

# Современная аппаратура тестирования и контроля

## сверхскоростных систем и линий связи

**В настоящее время быстрыми темпами идет создание сверхскоростных и широкополосных линий связи различного назначения: беспроводных Wi-Fi и WiMAX, оптических (включая лазерные и световолоконные), скрытых сверхширокополосных (с шумовыми и сложными кодоимпульсными сигналами) и т. д. Для их тестирования и контроля нужна специальная аппаратура. Это, прежде всего, генераторы импульсов-паттернов и цифровые анализаторы сигналов на базе наиболее широкополосных цифровых осциллографов. Но пока эти приборы известны мало. Данная статья позволяет оценить возможности и характеристики таких устройств.**

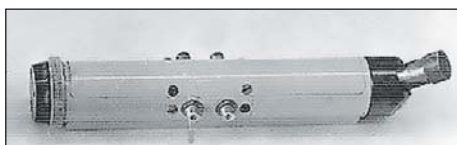
**Владимир Дьяконов, д. т. н., профессор**  
vpdyak@yandex.ru

**П**рогресс в разработке твердотельных ВЧ- и СВЧ-приборов привел к освоению очень широкого диапазона частот — до десятков ГГц и выше. Свой вклад в увеличение скорости передачи информации внесла оптоэлектроника. Уже первые светодиоды и лазерные диоды непрерывного излучения позволяли осуществлять модуляцию светового излучения просто изменением величины прямого тока диода. Однако полоса частот модуляции при этом не превышала десятков мегагерц. Еще в начале 80-х годов XX века в СССР были созданы лазерные излучатели, генерирующие импульсы излучения с частотами в сотни мегагерц, и сравнительно низковольтные (рабочие напряжения 40–100 В) модуляторы такого излучения на базе тонких ячеек Поккельса (рис. 1). Огромный прогресс достигнут в разработке световолоконных кабелей. Это открыло возможности для применения таких устройств в высокоскоростных кодоимпульсных, в том числе космических, системах

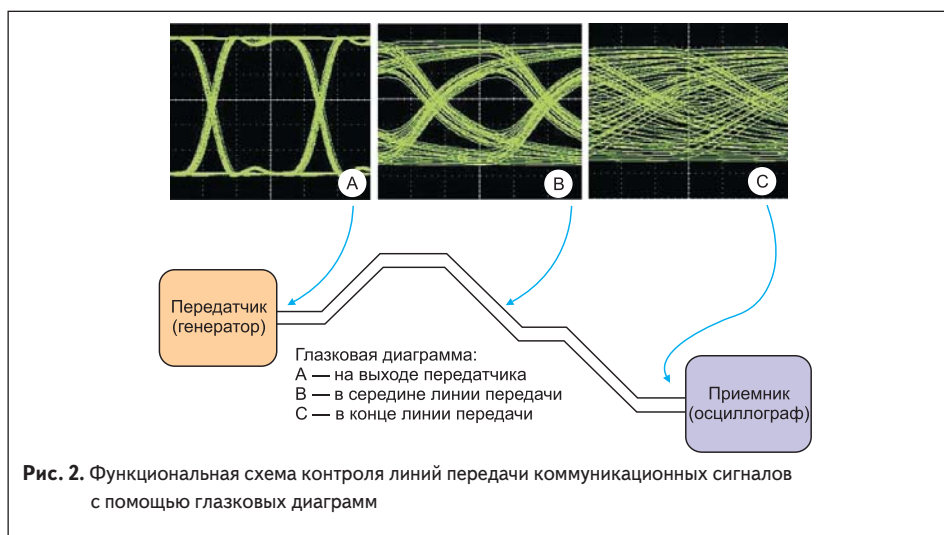
связи различного назначения. Однако для их всестороннего тестирования были нужны уже генераторы импульсов в виде пачек и образцов (паттернов) с максимальной тактовой частотой от долей до единиц гигагерц.

### Функциональная схема контроля линий передачи

Типичная функциональная схема контроля линии передачи достаточно проста (рис. 2). В процессе передачи сигналов (данных) с удалением от передатчика уровень сигнала падает, а нестабильность (амплитудная и временная — джиттер) усиливается. Это ведет к расширению осциллограмм сигнала, которое обычно оценивают с помощью так называемых «глазковых» диаграмм. При использовании лазерных диодов и ячеек Поккельса для широкополосных оптоволоконных линий связи в настоящее время приходится использовать модулирующие сигналы очень сложной формы (паттерны) с высокой (до 5–10 ГГц) тактовой частотой. К сожалению, генераторы таких сигналов пока остаются уникальными



**Рис. 1.** Опытный образец сверхскоростного модулятора лазерного импульсного излучения на основе низковольтной ячейки Поккельса



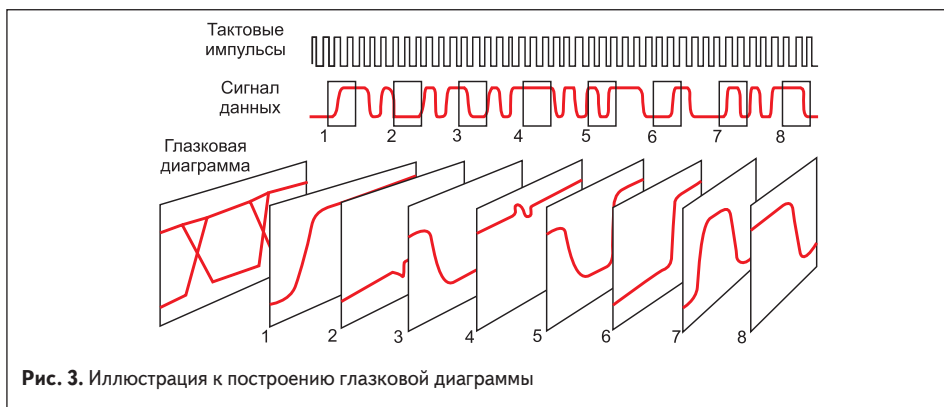


Рис. 3. Иллюстрация к построению глазковой диаграммы

и дорогостоящими устройствами, потому они у нас мало известны.

### Глазковые диаграммы и маски

Принцип построения глазковых диаграмм иллюстрирует рис. 3. Как нетрудно заметить, из сигнального потока выделяются перепады или отдельные импульсы, и их осциллограммы накладываются друг на друга, часто с применением режима персистенции (запоминания осциллограмм на некоторое время) и с нормированием масштабов осциллограмм сигналов. Часто входные импульсы отображаются как положительные, а выходные — как отрицательные.

В широкополосных осциллографах высокого класса глазковая диаграмма строится с применением технологии «цифрового фосфора», что повышает ее визуальную наглядность и позволяет фиксировать отдельные аномальные события, выделяя их цветом. Многие осциллографы позволяют создавать на экране так называемые маски — области, задающие допустимые (или, наоборот, недопустимые) положения осциллограмм глазковой диаграммы.

Для контроля параметров сигналов и построения глазковых диаграмм нужны как минимум два прибора — измерительный генератор импульсов и широкополосный осциллограф (или анализатор последовательных данных). В настоящее время разработка генераторов импульсов несколько отстает от разработки осциллографов, поскольку в генераторах приходится использовать более высоковольтные и более сильноточные активные приборы (например транзисторы), чем в осциллографах. В осциллографах уже применяются специализированные интегральные схемы на гетеропереходных SiGe- или InP-приборах, позволяющие довести частоту выборок в серийных устройствах до 100 Гвыб/с. Но они работают при малых рабочих напряжениях и токах, недостаточных для построения выходных каскадов импульсных генераторов.

### Генераторы серии AWG7000 компании Tektronix

Одними из первых серийных скоростных генераторов сложных сигналов были цифровые генераторы серии AWG7000 компании Tektronix [1] (рис. 4). Они являются довольно громоздкими и тяжелыми стационарными приборами. Это не удивительно, если учесть их уникальные характеристики: они предназначены для формирования сложных сигналов произвольной

формы методом прямого цифрового синтеза при рекордных во время их создания значениях скорости выборки, достигающих 20 Гвыб/с у старшей модели этой серии AWG7102.

Серия генераторов AWG7000 ранее представлена четырьмя моделями: AWG7102, AWG7101, AWG7052 и AWG7051. Две из них одноканальные, две — двухканальные. Двухканальные модели позволяют формировать сигналы (например, дифференциальные) с разными параметрами на обоих основных выходах — как асинхронные, так и синхронные. Для выработки сложных сигналов генераторы позволяют создавать их образцы (шаблоны или паттерны), которые сохраняются в памяти, в том числе внешней, в виде файлов. Генераторы оснащены 10,4" сенсорным жидкокристаллическим дисплеем, на котором, наряду с различными установками, может быть отображена идеализированная форма генерируемых сигналов.

Длина сигнала у генераторов этого типа может достигать 32 400 000 точек, но с опцией 01 может быть увеличена вдвое. Это означает, что с помощью генераторов серии AWG7000 можно формировать сложнейшие тестовые сигналы с десятками миллионов перепадов.

Фильтр на выходе ЦАП у генераторов AWG7102 ограничивает аналоговую полосу пропускания на уровне 750 МГц, что позволяет формировать импульсы без заметных шумов квантования со временем нарастания 350 пс (рис. 5). При отключении фильтра в режиме прямого выхода с АЦП аналоговая полоса расширяется до 3,5 ГГц, а время нарастания импульсов (на уровнях отсчета 20–80%) уменьшается до 75 пс. Наконец, с опцией 02 ВЧ-выхода полоса расширяется до 5,8 ГГц, а время нарастания



Рис. 4. Внешний вид генераторов серии AWG7000 корпорации Tektronix



Рис. 5. Пример представления импульсного сигнала от генератора AWG7102

уменьшается до 42 пс. Амплитуда импульса 2 В на нагрузке 50 Ом. Таким образом, генераторы обеспечивают формирование импульсов субнаносекундных длительности и времени нарастания, но малой амплитуды.

Генераторы AWG7000 имеют 10-битовое кодирование по уровню сигнала, а в случае использования так называемых маркерных выходов (по 2 на каждый канальный выход) разрядность кодирования снижается до 2, но это позволяет получать на маркерных выходах дополнительные цифровые сигналы и применять генераторы в качестве источников смешанных сигналов — аналоговых и логических (цифровых). В ряде случаев они заменяют весьма редкие и дорогостоящие генераторы логических сигналов, необходимые для тестирования и отладки логических и цифровых устройств высокого быстродействия.

На рис. 6 показана глазковая диаграмма, построенная более широкополосным, чем гене-

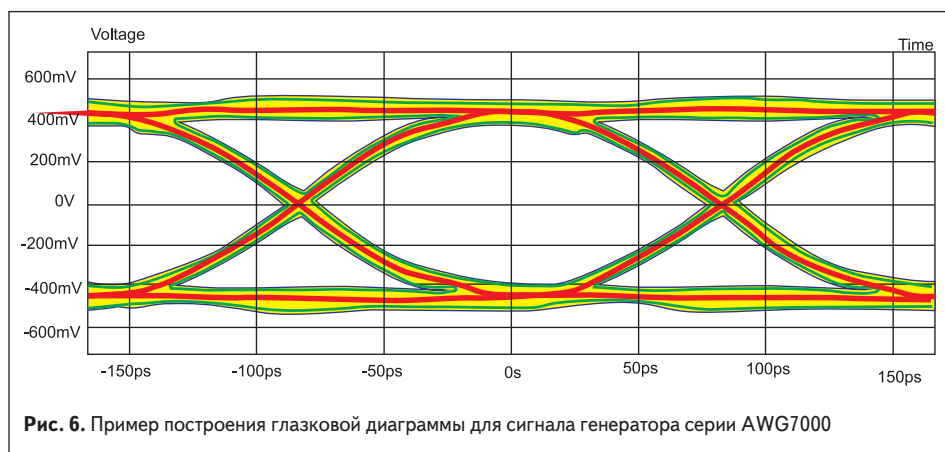


Рис. 6. Пример построения глазковой диаграммы для сигнала генератора серии AWG7000



Рис. 7. Пример комплексной проверки широкополосной линии связи

ратор, осциллографом для сигнала генератора. Она хорошо иллюстрирует нестабильность параметров системы генератор-осциллограф и ее джиттер. «Глаз» диаграммы широко открыт, что говорит о достаточно высокой стабильности генератора и осциллографа, небольшом джиттере и достаточном запасе по параметрам как самого генератора, так и осциллографа. С помощью установки рис. 4 с данным генератором и соответствующим программным обеспечением можно выполнять комплексную проверку высокоскоростных и широкополосных линий связи (рис. 7). В верхней части окна показана осциллограмма широкополосного сигнала и средства выделения его зоны интереса. В этой зоне можно детально рассмотреть сигналы (например, временные каналы), построить спектр и спектрограмму (с разверткой в реальном времени), построить звездную диаграмму кодоимпульсной модуляции и т. д. Все это дает исчерпывающую информацию о работе канала связи и входящей в его состав аппаратуры. Генераторы имеют встроенный персональный компьютер с операционной системой Windows XP. Это позволяет использовать для задания нужных форм импульсов программы компьютерной математики, такие как Excel, MATLAB и Mathcad [6, 7]. Их можно устанавливать прямо на жесткий диск компьютера генератора.

## Генераторы серии AWG5000 компании Tektronix

Новая серия генераторов AWG5000 фирмы Tektronix (ее выпуск объявлен в марте 2007 г.) построена на основе платформы AWG7000. Новые приборы двух- или четырехканальные. Выход каждого канала дополнен двумя маркерными выходами цифровых сигналов. Кроме того, возможно расширение числа цифровых выходов до 28. Таким образом, при разработке новой серии был сделан упор на увеличение числа каналов и получение смешанных сигналов. Это позволяет использовать генераторы при отладке сложных систем, для испытания которых нужны одновременно аналоговые и цифровые сигналы. Совместно с генераторами могут использоваться цифровые осциллографы смешанных сигналов, получившие в последние годы бурное развитие. Внешний вид генераторов серии AWG5000 представлен на рис. 8. Он имеет много общего с генераторами серии AWG7000, их массогабаритные показатели примерно одинаковы. Приборы имеют сенсорный дисплей с размером



Рис. 8. Внешний вид серии генераторов AWG5000

по диагонали 10,4". Это позволяет управлять ими не только с передней панели и ПК, но и с помощью палочки-стило и даже просто пальцем.

Максимальная частота выборки у генераторов AWG5000 ограничена значениями 0,6 или 1,2 Гвыб/с, что на порядок меньше, чем у генераторов серии AWG7000. Это значит, что генераторы серии AWG5000 не рассчитаны на очень высокие частоты сигналов. Максимальный размер памяти отсчетов сигналов — 16 Мбайт с возможностью расширения до 32 Мбайт. Разрешение по вертикали соответствует 14 бит, но уменьшается при применении маркерных выходов, полезных при генерации многоканальных смешанных сигналов.

Приборы обеспечивают выходной сигнал с амплитудой до 4,5 В (от пика до пика) или до 9 В при дифференциальном выходе при сопротивлении нагрузки 50 Ом и времени нарастания прямоугольных импульсов 0,95 нс (при отсчете на уровнях 10 и 90% от амплитуды). Сигнал на маркерных выходах имеет амплитуду до 3,7 В на нагрузке 50 Ом и время нарастания до 300 пс (на уровнях 20 и 80% от амплитуды) при уровне сигнала до 1 В. Аналоговая полоса частот у этих генераторов с фильтром равна 250 МГц, без фильтра — 350 МГц. Пример получения смешанных сигналов от генератора показан на рис. 9.

К типовым видам модуляции (АМ, ЧМ, ФМ и импульсная) добавляется возможность осуществления квадратурной модуляции высокого качества, а также возможность создания ряда сигналов для типовых применений импульсов — запуска светодиодов, индикаторных панелей, АЦП и ЦАП и т. д.

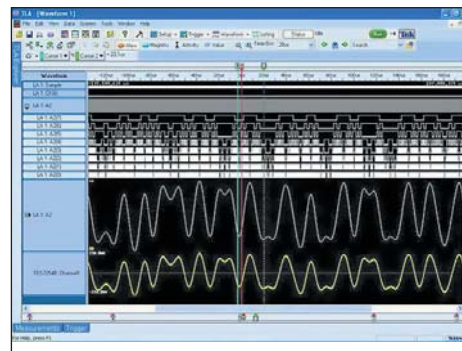


Рис. 9. Пример вывода смешанных сигналов, полученных от генератора AWG5000

Генераторы серии AWG5000 заменяют ранее выпущенные генераторы серий AWG400/500. Они являются идеальным решением для испытания и отладки современной цифровой аппаратуры, например программно-определяемой радиосвязи (software defined radio), беспроводных систем связи WIMAX и Wi-Fi, MIMO и UWB.

Так же, как и AWG7000, они имеют встроенный персональный компьютер с операционной системой Windows XP. Для подключения к внешнему ПК генераторы имеют 6 портов USB и интерфейсы GPIB и LAN. Приборы имеют съемный жесткий диск, приводы CD-RW и DVD-R и порты для подключения клавиатуры и мыши.

## Функциональная схема генератора паттернов

К отдельной разновидности генераторов тестовых сигналов произвольной формы относятся генераторы паттернов данного класса Data Pattern Generator. Паттерны представляют собой многоканальные наборы данных, имитирующих сигналы логических и цифровых устройств. Такие генераторы составляют часть анализаторов логических состояний цифровых устройств, но существуют и как самостоятельные приборы. К примеру, корпорация Tektronix выпускает серии DG таких генераторов.

Функциональная схема генераторов этого класса показана на рис. 10. Их центральным узлом является память паттернов. С помощью

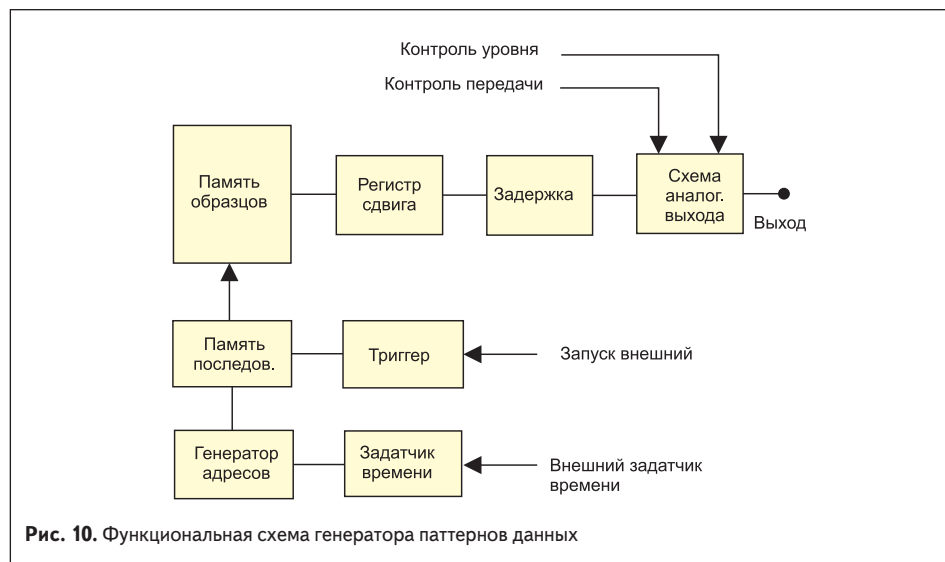


Рис. 10. Функциональная схема генератора паттернов данных



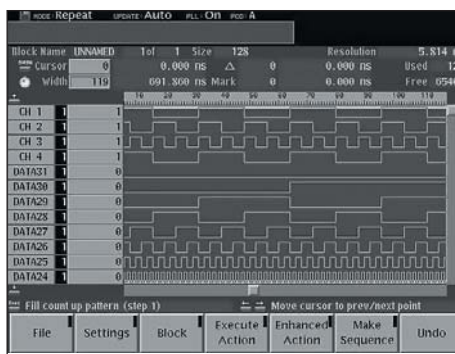
**Рис. 11.** Генератор Tektronix DG2020A с приставками расширения

генератора адресов из памяти извлекаются типовые последовательности адресов и выбирается нужный набор образцов, из которого формируются импульсы одного канала. Как правило, все подобные генераторы многоканальные.

Генераторы паттернов данных очень сложные и дорогостоящие приборы. Они используются в крупных лабораториях, где ведутся серьезные разработки цифровых и логических устройств, а также в промышленности на предприятиях, производящих такие устройства. Определенную конкуренцию этим приборам ныне составляют многочисленные приставки к ПК, выполняющие функции анализаторов логики. Но они имеют скромные характеристики по разрядности, тактовой частоте и времени нарастания импульсов, по сравнению со специализированными приборами данного класса.

### Генераторы цифровых сигналов фирмы Tektronix

Генераторы DG2020A фирмы Tektronix относятся к наиболее простым представителям генераторов произвольных цифровых сигналов — паттернов. Внешний вид DG2020A показан на рис. 11. Для расширения числа выходов используются приставки, подключаемые к прибору кабелем. Генераторы имеют скорость передачи данных до 200 Мбит/с и рассчитаны на создание логических и цифровых сигналов с умеренной скоростью передачи данных. Длина паттернов составляет 64 кбит на канал. Число каналов у DG2020A составляет 12, 24 или 36. Предусмотрен точный контроль состояний, уровня и временной задержки сигналов. Уровень сигналов до 5 В (от пика до пика),



**Рис. 12.** Вид экрана генератора DTG5000

время перехода из одного состояния в другое 2 нс. Возможен импорт паттернов с помощью программы DG-link и интеграция с ПУ с помощью интерфейсов GPIB и RS-232C. Генераторы серии DTG5078/5274/DTG5334 являются комбинацией источников цифровых сигналов (паттернов), импульсных сигналов и сигналов постоянного напряжения. Внешний вид экрана данных моделей представлен на рис. 12. Генераторы этого типа (рис. 13) высокоскоростные и способны формировать логические сигналы со скоростью передачи 3,35 Гбит/с при использовании от 1 до 96 каналов. Разрешение по времени составляет 0,2 пс для DTG5274/DTG5334 и 1 пс — для DTG5078, временная задержка может устанавливаться до 600 нс. Длина паттерна для каждого канала может достигать 64 Мбайт. Амплитуда выходного сигнала контролируется с разрешением в 5 мВ.

Генераторы имеют модульную конструкцию, обеспечивающую легкое наращивание числа каналов и реализацию различных возможностей генераторов. Например, с помощью модулей DTGM31 и DTGM32 можно ввести в сигналы заданную временную нестабильность — джиттер.

Основные применения генераторов этой серии:

- контроль высокоскоростных полупроводниковых устройств;
- поддержка устройств, выполненных на микросхемах от TTL (ТТЛ) до LVDS;
- отладка высокоскоростных системных шин PCI-Express;
- контроль последовательных скоростных интерфейсов Serial ATA;
- исследование и отладка магнитных и оптических устройств записи информации;
- испытание высокоскоростных устройств преобразования информации;



**Рис. 13.** Внешний вид серии генераторов DTG5078/5274/DTG5334

- исследование, проектирование и тестирование новой генерации HDD, DC/DVD, проигрывателей Blue-ray и др.;
- имитация джиттера и испытание цифровых и логических устройств на чувствительность к джиттеру.

Генераторы построены на платформе персональных компьютеров. Для интеграции с внешними ПК они имеют ряд средств: встроенные накопители (floppy и CD-ROM), стандартные интерфейсы локальной сети LAN, порты последовательной шины USB. Наряду с их собственным программным обеспечением, все генераторы серий AWG500/7000, DTG5000 и ряда других моделей поддерживаются программой ArgExpress, позволяющей с помощью ПК задавать нужные формы импульсов и их параметры.

### Генераторы импульсов/ паттернов фирмы Agilent Technologies

Лидером в разработке высокоскоростных и сверхскоростных цифровых устройств (генераторов, цифровых осциллографов и анализаторов спектра) стала корпорация Agilent Technologies, вышедшая из недр именной корпорации Hewlett Packard. Недавно Agilent отметила свое 70-летие. В состав фирмы была включена компания Varian, имеющая уникальное производство высокоточных механических изделий.

Agilent выпускает с десятков типов генераторов импульсов/паттернов с различным конструктивным исполнением и различными тактовыми частотами. Во всех генераторах используется современный прямой цифровой синтез формы сигналов и их частоты и программная установка параметров импульсов и импульсных последовательностей. Приборы имеют единообразное кнопочное управление с поворотной ручкой; оснащены ЖК-дисплеем.

**Т а б л и ц а .** Генераторы ВЧ- и СВЧ-импульсов Agilent Technologies

Тип генератора	81101A	81104A	81110A	E8311A	E8312A	81130A
Каналов	1	1/2	1/2	1/2		1/2
Частота	1 МГц–50 МГц	1 МГц–80 МГц	1 МГц–165 МГц	1 МГц–165 МГц	1 МГц–333 МГц	1 кГц–400 МГц
Задержка	20 нс–999,5 с	12,5 нс–999,5 с	6,06 нс–999,5 с	1,515 нс–999,5 с	2,5 нс–1 мс	1,5 нс–1 мс
Длительность	10 нс–9,995 с	8,25 нс–9,995 с	3,03 нс–9,995 с	1,515 нс–9,995 с	1,25 нс–период 1,25 нс	0,75 нс–период 0,75 нс
Время нарастания	5 нс–200 мс	3 нс–200 мс	2 нс–200 мс	0,8 или 1,6 нс	0,8 или 1,6 нс	500 пс
Амплитуда, В	0,1–20	0,1–20	0,1–20	0,1–3,8	0,1–3,8	0,1–2,5
Нагрузка, Ом	50 или 1000	50 или 1000	50 или 1000	50	50	50
Оформление	Настольное	Настольное	Настольное	VXI-формат	VXI-формат	Настольное



Рис. 14. Генератор мощных импульсов общего назначения 8114A фирмы Agilent



Рис. 15. Внешний вид генераторов серии 81XXX фирмы Agilent Technologies



Рис. 16. Внешний вид генераторов E8311A/8312A, выполненных в формате VXI



Рис. 17. Генератор СВЧ-импульсов/паттернов 81134A фирмы Agilent



Рис. 18. Генератор Agilent J-BERT N4003B

Обзор серий генераторов стоит начать с наименее высокочастотного 8114A (рис. 14) с частотой повторения импульсов 1 Гц–15 МГц. Отличительная черта этого генератора — большая амплитуда, составляющая до 100 В на нагрузке 50 Ом для «чистых» импульсов положительной и отрицательной полярности. Базовая линия импульсов устанавливается в диапазоне –2–25 В. Устройство является генератором импульсов общего назначения.

В таблице приведены параметры серии генераторов импульсов/паттернов с максимальными частотами 50–400 МГц. Первые три генератора внешне практически идентичны (рис. 15). Генераторы E8311A/8312A выполнены в виде плат расширения формата VXI. Их внешний вид приведен на рис. 16. Такие генераторы легко устанавливать в различные настольные приборы и в стойки, создавая малогабаритные системы контроля. Органы внешнего управления у них отсутствуют, управление параметрами импульсов только программное.

Из генераторов импульсов/паттернов самым высокочастотным является 81134 (рис. 17) с диапазоном частот импульсов 15 МГц–3,3 ГГц. Частота задается с разрешением в 1 Гц и точностью до 50 ppm. Амплитуда импульсов генератора на нагрузке 50 Ом — 50 мВ–2 В с разрешением 10 мВ.

При исследовании широкополосных линий передачи особое значение имеет контроль каждого бита передаваемой информации. Для этого используется тест BERT (bit error ratio test). Он выполняется для очень сложных реальных битовых последовательностей с применением специальной аппаратуры. К ней относится генератор Agilent J-BERT N4003B High-Performance Serial BERT. Этот сложный прибор (рис. 18) обеспечивает BERT-тестирование каналов высокоскоростной передачи последовательных данных со скоростью передачи 7–12,5 Гбит/с. Генератор имеет программную установку параметров и возможность их настройки с передней панели. Окно отображения параметров генератора J-BERT N4003B представлено на рис. 19. Информация предельно наглядна, что практически исключает неточности в установке параметров.

Пример применения генератора Agilent J-BERT N4003B для проведения BERT-теста канала связи

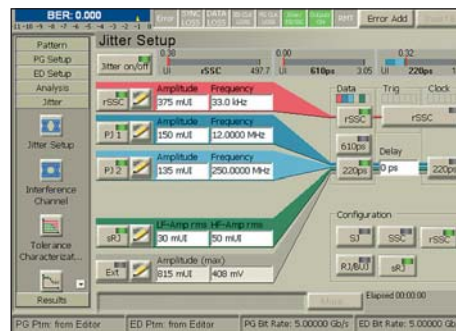


Рис. 19. Окно генератора Agilent J-BERT N4003B

с приемником информации представлен на рис. 20 (надписи соответствуют оригинальным и вполне понятны). В состав установки включен сверхскоростной мультиплексор N4916B той же фирмы. Пример построения глазковой диаграммы и результатов BERT-тестирования сверхширокополосного канала связи показан на рис. 21. Для получения таких диаграмм нужны сверхширокополосные осциллографы с полосой в 2–3 раза более высокой, чем у генераторов. Недавно фирма Agilent существенно обновила парк этих приборов.

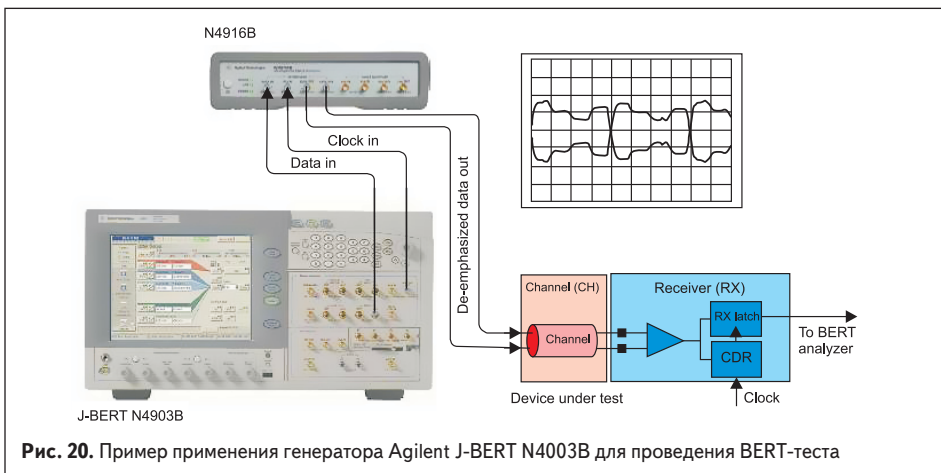


Рис. 20. Пример применения генератора Agilent J-BERT N4003B для проведения BERT-теста

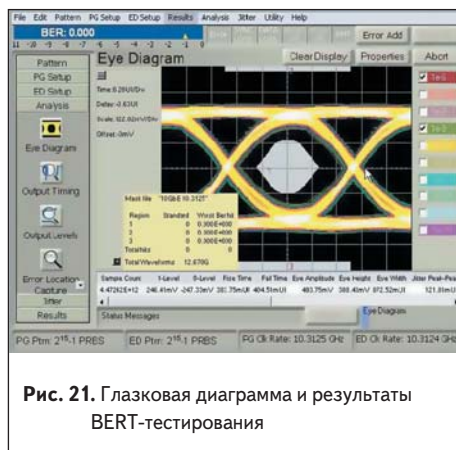
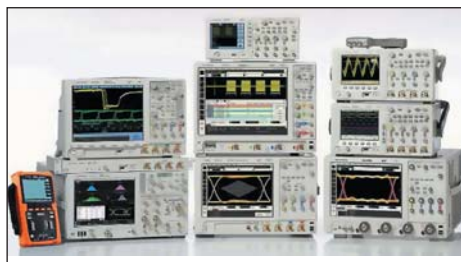


Рис. 21. Глазковая диаграмма и результаты BERT-тестирования



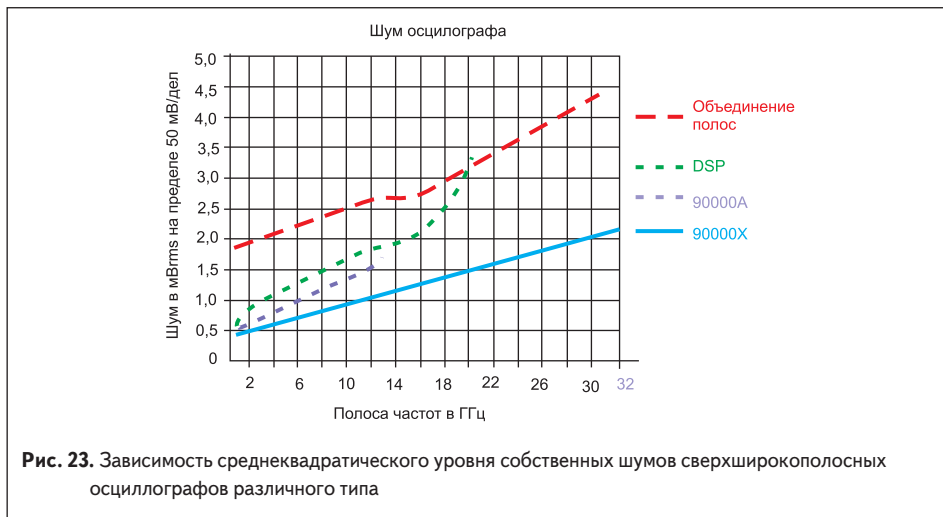
**Рис. 22.** Семейство цифровых осциллографов/анализаторов компании Agilent Technologies перекрывает диапазон максимальных аналоговых частот от 20 МГц до более чем 90 ГГц

### Сверхширокополосные цифровые осциллографы компании Agilent Technologies

Для всестороннего исследования и тестирования сверхширокополосных систем и линий связи наряду с источниками сигналов/паттернов (генераторов) необходимы сверхширокополосные анализаторы сигналов. Обычно они строятся на основе наиболее широкополосных цифровых осциллографов с расширенным программным обеспечением. В настоящее время анализаторы представлены осциллографами реального времени и стробоскопическими осциллографами. Тремя «китами» в их разработке и производстве уже давно являются американские фирмы Agilent Technologies, LeCroy и Tektronix [2].

В обзоре автора по сверхскоростной осциллографии [3] достаточно подробно было описано состояние этой области и достижения указанных компаний, особенно LeCroy и Tektronix. Но недавно стало ясно, что в лидеры по разработке сверхширокополосных осциллографов и анализаторов вышла компания Agilent Technologies. Теперь ее линейка цифровых осциллографов (рис. 22) перекрывает диапазон частот 0–90 ГГц. Фирма указывает диапазон так называемых «аналоговых частот», подразумевая, что осциллограммы сигналов в этом диапазоне частот не содержат заметных отличий от аналоговых сигналов. Отметим, что эти отличия проявляются при цифровом синтезе сигналов в ходе их дискретизации.

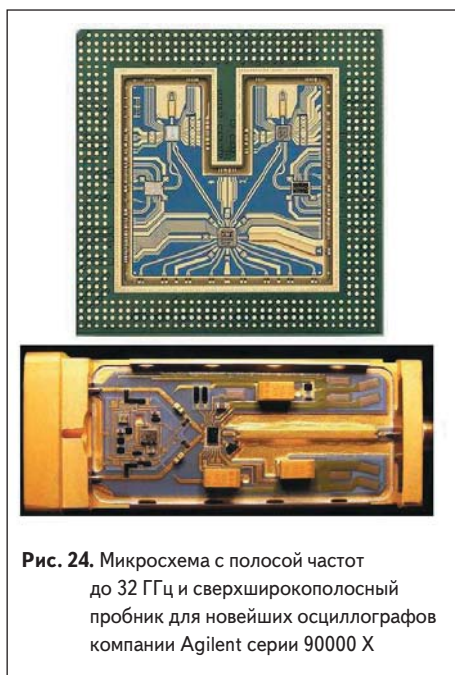
Долгое время осциллографы реального времени удавалось реализовать до максимальных частот в 12–20 ГГц, и большой вклад в это внесла корпорация Tektronix. На «пятки» ей постоянно наступали фирмы LeCroy и Agilent. Расширение полосы с 12 до 20 ГГц удалось достичь коррекцией амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) в ходе преобразования аналогового сигнала в цифровой с помощью DSP. В [5, 6] этот метод назван «цифровым усилением», что не очень удачно, поскольку к усилению метод прямого отношения не имеет. Затем LeCroy, развивая свою фирменную технологию DBI, совершила рывок, расширив полосу осциллографов реального времени до 30 ГГц. Она разделила эту полосу на две подполосы, осуществила цифровые преобразования в двух каналах для этих подполос, а затем объединила полосы и таким образом создала осциллографы реального времени с рекордной полосой частот



**Рис. 23.** Зависимость среднеквадратического уровня собственных шумов сверхширокополосных осциллографов различного типа

0–30 ГГц. Однако эти методы, расширяя полосу исследуемых частот, одновременно приводили к заметному возрастанию уровня собственных шумов (амплитудного джиттера) осциллографов (рис. 23) [5]. Это вело к трудностям получения высококачественных глазковых диаграмм.

В связи с этим важным следует признать прорыв фирмы Agilent Technologies в разработке сверхширокополосных осциллографов реального времени с расширенной до 32 ГГц аналоговой полосой частот и одновременно с получением низкого уровня собственных шумов. Такие осциллографы имеют в 2–3 раза меньшие максимальные частоты, чем у лучших стробоскопических осциллографов, но они намного удобнее в работе и могут использоваться для исследования неповторяющихся сигналов. Успех фирме Agilent Technologies обеспечило освоение технологии микроэлектронного производства специальных сверхскоростных интегральных микросхем на основе фосфинидных (InP) микротранзисторов с рабочими частотами выше 200 ГГц. Такие микросхемы были использованы как в аналоговом тракте осциллографов, так и в их пробниках (рис. 24).



**Рис. 24.** Микросхема с полосой частот до 32 ГГц и сверхширокополосный пробник для новейших осциллографов компании Agilent серии 90000 X

При этом частота дискретизации достигает значения 80 Гвыб/с и вплотную приближается к частоте стробирования стробоскопических осциллографов (90–100 ГГц).

Новая серия осциллографов описана в каталоге фирмы Agilent 2010 г. [4]. Серия представлена пятью цифровыми запоминающими осциллографами DSO 90000 X и 5 анализаторами последовательных данных DSA 90000 X (рис. 25). Приборы имеют полосу аналоговых частот в реальном масштабе времени от 0 до 16; 20; 25; 28 и 32 ГГц. Приятным моментом является поставка с новыми осциллографами и анализаторами обширного набора аксессуаров (рис. 26): сверхширокополосных пробников, переходников, наконечников и т. д., позволяющих выполнять профессиональное подключение осциллографов к различным тестируемым изделиям при минимальной потере реализуемых полос пропускания и времен нарастания исследуемых сигналов. Указанные полосы реализуются в двухканальных моделях. В четырехканальных моделях полоса сужается вдвое. Скорость выборки составляет для них соответственно 80 и 40 Гвыб/с, объем максимальной памяти осциллограмм достигает 2 Гточек. Сегодня это максимальный объем памяти осциллограмм в отрасли. Малый уровень амплитудного и временного джиттера новых осциллографов и генераторов фирмы Agilent Technologies позволяет получать максимально широкие глазковые диаграммы. Сверхширокополосные пробники для осциллографов имеют заметную неравномерность



**Рис. 25.** 32-ГГц анализатор реального времени компании Agilent серии DSA 90000 X



Рис. 26. Аксессуары к осциллографам серии 90000 X компании Agilent

их АЧХ, связанную обычно с неоднородностями их коаксиального тракта. Фирма Agilent серьезно поработала над коррекцией амплитудно-частотной характеристики сверхширокополосных пробников для осциллографов серии 90000 X, и теперь они отличаются очень равномерной АЧХ (рис. 27) в полосе частот до 30 ГГц.

### Анализаторы сигналов на базе стробоскопических осциллографов Agilent

Обновился и состав серии 86000 стробоскопических осциллографов фирмы Agilent — выпущена новая модель цифрового анализатора последовательных данных 86100 D Infiniium DSA-X Wide Bandwidth Oscilloscope Mainframe [5]. Внешний вид прибора показан на рис. 28. С соответствующими опциями приборы 86107A обеспечивают аналоговую полосу пропускания в 15; 25 и даже 48 ГГц (опции 010; 020 и 030 соответственно).

Уникальные характеристики описанные приборы приобрели не только за счет совершенных аппаратных средств, но и за счет построения их на платформе мощного персонального

компьютера и установки специального программного обеспечения. К примеру, анализатор 86107A выполнен на основе компьютера с двухъядерным микропроцессором фирмы Intel Core 2 Duo с частотой 3,06 ГГц. Прибор имеет жесткий диск с объемом 160 Гбайт, что достаточно для хранения не только поставляемого с осциллографом программного обеспечения, но и установки множества программ как фирмы Agilent, так и сторонних производителей. Широко распространенным явлением стало применение совместно с цифровыми приборами (генераторами и осциллографами) матричной системы компьютерной математики MATLAB [7].

Модульная конструкция стробоскопических осциллографов позволяет легко создавать разные варианты исполнения этих мощных приборов, максимальная частота исследуемых сигналов которых может достигать 90 ГГц (рис. 29).

Новые широкополосные осциллографы компании Agilent имеют мощное микропрограммное обеспечение, позволяющее легко менять функции этих приборов. На рис. 30 показано окно

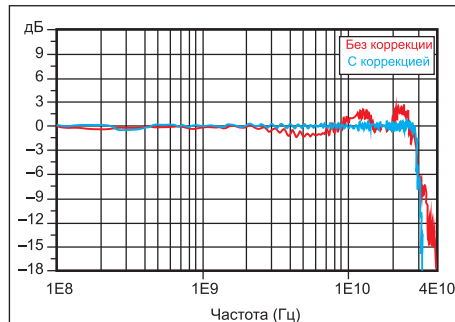


Рис. 27. АЧХ пробников с коррекцией и без коррекции для осциллографов серии 90000 X

программы анализа осциллограмм. Это окно отражает построение обычной осциллограммы широкополосного сигнала — паттерна с длительностью фронтов импульсов менее 50 пс. Окно программы построения глазковых диаграмм показано на рис. 31. Хорошо видно задание и построение масок. Благодаря уникально высокой полосе пропускания осциллографов и малому джиттеру удается получить очень качественную глазковую диаграмму при исследовании наиболее скоростных устройств. Окно программы анализа джиттера (рис. 32) демонстрирует построение наглядных гистограмм джиттера и автоматическое определение его основных параметров, в том числе статистических. А с помощью программы анализа S-параметров (рис. 33) осциллограф превращается в скалярный анализатор цепей и может применяться для анализа АЧХ и ФЧХ сверхширокополосных устройств, например усилителей, фильтров, линий передачи и т. д.

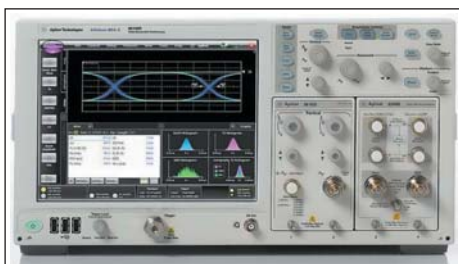


Рис. 28. Анализатор 86100 D Infiniium DSA-X Wide Bandwidth Oscilloscope Mainframe



Рис. 29. Стробоскопический осциллограф/анализатор 86100 C

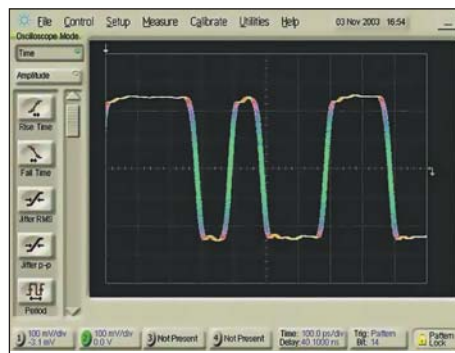


Рис. 30. Окно анализа осциллограмм

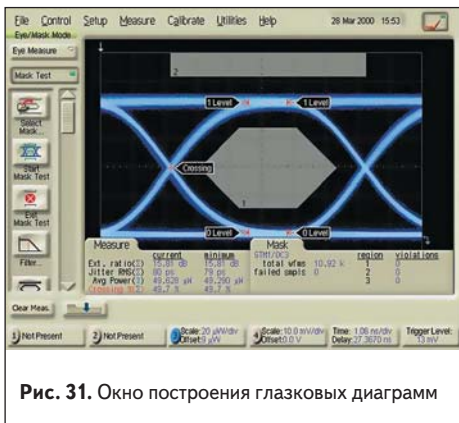


Рис. 31. Окно построения глазковых диаграмм

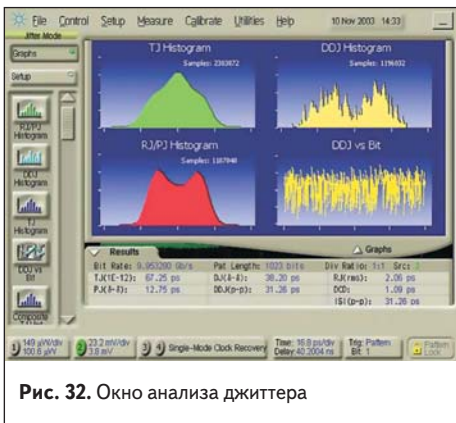


Рис. 32. Окно анализа джиттера



Рис. 33. Окно анализа S-параметров

## Заключение

Несмотря на внушительные характеристики новейших цифровых осциллографов и анализаторов сигналов различного типа, остро стоит вопрос о дальнейшем расширении полосы их рабочих частот. По данным фирмы «ПриСТ», компания LтCroy завершила разработку уже 6-го поколения своей технологии DBI, которая позволяет вдвое расширить полосу пропускания и довести ее у двухканальных цифровых осциллографов реального времени до 60 ГГц. По имеющимся данным, компании удалось, вслед за Agilent Technologies, понизить уровень шума. Однако первые серийные осциллографы и анализаторы на основе этой технологии планируется разработать примерно через два года. Другой важный вопрос — снижение

стоимости приборов — пока не нашел эффективного решения: устройства для отмеченных применений очень дорогие, их цена порой превышает \$200 000. В разработке генераторов уже давно актуальной является задача освоения пикосекундного диапазона времен нарастания, спада и длительностей импульсов. В последние годы решение этой задачи существенно продвинулось вперед. И здесь также важным является снижение стоимости таких генераторов. ■

## Литература

1. Дьяконов В. П. Генерация и генераторы сигналов. М.: ДМК-Пресс. 2008.
2. Дьяконов В. П. Современная осциллография и осциллографы. М.: СОЛОН-Пресс. 2005.
3. Дьяконов В. П. Сверхскоростная осциллография: вчера, сегодня и завтра // Компоненты и технологии. 2010. № 4.
4. Agilent Technologies Infiniium 90000 X-Series Oscilloscopes. Data Shift. 2010.
5. Infiniium DSA-X Agilebt 86100D Wide-Bandwidth Oscilloscope Mainframe and Modules. Technical Specifications. Agilent Technologies. 2010.
6. Бриг Э. Методы расширения полосы пропускания осциллографов // Компоненты и технологии. 2010. № 6.
7. Дьяконов В. П. MATLAB R2006.2007/2008+ Simulink 5/6/7. Основы применения. М.: СОЛОН-ПРЕСС. 2008.
8. Дьяконов В. П. Компьютерная математика. Теория и практика. М: Нолидж. 2001.