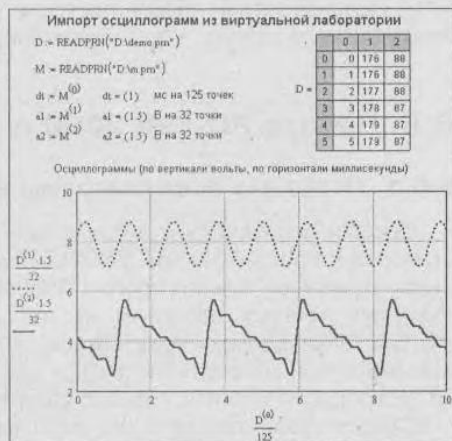


Рис. 6.48. Импорт данных с виртуальной лаборатории PC Lab 2000 и построение осциллограмм в среде Mathcad

6.5.2. Взаимодействие Mathcad с функциональным генератором

Несложно также организовать взаимодействие между Mathcad и функциональным генератором виртуальной лаборатории. Для исследования свойств его сигналов надо обеспечить их ввод в систему Mathcad. Тут надо учесть следующие обстоятельства, касающиеся организации библиотечных файлов функционального генератора:

- эти файлы имеют расширение .lib;
- файлы представляют одномерный массив из 3200 чисел;
- числа в массиве представлены в формате с плавающей запятой, а не точкой.

Для представления сигнала из библиотеки в среде Mathcad надо переименовать файл библиотеки в файл с расширением .rpn и затем заменить все запятые в чис-

лах на точки. Это легко сделать в текстовом редакторе Word с помощью команды «Заменить» и затем «Заменить все». Полученный файл может считываться функцией READPRN и представляться графически (рис. 6.49).

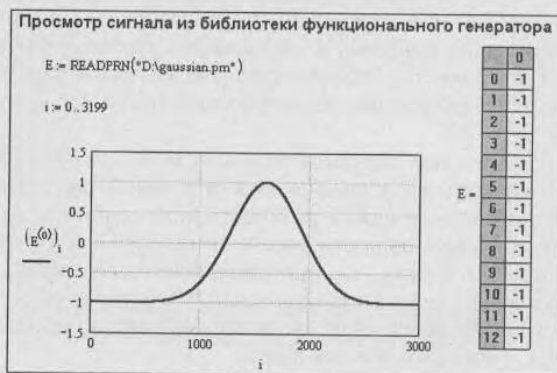


Рис. 6.49. Пример просмотра сигнала gaussian из библиотеки сигналов функционального генератора

6.5.3. Импорт спектрограмм

Аналогичным образом можно обеспечить в среде Mathcad импорт спектрограмм. Файлы спектрограмм имеют текстовый формат — см. пример начала такого файла при его просмотре в редакторе Word:

N	f/[kHz]	V/[dBV]
0	0.0153	-40.7
1	0.2594	-50.1
2	0.5035	-47.9
3	0.7477	-4.6
4	0.9918	-49.8
5	1.2360	-55.1

Нетрудно заметить, что в данном случае файл имеет первую строку с именами столбцов. Данные представлены столбцами номеров отсчетов, частот и уровней спектрограммы. При этом данные представлены в формате с плавающей точкой. Поэтому для считывания файла спектрограмм в Mathcad даже не требуется его обработка в текстовом редакторе. Файл можно сразу загружать в Mathcad, что показано на рис. 6.50, и выполнять его обработку, например сглаживание.

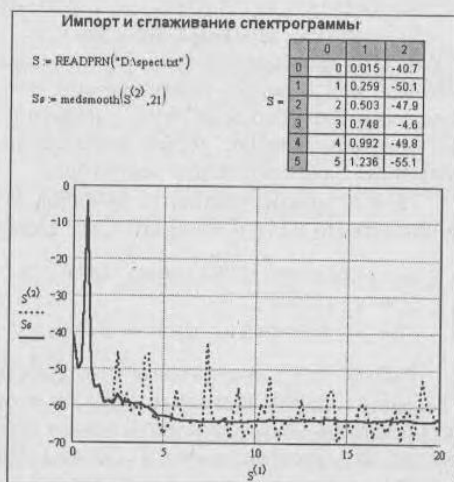


Рис. 6.50. Считывание спектрограммы с виртуальной лаборатории и ее сглаживание

6.5.4. Об экспорте данных из Mathcad

Разобравшись со спецификой форматов файлов виртуальной лаборатории и системы Mathcad, читатель может легко решить и обратную задачу — экспорт файлов из системы Mathcad в виртуальную лабораторию. Можно экспортировать файлы осциллограмм, спектрограмм и создаваемых тестовых сигналов. Это полезно, например, для пополнения библиотеки таких сигналов для функционального генератора, поскольку собственный редактор сигналов имеет довольно ограниченные возможности.

В целом ПК, оснащенный системой Mathcad и виртуальной лабораторией PC Lab 2000, способен решать сложнейшие задачи в обработке реальных сигналов и исследовании и тестировании самой разнообразной радиоэлектронной аппаратуры. Трудно переоценить возможности такого комплекса в решении задач учебного характера, особенно если учесть, что при широчайших возможностях такой комплекс стоит намного дешевле радиоизмерительной лаборатории, укомплектованной такими обычными приборами, как осциллограф, функциональный генератор, анализатор спектра, регистратор и так далее.

6.6. Работа PC-Lab с системой MATLAB

6.6.1. Передача осциллограмм в среду системы MATLAB

Как уже отмечалось, файлы осциллограмм лаборатории PC-Lab 2000 имеют простой текстовый формат. Это позволяет легко ввести данные из них не только в систему Mathcad, но и в гораздо более мощную матричную систему MATLAB, уникальную по возможностям самой серьезной обработки сигналов [45—47].

Разумеется, опытный программист легко создаст программу на языке MATLAB, которая выделит лишь нужные данные — матрицу значений N , $CH1$ и $CH2$. Но мы, как и ранее, поступим еще проще — загрузим файл demo.txt в текстовый редактор WordPad или Word и просто уберем верхнюю часть файла, оставив только матрицу данных. Далее надо записать этот исправленный файл с помощью команды Save текстового редактора.

Теперь можно составить M-файл, который выделяет из файла массивы отсчетов верхнего $CH1$ и нижнего $CH2$ каналов виртуального осциллографа:

```
d = textread('E:\demo.txt','%f');
i = 1:1000;
CH1 = d(3*i+2); CH2 = d(3*i+3);
```

Работа этого программного модуля основана на том, что функция textread считывает из файла данные построчно и образует одномерный массив данных, представляющих собой тройки — номер отсчета, отсчет нижнего и отсчет верхнего каналов. Индексация идет с 1. Отсюда ясно, каким образом выбираются данные для отсчетов сигналов верхнего и нижнего каналов. Таким образом, задача ввода реальных сигналов в MATLAB от первого до тысячного отсчета решена довольно просто. Номера используемых отсчетов задает индексная переменная i .

Теперь можно построить график сигналов, представленных 1000 отсчетами каналов $CH1$ и $CH2$ (рис. 6.51):

```
plot(i,CH1,i,CH2)
```

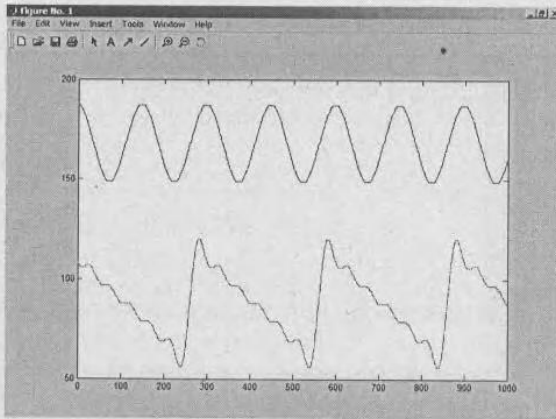


Рис. 6.51. Осциллограммы сигналов с двух каналов осциллографа виртуальной лаборатории PC Lab 2000, построенные в среде MATLAB

Над полученными данными можно выполнять любые операции и преобразования, которые были описаны в предшествующих разделах, например выполнить фильтрацию сигналов.

6.6.2. Взаимодействие MATLAB с виртуальным функциональным генератором

Несложно также организовать взаимодействие между MATLAB и функциональным генератором виртуальной лаборатории. Для исследования свойств его сигналов надо обеспечить их ввод в систему MATLAB. Тут надо учесть следующие обстоятельства, касающиеся организации библиотечных файлов функционального генератора и описанные выше для стыковки с системой Mathcad.

Для представления сигнала из библиотеки в среде MATLAB надо затем заметить все запятые в числах на точки. Это легко сделать в текстовом редакторе Word с помощью команды «Заменить» и затем «Заменить все». Полученный файл может считываться функцией `load` и представлен графически в окне графики системы MATLAB — рис. 6.52:

```
s = load('E:\gaussian.lib', 'ASCII');
plot(s)
```

6.6.3. Импорт спектрограмм в MATLAB

Аналогичным образом можно обеспечить в среде MATLAB импорт спектрограмм. Файлы спектрограмм имеют текстовый формат. Файл имеет первую строку с именами столбцов. Данные представлены столбцами номеров отсчетов, частот и уровней спектрограммы. При этом данные представлены в формате с плавающей точкой. Поэтому для считывания файла спектрограмм в MATLAB достаточно в текстовом редакторе удалить первую строку. Для получения отсчетов частоты и уровня спектрограммы можно воспользоваться следующим фрагментом программы:

```
d = textread('E:\spectr.txt', '%f');
i = 1:200;
CH1 = d(3*i+2); CH2 = d(3*i+3);
```

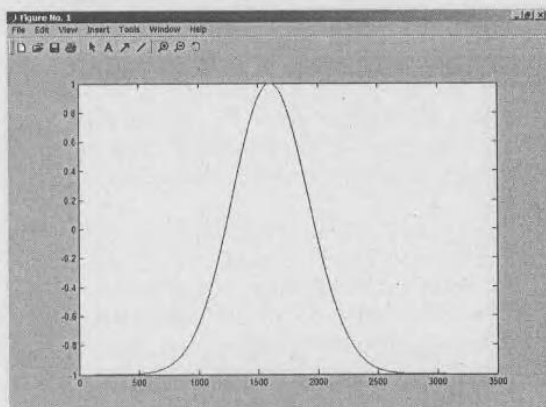


Рис. 6.52. Пример просмотра сигнала gaussian из библиотеки сигналов функционального генератора

Теперь можно построить спектрограмму в окне графики MATLAB (рис. 6.53):
`plot(CH1, CH2); grid on;`

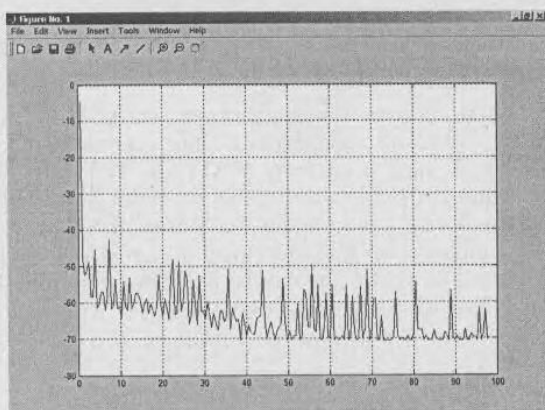


Рис. 6.53. Спектрограмма с виртуальной лабораторией в окне графики MATLAB

Над полученной спектрограммой можно выполнять самые разнообразные операции, например сглаживание, поиск нужных спектральных компонент и т. д.

6.6.4. Об экспорте данных из MATLAB

Разобравшись со спецификой форматов файлов виртуальной лаборатории и системы MATLAB, читатель может легко решить и обратную задачу — экспорт файлов из системы MATLAB в виртуальную лабораторию. Можно экспортировать файлы осциллограмм, спектрограмм и создаваемых тестовых сигналов. Это полезно, например, для пополнения библиотеки таких сигналов для функционального генератора, поскольку собственный редактор сигналов имеет довольно ограниченные возможности, хотя и достаточные для большинства практических применений.

В целом ПК, оснащенный системой MATLAB и виртуальной лабораторией PC-Lab 2000, способен решать сложнейшие задачи в обработке реальных сигналов и при исследовании и тестировании самой разнообразной радиоэлектронной аппаратуры. Трудно переоценить возможности такого комплекса в решении задач учебного характера, особенно если учесть, что при широчайших возможностях такой комплекс стоит намного дешевле радиоизмерительной лаборатории, укомплектованной такими физическими приборами, как осциллограф, функциональный генератор, анализатор спектра, регистратор и так далее.

6.7. Работа с виртуальными лабораториями АКТАКОМ

6.7.1. Подготовка виртуальных лабораторий

Как следует из раздела 4.8, торговое объединение АКТАКОМ выпускает обширный набор приставок к компьютерам, позволяющих создавать универсальные и специализированные компьютеризированные виртуальные лаборатории. Например, их можно создать на основе виртуальных функциональных генераторов АНР-3121/3122 и осциллографов АСК-3106/3107/3117. Если лаборатория должна быть ориентирована на телевизионные измерения, то безусловно полезными будут приставки АНР-312/3126.

Наиболее просто виртуальную лабораторию можно организовать на базе комбинированного прибора АСК-4106, содержащего независимые друг от друга двухканальный осциллограф и двухканальный функциональный генератор. При первом запуске программы осциллографа-анализатора необходимо ввести ключ доступа, который приобретается как отдельная опция и соответствует подключенному прибору. Можно отказаться от ввода ключа, в этом случае программа запустится в демонстрационном режиме. В этом режиме доступны все функции программы, но данные не считываются из прибора, а «придумываются» математическим эмулятором (см. «Использование эмулятора сигналов»). Если программа запущена без подключенного прибора, она также автоматически перейдет в демонстрационный режим.

Для приобретения ключа доступа, который позволяет работать с программой осциллографа-анализатора и поставляется как отдельная опция, необходимо связаться с поставщиком оборудования. Приведенное ниже описание работы с виртуальной лабораторией на базе прибора АСК-4106 является переработкой материалов, размещенных на Интернет-сайте компании «Эликс» (www.eliks.ru).

6.7.2. Работа с осциллографом-анализатором

Комбинированный прибор АСК-4106 имеет понятный и удобный интерфейс (рис. 6.54), который может настраиваться пользователем. Например, пользователь может выбрать внешний вид и цветовое оформление панелей прибора, цветовую схему для осциллограмм, язык панелей (русский или английский), включить и записать свой вариант звукового сопровождения событий и др. К услугам пользователя всплывающие подсказки, «прилипающие» панели (прилипшие панели располагаются вплотную друг к другу, сливаются и перемещаются совместно, как одно целое). Каждый режим работы комбинированного прибора выполнен в виде отдельного окна, которое пользователь может располагать в удобном для себя участке экрана монитора.

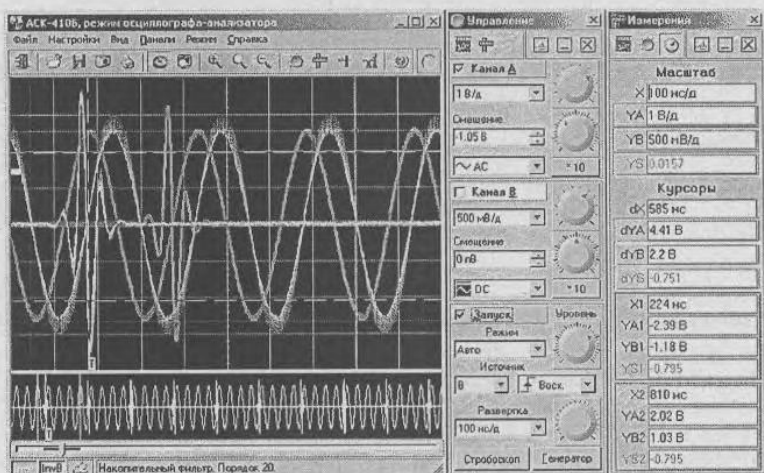


Рис. 6.54. Окно осциллографа-анализатора комбинированного прибора АСК-4106

Программа осциллографа-анализатора АСК-4106, поставляемая с приставкой, обеспечивает следующие дополнительные функции:

- произвольное масштабирование отображаемых данных, дополнительный обзорный график;
- двухуровневая аварийная сигнализация в режиме цифрового самописца;
- режим послесвечения (цифровой люминофор);
- вычисление фазового сдвига между каналами;
- режим цифрового вольтметра;
- автоматическое измерение параметров фронтов и импульсов;
- спектральный анализ (БПФ) и спектральная цифровая фильтрация сигнала;
- вычисление следующих специальных функций: сумма, разность, отношение или произведение двух выбранных каналов; среднее геометрическое двух выбранных каналов; производная выбранного канала, интеграл выбранного канала, интеграл произведения каналов, корреляция двух выбранных каналов, передаточная функция двух выбранных каналов;
- статистические вычисления и гистограмма распределения вероятности;
- режим управляемой эмуляции сигналов, используется для работы программы при отсутствии реального прибора (с тестовыми или учебными целями);
- встроенный калькулятор формул.

Окно программы осциллографа является главным средством отображения результатов измерений. Содержит изображения измеренных сигналов, дополнительных кривых, меток, курсоров и т. д. По левому краю основного графика может перемещаться ползунок, обозначающий уровень запуска канала А или В.

Если включен режим цифрового вольтметра, то поверх графика отображается панель, представляющая результаты измерения среднеквадратической, амплитудной и средней величин сигналов по обоим каналам. Аналогично, если включен режим определения фазового сдвига (см. «Вычисление фазового сдвига»), то поверх графика отображается панель с результатом определения фазового сдвига. Можно свободно передвигать эти панели мышью в любое место главной панели

или даже совсем вынести их за пределы родительской панели: в этом случае они будут отображаться как отдельное окно.

Запоминающий осциллограф оснащен аппаратным буфером на 128 кбайт по каждому каналу. График длиной более чем в 130000 точек, изображенный на полном экране монитора с разрешением по горизонтали в 800 точек, будет весьма приблизительным. Поэтому на основной график обычно выводится только небольшая часть записанного сигнала. Для того чтобы оператор мог иметь общее представление о характере информации полного буфера и выбрать нужную часть для подробного отображения, служит обзорный график в нижней части панели. Можно изменить размер или совсем убрать обзорный график, передвигая мышью вверх или вниз границу между основным и обзорным графиками.

Как с помощью курсоров обзорного графика, так и элемента прокрутки можно выбирать нужную часть сигнала для подробного просмотра. По команде автоматической настройки на сигнал программа будет пытаться автоматически подобрать оптимальные для поданного сигнала настройки прибора — горизонтальную и вертикальную развертку и уровень синхронизации.

Осциллограф-анализатор является профессиональной версией стандартной программы осциллографа. Окно в режиме работы со стандартной программой показано на рис. 6.55. Обратите внимание на то, что окна управления и измерения, расположенные справа от окна осциллографа, одни и те же в обоих вариантах программы.

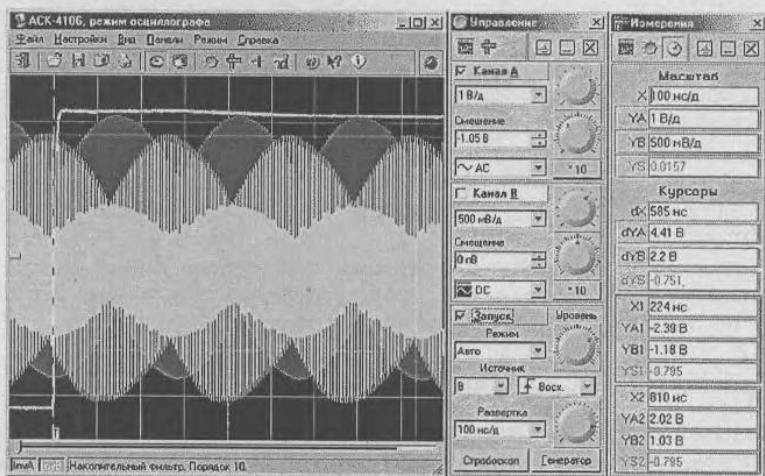


Рис. 6.55. Окно виртуального осциллографа стандартной программы

Прибор АСК-4106 обеспечивает курсорные и автоматические измерения параметров импульсных сигналов. На рис. 6.56 показано окно выдачи результатов автоматических вычислений. Параметры, значения которых вычисляются и отображаются, вполне очевидны.

В этом окне опция «Канал» задает выбор канала, по которому проводятся измерения. Список «Статус» показывает состояние измерений параметров импульса. Возможны следующие сообщения:

- Параметры успешно определены — определены все возможные параметры;

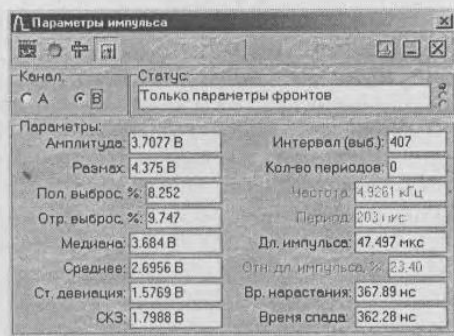


Рис. 6.56. Окно выдачи параметров автоматических вычислений

- Только «восходящие» параметры — определены только параметры, измеряемые на восходящем фронте;
- Только «спадающие» параметры — определены только параметры, измеряемые на спадающем фронте;
- Только параметры фронтов — определены только параметры, измеряемые на восходящем и спадающем фронтах;
- Параметры не определены — никакие параметры не определены.

Справа от строки статуса расположены три вспомогательных статусных «светодиода», показывающие успешность определения параметров (сверху вниз) периода, спадающего фронта и восходящего фронта. Успешное определение параметров отображается зеленым цветом, ошибка — красным.

Область «Параметры» окна содержит числовые поля, отображающие результаты измерений. Неопределенные параметры отображаются «недоступными». Используемые алгоритмы определения параметров описаны в разделе «Определение импульсных параметров».

Алгоритмы, используемые для определения параметров импульсов, могут использоваться для выполнения такой распространенной задачи, как выделение из отображаемого участка сигнала целого числа периодов.

6.7.3. Применение анализатора спектра

Виртуальный осциллограф приставки АСК-4106 позволяет провести спектральный анализ выделенного участка сигнала (рис. 6.57). Для этого используются алгоритмы прямого и обратного быстрого преобразования Фурье (БПФ).

В режиме БПФ отображаются следующие параметры:

- число точек дискретизации сигнала, по которым проводится преобразование;
- число точек для преобразования после передискретизации (ближайшее сверху число — степень двойки);
- передискретизация необходимая для использования алгоритма быстрого преобразования;
- осн. частота — основная частота сигнала. Определяется по максимальному модулю коэффициентов разложения;

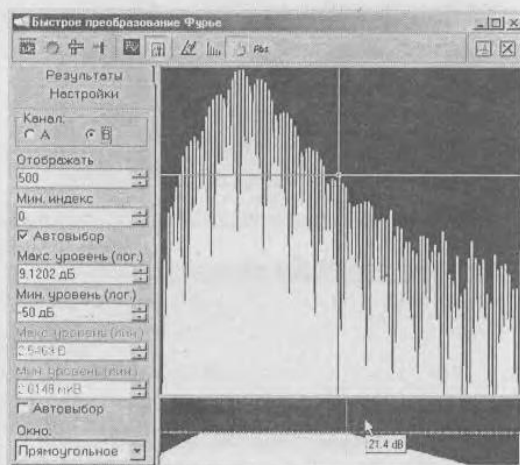


Рис. 6.57. Окно анализатора спектра

- коэфф. н. и. (%) — коэффициент нелинейных искажений в процентном выражении;
- частота — частота, соответствующая точке спектра, отмеченной курсором;
- уровень — уровень в точке спектра, отмеченной курсором, относительно максимума (принимается за 0 дБ);
- мощ. фильтра (%) — мощность фильтра в процентном выражении. Отношение мощности пропускаемых фильтром гармоник к полной мощности сигнала.

Пользователь может установить нужное число первых коэффициентов разложения, отображаемых на графике спектра. Это число не может быть больше половины базы. График БПФ отображает спектр выбранного сигнала в логарифмической шкале «частота-амплитуда». По желанию пользователя может также отображаться фазочастотная зависимость. Для измерений используется вертикальный курсор.

При включенном режиме преобразования Фурье можно использовать возможность спектральной фильтрации сигнала. Суть его в том, что перед обратным преобразованием анализируемого сигнала можно оставить в нем только те частоты, которые нужны, и подавить нежелательные. По желанию пользователя на графике может отображаться фазочастотная характеристика спектра.

6.7.4. Осуществление цифровой фильтрации

Кроме аппаратной фильтрации сигнала в цепях запуска, не влияющей на результаты оцифровки сигнала, система обладает возможностями цифровой фильтрации измеренного сигнала. Эти функции реализованы на программном уровне и действуют только на отображение уже собранных данных. Включить и выключить фильтрацию можно с помощью панели цифровой фильтрации. На рис. 6.58 показана эта панель для осциллографа-анализатора, а на рис. 6.59 для стандартного осциллографа.

Простейшую фильтрацию обеспечивает алгоритм накопительного фильтра. Для каждой точки времени отображается среднее за указанное количество сборов

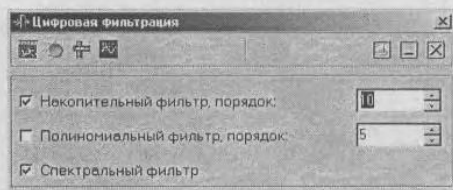


Рис. 6.58. Окно опций цифровой фильтрации для осциллографа-анализатора

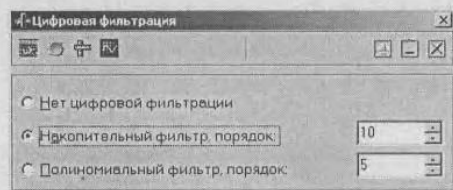


Рис. 6.59. Окно опций цифровой фильтрации стандартного осциллографа

значение сигнала. Таким образом, подавляются случайные шумовые составляющие сигнала. Для каждой точки времени отображается среднее за указанное количество сборов значение сигнала. Количество точек для усреднения задается пользователем в диапазоне от 0 до 50.

Полиномиальный фильтр не требует повторных измерений. Используется быстрый алгоритм многопроходного биномиального сглаживания. Количество проходов задается пользователем в диапазоне от 0 до 50. Резкие броски сигнала «размазываются» по ближним точкам, тем самым подавляются высокочастотные шумы. Однако этот фильтр может сильно исказить сигнал, имеющий «угловатую» форму. Включенный накопительный или полиномиальный фильтр действует на оба канала в выделенном временном диапазоне.

Большие возможности представляет использование спектрального фильтра. Для использования этой функции необходимо включить режим преобразования Фурье. В результате этого преобразования исследуемый сигнал представляется как суперпозиция гармонических колебаний с различными частотами, амплитудами и фазами. С помощью графических элементов панели фурье-анализа пользователь может указать программе проводить обратное преобразование, предварительно усилив или ослабив указанные компоненты сигнала. Спектральный фильтр будет действовать только на тот канал, для которого проводится быстрое преобразование Фурье.

Для того чтобы указать программе участок сигнала, который необходимо подвергнуть обработке, обозначаются его начало и конец по временной шкале курсорами основного графика главной панели. Как правило, для спектральной фильтрации периодического сигнала удобнее использовать участок, содержащий целое число периодов основной частоты. Программа позволяет сделать это автоматически простым двойным левым щелчком мыши на основном графике.

6.7.5. Математическая обработка сигналов

Осциллограф приставки АСК-4106 имеет мощные математические средства для оперативной обработки собранных данных. Их можно определить в окне «Специальная функция», показанном на рис. 6.60.

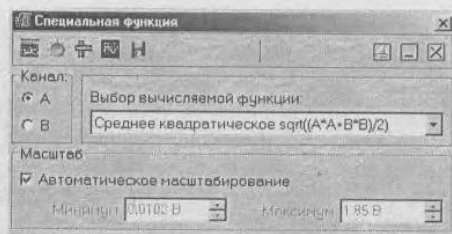


Рис. 6.60. Окно «Специальная функция»

На основной график главной панели, помимо осциллограмм по обоим каналам, можно выводить математические функции от них:

- сумма (разность, отношение, произведение) каналов А и В — для каждой точки времени вычисляется указанная арифметическая операция между соответствующими значениями каналов А и В;
- среднее геометрическое каналов А и В — для каждой точки времени вычисляется квадратный корень из произведения соответствующих значений каналов А и В;
- производная выбранного канала — отображаются результаты дискретного дифференцирования выбранного канала;
- интеграл выбранного канала — вычисляется определенный интеграл для выбранного канала. В качестве аддитивной постоянной выбирается среднее значение сигнала в отображаемой области;
- интеграл произведения каналов — вычисляется определенный интеграл для произведения каналов. В качестве аддитивной постоянной выбирается среднее значение произведения сигналов в отображаемой области;
- корреляция каналов А и В — находит корреляцию массивов данных каналов А и В;
- передаточная функция канала А к В — передаточная функция — отношение лапласовских изображений двух функций. В программе для вычисления передаточной функции используется преобразование Фурье, как частный случай преобразования Лапласа, т. к. результаты этих преобразований, в общем случае, являются комплексными, для отображения на графике используются модули результатов. Вывод осуществляется в логарифмической шкале.

6.7.6. Статистические вычисления

Для большого числа определяемых программой параметров имеется возможность проведения их статистической обработки по времени. Для этого следует в панели статистики выбрать параметры для обработки (можно выбрать до трех одновременно обрабатываемых параметров) и включить статистические вычисления кнопкой. При каждом новом измерении новое значение выбранного параметра вносит соответствующие поправки в вычисляемые статистические величины. Окно с данными статистических вычислений представлено на рис. 6.61.

Если выбранный параметр при очередном измерении не был определен (например, вы ведете статистику по одному из параметров импульса, и в принятом сигнале импульс не обнаружен), то статистика не исправляется. В этом случае на-

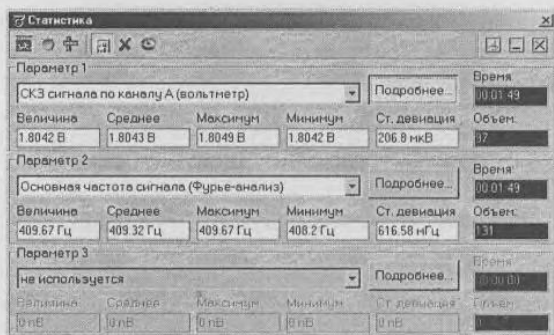


Рис. 6.61. Окно с данными статистических вычислений

звание параметра будет отображаться затемненным. Ниже приведено описание статистических параметров вычисляемых программой:

- Среднее — среднее арифметическое по выборке. Сумма всех набранных значений, деленная на их количество;
- Максимум — максимальное значение в выборке;
- Минимум — минимальное значение в выборке;
- Ст. девиация — стандартная девиация, квадратный корень из среднего квадрата отклонения каждого из значений в выборке от среднего значения. Заметим, что здесь используется упрощенный накопительный алгоритм расчета девиации, не учитывающий изменения среднего значения. Это упрощение, как правило, приводит к небольшому занижению расчетного значения. Более строгий и точный алгоритм требуется при использовании гис-тограммы (см. ниже).

6.7.7. Эмуляция сигналов

Для работы программы осциллографа в отсутствии реального прибора (с тестовыми или учебными целями) можно воспользоваться функцией эмулятора сигналов. Программа будет работать так, как будто к ней подключен реальный осциллограф, на входы которого подается периодически повторяющийся заданный пользователем сигнал. При этом можно выбрать один из стандартных сигналов из выпадающего списка «Предопределенные формы» или задать сигнал в виде математической формулы в строке «Функция». Можно также нарисовать нужную форму мышкой на графике. Окно эмуляции сигнала показано на рис. 6.62.

6.7.8. Работа в качестве виртуального самописца

Осциллограф приставки может работать в качестве самописца, регистрирующего длительные сигналы (рис. 6.63). Режим самописца качественно отличается от обычных режимов осциллографа тем, что чтение данных из прибора и их отображение производится в реальном времени, без остановки процесса измерений. Чтобы при этом не терялись возможности обработки данных на основном графике главной панели, введена отдельная панель самописца с «лентопротяжными» графиками. Данные в эти графики выводятся непрерывно по мере поступления новых данных.

Основной график самописца — немасштабируемый графический элемент «лентопротяжного» типа. Отображает десятую часть полного буфера данных прибора (т. е. 6553 выборки) с частотой 1 из 10 точек. Обзорный график самописца — немасштабируемый графический элемент «лентопротяжного» типа. Отображает полный буфер данных прибора (т. е. 131071 выборки) с частотой 1 из 100 точек. При этом можно скопировать накопленные в полном буфере данные для обработки в основной и обзорный графики главной панели. После копирования данных самописца их обработка ничем не отличается от измерений в обычных режимах.

В режиме самописца пользователь может выполнить следующие действия:

- загрузить записанный ранее файл данных (восстанавливаются также сохраненные настройки прибора — диапазоны, развертка и т. д.);
- сохранить данные и текущие настройки прибора в файл. Во всех режимах, кроме режима самописца, сохраняется текстовый файл в формате «CSV», в который записываются последние снятые данные. В режиме самописца создается двоичный файл, в который производится постоянное дописывание новых данных;
- запустить/остановить просмотр загруженного файла данных самописца;
- с помощью ползункового регулятора перемещаться по загруженному файлу данных самописца;
- с помощью ползункового регулятора изменять скорость прокрутки загруженного файла данных самописца.

Возможно также использование двух меток времени по системным часам ПК. На специальной панели отображаются следующие величины: X — масштаб горизонтальной оси основного графика самописца, X1 — положение первой метки времени, X2 — положение второй метки времени, dX — разница между метками времени, ZT — начало шкалы времени по системным часам ПК, ZD — начало шкалы времени (дата по календарю ПК).

С помощью регулятора аварийного предела (верхнего или нижнего) можно задавать предел, при выходе сигнала за который срабатывает аварийная сигнализация, при этом на экране появляется индикация «Тревога» — мигающий инди-

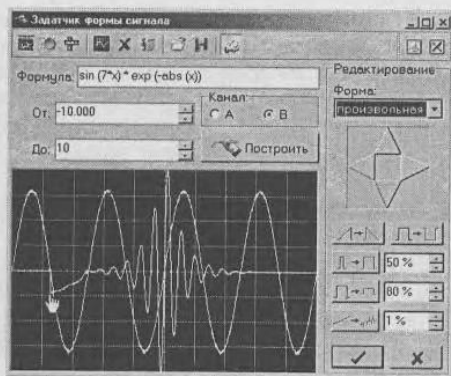


Рис. 6.62. Окно эмуляции сигналов

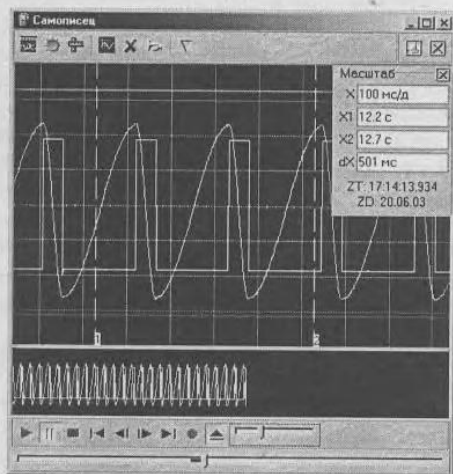


Рис. 6.63. Работа осциллографа в режиме самописца

тор-«лампочка» и выполняется заранее заданная пользователем команда операционной системы, отражающая реакцию пользователя на аварийную ситуацию.

Для выбора скорости развертки нужно воспользоваться переключателем «Развертка (Выборки)» в панели управления. Можно выбрать скорость развертки прибора (т. е. частоту дискретизации оцифровки входных сигналов) от 100 МГц до 1 кГц (при фиксированном экране в 500 выборок это будет соответствовать времени развертки от 500 нс/деление до 50 мс/деление). На заполнение полного (128 кбайт) буфера данных при этих развертках понадобится соответственно от 1,3 мс до 131 с.

Система поддерживает также несколько более быстрых разверток (эффективная частота дискретизации — до 10 ГГц). Применение этих разверток предполагает использование стробоскопического эффекта, и поэтому может применяться только к периодическим сигналам при наличии устойчивой синхронизации.

6.7.9. Задание аварийной сигнализации

Режим самописца может использоваться для аварийного контроля измеряемого параметра. Для этого необходимо в панели самописца задать горизонтальными курсорами графика верхний и нижний аварийные пределы.

При выходе измеряемого сигнала за установленные пределы возникнет аварийная ситуация. Если разрешена аварийная сигнализация в панели «Аварийная сигнализация», показанной на рис. 6.64, то возникновение аварийной ситуации будет обозначено цветовой и звуковой сигнализацией, кроме того, будет выполнена одна из команд операционной системе, указанных пользователем в соответствующих полях панели аварийной сигнализации. Поскольку пользователь может задать различные команды для аварийных ситуаций, вызванных выходом за верхний и за нижний пределы, то, тем самым, он может реализовать регулируемую систему для измеряемого самописцем параметра.

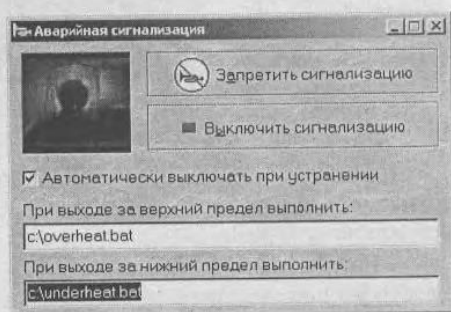


Рис. 6.64. Панель «Аварийная сигнализация»

В панели «Аварийная сигнализация» возможны следующие установки:

- Запретить сигнализацию — кнопка запрета сигнализации. Когда эта кнопка нажата, проверка аварийных условий не производится;
- Выключить сигнализацию — нажатие этой кнопки выключает запущенную сигнализацию, но не запрещает последующую проверку аварийных условий;
- Автоматически выключать при устранении — если эта метка установлена, сигнализация будет автоматически выключена, как только программа обна-

ружит, что аварийная ситуация устранена. Иначе сигнализация будет работать до ее ручного выключения вне зависимости от последующего состояния контролируемого параметра;

- При выходе за верхний предел выполнить: — строковое поле. Записанная в это поле команда операционной системе будет выполнена при выходе хотя бы одного из отображаемых сигналов за установленный верхний предел (об установке аварийных пределов см. «Панель самописца»);
- При выходе за нижний предел выполнить: — строковое поле. Записанная в это поле команда операционной системе будет выполнена при выходе хотя бы одного из отображаемых сигналов за установленный нижний предел.

6.7.10. Работа с разверткой и памятью

Программа осциллографа за один сеанс связи с прибором может считывать данные с большим запасом, позволяя в дальнейшем отображать с необходимой степенью подробности только часть собранного сигнала. Количество отображаемых выборок на осциллограмме при этом может быть как фиксированным, так и динамически изменяться пользователем в любое время просмотра сигнала. Для этого регулятор скорости измерений в панели управления имеет два режима: для фиксированной растяжки задается время развертки (десятая часть заданного количества выборок на экран, деленная на частоту дискретизации), для переменной — непосредственно частота дискретизации.

Пользователь может установить величину длины послезаписи в диапазоне от 0 до 131071 выборок. Указанное количество выборок будет собрано прибором после возникновения события запуска. Для установки величины длины послезаписи воспользуйтесь регулятором «Длина послезаписи» в панели настроек. Этот регулятор позволяет задавать длину послезаписи как в виде количества выборок, так и в виде временного интервала в секундах. Для исключения потери части данных сумма значений задержки запуска и длины послезаписи не должна превышать 131072. Не допускается одновременная установка нулевых значений указанных параметров.

6.7.11. Работа с курсорами

Обзорный (нижний) график главной панели содержит два вертикальных курсора. Если не включена опция фиксации разрешения основного графика, то на основном графике отображается та часть общего буфера снятых данных, которая заключена между этими курсорами на обзорном экране. Если разрешение основного графика фиксировано, то левый курсор задает его левую границу, а правая граница определяется заданным разрешением. Можно перемещать совместно оба курсора и, тем самым, перемещаться по буферу данных с помощью ползункового элемента прокрутки, расположенного непосредственно под обзорным графиком (см. раздел «Главная панель»).

В случае, когда пользователь использует достаточно большой общий буфера данных, выбрать нужную его часть для подробного рассмотрения с помощью курсоров становится затруднительно, т. к. даже небольшое перемещение курсора вызывает «катастрофические» изменения в размере выбранной области. Для устранения этой трудности введено автоматическое масштабирование обзорного графика. Когда курсоры сдвигаются друг к другу ближе, чем на одно деление обзорного графика (т. е. выделяется менее 10% от отображаемых на нем данных), график ав-

томатически растягивается в 10 раз. Для обратной операции, т. е. 10-кратного сжатия обзорного графика, надо раздвинуть его курсоры более чем на 90% текущего размера графика. Область выделения на ползунке прокрутки графика показывает, какую часть всего буфера показывает сейчас обзорный график.

Для точного определения абсолютного или относительного положения точки на графике используются курсоры. Поместите курсор на точку графика, абсолютные координаты которой вы хотите измерить. Для перемещения курсоров перетаскивайте их левой кнопкой мыши. Затем прочитайте положение курсора на панели измерений.

Для определения относительных координат точки, т. е. расстояний между двумя выбранными точками, используются два курсора. Первый наводится на базовую точку, относительно которой проводится отсчет, второй на измеряемую точку. Разность положений курсоров отсчитывается на панели измерений. Проще всего отличить первый курсор от второго по цвету (цвета курсоров можно задать в панели настроек), но можно воспользоваться и менее заметным фактом, когда метка первого курсора — квадрат, а второго — ромб. Это может оказаться особенно полезным при изучении черно-белых распечаток графика.

Можно перемещать курсоры по графику как с помощью мыши, так и с помощью клавиатуры, используя клавиши-стрелки. Одно нажатие клавиши вызывает перемещение курсора на единицу промежуточного деления шкалы в соответствующем направлении. Если при этом удерживать нажатой клавишу, то производится перемещение на единицу масштаба шкалы.

6.7.12. Режим мультиналожения

В программе осциллографа предусмотрена возможность симуляции режима послесвечения аналогового осциллографа (цифрового люминофора). Для этого при перерисовке основного графика новыми сигналами предыдущие не затираются, а гаснут постепенно, теряя яркость с каждым последующим обновлением экрана, полностью исчезая за 10 проходов луча.

Для включения и выключения этого режима используется команда «Цифровой люминофор» в меню «Вид».

6.7.13. Измерение фазового сдвига

В программе осциллографа существует возможность автоматического вычисления фазового сдвига сигнала канала В относительно канала А. Для ее использования обратитесь к командам «Фазовый сдвиг» меню «Вид». Выберите один из методов определения сдвига, и вычисленное значение фазового сдвига будет выводиться на специальную панель поверх основного графика. Диапазон выводимого значения угла сдвига: от -180° до $+180^\circ$.

Для определения величины фазового сдвига в данной программе применяются три метода. При геометрическом методе на основном графике определяются моменты переходов через среднее значение для обоих каналов, среднее по всем найденным периодам отношение разности между моментами начала периода канала В и А к средней длительности периода по обоим каналам дает искомый сдвиг фаз. Недостатком этого простейшего метода является то, что он дает корректный результат только для сигналов идентичной формы и одинакового периода.

Метод косинуса потерь основан на формуле косинуса угла потерь:

$$\cos(\varphi) = \frac{\int_0^T U_A U_B dt}{T(U_{A\text{ RMS}} \cdot U_{B\text{ RMS}})},$$

где U_A , U_B — мгновенное значение сигнала по каналу А, В; $U_{A\text{ RMS}}$, $U_{B\text{ RMS}}$ — средне-квадратическое значение сигнала по каналу А, В.

Использование этого интегрального метода позволяет избежать грубых ошибок геометрических методов, возникающих из-за случайных помех, искажающих форму сигнала. Кроме того, в этом случае возможно определение сдвига фаз между сигналами различной формы.

Недостатком метода является невозможность определения знака угла сдвига фаз, поскольку измерения по разным каналам входят в формулу симметрично. Метод дает лишь абсолютное значение (модуль) угла.

Спектральный метод использует алгоритм быстрого преобразования Фурье для перевода сигналов из временной области в фазочастотную. Далее для обоих каналов определяется основная гармоника (по максимальной амплитуде) и сравниваются значения соответствующих фаз. Все остальные составляющие сигнала игнорируются. Недостатком этого метода можно считать неизбежную погрешность дискретного преобразования Фурье, ограничивающую точность определения фазового сдвига.

6.7.14. Применение режима цифрового вольтметра

В программе предусмотрен режим цифрового вольтметра. Для использования его надо обратиться к команде «Цифровой вольтметр» меню «Вид». Вычисленные среднеквадратическое, амплитудное и среднее значения уровня сигнала по обоим каналам будут выводиться на специальную панель поверх основного графика.

Вычисления проводятся для участка осциллограммы, ограниченного курсором на основном графике (при выводе новой осциллограммы). Для того чтобы вновь провести вычисления показаний вольтметра по старой осциллограмме (например, для другого ее участка), вызывается команда «Перерисовать осциллограммы в главной панели».

Для удобства пользователя добавлена возможность усреднения показаний цифрового вольтметра по 5, 10, 25 или 50 последним измерениям. Напомним, что для полной статистической обработки этих показаний можно также воспользоваться панелью статистики.

6.7.15. Построение гистограммы распределения вероятности

В программе осциллографа предусмотрена возможность графического отображения распределения вероятности принимать определенные значения одним из обрабатываемых статистических параметров (рис. 6.65). Кроме того, можно рассмотреть распределение измеренного значения сигнала в каждом отсчете по всему собранному буферу. Для этого можно воспользоваться панелью гистограммы, изображенной на рисунке ниже.

Гистограммы можно использовать в двух режимах. В первом — отображается распределение измеренной величины амплитуды сигнала в той части буфера собранных данных, которая в настоящий момент выводится на основном графике главной панели. Во втором — распределение строится по одному из параметров, обрабатываемых в панели статистики. В этом режиме для обрабатываемого пара-

метра отводится дополнительный буфер для хранения последней тысячи измерений, при этом возникает возможность определения моментов распределения высоких порядков, что позволяет определять такие статистические характеристики, как асимметрия и эксцесс. Кроме того, значение девиации также может быть вычислено точнее, чем приведено в панели статистики. Режим работы гистограммы зависит от положения кнопок «Подробнее...». Параметр, по которому строится распределение вероятности, указывается в заголовке гистограммы.

В панели «Курсоры» гистограммы выводятся:

- X1(2) — X-координата (измеренные величины) по первому (второму) курсору;
- Y1(2) — Y-координата (количество найденных величин в распределении) по первому (второму) курсору;
- dX — разность между 2 и 1 курсорами по оси X;
- dY — разность между 2 и 1 курсорами по оси Y;
- P — вероятность попадания измеряемой величины в границы значений обозначенные курсорами (по горизонтали).

В числовых полях панели гистограммы выводятся те же величины, что и в панели статистики, плюс дополнительные:

- Выборки — объем выборки распределения;
- Величина — текущее (последнее измеренное) значение выбранной величины;
- Среднее — среднее значение в распределении;
- Минимум — минимальное значение в распределении;
- Максимум — максимальное значение в распределении;
- Ст. девиация — стандартная девиация распределения (корень квадратный из дисперсии);
- Асимметрия — асимметрия распределения;
- Эксцесс — эксцесс распределения;
- Интервал — выбор множителя для автоматической установки границ гистограммы по значению стандартной девиации (сигме).

Центр горизонтальной шкалы гистограммы устанавливается равным среднему значению распределения, левая и правая ее границы отодвигаются от центра на указанное число сигм. Слева имеется ручная установка левой (нижней) границы отображения гистограммы, справа — ручная установка правой (верхней) границы отображения гистограммы. Столбцы — установка количества столбцов гистограммы.

6.7.16. Сохранение данных

Для сохранения собранных осциллограмм используется универсальный текстовый формат CSV (Comma Separated Values), который может быть в дальнейшем

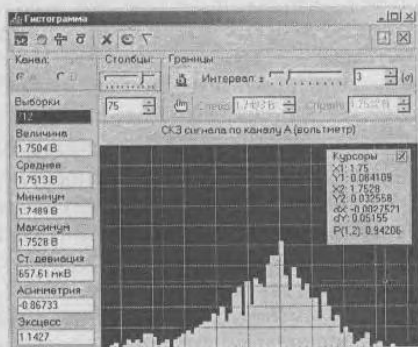


Рис. 6.65. Вывод гистограммы

открыт как самой программой осциллографа, так и любым текстовым редактором или процессором электронных таблиц. Перед массивом данных в файл записываются комментарий пользователя и настройки осциллографа, что позволяет привязать сохраненные данные к абсолютным величинам.

Кроме цифрового сохранения результатов измерений в форме текстового файла, возможно сохранение в файл уже готового изображения полученных сигналов. Можно сохранить изображение сигналов на графике в файл в формате BMP (Windows bitmap). Сохраненное изображение затем можно загрузить в качестве фона графика для визуального сравнения сохраненных и новых сигналов.

Данные в режиме самописца записываются в наиболее экономичном битовом формате.

В начале файла записывается комментарий пользователя, настройки осциллографа, далее пишутся данные по мере их поступления. При необходимости можно преобразовать двоичный файл в тот же текстовый формат CSV, который используется при записи данных в файлы в обычном режиме.

При загрузке сохраненных данных программа останавливает текущие измерения, восстанавливает сохраненные в файле настройки прибора и отображает данные осциллографа точно так же, как обычные измерения. Далее с ними можно проводить любую доступную в программе обработку. Для просмотра файлов данных самописца используются встроенные программные средства, вызываемые с инструментальной панели самописца. С их помощью можно запустить или остановить просмотр файла, переключаться вручную по файлу и регулировать скорость его автоматической прокрутки.

6.7.17. Работа с модулем функционального генератора

Двухканальный виртуальный цифровой функциональный генератор сигналов произвольной формы представляет собой 12-разрядный цифровой прибор в стандартном конструктиве приборов серии «USB-лаборатория АКТАКОМ». Он выдает сигнал произвольной формы или сигнал одной из стандартных форм (синусоидальная, прямоугольная, треугольная и некоторые другие) по двум каналам одновременно. Задание формы и параметров сигналов производится пользователем с помощью компьютера независимо для каждого из каналов. Прибор имеет общий для обоих каналов вход внешней синхронизации для запуска генерации по внешнему событию. Прибор также вырабатывает выходной сигнал для синхронизации запуска других приборов. Главная панель функционального генератора представлена на рис. 6.66.

С помощью списков слева от окна вывода формы сигнала имеются списки для установки следующих параметров сигналов:

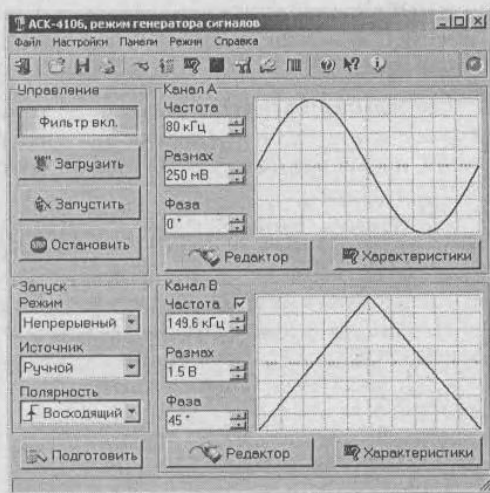


Рис. 6.66. Главная панель функционального генератора

- «Частота» — позволяет менять частоту сигнала в пределах от 0,1 Гц до 10 МГц (частота может быть установлена отдельно для каждого канала или ее можно изменять по обоим каналам одновременно, заблокировав регулятор частоты канала В);
- «Размах» — позволяет менять размах выходного сигнала по каналу А или В в пределах от 0,1 мВ до 2,5 В;
- «Фаза» — позволяет устанавливать фазу в пределах от -360° до $+360^\circ$.

Для выбора формы можно использовать следующие способы:

- выбрать один из стандартных сигналов из выпадающего списка;
- задать сигнал в виде математической формулы;
- просто нарисовать нужную форму мышкой на графике;
- загрузить форму сигнала из ранее подготовленного файла данных, возможно, обработанного внешним приложением.

Для одновременного задания формы сигнала по обоим каналам при генерации определенной фигуры Лиссажу используют функцию «лазерное шоу».

Для записи формул можно использовать символ переменной x и численные константы в формате с плавающей точкой (123.456) или в экспоненциальном формате (1.23456E+2). Разрешаются знаки операций: «+» (сложение), «-» (вычитание), «/» (деление), «*» (умножение), «^» (возведение в степень). Для изменения приоритета вычислений можно использовать круглые скобки (). Распознаются все элементарные функции: $\sin(x)$, $\cos(x)$, $\tan(x)$, $\operatorname{asin}(x)$, $\operatorname{acos}(x)$, $\operatorname{atan}(x)$, $\sinh(x)$, $\cosh(x)$, $\tanh(x)$, $\exp(x)$, $\ln(x)$, $\lg(x)$, $\operatorname{sqrt}(x)$. Возможно применение и числовых функций:

- $\operatorname{floor}(x)$ — наибольшее целое, не превышающее x ;
- $\operatorname{ceil}(x)$ — наименьшее целое, не ниже x ;
- $\operatorname{abs}(x)$ — абсолютная величина (модуль) x ;
- $\operatorname{deg}(x)$ — преобразует радианы в градусы;
- $\operatorname{rad}(x)$ — преобразует градусы в радианы;
- $\operatorname{sgn}(x)$ — знак x , если x — отрицательное число, возвращает (-1) , иначе (1) ;
- $\operatorname{rand}(x)$ — случайное число от 0 до заданного значения x .

Для задания сигнала в виде таблицы используется функция $\operatorname{filetab}(\text{file}, x)$ — вычисляется интерполированное значение функции $f(x)$, заданной таблицей в текстовом файле file (см. прим. ниже). Аргумент функции должен заключаться в круглые скобки.

Примечание. Функция $\operatorname{filetab}$ использует для определения узлов интерполяции текстовый файл, имя которого должно быть указано в качестве первого аргумента, без кавычек, запятая в имени файла не допускается. Узлы интерполяции указываются в файле построчно, в формате x,y . В первых двух строчках файла записывается постоянная служебная информация — идентификаторы типа файла, должны быть 31323133 и 434E5546. Например, файл со следующим содержанием:

```
31323133
434E5546
20.0,0.241
21.0,0.253
22.0,0.266
23.0,0.278
```

24.0,0.291
25.0,0.303
30.0,0.367
40.0,0.497
50.0,0.630
60.0,0.766
70.0,0.905
75.0,0.975
80.0,1.047
90.0,1.191
100.,1.337
120.,1.637
150.,2.100
170.,2.417
200.,2.901
220.,3.229
250.,3.728

задает функцию зависимости напряжения (в милливольтках) на концах термопары ВР(А)-2 от градиента температуры в диапазоне от 20 °С до 250 °С с переменным шагом.

В формулах можно использовать также обозначения констант:

- $\pi = 3.1415926535897932384626433832795$
- $e = 2.7182818284590452353602874713527$

Для разделения элементов формулы допустимо использовать пробелы (но не в именах функций). После задания сигнала у пользователя есть возможность определить его основные параметры: амплитуду, частоту и спектр с помощью панели свойств сигнала.

Для выбора режима запуска надо воспользоваться переключателем «Режим» в главной панели. Доступны следующие режимы:

- однократный — генерация сигнала начинается по возникновению события синхронизации и заканчивается после однократной генерации заданного буфера данных;
- непрерывный — генерация сигнала начинается по возникновению события синхронизации, после генерации заданного буфера данных происходит автоматический перезапуск генерации с начального адреса. Если во время генерации вновь происходит событие синхронизации, также вызывается немедленный перезапуск.

Источник запуска устанавливается с помощью расположенного ниже переключателя «Источник»:

- Ручной — событие запуска вырабатывается по команде пользователя (кнопка «Запустить»);
- Внешний — событие запуска определяется по сигналу на входе внешней синхронизации. Для внешнего запуска можно выбрать полярность запускающего импульса:
- Восходящий — событие запуска вырабатывается по обнаружению восходящего (переднего) фронта запускающего импульса;

- Спадающий — событие запуска вырабатывается по обнаружению спадающего (заднего) фронта запускающего импульса.

Генератор оснащен аналоговым фильтром низких частот 5-го порядка с частотой среза около 15 МГц. Его включить или выключить можно с помощью кнопки «Фильтр вкл./выкл.» в главной панели или в панели ручного управления. Фильтр обеспечивает уменьшение шумов квантования сигналов генератора.

Хотя прибор не имеет аппаратных средств реализации модулированных сигналов, можно использовать возможности задания сигнала математическим выражением (см. «Панель редактора сигнала») для решения этой задачи:

- $A(x) \cdot \sin(\omega_0 x + j_0)$ — амплитудная модуляция, $A(x)$ — модулирующий сигнал;
- $A \cdot \sin(\omega_0 x + j(t))$ — фазовая модуляция, $j(t)$ — модулирующий сигнал;
- $A \cdot \sin(\omega(t)x + j_0)$ — частотная модуляция, $\omega(t)$ — модулирующий сигнал;

Например: `filetab (func.csv, x)*sin (10*x)`. Данная формула задает амплитудную модуляцию с несущей частотой, в 10 раз большей частоты модулирующего сигнала. Модулирующая функция описывается таблицей, считываемой из файла.

Для задания импульсных сигналов с заданной скважностью можно использовать возможности задания сигнала математическим выражением. Например, задана следующая формула: `sgn (x)`. Если при этом указать диапазон изменения переменной от -1 до 2, результатом вычислений будет прямоугольный импульс со скважностью 3, или, иначе, с коэффициентом заполнения 1/3.

Программа функционального генератора работает со следующими типами файлов данных:

- файлы данных, подготовленных для загрузки в прибор. Записываются командой из главной панели. Это данные, уже прошедшие полную обработку в программе и содержащие значения выборок по обоим каналам генератора. Могут записываться как в текстовом, так и в битовом виде. Битовый формат экономичнее и эффективнее, зато текстовый позволяет использование внешнего редактора;
- файлы шаблонов форм сигнала. Записываются командой из панели редактора сигнала. Это данные, содержащие только шаблоны формы по обоим каналам генератора;
- файлы функций. Это данные, описывающие шаблон формы по одному из каналов как функцию для редактора математических выражений;
- файлы «лазерного шоу». Записываются командой из панели «лазерного шоу». Это данные, содержащие шаблоны форм фигур Лиссажу.

Для этих файлов используется универсальный текстовый формат CSV (Comma Separated Values), который может быть в дальнейшем открыт как самой программой осциллографа, так и любым текстовым редактором или процессором электронных таблиц. Функция печати подготовленных выходных сигналов распечатывает изображение сигналов из панели свойств сигнала и некоторую дополнительную текстовую информацию о сигналах.

Пользователь имеет возможность использовать для просмотра или обработки данных, используемых прибором, любую удобную ему программу, способную работать с текстовыми файлами в формате «CSV». Этот формат, в котором сохраняются файлы данных, удобен в первую очередь своей универсальностью — его понимают самые разные программы, от MS Windows Notepad до MS Excel. Можно использовать для работы с этими файлами практически любой текстовый редак-

тор или табличный процессор, ограничения накладываются только на объем загружаемой информации.

Программа позволяет пользователю задавать форму сигналов по обоим каналам для генерации фигур Лиссажу в виде готового изображения («лазерное шоу»). Здесь можно выбрать одну из стандартных фигур или нарисовать собственную, а затем отредактировать полученное изображение. Построенную фигуру можно записать в файл (как последовательность координат узловых точек фигуры) и в дальнейшем вновь загрузить ее в программу для работы. Сохраненный файл можно отредактировать в текстовом виде (см. раздел «Обработка файлов данных внешними табличными процессорами»).

Функциональный генератор имеет специальный редактор битовых последовательностей, окно которого показано на рис. 6.67. Он вызывается кнопкой «Редактор» в основном окне функционального генератора (рис. 6.66). Окно редактора служит для создания, просмотра и редактирования небольших битовых файлов, используемых в качестве аргумента функции binfile (file, x).

Цифровой бинарный сигнал является последовательностью прямоугольных импульсов, базовый и верхний уровень этих импульсов соответствуют уровням логических нуля и единицы. Для удобства представления таких сигналов в список функций интерпретатора математических выражений редактора сигналов введена функция binfile (file, x), которая возвращает логическое значение (0 или 1), соответствующее значению бита x в указанном битовом файле. При этом:

- Уровень «0» — напряжение, соответствующее уровню логического нуля.
- Уровень «1» — напряжение, соответствующее уровню логической единицы.

Для создания и редактирования битовых файлов можно воспользоваться входящим в программу редактором битовых последовательностей. Ниже расположены два текстовых поля. Правое содержит текстовое представление редактируемой битовой последовательности в виде последовательности байтов, каждый байт изображается двумя шестнадцатеричными цифрами, байты отделяются друг от друга пробелами. Левое поле показывает шестнадцатеричный адрес (номер по порядку байта в файле) первого байта в соответствующей строке правого поля. Для того чтобы задать нужную битовую последовательность, впишите последовательно нужные байты в правое текстовое поле и нажмите внизу кнопку «Обновить» или просто нажмите Enter на клавиатуре — введенный текст будет распознан, переведен в битовую форму и отображен на графике внизу панели.

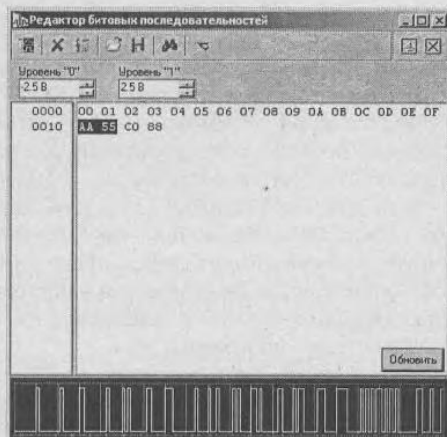


Рис. 6.67. Окно редактора битовых последовательностей

6.7.18. Системные функции

Для того чтобы пользователю не приходилось при каждом запуске программы заново выставлять настройки системы, реализованы несколько функций сохране-

ния и загрузки конфигурации системы. При каждом выходе из программы настройки системы сохраняются в файле default.cfg в рабочем каталоге. При следующем запуске программа читает этот файл и восстанавливает настройки. Кроме автоматического сохранения и загрузки настроек можно использовать команды «Записать конфигурацию» и «Прочитать конфигурацию» в меню «Файл». Эти команды позволяют пользователю записывать и читать вручную различные варианты конфигурации системы для стандартных вариантов работы.

В программе предусмотрена возможность пользовательской настройки цветовой схемы. С помощью панели настроек можно выбрать цвета различных элементов графических индикаторов (фон, линии сетки, кривые сигналов, метки курсоров), наиболее подходящие для вашего рабочего места. Можно создавать различные цветовые схемы и выбирать их с помощью функций записи и чтения конфигурации программы.

В программе предусмотрена возможность выбора одного из предустановленных или пользовательских языков интерфейса. Для этого все текстовые сообщения и надписи пользовательского интерфейса программы вынесены в доступные текстовые файлы. Уже не раз приводились примеры хорошей поддержки русского язычного интерфейса.

Для того чтобы вызвать встроенный файл справки программы, воспользуйтесь командами меню «Справка».

Программа «Измерительный комплекс АСК-4106» предназначена для автоматического измерения комплекса характеристик различных радиоэлектронных устройств. Программа позволяет снимать амплитудные, амплитудно-частотные, фазочастотные и переходные характеристики тестируемого устройства. Для формирования входных тестовых сигналов используется модуль генератора АСК-4106, для измерения выходных сигналов — модуль осциллографа АСК-4106. Программа осуществляет одновременное управление обоими модулями в автоматическом режиме.

6.8. Работа АСК-4106 с реальными сигналами

6.8.1. Измерительная схема и развертывание лаборатории

Измерительная схема для снятия характеристик различных устройств и систем представлена на рис. 6.68. На вход тестируемого устройства (ТУ) с выхода соответствующего генератора тестирующих сигналов (ГТС) подается воздействие в виде тестирующего сигнала T_A с необходимыми параметрами. С выхода ТУ с помощью соответствующего осциллографического регистратора измерителя (ОРИ) снимается результат такого воздействия — отклик O_A и анализируются числовые значения выбранного параметра или характеристики. Для того чтобы скомпенсировать собственные искажения измерительного прибора (например, неравномерность АЧХ осциллографа), идентичный испытательный сигнал T_B подается с канала В генератора напрямую на канал В осциллографа. ОРИ, сравнивая измеренные сигналы O_A и O_B по обоим каналам, обнаружит и зарегистрирует контролируемые параметры ТУ. Регистратор (осциллограф) синхронизируется с генератором (ГТС) с помощью канала С.

Для проведения измерений необходимо подключить к регистрирующему осциллографу четыре соединительных радиокабеля, используя следующие измерительные разъемы:



Рис. 6.68. Измерительная схема на базе прибора АСК-4106

1. Выход синхронизации модуля генератора (СИНХРОНИЗАЦИЯ ВХОД/ВЫХОД) напрямую соединяется с входом синхронизации модуля осциллографа (ВНЕШ. А и В).
2. Выход канала В модуля генератора напрямую соединяется с входом канала В модуля осциллографа.
3. Выход канала А модуля генератора соединяется со входом исследуемого устройства.
4. Выход исследуемого устройства соединяется со входом канала А модуля осциллографа.

Внешний вид развернутой лаборатории показан на рис. 6.69.

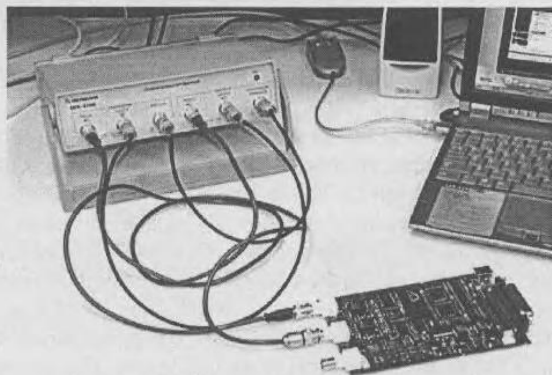


Рис. 6.69. Внешний вид виртуальной лаборатории на базе приставки АСК-4106 и ноутбука

Для получения достаточно полной картины свойств испытуемого устройства необходимо провести большое количество измерений при различных параметрах тестового сигнала. Соответственно, программа измерительного комплекса должна обеспечивать пользователя средствами описания такой последовательности сигналов для проведения всего комплекса испытаний «списком». В программе АСК-4106 для этой цели вводится понятие траектории измерений, в свою очередь представляющей собой последовательность точек измерений.

Каждая точка измерений — это совокупность нескольких величин: частоты повторения испытательного сигнала, размаха напряжения, шаблона формы и флага использования этой точки при измерениях (рис. 6.70). Шаблон формы задает ха-

рактически любой формы сигнала: синус, прямоугольник, дельта-импульс или любая произвольная форма. Флаг использования позволяет исключать данную точку из текущей серии измерений, не удаляя ее из траектории. Программа содержит удобные средства для работы с траекториями измерений. Пользователь может создавать новые траектории, сохранять их в файлы, загружать сохраненные, составлять новые траектории, соединяя несколько существующих траекторий, сортировать точки в составе траектории, вносить изменения в отдельные точки или в группы точек измерений и т. д.



Рис. 6.70. Окно настройки измерений

6.8.2. Автоматические измерения и определяемые параметры сигналов

Подключив тестируемое устройство к измерительному прибору и задав требуемую траекторию измерений, можно перейти непосредственно к процессу испытаний. Программа позволяет запустить измерения в автоматическом или пошаговом (полуавтоматическом) режиме. В обоих режимах программа последовательно генерирует испытательные сигналы (ИС), задаваемые очередной точкой траектории измерений (шаг измерений). На каждом шаге измерений программа автоматически устанавливает длину буфера данных и скорость развертки осциллографа в соответствии с периодом повторения ИС в текущей точке измерений так, чтобы оказались захваченными несколько периодов ИС с достаточным временным разрешением. Далее автоматически подбираются оптимальные величины усиления и смещений по обоим измеряемым каналам, проводя несколько настроечных захватов сигнала.

После настройки осциллографа производится результативный захват осциллограмм, по которым далее будет проводиться вычисления. Все осциллограммы, получаемые и для настройки, и для результативных измерений, отображаются по мере захвата на вкладке «Форма» главного окна программы. Изображения осциллограмм нужны для визуального контроля оператора за качеством настройки прибора на сигнал, определения численных параметров измеренных сигналов проводится автоматически: программа сама выделяет в собранных данных целое число периодов повторения ИС. По каждому найденному периоду осциллограф вычисляет размах сигнала, его среднеквадратическое значение, частоту и фазу, затем полученные величины усредняются по всем периодам. Результаты измерений сохраняются в таблице данных и отображаются в главном окне программы.

Автоматический и полуавтоматический режимы отличаются только тем, что в пошаговом режиме программа после каждого шага измерений и вывода результатов останавливается, дает возможность не спеша ознакомиться с полученными измерениями и ожидает команды пользователя для начала следующего шага измерений, а в автоматическом — переход к следующему шагу производится сразу, без дополнительного подтверждения.

6.8.3. Предоставление результатов измерений

После определения параметров в очередной точке измерений результаты заносятся в массив данных траектории и выводятся в графическом виде как амплитудно-частотная, амплитудная и фазочастотная характеристики, а также в текстовом виде в таблице «Сводка измерений». Вкладка «Форма» представляет осциллограммы исследуемого устройства (см. рис. 6.71).

Зависимость среднеквадратического значения амплитуды выходного сигнала от частоты входного сигнала (амплитудно-частотная характеристика, АЧХ) изображается на вкладке «Частотные» (рис. 6.72). Ось значений этого графика может работать в двух различных режимах. В первом режиме по этой оси откладывается измеренная величина коэффициента усиления (отношение СКЗ выходного сигнала к СКЗ входного сигнала), в линейном или логарифмическом масштабе. Во втором — дополнительно включается возможность использования опорного уровня: выводится отношение измеренного в данной точке коэффициента усиления к некоторому фиксированному уровню, либо определенному на указанной частоте, либо введенному в явном виде.

Кроме обычных настроек (см. раздел «Настройка вида графиков») этот график позволяет переключать различные режимы оси значений:

- Коэффициент усиления — на шкале значений откладывается безразмерная величина отношения измеренных действующих значений напряжения сигнала реакции тестируемого устройства и сигнала тестового воздействия;
- Логарифмическая шкала (дБ) — вместо коэффициента усиления откладывается его десятичный логарифм;
- Нормировка по опорному уровню (%) — откладывается отношение величины коэффициента усиления в данной точке к другой фиксированной величине коэффициента усиления (заданной либо явно, либо измеренной на заданной частоте), выраженной в процентах.

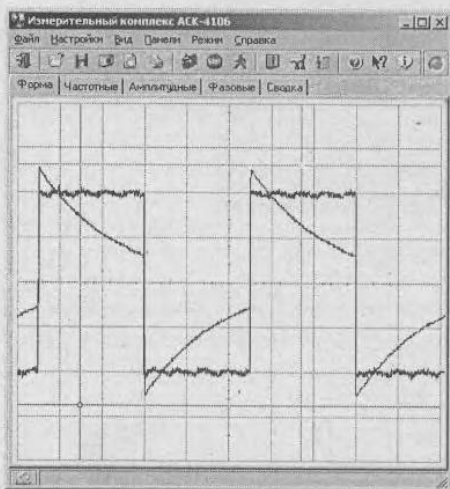


Рис. 6.71. Представление форм исследуемых напряжений

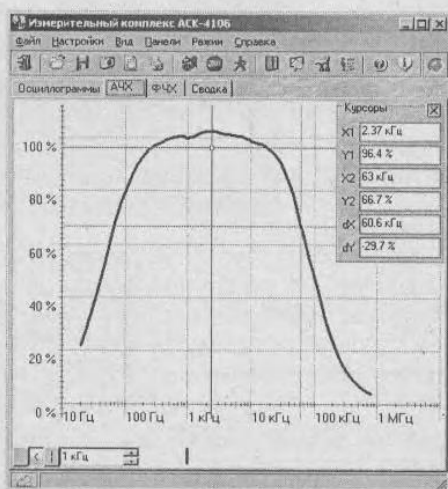


Рис. 6.72. Окно просмотра амплитудно-частотной характеристики

Для выбора желаемого режима для шкалы значений графика АЧХ надо пользоваться командой соответствующей команде меню «Вид» главной панели.

На вкладке «Амплитудные» отображается зависимость среднеквадратического значения амплитуды выходного сигнала от среднеквадратического значения амплитуды входного сигнала (амплитудная или передаточная характеристика — рис. 6.73). Если текущая траектория измерений служит для измерения АЧХ и амплитуда входного сигнала поддерживается постоянной во всех измеряемых точках, этот график будет не слишком наглядным, представляя собой вертикальную линию. В этом случае пользователь может запретить программе строить ненужный график. Это же относится и к графикам АЧХ и ФЧХ при измерении амплитудной характеристики (когда измерения проводятся при фиксированной частоте ИС).

По оси ординат откладывается измеренное действующее значение напряжения сигнала тестового воздействия, по оси значений — измеренное действующее значение напряжения сигнала реакции тестируемого устройства.

ФЧХ — фазочастотная характеристика, изображается на последней графической вкладке: «Фазовые» (рис. 6.74). Здесь выводится зависимость величины угла сдвига фаз выходного сигнала относительно входного от частоты входного ИС. Величины углов могут по выбору пользователя отображаться в градусах, радианах, градиентах или в долях полного круга. Диапазон определения угла сдвига фаз: от -180° до $+180^\circ$.

Программа позволяет выбрать один из трех методов определения фазового сдвига: геометрический, метод «косинуса потерь» и спектральный. Они были описаны выше. Рис. 6.75 иллюстрирует определение фазы для случая, когда один из сигналов синусоидальный, а другой резко отличный от синусоидального. Этот пример — иллюстрация к реальной задаче определения сдвига фаз между сигналами напряжения и тока при измерении параметров петли гистерезиса магнитопроводов с ферритовым сердечником.

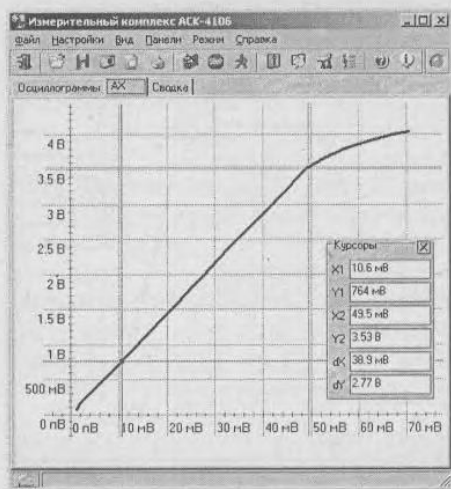


Рис. 6.73. Представление амплитудной (передаточной) характеристики

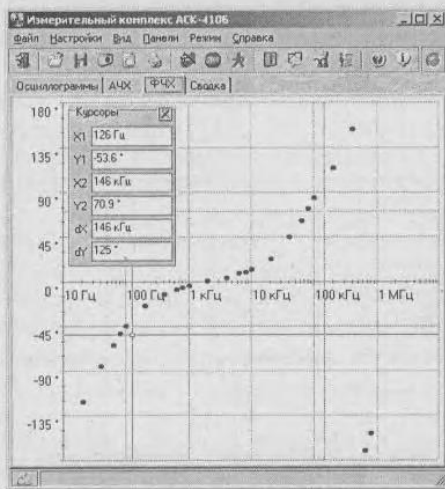


Рис. 6.74. Представление фазочастотной характеристики

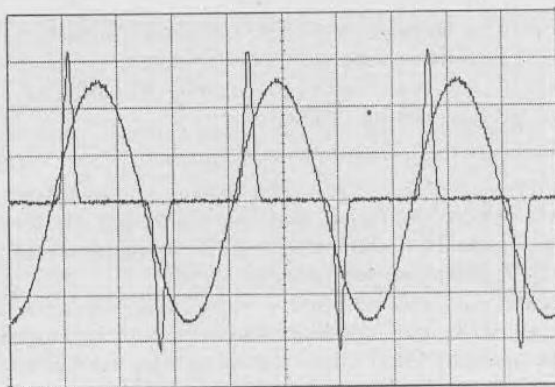


Рис. 6.75. Пример определения сдвига фаз между сигналами, один из которых не синусоидальный

6.8.4. Настройка графиков

Все графики имеют возможность курсорных измерений. Для каждого графика в программе пользователь может выбрать наиболее удобные настройки с помощью специального диалогового окна. Здесь можно выбрать как удобные цвета для всех элементов графика, так и настроить стиль графиков, установить параметры осей (масштаб, шаг сетки, линейная или логарифмическая). Каждый график настраивается независимо с помощью окна «Настройка графика» (рис. 6.76).

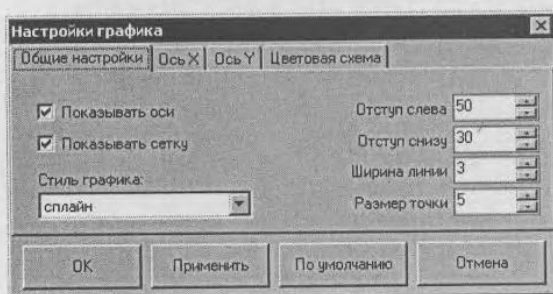


Рис. 6.76. Окно настройки графиков

Общая настройка графиков осуществляется с помощью вкладки «Общие настройки». На ней возможны следующие установки:

- Показывать оси — разрешает прорисовку на графике линий осей и меток;
- Показывать сетку — разрешает отображение линий сетки;
- Стиль графика — выбирает стиль линии графика: линии, отдельные точки, полосы (стиль гистограммы), сплайн (сглаженная кривая по указанным точкам);
- Отступ слева (снизу) — размер отступа (в пикселях), на который изображение будет сдвинуто от левого (нижнего) края окна графика;

- Ширина линии — ширина (в пикселях) линии, используемой для прорисовки графика при использовании любого стиля, кроме точечного;
- Размер точки — диаметр точек (в пикселях), используемых для прорисовки графика при использовании стиля «точки».

На вкладке «Ось X» (рис. 6.77) имеются установки:

- Логарифмическая шкала — включает режим логарифмической шкалы для оси ординат. Вместо оригинальных значений ординат выводятся их десятичные логарифмы. При использовании логарифмической шкалы недопустимы ординаты, меньшие либо равные нулю;
- Автоматическое масштабирование — если эта метка установлена, то по нажатию кнопки «ОК» или «Применить» значения минимума, максимума и нуля для оси ординат будут установлены программой автоматически на основе текущих данных, отображаемых на графике;
- Автоматический выбор шага сетки — если эта метка установлена, то по нажатию кнопки «ОК» или «Применить» значение шага сетки по оси ординат будет установлено программой автоматически на основе текущего масштаба этой оси;
- Минимум (Максимум, Ноль) — параметры масштаба оси ординат.

Соответственно на вкладке «Ось Y» (рис. 6.78) возможны установки, аналогичные отмеченным на вкладке «Ось X», но, конечно, применяемые к оси Y.

Наконец, на вкладке «Цветовая схема» (рис. 6.79) можно задавать удобные пользователю цвета различных элементов графика. Щелчок левой кнопкой мыши — выбор цвета, щелчок правой кнопкой мыши устанавливает цвет по умолчанию.

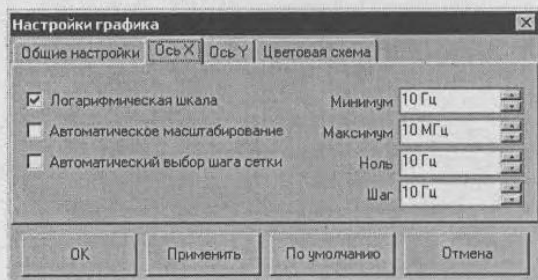


Рис. 6.77. Вкладка «Ось X»

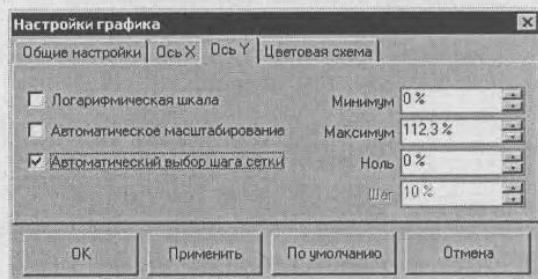


Рис. 6.78. Вкладка «Ось Y»

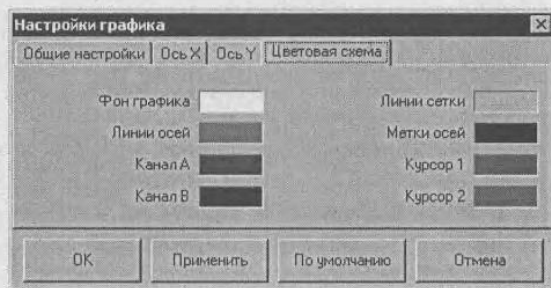


Рис. 6.79. Вкладка «Цветовая схема»

6.8.5. Просмотр табличных данных

Просмотреть в числовом виде исходные данные для построения графических характеристик можно в таблице на вкладке «Сводка» (рис. 6.80). Для каждой точки измерений в эту таблицу построчно заносятся: «N» — номер точки измерений, «Частота ->» — заданная частота ИС, «Амплитуда ->» — заданная пиковая амплитуда ИС, «СКЗ ->» — измеренная среднеквадратическая амплитуда входного сигнала, «Частота <-» — измеренная частота выходного сигнала, «Фаза <-» — угол сдвига фазы выходного сигнала относительно входного, «СКЗ <-» — измеренная среднеквадратическая амплитуда выходного сигнала.

Все результаты измерений, в том числе и содержимое этой таблицы, могут быть сохранены в текстовый файл в формате «CSV». Этот файл может быть затем

Измерительный комплекс АСК-4106						
Файл Настройки Вид Панели Режим Справка						
Осциллограммы АЧХ ФЧХ Сводка						
N	Частота ->	Амплитуда ->	СКЗ ->	Частота <-	Фаза <-	СКЗ <-
1	20 Гц	100 мВ	35.355 мВ	20.011 Гц	-122 °	555.48 мВ
2	40 Гц	100 мВ	35.355 мВ	40.041 Гц	-85.2 °	1.172 В
3	63 Гц	100 мВ	35.355 мВ	62.985 Гц	-63.8 °	1.6174 В
4	80 Гц	100 мВ	35.355 мВ	80.017 Гц	-53 °	1.843 В
5	100 Гц	100 мВ	35.355 мВ	100.03 Гц	-44.9 °	2.0203 В
6	200 Гц	100 мВ	35.355 мВ	200.07 Гц	-25 °	2.3653 В
7	400 Гц	100 мВ	35.355 мВ	400.09 Гц	-13.4 °	2.5069 В
8	630 Гц	100 мВ	35.355 мВ	630.15 Гц	-8.2 °	2.5515 В
9	800 Гц	100 мВ	35.355 мВ	799.95 Гц	-5.95 °	2.5657 В
10	1 кГц	100 мВ	35.355 мВ	999.49 Гц	-4.47 °	2.5755 В
11	2 кГц	100 мВ	35.355 мВ	2.0004 кГц	0.569 °	2.5936 В
12	4 кГц	100 мВ	35.355 мВ	3.9997 кГц	3.86 °	2.5986 В
13	6.3 кГц	100 мВ	35.355 мВ	6.304 кГц	7.97 °	2.5869 В
14	8 кГц	100 мВ	35.355 мВ	8.0007 кГц	9.63 °	2.5763 В
15	10 кГц	100 мВ	35.355 мВ	9.9974 кГц	12.2 °	2.5568 В
16	20 кГц	100 мВ	35.355 мВ	20.001 кГц	23.2 °	2.4384 В
17	40 кГц	100 мВ	35.355 мВ	39.988 кГц	45.1 °	2.1216 В
18	63 кГц	100 мВ	35.355 мВ	63.094 кГц	61.6 °	1.6913 В
19	80 кГц	100 мВ	35.355 мВ	79.964 кГц	73.5 °	1.4409 В
20	100 кГц	100 мВ	35.355 мВ	99.983 кГц	84.1 °	1.2088 В
21	200 кГц	100 мВ	35.355 мВ	199.98 кГц	114 °	600.41 мВ
22	400 кГц	100 мВ	35.355 мВ	400.26 кГц	153 °	245.14 мВ
23	630 кГц	100 мВ	35.361 мВ	634.99 кГц	-171 °	128.94 мВ
24	800 кГц	100 мВ	35.355 мВ	800.37 кГц	-153 °	99.251 мВ

Рис. 6.80. Представление характеристики в форме таблицы

либо вновь открыт самой программой измерительного комплекса, либо использован для дальнейшей обработки данных внешними приложениями, такими как Microsoft Excel или подобными. Кроме того, все графики программы также можно сохранить в файлы в виде изображений в растровой или в векторной форме. Наконец, содержимое любой вкладки результатов измерений пользователь может снабдить собственным комментарием и вместе с ним отправить на печать.

6.8.6. Применение модуля анализа формы сигналов

Для изучения переходных характеристик испытываемых устройств пользователь может либо просто воспользоваться курсорными измерениями на графике формы сигналов, либо дополнительно использовать возможности автоматических измерений модуля анализа формы сигнала. Этот модуль объединяет возможности спектрального анализа (разложение сигналов в гармонические ряды, изображение спектров сигналов и их параметров: частот и амплитуд гармоник, коэффициента нелинейных искажений) и алгоритмов автоматического определения параметров импульса (частоты, длины импульса, времен нарастания и спада, величин выброса и т. д.). Окно модуля с открытой вкладкой «Спектральный анализ» показано на рис. 6.81.

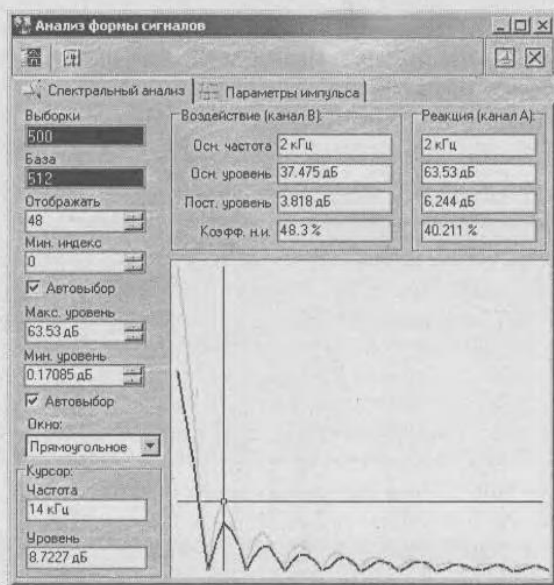


Рис. 6.81. Представление результатов спектрального анализа модулем анализа формы сигналов

Программа имеет возможность автоматического определения стандартных параметров импульсных сигналов (рис. 6.82). При этом программа будет пытаться обнаружить в собранных осциллографом данных импульсный сигнал. В случае отсутствия подходящего сигнала с помощью светодиодов статуса на вкладке Параметры импульса панели анализа формы сигнала будет выведено сообщение о том, что параметры не определены либо определены частично. В противном случае но-

вые результаты вычислений будут выведены в соответствующие числовые поля панели. Поля, соответствующие неопределенным параметрам, будут отображаться «недоступными».

Реакция (канал А)		Воздействие (канал В)	
Статус:	☐ ☐ ☐	Статус:	☐ ☐ ☐
Интервал (выб.):	5100	Интервал (выб.):	5100
Кол-во периодов:	4	Кол-во периодов:	5
Амплитуда:	3.0399 В	Амплитуда:	91.605 мВ
Размах:	8.7813 В	Размах:	96.5 мВ
Пол. выброс, %:	40.297	Пол. выброс, %:	3.186
Отр. выброс, %:	148.570	Отр. выброс, %:	1.928
Медиана:	1.8574 В	Медиана:	-4.454 мВ
Среднее:	341.93 мВ	Среднее:	-3.9121 мВ
Ст. девиация:	746.77 мВ	Ст. девиация:	45.91 мВ
СКЗ:	746.82 мВ	СКЗ:	65.426 мВ
Частота:	10.005 Гц	Частота:	10.006 Гц
Период:	99.95 мс	Период:	99.94 мс
Дл. импульса:	2.6273 мс	Дл. импульса:	49.958 мс
Отн. дл. импульса, %:	2.63	Отн. дл. импульса, %:	49.99
Вр. нарастания:	44.508 мс	Вр. нарастания:	79.621 мкс
Время спада:	3.1666 мс	Время спада:	80.039 мкс

Рис. 6.82. Представление результатов анализа импульсов на вкладке «Параметры импульсов» модуля анализа формы сигналов

Полученные результаты измерений можно сохранять и затем загружать их как данные результатов измерений, так и данные, определяющие условия измерений. Команды записи данных в файл, вызываемые пользователем из разных рабочих панелей программы, создают файлы разных форматов данных, хотя при этом используется одинаковый формат самих файлов (формат CSV). Для того чтобы не путать файлы разных данных, они помещаются в различные подкаталоги.

Программа позволяет пользователю распечатать результаты измерений, представленные на вкладках главной панели. Для этого выводят нужную вкладку на передний план и дают программе команду «Печать» из меню «Файл» или подают команду кнопкой. Для предварительного просмотра результатов печати можно использовать команду «Просмотр печати» или кнопку. Для переключения режимов черно-белой или цветной печати графиков используется опция «Черно-белая печать» на вкладке «Общие панели» настроек.

Пользователь имеет также возможность использовать для просмотра или обработки данных, используемых прибором, любую удобную ему программу, способную работать с текстовыми файлами в формате «CSV». Можно использовать для работы с этими файлами практически любой текстовый редактор или табличный процессор, ограничения накладываются только на объем загружаемой информации. В этом случае рекомендуется разбивать большой файл данных на несколько достаточно мелких фрагментов.

Литература

1. Жуков А. И. Метод Фурье в вычислительной математике. М.: Физматлит, 1992.
2. Дьяконов В. П. Компьютерная математика. Теория и практика. М.: Нолидж, 2001.
3. Дьяконов В. П. Энциклопедия Mathcad 2001i/11. М.: СОЛОН-Пресс, 2004.
4. Susskind Ch. Ferdinand Braun: Forgotten Forefather//Adv. in Electronics and Electron Physics. 1980. Vol. 50, p. 241—260.
5. Atherton W. A. Karl Ferdinand Braun (1850—1918): inventor of the oscilloscope//Electronics and Wireless World. 1990. № 1, p. 12-14.
6. Храмов Ю. А. Физики. Биографический справочник. 2-е изд. М.: Наука, 1983. 44 с.
7. Braun F. Ueber ein Verfahren zur Demonstration und zum Studium des zeitlichen Verlaufes variabler Ströme//Ann. der Phys. und Chem. Widem. 1897. Bd. 60, p. 552—559.
8. Климин А. И., Урвалов В. А. Столетие электрона и электронного осциллографа//Радиоэлектроника и связь. 1997. № 1(12), с. 32—11.
9. Мандельштам Л. И. Об одном методе объективного изображения колебательных процессов в простых и связанных конденсаторных контурах. Полное собр. трудов под ред. С. М. Рытова. Т. 1. М. — Л.: АН СССР, 1948, с. 147—153.
10. Жигарев А. А. Электронная оптика и электронно-лучевые приборы. М.: Высшая школа, 1972.
11. Моругин Л. А., Глебович Г. В. Наносекундная импульсная техника. М.: Советское радио, 1964.
12. Бонч-Бруевич А. М. Радиоэлектроника в экспериментальной физике. М.: Наука, Физматлит, 1966.
13. Блюдин Е. К., Борнар З. М., Кравченко К. В. и др. Портативные осциллографы. М.: Советское радио, 1978.
14. Куркин Ю. Л., Уточкин Б. А. Элементы и узлы транзисторных скоростных осциллографов. Новосибирск.: Наука, Сибирское отделение, 1975.
15. Дьяконов В. П., Максимчук А. А., Смердов В. Ю., Ремнев А. М. Энциклопедия устройств на полевых транзисторах. М.: СОЛОН-Р, 2002.
16. Дьяконов В. П. Лавинные транзисторы и их применение в импульсных устройствах. М.: Советское радио, 1973.
17. Ицхоки Я. С., Овчинников Н. И. Импульсные и цифровые устройства. М.: Советское радио, 1972.
18. Матвиенко А.Б. Основные характеристики современных осциллографов. Электронные компоненты, 2004, № 11.
19. Дедюхин А. А. Основные характеристики современных осциллографов. http://www.prist.ru/info.php/articles/general_ch_modern_oscilloscopes.htm
20. ГОСТ 22737-77. Осциллографы электронно-лучевые. Номенклатура параметров и общие технические требования.
21. ГОСТ 23158-78. Осциллографы электронно-лучевые универсальные. Методы испытаний.
22. ГОСТ 8.311-78. Осциллографы электронно-лучевые универсальные. Методы и средства поверки.
23. И. Чех. Осциллографы в измерительной технике. Пер. с нем. под ред В. А. Новопольского. М.: Энергия, 1965.

24. В. Куликов. Импортные аналоговые осциллографы на отечественном рынке. Ремонт и сервис, 1999, № 5.
25. Кудреватых Е. Ф., Баландин Н. И. Новое семейство аналоговых осциллографов АКТАКОМ. Контрольно-измерительные приборы и системы, 2001, № 1.
26. В. Боравский. Осциллограф С1-68. Устройство, принцип работы и характерные неисправности. Ремонт и сервис, 2000, № 12.
27. Новое семейство аналоговых осциллографов АКТАКОМ. Ремонт и сервис, 2003, № 2.
28. Ю. Садилов. Общие принципы измерения характеристик электронных устройств. Ремонт и сервис, 2004, № 5.
29. Афонский А. А. Многофункциональные цифровые запоминающие осциллографы АСК-2022/2023. Контрольно-измерительные приборы и системы, 2001, № 6.
30. Дедюхин А. А. Цифровые осциллографы компании Good Will Instruments Co. Ltd. (GW Instek). Метрология и измерительная техника в связи, 2003, № 3.
31. А. Дедюхин А. А. Цифровые осциллографы компании Good Will Instruments Co. Ltd. (Instek). Ремонт и сервис, 2003, № 9.
32. А. Матвиенко. Осциллографы TDS5000. Ремонт и сервис, 2002, № 8.
33. Руководство по эксплуатации осциллографа Tektronix серии TDS5000B, 071-1420-01.
34. Руководство по эксплуатации осциллографа Tektronix серии TDS3000B, 071-0382-01.
35. Руководство по эксплуатации осциллографа LeCroy серии WaveSurfer.
36. Руководство по эксплуатации осциллографа LeCroy серии WaveRunner.
37. Руководство по эксплуатации осциллографа LeCroy серии WavePro.
38. Рябинин Ю. А. Стробоскопическое осциллографирование. М.: Советское радио, 1972.
39. Дьяконов В. П. Intel. Новейшие информационные технологии. Достижения и люди. М.: СОЛОН-Пресс, 2004.
40. В. Дьяконов. Виртуальные ПК-осциллографы фирмы Velleman. М.: Ремонт и сервис, 2003, № 8.
41. В. Дьяконов, В. Смердов. Виртуальные функциональные генераторы фирмы Velleman. М.: Ремонт и сервис, 2004, № 2.
42. В. Дьяконов. Компьютеризованная лаборатория PC-LAB2000. М.: Ремонт и сервис, 2003, № 9.
43. Фолкенберри Л. М. Справочное пособие по ремонту электрических и электронных систем. М.: Энергоатомиздат, 1989.
44. Бакалов В. П., Дмитриков В. Ф., Круг Б. И. Основы теории цепей. М.: Радио и связь, 2000.
45. Дьяконов В. П. MATLAB 6/6.1/6.5+Simulink 4/5. Основы применения. М.: СОЛОН-Пресс, 2002.
46. Дьяконов В. П. MATLAB 6/6.1/6.5+Simulink 4/5 в математике и моделировании. М.: СОЛОН-Пресс, 2003.
47. Дьяконов В. П. MATLAB 6/6.1/6.5+Simulink 4/5. Обработка сигналов и изображений. М.: СОЛОН-Пресс, 2004.
48. Дьяконов В. П. Вейвлеты. От теории к практике. Изд-е 2-е, переработанное и дополненное. М.: СОЛОН-Пресс, 2004.

Содержание

Введение.....	3
Глава 1. История и основы электронной осциллографии	7
1.1. Сигналы и их спектры	7
1.1.1. Синусоидальные колебания и сигналы	7
1.1.2. Понятие о спектральном синтезе сложных сигналов	8
1.1.3. Фурье-анализ и синтез периодических функций	9
1.1.4. Дискретный фурье-анализ и спектр периодических функций	11
1.1.5. Непрерывное преобразование Фурье для произвольного сигнала	12
1.1.6. Быстрое преобразование Фурье (БПФ)	13
1.1.7. Эффект Гиббса	14
1.2. История осциллографии.....	15
1.2.1. Механические, светолучевые и магнитоэлектрические осциллографы	15
1.2.2. Трубка и осцилоскоп Брауна	16
1.2.3. От трубки Брауна к трубке с электростатическим отклонением	18
1.3. Современные осциллографические трубки	21
1.3.1. Особенности конструкции осциллографических ЭЛТ	21
1.3.2. Графическая скорость луча	22
1.3.3. Время установления отклоняющей системы	23
1.3.4. Отклоняющие системы осциллографических ЭЛТ	24
1.3.5. Осциллографические трубки специального назначения	25
1.4. Принцип действия и устройство аналогового осциллографа	28
1.4.1. Принцип действия осциллографа	28
1.4.2. Структурная схема аналогового осциллографа	28
1.4.3. Требования к усилителям осциллографа	32
1.4.4. Особенности широкополосных осциллографических усилителей	37
1.4.5. Принципы построения генераторов развертки	42
1.4.6. Узлы синхронизации осциллографов	45
1.4.7. Блоки питания осциллографов	45
1.5. Параметры и выбор электронных осциллографов	46
1.5.1. Основные параметры	46
1.5.2. Дополнительные параметры	47
1.5.3. Выбор осциллографов	47
Глава 2. Аналоговые осциллографы широкого применения	51
2.1. Лучшие из реликтов	51
2.1.1. Ламповые осциллографы 50—60-х годов двадцатого века	51
2.1.2. Массовые советские транзисторные осциллографы 60-х годов	53
2.1.3. Осциллографы для радиолюбителей и радиолюбительские	55
2.2. Современные сервисные аналоговые осциллографы	57
2.2.1. Сервисные осциллографы серий ОСУ и МРС	57
2.2.2. Отечественные сервисные осциллографы	59
2.3. Современные отечественные универсальные осциллографы	61

2.3.1. Отечественные универсальные осциллографы	61
2.3.2. Современные универсальные осциллографы фирмы Good Will	67
2.3.3. Современные универсальные осциллографы серии ACK	72
2.3.4. Осциллографы АКТАКОМ-IWATSU Hi-End-класса	77
2.3.5. Универсальные осциллографы фирмы HITACHI	82
2.3.6. Осциллографы фирмы PINTEK	83
Глава 3. Цифровые и стробоскопические осциллографы	85
3.1. Цифровое представление аналоговой информации	85
3.1.1. Общие принципы построения цифровых осциллографов	85
3.1.2. О выборе числа отсчетов и восстановлении сигналов	87
3.1.3. Об интерполяции в цифровых осциллографах	88
3.1.4. Принципы построения стробоскопических осциллографов	89
3.1.5. Генераторы стробирующих импульсов	91
3.1.6. Устройства выборки сигналов	92
3.2. Современные аналогово-цифровые осциллографы	93
3.2.1. Аналогово-цифровые осциллографы АКТАКОМ	93
3.2.2. Аналогово-цифровые осциллографы фирмы Good Will	95
3.3. Цифровые осциллографы	96
3.3.1. Цифровые осциллографы Минского приборостроительного завода	96
3.3.2. Цифровые осциллографы фирмы Good Will	100
3.3.3. Цифровые осциллографы АКТАКОМ	102
3.3.4. Цифровые осциллографы фирмы HITACHI	105
3.3.5. Цифровые осциллографы фирмы TEKTRONIX	106
3.3.6. Осциллографы фирмы Tektronix с цифровым люминофором	110
3.3.7. Цифровые осциллографы фирмы RIGOL	112
3.3.8. Цифровые осциллографы фирмы LeGroy (общая оценка)	112
3.3.9. Цифровые осциллографы LeGroy WaveRunner	114
3.3.10. Цифровые осциллографы LeGroy WaveSurfer	118
3.3.11. Цифровые осциллографы LeGroy WavePro	118
3.3.12. Цифровые осциллографы LeGroy WaveMaster	123
3.3.13. Стробоскопические осциллографы серии Wave Expert с полосой до 100 ГГц	124
3.3.14. Цифровые осциллографы фирмы Agilent Technologies	127
3.4. Портативные цифровые осциллографы	129
3.4.1. Тенденция микроминиатюризации цифровых осциллографов	129
3.4.2. Миниатюрные осциллографы АКТАКОМ	129
3.4.3. Цифровые осциллографы — скопметры фирмы FLUKE	131
3.4.4. Графические мультиметры-осциллографы фирмы BEETECH	140
3.4.5. Портативные осциллографы фирмы Velleman	140
3.4.6. Портативный осциллограф-мультиметр DMM-740	144
3.4.7. Портативные осциллографы-мультиметры фирмы METEX	145
3.4.8. Портативные осциллографы корпорации Tektronix	146
3.4.9. Цифровые осциллографы — ноутбуки фирмы Hitachi	150
Глава 4. Виртуальные осциллографы и лаборатории	152
4.1. Виртуальные PC-осциллографы	152
4.1.1. Назначение виртуальных осциллографов и их типы	152

4.1.2. Виртуальные осциллографы в виде плат расширения ПК	153
4.2. Виртуальные осциллографы фирмы Velleman	153
4.2.1. Виртуальные осциллографы фирмы Velleman.....	153
4.2.2. Спектроанализатор на базе виртуального осциллографа фирмы Velleman.....	156
4.2.3. Самописец на базе виртуального осциллографа фирмы Velleman.....	156
4.2.4. Работа с PC-осциллографом фирмы Velleman.....	157
4.3. Виртуальные функциональные генераторы фирмы Velleman.....	159
4.3.1. Функциональные измерительные генераторы	159
4.3.2. Виртуальные функциональные генераторы фирмы Velleman.....	160
4.3.3. Работа с виртуальным функциональным генератором фирмы Velleman	161
4.4. Компьютеризированная лаборатория PC-Lab 2000	163
4.4.1. Создание компьютеризированной лаборатории PC-Lab 2000	163
4.4.2. Специальные возможности лаборатории PC-Lab 2000	164
4.5. Новые возможности виртуальной лаборатории PC-Lab 2000 v. 1.38	167
4.5.1. Развитие лаборатории PC-Lab 2000	167
4.5.2. Установка обновленной лаборатории PC-Lab 2000.....	167
4.5.3. Новый режим запоминания осциллограмм PERSIST.....	167
4.5.4. Отключение режима соединения точек графиков.....	168
4.5.5. Автоматизация измерений параметров осциллограмм.....	170
4.5.6. Режим запоминания спектрограмм.....	172
4.5.7. Другие возможности обновленной PC-Lab 2000	173
4.6. Осциллографические модули и платы фирмы BORDO	174
4.6.1. Цифровой осциллограф BORDO-421 с USB-интерфейсом.....	174
4.6.2. Цифровые осциллографы — плата В-121 и приставка В-323.....	176
4.6.3. Двухканальные цифровые осциллографы — платы PCI.....	178
4.6.4. Интерфейс пользователя осциллографов фирмы BORDO	180
4.7. Платы-осциллографы других фирм.....	181
4.7.1. Ультраскоростные платы М8-500, М8-500У и М8-1000.....	181
4.7.2. Приставка-осциллограф DSO-2100.....	183
4.7.3. Осциллографическая приставка SDS200	184
4.8. Виртуальная USB-лаборатория АКТАКОМ	186
4.8.1. Управляемые источники питания АТН-1535/1539	186
4.8.2. Функциональные генераторы АНР-3121/3122	186
4.8.3. Генератор измерительных телевизионных сигналов АНР-3125/3126	187
4.8.4. Цифровые запоминающие осциллографы АСК-3106/3107/3116/3117.....	188
4.8.5. Комбинированный прибор АСК-4106.....	190
4.9. Виртуальный характериограф АСС-4211	193
4.9.1. Приставка АСС-4211 и ее параметры	193
4.9.2. Работа с приставкой АСС-4211	194
Глава 5. Осциллографические измерения	196
5.1. Подготовка аналогового осциллографа к работе.....	196
5.1.1. Включение аналогового осциллографа и подготовка его к работе	196
5.1.2. Подключение осциллографа к источнику сигнала.....	197
5.1.3. Выбор режимов работы усилителей канала Y.....	198

5.1.4. Калибровка чувствительности	199
5.1.5. Учет влияния входной цепи осциллографа	200
5.1.6. Применение компенсированных делителей напряжения	202
5.1.7. Установка точной компенсации делителя	204
5.1.8. Лабораторные испытания аналоговых осциллографов	205
5.2. Работа с разверткой и синхронизация	208
5.2.1. Изменение режимов развертки	208
5.2.2. Запуск нарастающим или спадающим изменением сигнала	208
5.2.3. Установка длительности и растяжка развертки	209
5.2.4. Наблюдение телевизионных сигналов	209
5.2.5. Выбор источника запуска и синхронизации развертки	210
5.3. Измерение параметров сигналов	210
5.3.1. Измерение амплитуды и уровней сигнала	210
5.3.2. Измерение временных интервалов	211
5.3.3. Измерение сдвига фаз синусоидальных сигналов	212
5.4. Измерения в режиме X—Y	213
5.4.1. Измерение фазового сдвига с помощью фигур Лиссажу	213
5.4.2. Сравнение частот с помощью фигур Лиссажу	214
5.4.3. Осциллограф в роли характериографа	216
5.5. Некоторые другие применения осциллографа	217
5.5.1. Наблюдение амплитудно-модулированных сигналов	217
5.5.2. Вычисление коэффициента модуляции	220
5.5.3. Применение калибратора для исследования переходных процессов в RC-цепях	220
5.5.4. Наблюдение переходных процессов в LRC-цепях	220
5.5.5. Курсорные измерения	222
5.6. Особенности измерений цифровыми осциллографами	224
5.6.1. Измерение постоянных напряжений и калибровка	224
5.6.2. Измерение частотных и временных параметров цифровых осциллографов	225
5.6.3. Выбор вида интерполяции	226
5.6.4. Использование накопления (аналогового послесвечения)	227
5.6.5. Работа с памятью цифрового осциллографа	228
5.6.6. Цифровой осциллограф в роли анализатора спектра	228
5.7. Специальные вопросы осциллографирования	229
5.7.1. О дискуссии «Good Will против Tektronix»	229
5.7.2. Как регистрируют процессы различные типы осциллографов	230
5.7.3. О роли памяти в цифровых осциллографах	231
5.7.4. Применение окна для просмотра части содержимого памяти	232
5.7.5. О случайной дискретизации и эффективности ее частоте	234
5.7.6. Курсорные и автоматические вычисления	236
5.7.7. Особенности работы разверток и синхронизации	237
5.7.8. Быстрое преобразование Фурье и другие возможности осциллографов Good Will	238
5.7.9. Применение осциллографов с цифровым люминофором	239
Глава 6. Практическая работа с компьютеризированными лабораториями	243

6.1. Интерфейс компьютеризированной лаборатории PC-Lab 2000.....	243
6.1.1. Общий вид окна лаборатории PC-LAB 2000.....	243
6.1.2. Добавление текста в окно экрана.....	244
6.1.3. Меню лаборатории PC-Lab 2000.....	246
6.1.4. Позиция Options меню.....	246
6.1.5. Опции позиции View.....	248
6.1.6. Позиция Math задания математических операций.....	248
6.1.7. Меню файловых операций File.....	249
6.1.8. Работа со справкой PC-Lab 2000.....	251
6.2. Осциллографирование в PC-Lab 2000 в реальных условиях	252
6.2.1. Просмотр синусоидальных колебаний высоких частот.....	252
6.2.2. Просмотр амплитудно-модулированного сигнала.....	256
6.2.3. Функциональная схема исследования электронных цепей и устройств.....	257
6.2.4. Исследование дифференцирующей RC-цепочки.....	258
6.2.5. Получение семейств осциллограмм в режиме PERSIST.....	259
6.2.6. Исследование реакции интегрирующей RC-цепочки на меандр.....	259
6.2.7. Исследование реакции интегрирующей RC-цепочки на сложные импульсы.....	261
6.2.8. Исследование реакции LRC-цепочки на меандр.....	261
6.2.9. Исследование релаксационного генератора.....	261
6.3. Анализ спектра реальных сигналов	266
6.3.1. Назначение анализаторов спектра.....	266
6.3.2. Спектр синусоидального сигнала.....	267
6.3.3. Работа с окнами и режимами усреднения.....	268
6.3.4. Спектр амплитудно-модулированного колебания.....	270
6.3.5. Спектр прямоугольных и треугольных импульсов.....	272
6.3.6. Спектр сигнала вида $\sin(t)/t$	274
6.4. Работа с построителем АЧХ и ФЧХ устройств.....	274
6.4.1. Назначение и роль построителя АЧХ и ФЧХ.....	274
6.4.2. Построение АЧХ и ФЧХ дифференцирующей RC-цепи.....	275
6.4.3. Построение АЧХ и ФЧХ колебательного LRC-контура.....	276
6.5. Работа PC-Lab 2000 с системой Mathcad	277
6.5.1. Передача осциллограмм в среду системы Mathcad.....	277
6.5.2. Взаимодействие Mathcad с функциональным генератором.....	278
6.5.3. Импорт спектрограмм.....	279
6.5.4. Об экспорте данных из Mathcad.....	280
6.6. Работа PC-Lab с системой MATLAB.....	280
6.6.1. Передача осциллограмм в среду системы MATLAB.....	280
6.6.2. Взаимодействие MATLAB с виртуальным функциональным генератором.....	281
6.6.3. Импорт спектрограмм в MATLAB.....	281
6.6.4. Об экспорте данных из MATLAB.....	282
6.7. Работа с виртуальными лабораториями АКТАКОМ	283
6.7.1. Подготовка виртуальных лабораторий.....	283
6.7.2. Работа с осциллографом-анализатором.....	283
6.7.3. Применение анализатора спектра.....	286

6.7.4. Осуществление цифровой фильтрации.....	287
6.7.5. Математическая обработка сигналов.....	288
6.7.6. Статистические вычисления.....	289
6.7.7. Эмуляция сигналов.....	290
6.7.8. Работа в качестве виртуального самописца.....	290
6.7.9. Задание аварийной сигнализации.....	292
6.7.10. Работа с разверткой и памятью.....	293
6.7.11. Работа с курсорами.....	293
6.7.12. Режим мультиналожения.....	294
6.7.13. Измерение фазового сдвига.....	294
6.7.14. Применение режима цифрового вольтметра.....	295
6.7.15. Построение гистограммы распределения вероятности.....	295
6.7.16. Сохранение данных.....	296
6.7.17. Работа с модулем функционального генератора.....	297
6.7.18. Системные функции.....	301
6.8. Работа АСК-4106 с реальными сигналами.....	302
6.8.1. Измерительная схема и развертывание лаборатории.....	302
6.8.2. Автоматические измерения и определяемые параметры сигналов.....	304
6.8.3. Предоставление результатов измерений.....	305
6.8.4. Настройка графиков.....	307
6.8.5. Просмотр табличных данных.....	309
6.8.6. Применение модуля анализа формы сигналов.....	310
Литература.....	312

Серия «Библиотека инженера»

Владимир Павлович Дьяконов

Современная осциллография и осциллографы

Научный редактор
Д. Соснин

Ответственный за выпуск
В. Митин

Макет и верстка
А. Иванова

Обложка
Е. Жбанов

ООО «СОЛОН-Пресс»
123242, г. Москва, а/я 20
Телефоны:

(095) 254-44-10, (095) 252-36-96, (095) 252-25-21

E-mail: Solon-R@coba.ru

По вопросам приобретения обращаться:
ООО «АЛЪЯНС-КНИГА КТК»
Тел: (095) 258-91-94, 258-91-95, www.abook.ru

ООО «СОЛОН-Пресс»
127051, г. Москва, М. Сухаревская пл., д. 6, стр. 1 (пом. ТАРП ЦАО)
Формат 70 × 100/16. Объем 20 п. л. Тираж 1500 экз.



**POWER
ELECTRONICS**



МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА И КОНФЕРЕНЦИЯ
СИЛОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА



9-11 ноября 2005

РОССИЯ, МОСКВА, ЦМТ



Организаторы:

ПРИМЭ СПО



Тел.: +7(812)380 6007

380 6003, 380 6000

Факс: +7(812)380 6001

E-mail: electron@primexpo.ru



«Федеральное агентство
по развитию
Сибири и Дальнего Востока»



ЧЕБН
МЕЖДУНАРОДНОГО
СИЛОВОГО ВЫСТАВОЧНОГО
ЦЕНТРА

www.primexpo.ru/power