

# МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ Tektronix AFG3000

## ARBITRARY FUNCTION GENERATORS TEKTRONIX AFG3000

Дьяконов В. П. (V. Dyakonov), д.т.н., профессор, Смоленский государственный университет

Корпорация Tektronix — один из лидеров в области разработки и производства высококачественных измерительных приборов недавно выпустила на рынок серию многофункциональных генераторов произвольных сигналов AFG3000. Новая серия представлена шестью моделями: AFG3021, AFG3022, AFG3101, AFG3102, AFG3251, AFG3252.

Генераторы AFG3000 являются комбинацией функционального генератора (генератора стандартных функций), программируемого генератора сигналов произвольной формы и генератора импульсов с регулируемой длительностью фронтов. Но, фактически они сочетают в себе функции множества устройств, нередко выпускаемых как отдельные приборы:

- высокостабильного широкодиапазонного генератора синусоидального сигнала с несколькими видами модуляции;
- генератора прямоугольных и пилообразных импульсов с изменяемым в широких пределах коэффициентом заполнения и различными видами модуляции;
- функционального генератора сигналов с рядом математически заданных зависимостей;
- программируемого генератора сигналов произвольной (заданной пользователем) формы;
- генератора шума, который можно добавлять к другим сигналам;
- генератора трапециевидных импульсов с отдельно регулируемыми длительностями полочки фронтов;

генератора на правой боковой стенке. В связи с этим закрывать боковые стенки нельзя, по обе стороны от них нужно иметь не менее 5 см свободного пространства. Необходимо заземление прибора (клемма на задней стенке).

Генераторы имеют самый современный, простой и наглядный интерфейс (рис. 2), подобный интерфейсу современных цифровых осциллографов. Большой жидкокристаллический цветной дисплей (только у модели AFG3021 он черно-белый) с размером по диагонали 5,6 дюйма отображает крупными знаками основные параметры сигналов и режимы работы генераторов и представляет форму создаваемых сигналов. Многоязычный (8 языков) интерфейс генератора включает и русский. Для изменения языка надписей на передней панели поставляется специальная наклейка, которая крепится на передней панели.

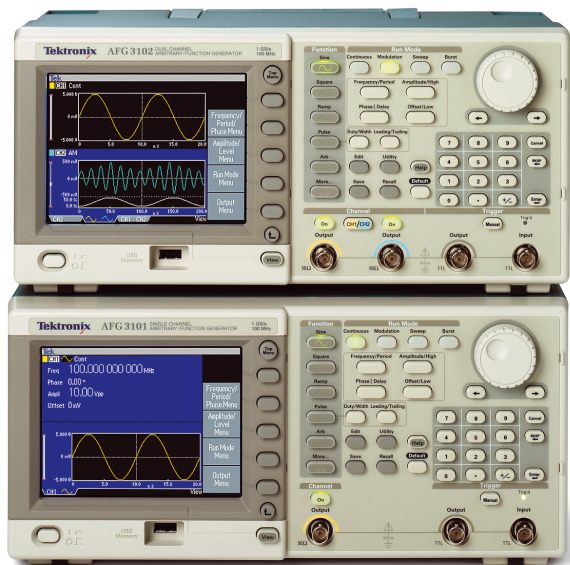


Рис. 1. Внешний вид генераторов серии AFG3000

Буквы «AFG» являются сокращениями английских слов «Arbitrary Function Generator» — генератор произвольных функций. Первая цифра в названии приборов обозначает серию. Две средние цифры приблизительно указывают на максимальную частоту генерации синусоидальных сигналов: 02 — 25 МГц, 10 — 100 МГц и 25 — 240 МГц. Минимальное значение генерируемой частоты составляет 0,001 Гц (1 мГц). Последняя цифра указывает на число каналов: 1 — одноканальные приборы и 2 — двухканальные. Двухканальные генераторы способны формировать независимые сигналы по обоим каналам, в том числе и синхронные (например, дифференциальные). Приборы используют новейшие методы генерации множества сигналов с помощью одной СБИС и методы прямого цифрового синтеза частот, обеспечивая при этом максимальную нестабильность частот выходных сигналов не более  $1 \cdot 10^{-6}$  (или 0,0001%) за год работы и при изменении температуры от 0 до +50 °С. Время самопрогрева составляет 20 минут.

Внешний вид генератора серии показан на рис. 1. Приборы выполнены в небольшом корпусе (для настольной конфигурации он имеет высоту 156,3 мм, ширину 329,6 мм и глубину 168,0 мм). Вес прибора 4,5 кг, в упаковке — 5,9 кг. Диапазон рабочих температур от 0 до +50 °С, температура хранения от -30 °С до +70 °С. Охлаждение прибора активное с помощью

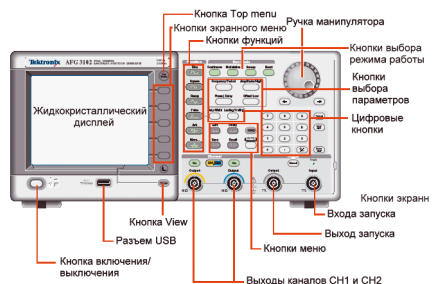


Рис. 2. Передняя панель генератора серии AFG3000 и основные органы управления

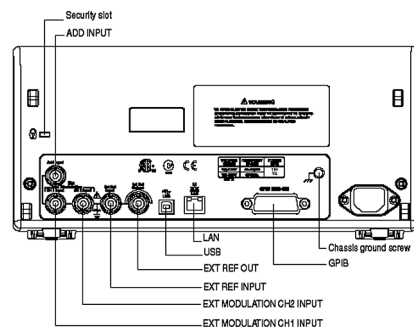


Рис. 3. Задняя панель генератора серии AFG3000

На задней панели расположены защитный порт «Security Port2», гнездо заземления, разъем сигнала, добавляемого к основному сигналу («ADD INPUT»), разъемы внешней модуляции сигналов «EXT MODULATION CH1/CH2», входной «EXT REF INPUT» и выходной «EXT REF OUTPUT» разъемы опорной (эталонной) частоты. Все эти разъемы стандартные коаксиальные типа BNC. Кроме того, на задней панели расположены порты интерфейсов USB, LAN и GPIB, используемого для управления приборами и подключения их к компьютеру. Есть также зажим заземления и гнездо для подключения сетевого кабеля с земляным выводом. Вид задней панели генератора представлен на рис. 3.

Основные технические характеристики разных моделей генераторов серии AFG3000 представлены на рис. 4. Приборы отличаются числом каналов

(1 или 2), максимальной частотой синусоидального напряжения (25, 100 и 240 МГц) и вдвое более низкой частотой импульсного напряжения (прямоугольного и пилообразного). Импульсы с дополнительными формами можно формировать в диапазоне частот от 1 мГц до 1 МГц.

Управление генератором, в основном, кнопочное, но есть и удобная поворотная ручка универсального манипулятора с кнопками направления (в правом верхнем углу передней панели). Эти кнопки используются для перемещения по разряду числа того или иного параметра, например, частоты, после чего поворотная ручка позволяет быстро менять число в выбранном разряде, увеличивая его или уменьшая. Это очень удобно при имитации плавного изменения того или иного параметра.

ХАРАКТЕРИСТИКИ	ПАРАМЕТРЫ	AFG3021/AFG3022	AFG3101/AFG3102	AFG3251/AFG3252	
ВЫХОДНЫЕ ПАРАМЕТРЫ	Количество каналов	1/2	1/2	1/2	
	Виды выходного сигнала	Синус, меандр, импульс, пила, треугольник, Sin x/x, нарастающая и спадающая экспонента, функции Гаусса, Лоренца, Хевисайда, шум			
	Выходной уровень на нагрузке 50 Ом	10 мВ – 10 В	20 мВ – 10 В	50 мВ – 5 В (до 200 МГц) 80 мВ – 4 В (свыше 200 МГц)	
	Погрешность установки частоты	±(1·10 <sup>-4</sup> )			
СИНУСОИДА	Постоянное смещение	±5 Впик (AC+DC)	±5 Впик (AC+DC)	±2,5 Впик (AC+DC)	
	Частотный диапазон	1 мГц – 25 МГц	1 мГц – 100 МГц	1 мГц – 240 МГц	
	Погрешность установки уровня на 1 кГц	±(1% + 1 мВ)			
	Неравномерность АЧХ	±0,15 дБ до 5 МГц ±0,3 дБ до 20 МГц ±0,5 дБ до 25 МГц	±0,15 дБ до 5 МГц ±0,3 дБ до 25 МГц ±0,5 дБ до 100 МГц	±0,15 дБ до 5 МГц ±0,3 дБ до 25 МГц ±0,5 дБ до 100 МГц ±1,0 дБ до 200 МГц	
МЕАНДР	Диапазон частот	1 мГц – 12,5 МГц	1 мГц – 50 МГц	1 мГц – 120 МГц	
	Время нараст./спада	18 нс	5 нс	2,5 нс	
	ИМПУЛЬС	Диапазон частот	1 мГц – 12,5 МГц	1 мГц – 50 МГц	1 мГц – 120 МГц
		Длительность	30 нс – 999 с	8 нс – 999 с	4 нс – 999 с
ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ СИГНАЛЫ	Перестраиваемое время нарастания	18 нс – 625 с	5 нс – 625 с	2,5 нс – 625 с	
	Диапазон частот	1 мГц – 250 кГц	1 мГц – 1 МГц	1 мГц – 2,4 МГц	
ПРОИЗВОЛЬНАЯ ФОРМА	Полоса шумового сигнала	25 МГц	100 МГц	240 МГц	
	Диапазон частот	1 мГц – 12,5 МГц	1 мГц – 50 МГц	1 мГц – 120 МГц	
	Частота дискретизации и объем памяти	250 МГц; 2...64 кБ	250 МГц; 16...128 кБ 1 ГГц; 2...16 кБ	250 МГц; 16...128 кБ 2 ГГц; 2...16 кБ	
МОДУЛЯЦИЯ	Разрешение по вертикали	14 бит			
	Виды модуляции	АМ (0-120%), ЧМ (девиация до 120 МГц), ФМ (0-180°), ЧМн, модуляция длительности импульса (0-50% от периода), ИМ, ГЧЧ (линейное/логарифмическое, время зачания 10 мс – 100 с)			
ОБЩИЕ ДАННЫЕ	Несущая	Все виды сигналов, исключая импульс, шум и постоянное напряжение			
	Модулирующая	Частота: 2 мГц – 50 кГц. Синус, меандр, пила, шум, произвольный сигнал.			
	Напряжение питания	220 В (± 15%), 50 / 60 Гц			
	Габаритные размеры	158 x 329 x 168 мм			
	Масса	4,5 кг			
	Комплект поставки	Сетевой шнур (1), руководство по эксплуатации, ПО			

Рис. 4. Основные характеристики генераторов серии AFG3000

Кнопки образуют ряд характерных групп, выделенных на рис. 2. Из них важнейшей является верхняя горизонтальная группа кнопок «Режим работы», задающих следующие режимы работы (запуска):

- «Непрерывный» — установка непрерывного режима работы;
- «Модуляция» — задание типа модуляции (АМ — амплитудная, ЧМ — частотная, ФМ — фазовая, ЧМн — частотная манипуляция и ШИМ — широтно-импульсная);
- «Качание» — качание частоты сигналов;
- «Пачка» — генерация пачек сигналов.

Вертикальная группа кнопок «Функции» в центре передней панели задает выбор формы сигналов:

- «Синус» — синусоидальный сигнал;
- «Прямоугольн.» — прямоугольные импульсы типа «меандр»;
- «Пилообразн.» — пилообразные импульсы;
- «Импульсн.» — импульсы с регулируемой длительностью фронтов;
- «Произвольн.» — сигналы с произвольной, задаваемой пользователем, формой;
- «Еще...» — выбор из экранного меню сигналов стандартной формы.

Под этой группой кнопок расположены кнопка переключения каналов и кнопки «Channel On» включения выходов. У одноканальных приборов эта кнопка одна, кнопка переключения каналов отсутствует и есть выход только

- «Коефф. заполн./Длитель.» — установка коэффициента заполнения и длительности сигналов;
- «Пер. фронт/Зад. Фронт» — установка длительности переднего и заднего фронтов сигналов.

Третья группа кнопок (нижняя) содержит шесть кнопок:

- «Правка» — включение меню правки;
- «Сервис» — включение меню сервисных операций;

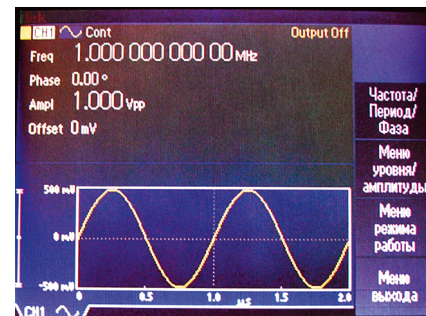


Рис. 5. Дисплей генератора AFG3101

- «Help» (надпись только на кнопке) — вызов справки;
- «Сохранить» — вызов окна сохранения настроек и форм сигналов;
- «Вызвать» — вызов окна загрузки настроек и форм сигналов;
- «По умолч.» — включение настроек по умолчанию.

Под поворотной ручкой универсального манипулятора расположены кнопки со стрелками «Е» и «Ж» перемещения выделенных символов параметров. Группа кнопок «Trigger» содержит цифровые кнопки прямого ввода значений параметров и кнопки «Cancel» (Отменить), «Back» (Назад) и «Enter» (Ввод), названия которых не русифицированы, но вполне очевидны и привычны. Под этой группой кнопок есть кнопка меню «Menu», и разъемы выхода «Output» синхросигнала и входа «Input».

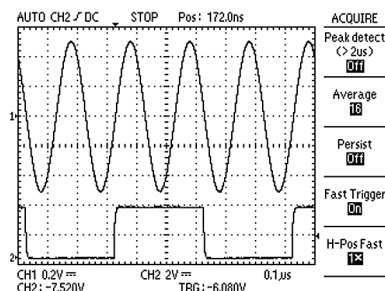


Рис. 6. Осциллограммы сигнала на основном выходе (верхняя кривая) и выходе запуска (нижняя кривая) при частоте основного сигнала 5 МГц

одного канала. В центре передней панели расположены три группы кнопок, не имеющих общего названия. Они служат для оперативной (без поиска по меню) установки основных параметров сигналов. Первая группа содержит следующие кнопки:

- «Частота/Период» — установка частоты и периода сигналов;
- «Фаза/Задержка» — установка фазы и временной задержки сигналов;
- «Амплитуда/Верхний» — установка амплитуды и верхнего предела сигналов;
- «Смещение/Нижний» — установка смещения и нижнего предела сигналов.

Вторая группа содержит две кнопки:

Под экраном дисплея имеются следующие органы: кнопка включения прибора, гнездо для вставки USB-модуля флэш-памяти и кнопка обзора «View». В правой области дисплея имеются пять кнопок управления контекстным меню, кнопка вызова основного меню «Top menu» и кнопка возврата.

Работа с прибором сводится к установке режима работы (по умолчанию это непрерывный режим) и вида генерируемого сигнала (по умолчанию синусоидальный). После этого с помощью кнопок контекстного меню или кнопок установки параметров задаются и контролируются с помощью дисплея параметры генерируемого сигнала (рис. 5). Установка их осуществляется группой цифровых кнопок или вращением ручки универсального манипулятора.

Рассмотрим основные возможности генераторов AFG3000 для основных видов генерируемых сигналов. Для более полного их представления они иллюстрируются реальными осциллограммами, полученными с помощью цифрового 250 МГц осциллографа DS-1250 фирмы EZ Digital.

Сразу отметим, что основные выходы (или выход в одноканальной модели) изолированы от земли приборов, так что генератор может использоваться как «подвешенный» источник сигналов (или как два источника с общей внутренней землей в двухканальных генераторах). Максимальное напряжение (постоянное плюс импульсное) относительно его внутренней земли не должно превышать  $\pm 42$  В. Возможно изменение фазы синусоидального сигнала от  $-180,00^\circ$  до  $+180,00^\circ$  и осуществление

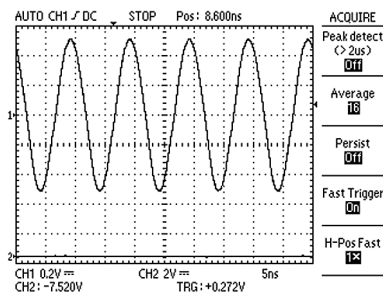


Рис. 7. Осциллограмма сигнала на основном выходе на частоте 100 МГц

амплитудной, частотной и фазовой модуляции, а также частотной манипуляции. Для импульсных сигналов возможна еще и широтно-импульсная модуляция, которая широко используется в преобразовательных устройствах для управления мощностью в нагрузке, например для изменения яркости свечения светодиодов или изменения температуры нагрева нагревателей в электрических печах.

В качестве генератора синусоидальных сигналов AFG3000 генерируют такие сигналы с частотой от 0,001 Гц (1 мГц) до 25, 100 или 240 МГц. Этот диапазон намного перекрывает диапазон частот звуковых генераторов и обычных аналоговых ВЧ-генераторов стандартных сигналов старых аналоговых моделей. На глаз искажения синусоидального сигнала практически незаметны (рис. 6).

На рис. 6 представлены осциллограммы сигналов на основном выходе и на выходе TTL при установке частоты

5 МГц. Форма синусоиды безупречна, а сигнал на выходе TTL близок к прямоугольному. Следует учитывать, что только до частоты основного сигнала в 4,9 МГц он имеет одинаковую с ним частоту. Так, уже на частоте 5 МГц (рис. 6) виден эффект деления частоты формирователя TTL-сигнала.

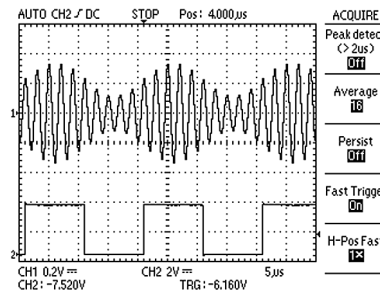


Рис. 8. Осциллограмма амплитудно-модулированного сигнала

У AFG3000 на частотах до 20 кГц коэффициент гармоник не превышает 0,2%. На более высоких частотах при двойной амплитуде выходного сигнала 1 В уровень подавления паразитных составляющих у первых четырех моделей генераторов более 60 дБ на частотах до 1 МГц, 50 дБ на частотах от 1 до 25 МГц и 50 дБ на частотах от 25 до 100 МГц.

На рис. 7 показана осциллограмма синусоидального напряжения с частотой 100 МГц — максимальной для AFG3101. Обратите внимание, что в этом случае на выходе TTL сигнал пропадает. Это предусмотрено на частотах выше 50 МГц. Выход TTL рассчитан на нагрузку 1 кОм и имеет выходное сопротивление 50 Ом.

Двойная амплитуда синусоидального напряжения (кстати, как и напряжения других форм) на нагрузке 50 Ом может изменяться в диапазоне от 10, 20 и 50 мВ (AFG3021/3022, AFG3101/3102, AFG3251/3252 соответственно) до 10 В (или 5 В для AFG3251/3252). Это обстоятельство является одним из немногих недостатков генератора: его нельзя использовать в качестве генератора сигналов малой амплитуды без применения внешних делителей напряжения (аттенуаторов). Установка амплитуды производится с разрешением в 0,1 мВ. Возможна установка уровня как двойной амплитуды, так и среднеквадратичного значения и уровня мощности в дБ. Предусмотрена работа на нагрузку 50 Ом и на высокоомную нагрузку, причем в последнем случае предельный уровень напряжения удваивается. Предусмотрено смещение выходного сигнала по постоянному уровню в пределах его размаха и с разрешением в 1 мВ. Погрешность установления уровня и смещения около 1% (более точные значения указаны в спецификации).

Амплитудная неравномерность при уровне двойной амплитуды в 1 В мала. Для всех генераторов в пределах нормированного диапазона частот для каждой модели она характеризуется

следующими данными. В диапазоне частот менее 5 МГц неравномерность АЧХ составляет  $\pm 0,15$  дБ, в диапазоне от 5 МГц до 20 МГц —  $\pm 0,3$  дБ, от 20 до 100 МГц —  $\pm 0,5$  дБ, от 100 до 200 МГц —  $\pm 1,0$  дБ.

Как уже отмечалось, для некоторых видов сигналов (за исключением шума и постоянного тока) возможна модуляция по амплитуде, частоте и фазе. Возможна также частотная манипуляция. На рис. 8 представлены осциллограммы на основном выходе и выходе синхронизации для случая амплитудной модуляции ВЧ-сигнала НЧ-сигналом. Отчетливо видно изменение амплитуды по синусоидальному закону. При амплитудной модуляции она возможна с коэффициентом модуляции от 0 до 120% (выше 100% означает уже перемодуляцию). Сигнал на TTL-выходе в этом случае имеет форму прямоугольных импульсов с частотой, равной частоте модуляции.

Частотная модуляция также возможна (рис. 9). Как и при амплитудной модуляции, частотная модуляция может осуществляться разными видами сигналов: синусоидальным, прямоугольным, импульсным, шумом и произвольным. Модулируемые сигналы могут иметь любой вид кроме импульсного, шума и постоянного тока. Частота внутренней модуляции может быть от 2 мГц до 50 кГц. При частотной модуляции пиковое отклонение частоты составляет половину максимально возможной частоты синусоидального сигнала.

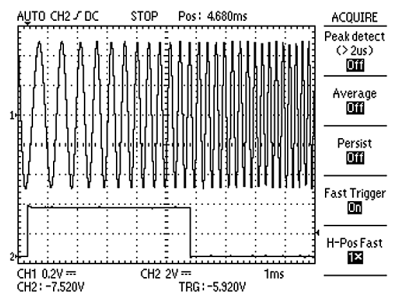


Рис. 9. Осциллограмма частотно-модулированного сигнала

Фазовая модуляция означает изменение фазового сдвига несущего колебания. Диапазон сдвигов от 0 до 180 градусов с установкой через 0,1 градуса. Диапазон частот модуляции тот же, что при частотной модуляции.

Наконец, частотная манипуляция возможна с частотой от 2 мГц до 1 МГц.

Продолжение следует

*In this article, the author tells about AFG3000 Series arbitrary function generators, which used to generate complex electrical signals and which expansive features ensure users can simulate and test real-world designs for a wide variety of applications.*

# МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ Tektronix AFG3000

## ARBITRARY FUNCTION GENERATORS TEKTRONIX AFG3000

Дьяконов В. П. (V. Dyakonov), д.т.н., профессор, Смоленский государственный университет

(Окончание, начало см. № 6-2006)

Рассмотрим коротко возможности генераторов AFG3000 в генерации других форм сигналов. Прямоугольные импульсы по умолчанию генерируются с коэффициентом заполнения 50% (тип импульсов — меандр). Разумеется, даже на частотах выше 1 МГц трудно рассчитывать на идеальную прямоугольную форму таких импульсов. На

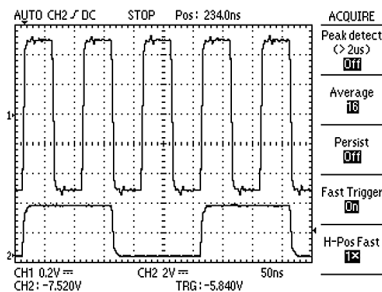


Рис. 10. Осциллограммы прямоугольных импульсов на основном выходе (верхняя кривая) и выходе запуска (нижняя кривая) при частоте основного сигнала 10 МГц

рис. 10 показаны осциллограммы прямоугольных импульсов с частотой 10 МГц. Видна конечная длительность фронтов (10, 5 и 2,5 нс для генераторов с максимальной частотой повторения прямоугольных импульсов 120, 50 и 12,5 МГц).

Неожиданным оказалось испытание генераторов AFG3000 в режиме генерации пилообразных сигналов. В большинстве даже дешевых функциональных генераторов частота таких

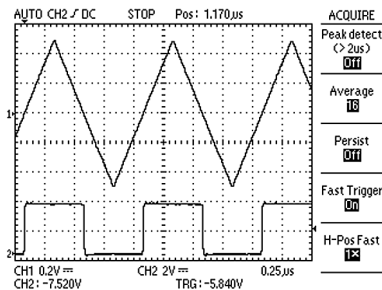


Рис. 11. Осциллограммы пилообразных импульсов на основном выходе (верхняя кривая) и выходе запуска (нижняя кривая) при частоте основного сигнала 1 МГц

сигналов равна частоте синусоидальных и прямоугольных сигналов или немного ниже. Однако в документации на генераторы серии AFG3000 указывается, что пилообразные (по умолчанию треугольные) сигналы Ramp отне-

сены к группе специальных сигналов, для которой предельная частота равна одной сотой частоты синусоидальных колебаний, т. е. 1 МГц у генератора AFG3101 (рис. 11). Чуть позже мы покажем, как можно преодолеть это ограничение.

Весьма эффективным является применение генераторов AFG3000 в качестве генераторов импульсов. Здесь реализуются частоты от 1 МГц до частот, равных половине частоты повторения синусоидальных сигналов (до 50 МГц у AFG3101/3102 и даже 120 МГц у AGF 3251/3252). В пределах возможных определений можно менять не только частоту (или период повторения) импульсов, но и время нарастания и спада и активную длительность. Таким образом, в общем случае генерируются импульсы трапециевидальной формы (рис. 12). Минимальная длительность фронтов импульсов у генераторов серии AFG3000 составляет 18, 5 и 2,5 нс. Минимальная длительность импульсов 30, 8 и 4 нс, максимальная длительность у всех моделей 999 с.

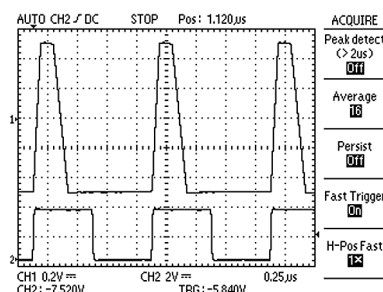


Рис. 12. Осциллограммы трапециевидальных импульсов на основном выходе (верхняя кривая) и выходе запуска (нижняя кривая) при частоте 1 МГц

Большую группу сигналов, генерируемых генераторами AFG3000 можно отнести к разряду сигналов, воспроизводящих математические функции. Это уже упомянутый пилообразный сигнал, сигнал вида  $\sin(x)/x$ , функция Гаусса, функция Лоренца, экспонента нарастающая, экспонента падающая (тут снова неточность определения — речь идет просто о перепадах с экспоненциальным спадом положительной и отрицательной полярности) и гаверсинус. Все эти сигналы, за исключением пилообразного, выбираются из позиции меню «Еще...» в меню функций. Они генерируются с частотами от 1 мГц до 1 МГц. На рис. 13 представлена осциллограмма сигнала, реализующего функцию Гаусса. Показано три периода сиг-

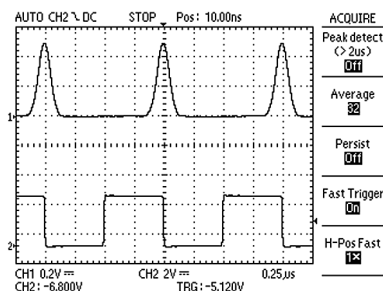


Рис. 13. Осциллограммы сигнала с функцией Гаусса на основном выходе (верхняя кривая) и выходе запуска (нижняя кривая) при частоте 1 МГц

нала на основном выходе и на выходе TTL. Они синхронны и имеют одинаковую частоту.

Есть два особых вида сигналов: постоянное напряжение (ток) и шумы. «Сигнал» постоянного напряжения настолько тривиален, что в особых иллюстрациях не нуждается. Шум — куда более полезный сигнал (рис. 14), который часто используется для проведения измерений, например, радиоприемной аппаратуры. В описании генератора вскользь упоминается, что шум имеет закон распределения Гаусса. Возможность генерации белого шума осталась неясной.

У шума и сигнала постоянного тока нет строгого понятия амплитуды, частоты и фазы. Поэтому естественно, что они не могут модулироваться по этим параметрам, хотя шум может модулировать другие сигналы. Полезно отметить, что возможно добавление шума к

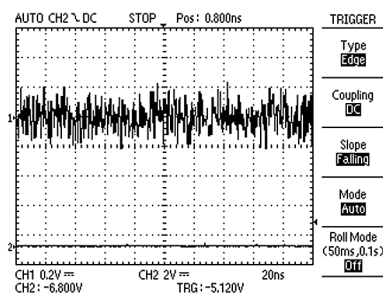
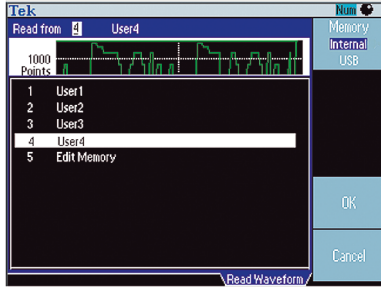


Рис. 14. Осциллограммы шумового сигнала на основном выходе (верхняя кривая) и выходе запуска (нижняя кривая) при частоте 1 МГц

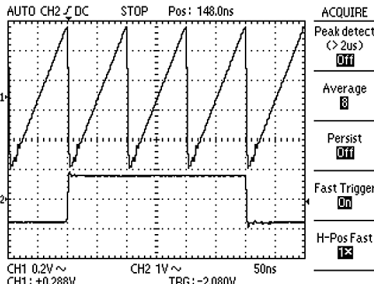
другим сигналам и моделирование, таким образом, зашумленных сигналов. Заодно отметим, что на задней стенке генераторов (кроме AFG3021/3022) есть разъем «ADD INPUT», на который можно подать любой сигнал, который можно сложить с основным сигналом.

Как уже отмечалось, все эти сигналы генерируются с частотами от 1 МГц до всего в 1 МГц. Тут самый раз «закинуть камешек в огород» компании Tektronix, вспомнив, что многие (даже дешёвые) функциональные генераторы генерируют треугольные и пилообразные сигналы с частотами до 10-



**Рис. 15.** Экран дисплея генератора с окном выбора файла из внутренней памяти

20 МГц! Но не будем спешить с этим. Учтем два важных обстоятельства. Во-первых, сигналы с частотой 1 МГц — это все сигналы математических функций. Трудно ожидать, чтобы какой-либо генератор вообще обеспечивал точное соответствие этих сигналов функциям в существенно более широком диапазоне частот. К примеру, практически у всех генераторов треугольных сигналов на предельных частотах в 10-20 МГц даже на глаз видны округления вершущек импульсов. Видимо, поэтому Tektronix ограничил частоту сигналов с математическими функциональными зависимостями значением в 1 МГц. А во-вторых, главный сюрприз нас ждет впереди!



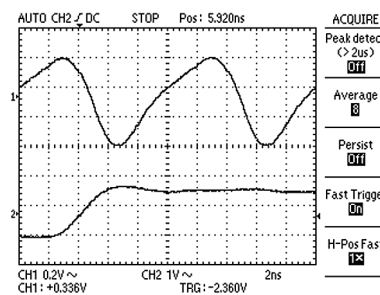
**Рис. 16.** Осциллограммы пилообразного сигнала на основном выходе (верхняя кривая) и выходе запуска (нижняя кривая) при частоте пилы 10 МГц

Всего генераторы серии AFG3000 имеют 12 стандартных форм сигналов. Все они полезны и позволяют использовать генераторы для самых разнообразных сервисных, научных и учебных целей. Однако в полной мере уникальные возможности генераторов проявляются в режиме генерации сигналов произвольной формы — пункт меню и кнопка «Произвольн.» (в оригинале «Arb.») функций (см. рис. 2).

А вот теперь мы дошли и до обещанного сюрприза: полоса частот для произвольных сигналов нормируется до 25, 100 и даже 240 МГц у генераторов трех групп, отмеченных выше (см. рис. 4)! При этом созданный сигнал

имеет разрядность 14 бит, а частота его дискретизации составляет до 1 Гвыб/с у генераторов AFG3101/3102 и даже 2,5 Гвыб/с у AFG3251/3252. И никто нам не мешает в качестве такого сигнала воспользоваться образцом сигнала любой формы!

Для хранения созданных пользователем сигналов есть два вида памяти — встроенная и внешняя. Встроенная память позволяет создать 5 файлов, имена которых представлены в окне генератора, показанном на рис. 15. Это окно вызывается нажатием кнопки «Произвольн.» меню функций и выбором позиции «Сигнал произвольной формы» экранного меню. В окне представлены имена файлов, хранящихся во внутренней памяти. В позиции экранного меню «Память» есть возможность выбора окон либо внутренней памяти (рис. 15), либо внешней памяти флэш-карты, которая вставляется в гнездо под экраном.



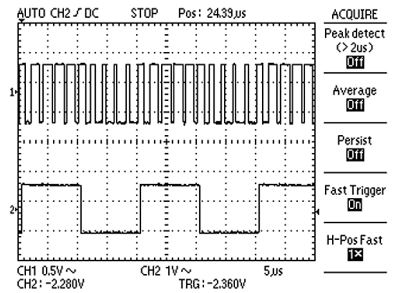
**Рис. 17.** Осциллограммы пилообразного сигнала на основном выходе (верхняя кривая) и выходе запуска (нижняя кривая) при частоте пилы 100 МГц (AFG3101)

Чтобы проверить возможность генерации произвольного сигнала с высокой частотой был задан сигнал пилообразной формы в виде двух периодов в кадре произвольного сигнала. Напоминаем, что обычный пилообразный сигнал может иметь частоту повторения максимум в 1 МГц. Осциллограммы нашего сигнала с основной частотой 5 МГц показаны на рис. 16. Фактическая частота сигнала равна 10 МГц, поскольку она удваивается. Как видно из рис. 16, форма 10 МГц пилы очень даже приличная. Небольшие колебания после резкого спада (обратный ход пилы) вызваны неточным согласованием кабеля с 50-омной нагрузкой. При замене кабеля (длина 75 см) более длинный кабель перемещался в другое место, дальше от спада.

Было интересно проверить, а какова будет форма пилы, если увеличить основную частоту до 50 МГц, а частоту пилы — до 100 МГц? Сказано — сделано (см. рис. 17)! Можно было ожидать, что пила вырождается в синусоиду, поскольку полоса частот выходного усилителя у AFG3101 ограничена значением в 100 МГц. Но, как видно из рис. 17, даже в таком экстремальном случае выходной сигнал скорее напоминает

пилу с заметными искажениями, чем синусоиду.

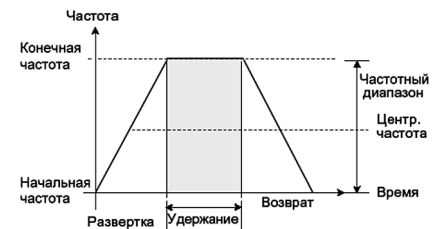
Разумеется, что возможность создания произвольных сигналов означает, что генераторы серии AFG3000 позволяют пользователю создавать бесчисленное множество сигналов самой разнообразной формы. Генераторы предусматривают различные возможности создания сигналов произвольной формы — от копирования сигналов стандартных форм, ручного ввода



**Рис. 18.** Осциллограммы импульсов при широтно-импульсной модуляции на основном выходе (верхняя кривая) и импульсов на TTL-выходе запуска (нижняя кривая)

опорных точек и интерполяции кривых в промежутках между ними, до ввода отдельно каждой точки сигналов с разрешением в 14 бит. Это очень высокое разрешение: достаточно отметить, что многие цифровые осциллографы (даже фирмы Tektronix) довольствуются разрешением в 8 бит (это всего 256 значений каждой точки).

Их можно сохранять во внутренней памяти (4 сигнала и текущий редактируемый сигнал), а можно хранить и во внешней флэш-памяти. Это уже вполне современное решение — карту с флэш-памятью можно перенести на компьютер для сохранения файлов на жестком диске большой емкости или для применения в серьезных программах математической обработки сигналов, в том числе с помощью современных систем компьютерной математики MathCad, Mathematica, Maple или MATLAB. Все это открывает неограниченные возможности моделирования сигналов и использующих их устройств.



**Рис. 19.** Зависимость частоты от времени в режиме качания (сweep-генератора)

Для импульсного сигнала возможна широтно-импульсная модуляция (ШИМ) по различным законам, например линейному или синусоидальному. При этом виде модуляции амплитуда и частота импульсов не меняются, но меняется их коэффициент заполнения.

Такая модуляция широко используется в преобразовательных устройствах силовой электроники. На рис. 18 показан пример ШИМ для импульсов с частотой 500 кГц при частоте модуляции 50 кГц (диапазон частот модуляции при ШИМ от 2 МГц до 50 кГц) с девиацией 30%. На осциллограмме основного сигнала отчетливо видно изменение коэффициента заполнения импульсов.

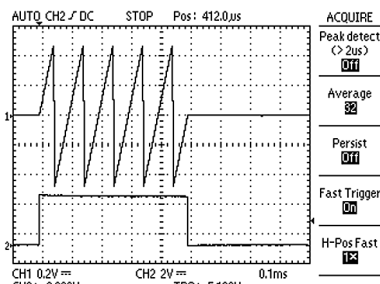


Рис. 20. Осциллограммы пачки пилообразных импульсов на основном выходе (верхняя кривая) и импульсов на ТТЛ-выходе запуска (нижняя кривая)

Для снятия АЧХ различных устройств и их испытания при изменении частоты сигналов служит режим «Качание» (кнопка «Sweep» или «Качание»). Важно отметить, что качание частоты может осуществляться как для синусоидального, так и для импульсного сигнала как с применением внутреннего генератора развертки, так и внешнего. Зависимость частоты от времени представлена на рис. 19. Все указанные на этом рисунке временные и частотные параметры можно задавать в экранном меню. Кроме того, можно задать качание частоты по линейному или логарифмическому закону. Последнее нужно при снятии логарифмических АЧХ — ЛАЧХ. По уже указанным причинам нельзя использовать этот режим (свиппер генератора) для сигналов постоянного тока и шума.

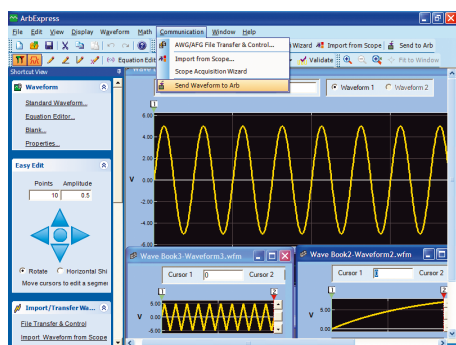


Рис. 21. Окна программы ArbExpress (пример передачи установок сигнала на генератор)

При обзоре возможностей генераторов стоит остановиться на еще одной интересной возможности приборов — формировании пачек сигналов различной формы. Для задания такого режима работы служит кнопка «Пачка». Можно изменять число сигналов в пачке от 1 до 1000000. Возможна также непрерывная генерация заданной пачки. На рис. 20 показан пример генерации пачки из

5 пилообразных импульсов. Пачка может стробироваться как от внутреннего генератора импульсов, что и показано на рис. 20, так и от внешнего генератора, выход которого подключается к входу «Inpu» на передней панели генератора AFG3000.

Отметим еще несколько аппаратных возможностей генераторов AFG3000. Их можно использовать в качестве генераторов опорного высокостабильного сигнала с частотой 10 МГц. Можно, напротив, обеспечить работу генератора от внешнего сигнала с частотой 10 МГц (область захвата при этом равна  $\pm 35$  кГц). Несколько генераторов могут работать синхронно. Как уже отмечалось, есть возможность суммирования выходных сигналов с внешним сигналом. Для защиты основного выхода от коротких замыканий и перегрузок по напряжению имеется встроенная защита и внутренний плавкий предохранитель. Однако его замена требует обращения в сервисный центр Tektronix. Рекомендуется использовать внешний переходник с плавким предохранителем, который пользователь может менять самостоятельно.

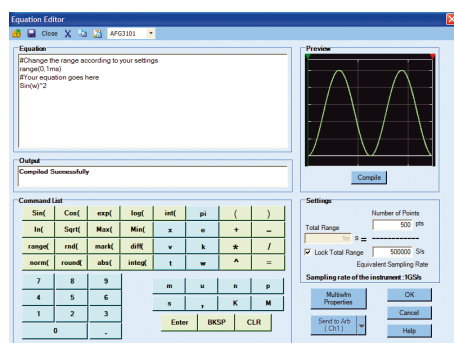


Рис. 22. Окна редактора формул программы ArbExpress (пример создания сигнала — квадрата синуса)

Возможности генераторов AFG3000 заметно расширяются при организации его связи с персональным компьютером. При этом возможно дистанционное управление генератором, задание и редактирование сигналов произвольной формы и генерация сигналов, полученных от цифровых осциллографов. Для этого используется программа ArbExpress™, входящая в стандартную поставку генератора. Для использования этих возможностей требуется установка программы (вполне заурядная) и подключение генератора к свободному USB-разъему компьютера. Требования к нему вполне обычные и любой современный компьютер им удовлетворяет.

На рис. 21 представлено окно программы ArbExpress с тремя окнами различных сигналов. Они создаются после активизации гиперссылки «Standart Waveform...» в окне «Waveform» в левой части рис. 21. Команда «Send Waveform to Arb» в позиции меню «Communication» обеспечивает переда-

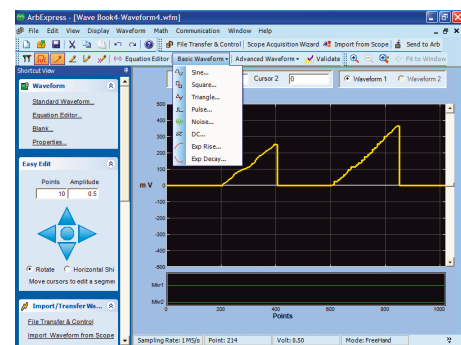


Рис. 23. Пример создания сигнала произвольной формы с помощью графического редактора программы ArbExpress

чу установок выбранного сигнала (из текущего окна) в генератор AFG3000.

Наряду с созданием сигналов стандартных форм (все они были описаны выше) программа ArbExpress обеспечивает создание сигналов, временная зависимость которых задается математическим выражением. Для этого служит редактор математических формул, окно которого (рис. 22) вызывается активизацией гиперссылки «Equation Editor...». В окне редактора «Equation» можно составить простую программу, используя символы и функции, вводимые кнопками в окне «Command List». Для примера показано создание сигнала, временная зависимость которого описывается квадратом синуса. Подготовленная программа (если она верна) компилируется без ошибок и в окне предварительного просмотра «Preview» можно наблюдать график созданной зависимости. Кнопка «Send to Arb» позволяет направить созданный сигнал в указанный канал генератора.

И заканчивая краткое описание данной программы, отметим, что есть возможность вызывать пустой бланк временной зависимости и с помощью электронного карандаша с различными функциями нарисовать от руки произвольную временную зависимость сигнала (рис. 23).

В заключении стоит отметить, что генераторы серии AFG3000 это целый комплекс средств генерации сигналов — от простейших до самых сложных. Они необходимы для моделирования и изучения сложных сигналов, при серьезных исследованиях огромного числа устройств и систем и, наконец, при тестировании сложной электронной аппаратуры. И это оправдывает пока довольно высокую стоимость этих уникальных приборов.

*In this article, the author tells about AFG3000 Series arbitrary function generators, which used to generate complex electrical signals and which expansive features ensure users can simulate and test real-world designs for a wide variety of applications.*