

Генератор сигналов произвольной формы АКИП-3402

Александр ДЕДЮХИН

Генераторы сигналов являются одним из основных средств, предназначенных для технического обслуживания, ремонта, проведения измерений и исследований в различных областях науки, промышленности и связи. За последние годы произошли серьезные изменения в подходе к функциональности генераторов сигналов. Если десять лет назад генераторы можно было разделить на такие группы, как синтезаторы, генераторы шума, генераторы синусоидальных сигналов, импульсные генераторы, генераторы сложных сигналов, ВЧ-генераторы, то в настоящее время, в связи с бурным ростом цифровой и микропроцессорной техники, развитием программных технологий, появилась возможность создания нового класса генераторов, объединяющего в себе все ранее существовавшие типы, — многофункциональных генераторов сигналов с возможностью формирования сигналов сложной и произвольной форм.

Генератор сигналов произвольной формы АКИП-3402

Эти генераторы позволяют формировать не только так называемые стандартные формы сигналов (синусоидальную, прямоугольную, для которых ранее существовали отдельные типы генераторов), но и сигналы треугольной, пилообразной, импульсной форм, шумовой сигнал, сигналы экспоненциальной, логарифмической, $\sin(x)/x$, кардиоформ, сигнал постоянного напряжения, которые в последнее время уже стали считаться «стандартными» формами сигнала. Построенные на основе цифровых технологий современные многофункциональные генераторы, по сравнению со своими аналоговыми «предками», обладают уникальной дискретностью изменения частоты — до 1 мкГц, высокой стабильностью, малой погрешностью установки частоты — до 1×10^{-6} и малым уровнем гармонических составляющих для синусоидального сигнала. Требования к генераторам сигналов со стороны потребителей постоянно ужесточаются в направлении расширения частотного диапазона, увеличения числа генерируемых форм, включая возможности моделирования сигналов произвольных форм, расширения видов модуляций, в том числе цифровые виды модуляций, и наличия других вспомогательных возможностей.

Одним из таких современных генераторов сигналов и является генератор сигналов специальной формы АКИП-3402 (рис. 1).

Принцип работы генератора основан на технологии прямого синтеза (DDS). Этот



Рис. 1. Внешний вид генератора АКИП-3402

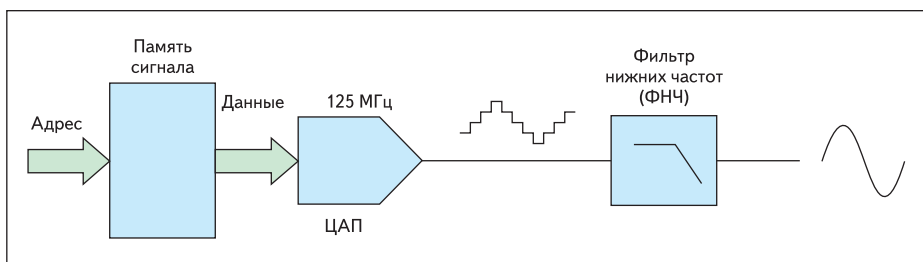


Рис. 2. Принцип формирования сигнала

принцип состоит в том, что цифровые данные, представляющие цифровой эквивалент сигнала требуемой формы, последовательно счи-

тываются из памяти сигнала и поступают на вход цифро-аналогового преобразователя (ЦАП). Данный преобразователь тактируется

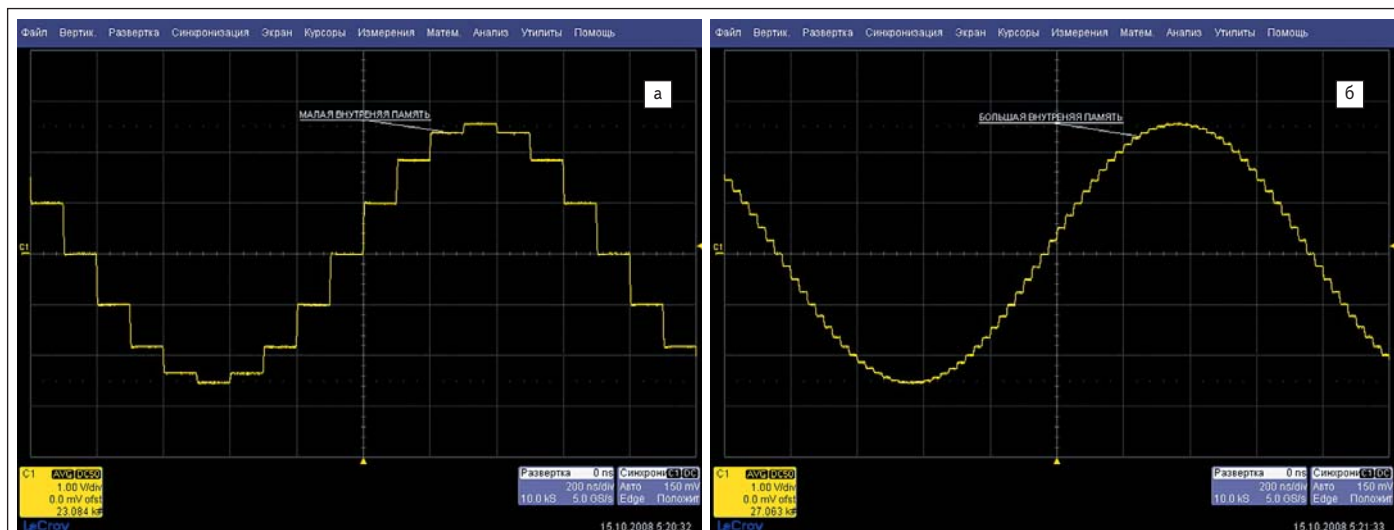


Рис. 3. Осциллограммы синусоидального сигнала: а) с малым разрешением АЦП и длиной памяти; б) с большим значением этих параметров

с частотой дискретизации генератора 125 МГц и выдает последовательность ступеней напряжения, аппроксимирующих требуемую форму сигнала. Ступенчатое напряжение затем сглаживается фильтром нижних частот (ФНЧ), в результате чего восстанавливается окончательная форма сигнала (рис. 2). Применение частоты дискретизации 125 МГц позволяет генератору АК ИП-3402 формировать синусоидальный сигнал с частотой до 50 МГц.

АК ИП-3402 является расширением линейки генераторов ГСС-05...ГСС-120 и по совокупности параметров генератор сигналов произвольной формы АК ИП-3402 можно поставить в один ряд с такими генераторами, как 33210, 33220 и 33250 компании Agilent Technologies или AFG3011 и AFG3021В компании Tektronix (а по некоторым параметрам генератор АК ИП-3402 сопоставим и с генератором AFG3101 компании Tektronix).

Длина внутренней памяти и вертикальное разрешение АЦП

К наиболее важным параметрам генераторов сигналов специальных форм, помимо частоты дискретизации, определяющей максимальную выходную частоту, также относятся длина внутренней памяти и вертикальное разрешение АЦП (рис. 3). Возвращаясь к принципу прямого синтеза, изложенного выше, и взяв в качестве примера формирование сигнала синусоидальной формы, можно утверждать, что вертикальное разрешение влияет на высоту ступеньки напряжения, а длина внутренней памяти — на длину ступеньки напряжения. И чем более высокое разрешение имеет АЦП генератора и более длинную память, тем меньше будет размер этой ступеньки. И как следствие — выходной сигнал будет иметь меньший уровень гармонических составляющих для синусоидального сигнала. При формировании сигналов сложной и произвольной форм более

высокое разрешение АЦП и длинная внутренняя память позволяют формировать более сложный и «замысловатый» сигнал.

Генератор АК ИП-3402 имеет длину памяти до 256 000 точек. Для примера, генератор Agilent Technologies 33250 имеет длину памяти 64 000 точек, а у генераторов серии AFG компании Tektronix длина памяти 128 000 точек.

Пользовательский интерфейс, управление генератором и отображение режимов

Генератор АК ИП-3402 имеет очень удобный и интуитивно понятный пользовательский интерфейс. Управление генератором осуществляется тремя основными группами органов управления:

- 1-я группа — кнопки выбора основных форм сигнала и режимов работы, позволяющие оперативно производить выбор основных форм сигнала, режимов модуляции и формирования пакетов, осуществлять вход в служебное меню. Также эта группа кнопок для уже заданных форм сигнала позволяет производить выбор и изменение основных параметров, присущих выбранному сигналу. Например, переключение между частотой и периодом сигнала; для импульсного сигнала — выбор длительности импульса или скважности; для установки амплитуды сигнала выбор среднеквадратического значения (V_{rms}), пикового значения (V_{p-p}) или уровня в относительных единицах по мощности (дБм).
- 2-я группа — цифровое наборное поле для ввода параметров, предназначенное для ввода числовых данных о значениях частоты (периода, длительности), амплитуды, постоянного смещения, параметров модуляции или свипирования. Единицы размерности после ввода данных вводятся группой кнопок 1. Такой способ ввода данных очень удобен для непосредственного зада-

ния значений параметров сигнала или их изменения на некратные значения. Например, при первоначальном значении частоты выходного сигнала 23,567 кГц необходимости перехода к частоте 47,8309 кГц наиболее предпочтительно пользоваться прямым цифровым вводом.

- 3-я группа — вращающийся регулятор и две кнопки перемещения (влево/вправо), предназначены для плавного изменения заданных параметров в выбранном разряде. Например, если при первоначальном значении частоты выходного сигнала 23,567 кГц возникает необходимость плавной перестройки частоты с дискретностью 1 Гц, то это, бесспорно, более рационально производить вращающимся регулятором.

Очевидно, что при необходимости иметь пользователю «под рукой» ряд собственных настроек и каждый раз производить перенастройку генератора — не очень удобно. Для решения этой задачи генератор АК ИП-3402 имеет возможность запоминать до четырех профилей настроек органов управления. При этом можно присвоить собственное имя каждому профилю, используя буквы латинского алфавита и цифры. Кроме четырех основных профилей, может быть сохранен еще один — пятый, который вызывает заводские установки генератора (по умолчанию).

Графический матричный дисплей генератора АК ИП-3402 предназначен не только для отображения численных значений параметров выходного сигнала, но также может быть переведен в режим «Графика». В графическом режиме на дисплее отображаются упрощенные пиктограммы выходных сигналов с установленными или предельными параметрами в зависимости от типа выбранного сигнала. При формировании модулированного сигнала на графическом дисплее отображается вся контекстная информация о сигнале, включая параметры модулирующего и модулируемого колебания.

Возможность корректной работы на нагрузке с разным номиналом

По традиции низкочастотные генераторы работают на нагрузку с сопротивлением 600 Ом, принятым как стандарт для акустических измерений. Высокочастотные генераторы работают на нагрузку 50 Ом. Для телевизионной техники в качестве согласованной нагрузки принято сопротивление 75 Ом. Помимо этого, в телекоммуникации широко используются тракты с сопротивлением 25 и 135 Ом. Большинство современных, но простых генераторов сигналов специальной формы рассчитаны только на нагрузку 50 Ом. Некоторые генераторы, например, ГСС-05...ГСС-120, рассчитаны для работы как на нагрузку 50 Ом, так и для работы на высокоомную нагрузку 1 МОм. Очевидно, что теоретически генераторы имеют возможность работы практически на любую нагрузку (естественно, при этом не должна превышать допустимая выходная мощность), но корректное соотношение между отображаемым уровнем на индикаторе генератора и истинным значением напряжения на нагрузке, отличной от 50 Ом, не будет обеспечено (рис. 4). Пояснения этого «явления» приведены ниже.

Напряжение на внешней нагрузке в этом случае будет определяться формулой:

$$V_{\text{нагр}} = V/2 = 2V_{\text{индик}}/2 = V_{\text{индик}} \quad (1)$$

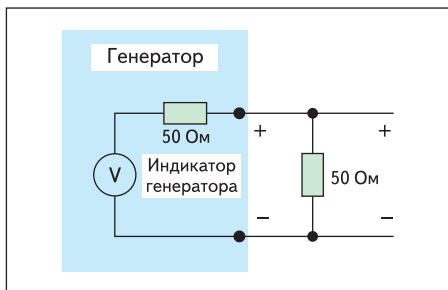


Рис. 4. Схема полной цепи генератора сигналов, имеющего подключенную внешнюю нагрузку 50 Ом

Это согласованный режим, и для него, как видно, индицируемое напряжение на дисплее генератора в два раза меньше, чем напряжение на внешней нагрузке. Данное значение напряжения автоматически рассчитывается при индикации выходного уровня генератора.

Формула напряжения на внешней нагрузке с учетом сопротивления этой нагрузки имеет вид:

$$V_{\text{нагр}} = V_{\text{индик}} \times [2R/(R+50)], \quad (2)$$

где 50 — внутреннее сопротивление генератора, Ом; R — сопротивление внешней нагрузки.

Очевидно, что если в этом случае не произвести перерасчет амплитуды выходного сигнала, то уровень сигнала, отображаемый на индикаторе генератора, будет в два раза меньше, чем измеренный на нагрузке 1 МОм (рис. 5). При внешней нагрузке, находящейся в пределах от 50 Ом до 1 МОм, в зависимости от значения нагрузки показания индикатора уровня генератора будут отличаться от истинного значения на нагрузке от 0 до 100% в сторону увеличения. И наоборот — при нагрузке, меньшей, чем 50 Ом, уровень на индикаторе генератора будет больше, чем на самом деле.

Для исключения этого недостатка в генераторе АКПП-3402 пользователь имеет воз-

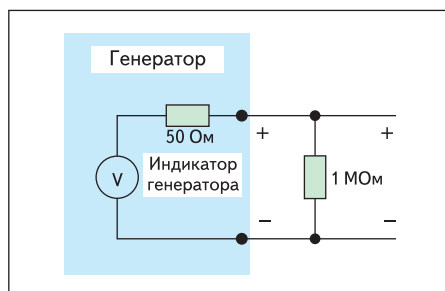


Рис. 5. Пример подключения генератора к высокоомной нагрузке 1 МОм (например, вход универсального вольтметра или 1-МОм вход осциллографа)

можность задать номинал внешней нагрузки в пределах от 1 Ом до 10 кОм или выбрать фиксированное значение нагрузки 1 МОм.

Однако не следует забывать, что все изложенное возможно только для корректного пересчета уровня выходного сигнала, но не для изменения реального волнового сопротивления генератора сигналов. Значение согласованной нагрузки всегда составляет 50 Ом, для которой и нормируются все выходные параметры генератора: погрешность установки опорного уровня, неравномерность АЧХ, время нарастания импульсного сигнала, выброс на вершине и другие параметры.

Формирование сигналов произвольной формы (СПФ)

Возможность генераторов сигналов произвольной формы воспроизводить сигналы сложной и произвольной форм дает пользователю очень широкие возможности. В генераторе АКПП-3402 отсутствует ручной режим формирования сигналов произвольной формы (при помощи органов управления передней панели), поскольку этот способ формирования выходного сигнала весьма трудоемок и «мучителен» для пользователя в силу того, что длина внутренней памяти генератора достаточно большая и позволяет создавать длительные посылки. Формирование сигналов произвольной формы осуществляется только с помощью программного обеспечения **Wavepatt**, входящего в комплект поставки.

Программное обеспечение просто в использовании, имеет удобную конфигурацию меню, понятный пользовательский интерфейс и позволяет формировать сигналы различными способами.

1. Создание стандартных форм и их модификаций. На рабочем столе ПО **Wavepatt** есть набор таких форм сигнала, как синусоидальная, прямоугольная, треугольная, пилообразная, кардиограмма, экспоненциальная и шумовая. Пользователю необходимо выбрать одну из этих форм и задать длину сег-

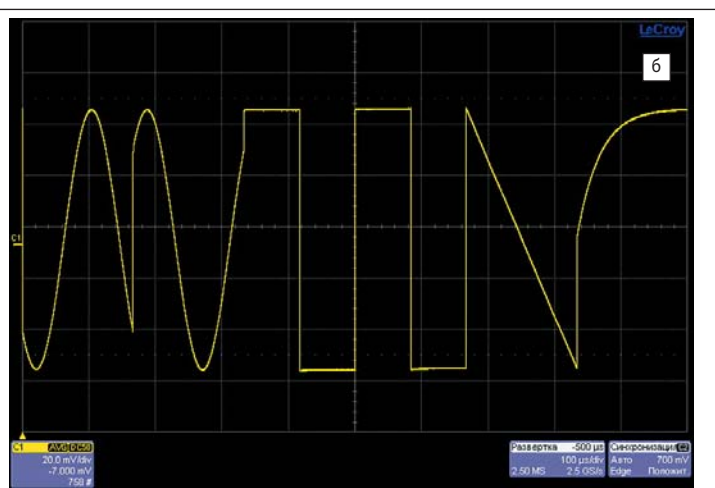
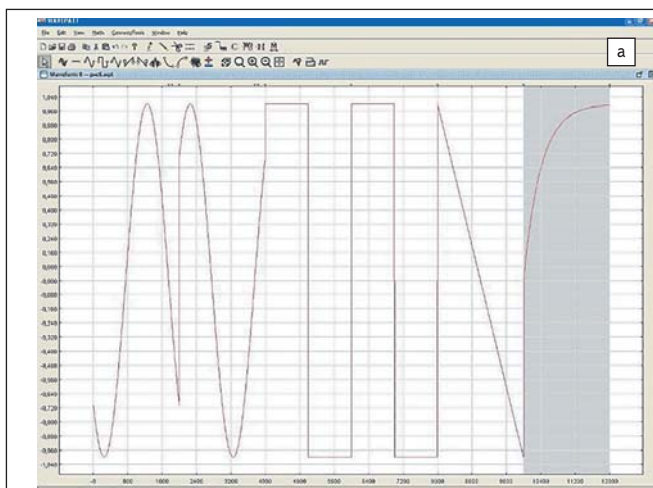


Рис. 6. Пример формирования формы сигнала в программе и результат воспроизведения на осциллографе

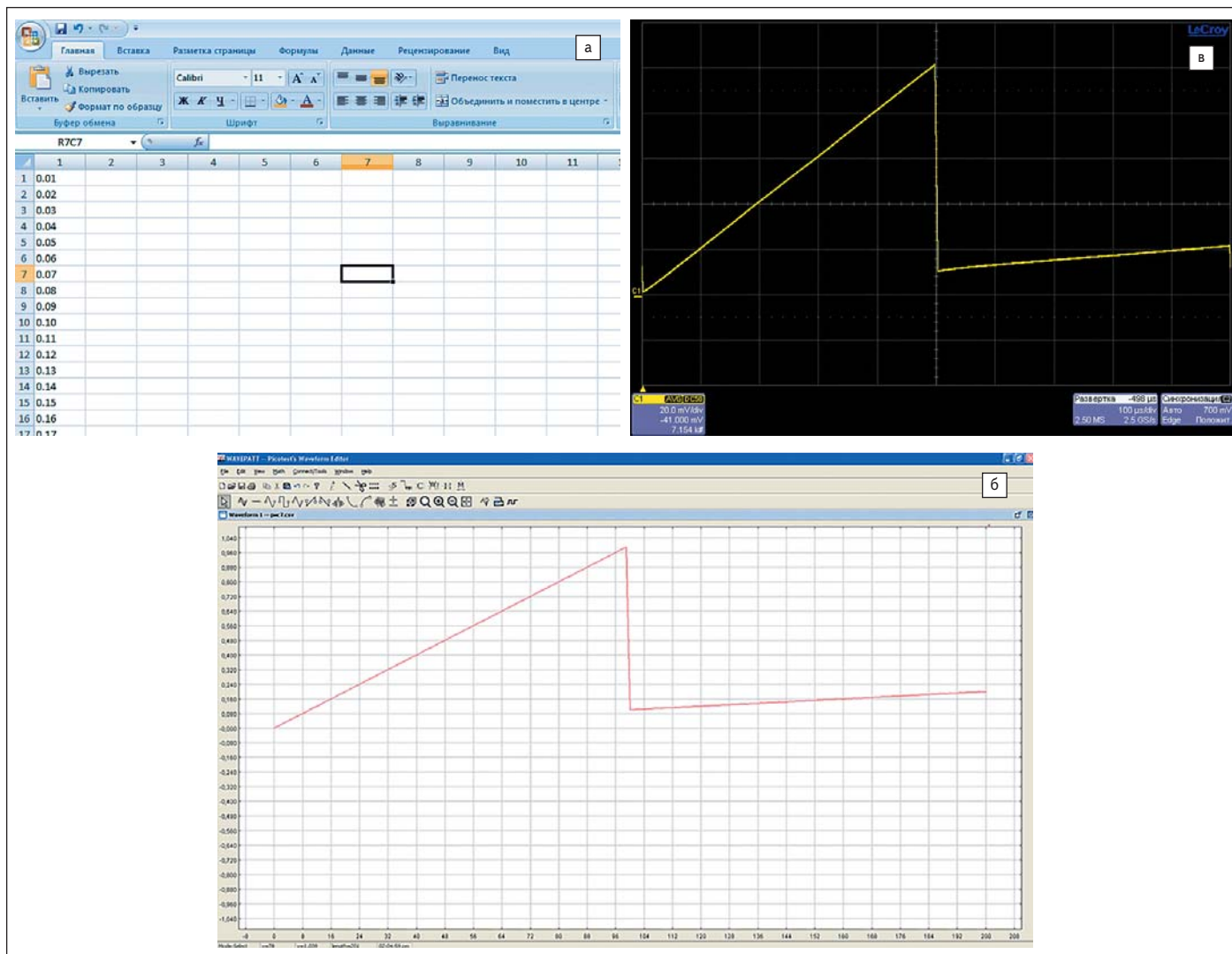


Рис. 7. Пример загрузки форм из внешних файлов

мента (число точек), амплитуду, фазу, уровень смещения и число циклов для формирования сигнала. Полученный сегмент можно редактировать карандашом, изменяя его форму, применять к сегменту математические действия: сложение, вычитание, умножение и деление, изменять его амплитуду или число точек, составляющих этот сегмент. Можно также инвертировать, создавать зеркальные образы и применять фильтры, к этому сегменту можно «пристегнуть» второй, третий и так далее сегменты, созданные таким же образом (рис. 6). В частности, используя математическую функцию сложения двух форм сигнала, очень просто получить амплитудно-модулированный сигнал.

2. Загрузка форм из внешних файлов. Программное обеспечение **Wavpatt** позволяет подгружать файлы данных, созданные ранее в собственной оболочке, а также файлы с расширением “csv”. Файлы “csv” позволяют создавать собственные, «замысловатые» сигналы абсолютно любой формы. Сами файлы можно создать с помощью математических формул, описывающих

различные процессы, или в ручном режиме, исходя из требований пользователя, — как с помощью программы Excel, входя-

щей в стандартный пакет Microsoft Office, так и с помощью программы MATLAB, имеющей более широкие возможности по

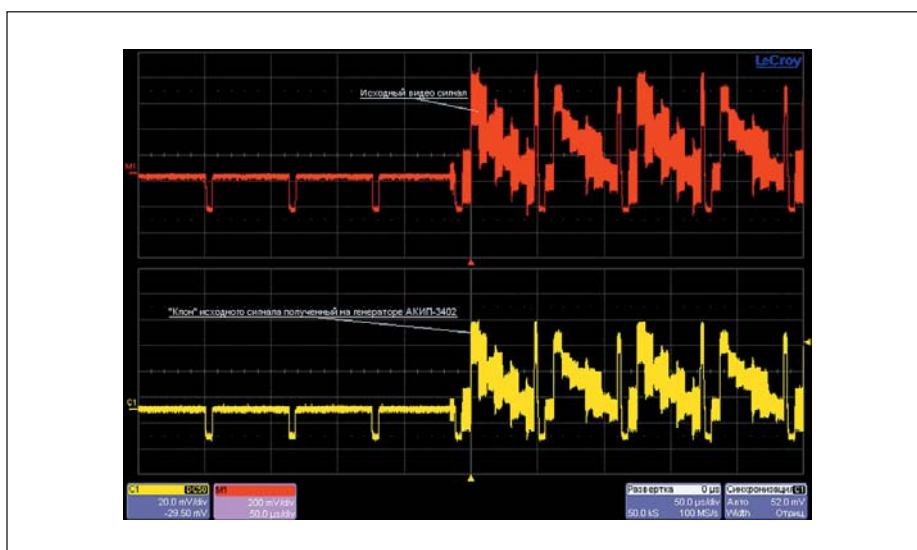


Рис. 8. Пример захвата первых четырех строк видеосигнала

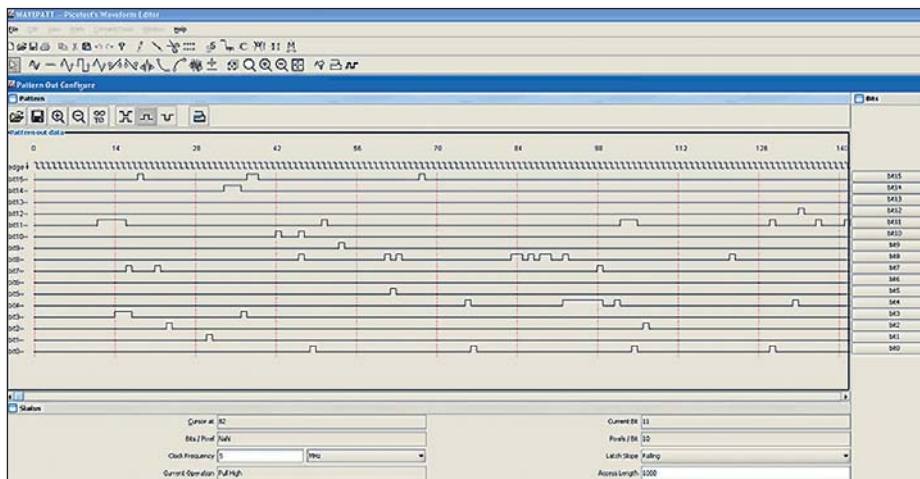


Рис. 9. Пример изображения при конструировании цифровой шины в оболочке ПО Wavepatt

моделированию произвольных форм сигналов. Загруженные файлы могут отдельно редактироваться описанными средствами Wavepatt. Пример приведен на последовательности рис. 7.

3. Интересной для практических приложений является связка цифрового осцилло-

графа и генератора сигналов произвольной формы. Цифровой осциллограф, отображая входной сигнал — аналоговый или цифровой, способен записать его в файл с расширением “csv”, далее этот файл открывается в программе Wavepatt и данные передаются в генератор АКПП-3402. Генератор

формирует в точности такой же сигнал, какой отображается на экране осциллографа. Это весьма полезно в случае, когда осциллограф захватывает в реальных условиях редкий или одиночный сигнал, и есть необходимость многократного воспроизведения этого специфического сигнала. Так, на рис. 8 приведен пример захвата первых четырех строк видеосигнала, верхняя осциллограмма красного цвета — это «оригинальный» сигнал, нижняя осциллограмма желтого цвета — осциллограмма последующего «клонирования» этих строк с использованием возможностей ПО и генератора АКПП-3402.

4. Помимо аналоговых сигналов программное обеспечение Wavepatt позволяет создавать и сигналы 16-разрядной цифровой шины (они выводятся на отдельный разъем, расположенный на задней панели генератора). Логические сигналы привязаны к тактовому генератору, частота которого, в свою очередь, задается пользователем в оболочке программы (рис. 9). ■

Окончание следует