

USB-ГЕНЕРАТОРЫ СИГНАЛОВ ПРОИЗВОЛЬНОЙ ФОРМЫ

Сегодня широко применяют средства измерений на базе персональных компьютеров (ПК), или "виртуальные приборы". На ПК устанавливается управляющее программное обеспечение и отображается вся информация. Такая техническая реализация – прибор и компьютер раздельно – позволяет создавать сложные средства диагностики и измерений относительно невысокой стоимости. К этому типу приборов относятся генераторы сигналов АКИП-3403, АКИП-3404 и АКИП-3405.

Приборы АКИП-3403, АКИП-3404 и АКИП-3405 (рис.1, таблица) – это USB-генераторы сигналов произвольной формы (СПФ), или, в английской аббревиатуре, AWG-генераторы (от англ. Arbitrary Wave Generator – генератор сигналов произвольной формы). Наиболее функциональная модель АКИП-3405 имеет четыре независимых аналоговых канала и два независимых генератора кодовых последовательностей. Для генераторов АКИП-3403, АКИП-3404 и АКИП-3405 термин "независимые каналы" означает, что сигналы на всех выходах генератора (как аналоговых, так и цифровых) имеют свою индивидуальную частоту дискретизации, что позволяет формировать не только разные по форме выходные сигналы, но и сигналы, абсолютно не связанные друг с другом по частоте и амплитуде. Это очень важное достоинство конструкции, поскольку для подавляющего большинства генераторов СПФ (например, Tektronix серии AFG или Tabor) термин "независимость" означает формирование сигналов только разных форм и амплитуды, однако при этом, если частота сигнала в одном канале изменяется, автоматически происходит изменение частоты сигнала и в остальных каналах.

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Ядром управления генератора АКИП-3405 является программное обеспечение (ПО), которое состоит из двух частей – AWG Quick Start и AWG-Navigator.

Программа AWG Quick Start предназначена для быстрого формирования стандартных сигналов – синусоидально-треугольного, импульсного, а также для изменения их



А.Дедюхин
info@prist.ru

основных параметров – частоты, амплитуды, постоянного смещения, скважности или фазы.

Второе программное приложение – AWG-Navigator – уже является "профессиональным" с точки зрения возможностей по моделированию форм сигналов.

Прежде всего, следует отметить ступенчатость в работе приложения AWG-Navigator при моделировании форм сигналов. Этот механизм работы обусловлен назначением генератора АКИП-3405 – формирование сложных сигналов произвольной формы с переменной частотой дискретизации. Здесь имеет смысл разъяснить основное различие при формировании выходного сигнала между "классическими" генераторами произвольной формы и USB-генераторами АКИП. Для примера рассмотрим, как будут формировать несложный сигнал, состоящий из трех периодов синусоидального сигнала, двух



Рис. 1. USB-генератор АКИП-3405

Характеристики генераторов АКИП

	АКИП-3403	АКИП-3404	АКИП-3405
Частота дискретизации	500 МГц	250 МГц – реальное время 1 ГГц – с интерполятором	
Максимальная частота сигнала, МГц	125	100	
Число бит АЦП	16 – в режиме AWG 36 – в режиме DDS		
Объем памяти, Мбайт	2 – штатно 4 – опционально 8 – опционально	2	
Число сегментов памяти	До 1024	До 512	
Число аналоговых каналов	1	2	4
Число логических каналов (опция)	Нет	18	36
Максимальный уровень сигнала, В	12	10	
Дифференциальный выход	Есть	Нет	



Рис.2. Пример несложного сигнала

периодов прямоугольного сигнала и одного периода треугольного сигнала (рис.2) два разных типа генераторов.

Для формирования такого сигнала в память "классического" генератора СПФ должны быть записаны все отсчеты, составляющие форму сигнала. Форма из памяти генератора будет воспроизводиться от первой ячейки памяти до последней, в которой есть информация, и далее все отсчеты будут воспроизводиться по кругу. Поэтому главное, что оценивается в таких генераторах, – это объем памяти, поскольку чем он больше, тем более сложную форму сигнала может воспроизвести генератор (или воспроизвести сигнал на большем интервале времени).

Генераторы АК ИП-3403, АК ИП-3404 и АК ИП-3405 такой же сигнал будут формировать по другому принципу. Форму сигнала (см. рис.2) можно разложить на три элементарные формы – один период синусоиды, один период прямоугольника и один период треугольной формы сигнала. Далее необходимо воспроизвести один период синусоиды три раза, затем – два раза один период прямоугольного сигнала, далее – один период треугольного сигнала, и наконец, начать заново цикл воспроизведения по "большому" кругу (рис.3).

Очевидно, что для формирования этого не очень сложного сигнала генератор АК ИП расходует в два раза меньше памяти, чем "классический" генератор сигналов произвольной формы. Если предположить, что сигнал будет иметь не три периода синусоидального сигнала, а 96, то "классический" прибор будет вынужден держать в памяти уже 99 периодов формы сигнала, а генератор АК ИП – все те же три, только при этом синусоидальная форма сигнала будет воспроизведена по кругу 96 раз. Выигрыш в использовании памяти в этом случае составит уже 33 раза. Если же сигнал будет содержать миллион периодов синусоидального сигнала, то может оказаться, что "классический" генератор из-за ограниченного объема памяти не сможет его воспроизвести. А ресурсы памяти генератора АК ИП останутся на прежнем уровне – три элементарные формы сигнала. Поэтому воспроизвести сигнал по кругу миллион раз для первой формы, два раза – для второй и один раз – для третьей не составит никакого труда. При этом генератор АК ИП будет иметь еще достаточно большой объем свободной памяти, в который могут быть записаны и воспроизведены и другие формы сигнала. Такой принцип использования памяти при формировании сигнала

называется "сегментированной памятью". Он позволяет наиболее рационально использовать память генератора произвольной формы и даже при небольшом объеме памяти формировать достаточно сложные сигналы с большим периодом повторения.

Сложный сигнал, формируемый генератором АК ИП-3405, в подавляющем большинстве случаев можно разложить на множество более простых составляющих, подобно кирпичикам, из которых и будет конструироваться выходной сигнал. Поскольку составляющих "кирпичиков" много, то их комбинирование по различным законам приводит к практически бесконечному числу возможных выходных форм сигнала.

РЕЖИМ AWG

Режим AWG является основным при формировании четырехканального сигнала. Он имеет два функциональных подрежима – собственно AWG-режим (СПФ) и DDS-режим (прямой цифровой синтез для более быстрого моделирования простых сигналов и сигналов с различной модуляцией).

Как уже отмечалось выше, сигнал сложной формы формируется ступенчато. Моделирование сигнала происходит от старшего уровня к младшему: форма сигнала – сегменты – компоненты, но рассматривать принцип формирования сигнала лучше в обратной последовательности, начиная с компонентов.

Компонента – это элементарная составляющая сигнала. В качестве компоненты можно выбрать одну из стандартных форм сигнала из предлагаемого списка: постоянное напряжение, синус, косинус, треугольный, прямоугольный, пилообразный, линейно нарастающий или спадающий, импульсный, $\sin(x)/x$, экспоненциальный. Форму компоненты также можно загрузить из внешнего файла или задать математической формулой. Для стандартных форм сигнала задаются все параметры, присущие выбранному типу сигнала, а также число отсчетов, составляющих эту форму сигнала, и число периодов повторения сигнала в заданном временном интервале.

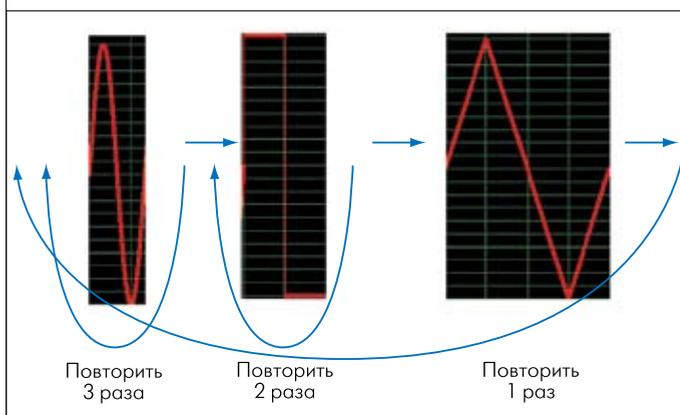


Рис.3. Схема формирования сигнала в USB-генераторах АК ИП

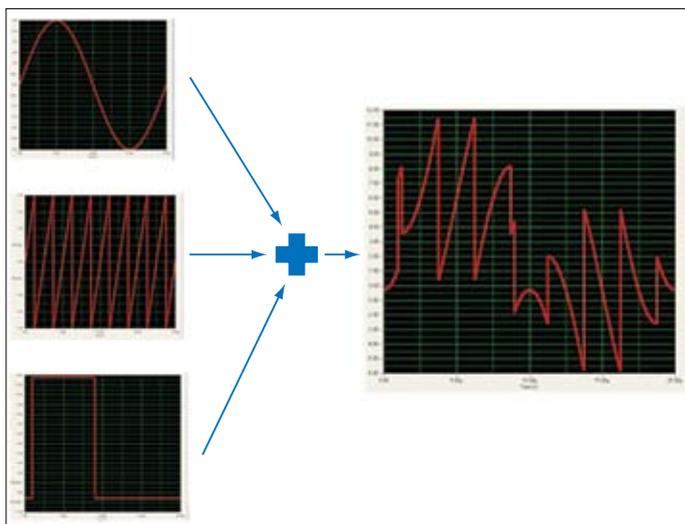


Рис.4. Результирующий сигнал из трех компонент

достаточно ввести математическую модель выходного сигнала, и программная оболочка USB-генератора АК ИП-3405 сама произведет все необходимые вычисления и построит необходимый сигнал (рис.6).

Стоит обратить внимание на возможность загрузки в генератор файлов с расширением ".csv", содержащих данные о форме сигнала. Эти файлы могут быть созданы в таких приложениях, как Excel, MatCad, специализированных программах создания сигналов для генераторов СПФ (Agilent, АК ИП, Tektronix, Tabor и др.) или получены в результате оцифровки сигналов запоминающим осциллографом. Цифровой осциллограф дает возможность клонирования генератором АК ИП-3405 сигналов, реально существующих у пользователя.

С созданной формой сигнала можно выполнить две операции – фильтрацию и наложение шумов. Эти функции можно применить к форме сигнала целиком или к отдельному участку, выделенному курсорами.

Формирование последовательности воспроизведения

Для окончательного формирования выходного сигнала генератора необходимо определить последовательность воспроизведения отдельных форм сигнала и число их повторений. В зависимости от задач, генератор формирует последовательность воспроизведения форм сигнала и задает число их повторений (максимально до 8 589 934 591 однократного повторения одной формы сигнала в одном шаге последовательности). Всего последовательность повторений может содержать до 511 форм сигнала. При такой реализации максимальный период повторения сигнала на выходе генератора может быть равным 4 389 456 576 001 периодом формы сигнала. Это очень большое значение, при котором период повторения сигнала становится практически

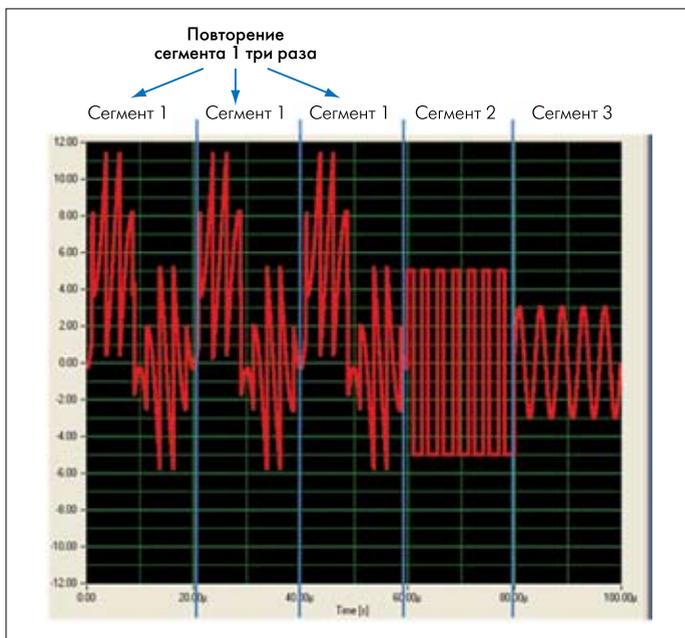


Рис.5. Форма сигнала из трех сегментов

Сегмент – это элемент формы сигнала, который возникает в результате наложения нескольких компонент (рис.4).

Форма – это итоговый сигнал, состоящий из последовательности одного или нескольких сегментов (рис.5). Чтобы упростить формирование отдельных периодических участков формы сигнала, можно указать число повторений сегментов. В зависимости от длины сегмента и установленной в генератор АК ИП-3405 опциональной памяти возможно повторение сегмента до 65535 раз. В отличие от ситуации, когда при повторении отдельных участков сигнала оптимизируется использование памяти генератора (см. рис.3), на стадии повторения сегментов этого не происходит, поскольку на этом этапе все еще создается отдельный "кирпичик" для формирования выходного сигнала, и он полностью записывается во внутреннюю память генератора.

Достаточно интересным представляется формирование компонент на основе математических формул. Для этого

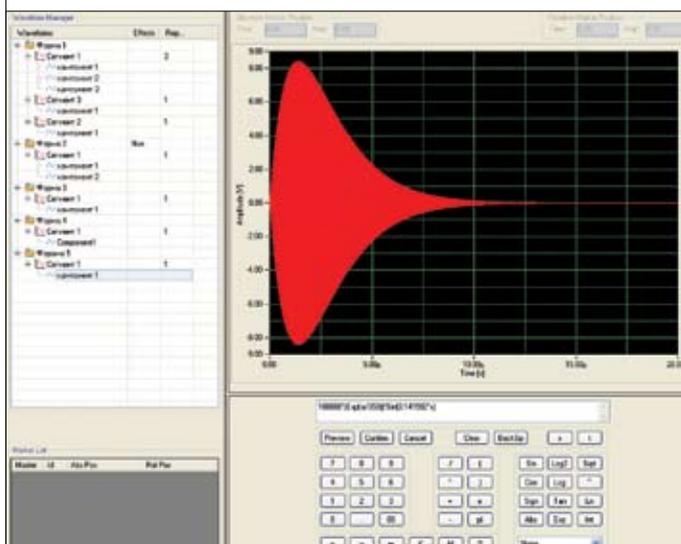


Рис.6. Моделирование компоненты по формуле $100000 * (Exp(-x/350)) * Sin(3,141592 * x)$



ки бесконечным, и сигнал действительно может иметь абсолютно произвольную форму.

Амплитудная модуляция

Программная оболочка режима AWG позволяет создавать и амплитудно-модулированные сигналы. Для создания несущей АМ-сигнала используются все методы, описанные выше. Формирование огибающей АМ-сигнала может происходить двумя способами: импорт из файла с расширением .txt и моделирование, которое производится аналогично основному выходному сигналу. Огибающая АМ-сигнала генератора АК ИП-3405 может иметь произвольную форму (рис.7).

Комбинирование выходов генератора

В последнее время производители профессиональных импульсных генераторов или генераторов СПФ добавляют в генераторы функцию сложения сигналов с двух выходов. Это позволяет получить сигнал, который по амплитуде в два раза превышает максимальное значение для одного канала, или сумму двух различных форм сигнала, например для моделирования различного рода помех в полезном сигнале. К таким генераторам можно отнести генератор Agilent Technologies 81150A в двухканальном исполнении и импульсный генератор Picosecond 12000-2.

Генераторы АК ИП-3404 и АК ИП-3405 также предусматривают возможность математических действий на выходе, причем не только сложения, как для генераторов, описанных выше, но и умножения форм сигналов, а также сложения и умножения с постоянными коэффициентами.

Формирование смешанных сигналов

В режиме AWG есть дополнительная функция – выходы внутреннего ЦАП, формирующего выходной сигнал в каналах 1 и 3, параллельно выводятся на отдельный разъем логического выхода цифрового сигнала, расположенный на

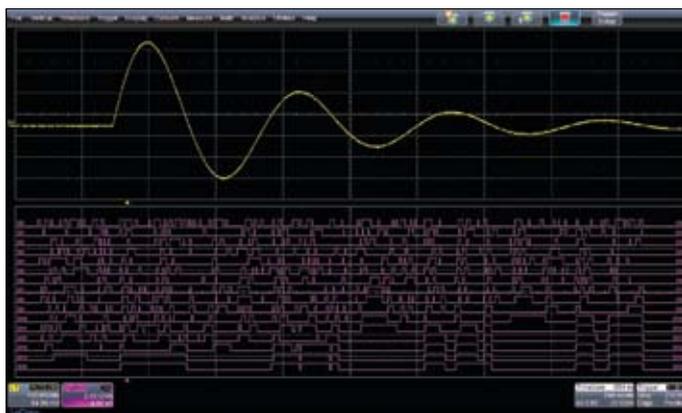


Рис.8. Пример формирования аналогового сигнала и логической шины, соответствующей этому аналоговому сигналу

задней панели генераторов АК ИП. Такого рода смешанные сигналы (рис.8) применимы при разработке и тестировании различных цифровых устройств, например ЦАП, или эмуляции протоколов передачи данных. Логическая шина имеет 16 разрядов и возможность регулировки уровня логической единицы в пределах от 1,6 до 3,5 В.

РЕЖИМ DDS

Режим DDS предназначен для формирования частотно-модулированных и фазомодулированных выходных сигналов.

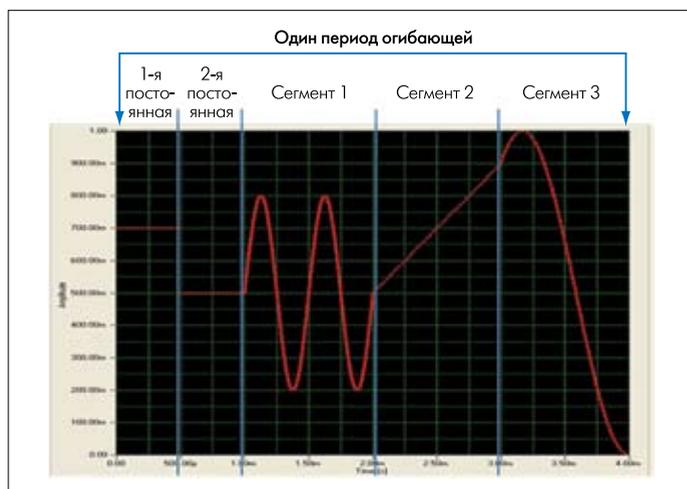


Рис.7. Пример конструирования огибающей

Интересной особенностью режима DDS является возможность коррекции АЧХ-сигнала. В режиме коррекции АЧХ пользователь может уменьшать амплитуду в соответствии с заданной функцией коррекции, которая изменяется в пределах от 0 до 1. Принцип работы коррекции АЧХ достаточно прост – исходный уровень сигнала в заданной частотной точке умножается на значение функции коррекции АЧХ в этой же точке. Результат перемножения и является конечным уровнем сигнала для этой частотной точки. Очевидно, что для одночастотного сигнала уровень выходного сигнала при включении коррекции АЧХ будет просто уменьшен до соответствующего значения. Полностью возможности коррекции АЧХ можно реализовать только для сложного сигнала с широким спектром частот.

РЕЖИМ ФОРМИРОВАНИЯ КОДОВЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ

Режим формирования кодовых последовательностей для генератора СПФ значительно расширяет его возможности как прибора, предназначенного для тестирования различных аналоговых и цифровых устройств. Генераторы кодовых последовательностей способны формировать логические сигналы как для многоразрядных параллельных шин, так и для систем последовательной передачи данных, например для шин UART, CanBus, I2C и многих других. Возможность формирования кодовых последовательностей (их еще называют "шаблонами", "цифрограммами", "сигнатурами" и т.п.) есть только у USB-генераторов АК ИП-3404 и АК ИП-3405. Это опционная функция, которую пользователь может самостоятельно активировать программным ключом. Генератор АК ИП-3404 имеет одну группу на 18 логических каналов (шлейф "А"), а генератор АК ИП-3405 – две группы по 18 логических каналов (шлейфы "А" и "В"). В каждом шлейфе отдельно выделены по два логических канала – "Запись ПЗУ"

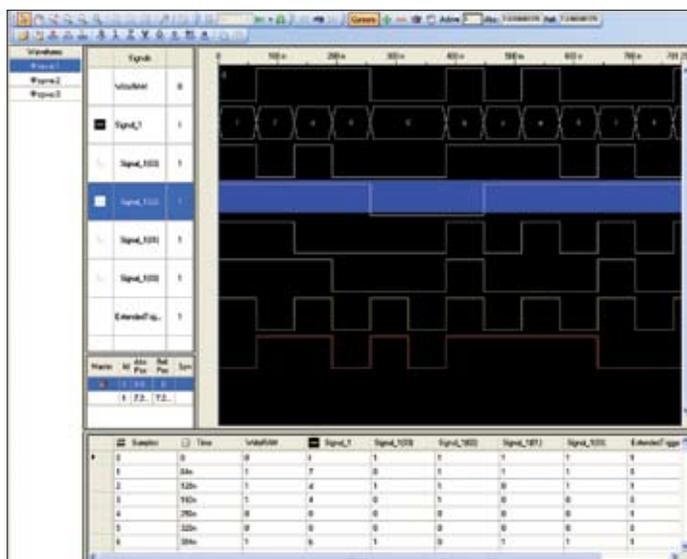


Рис.9. Редактор кодовых последовательностей

и "Синхронизация", которые невозможно включить ни в какую группу и которые программируются отдельно. Группы логических каналов "А" и "В" генератора АК ИП-3405 не зависят друг от друга и позволяют формировать кодовые последовательности не только с разной структурой, но и с разной тактовой частотой. Максимальная тактовая частота составляет 125 МГц, объем памяти в стандартной комплектации – 1044576 бит на канал. Для четырехканального генератора АК ИП-3405 возможны два режима формирования кодовых последовательностей – смешанный режим, при котором работают аналоговые каналы 1 и 2 и логические каналы на шлейфе "В", или режим кодовой последовательности, когда задействованы оба шлейфа "А" и "В". Генератор АК ИП-3404, имеющий только два аналоговых канала, неспособен работать в смешанном режиме.

Генераторы АК ИП могут не только формировать выходные логические сигналы, но и работать в режиме оцифровщика, когда внешняя кодовая последовательность регистрируется генератором АК ИП и записывается во внутреннюю память. В режиме оцифровщика входы логического модуля изменяются на противоположные – логические выходы становятся входами, выход синхронизации становится входом синхронизации, выход тактового сигнала становится входом тактового сигнала. Поскольку логический модуль имеет двунаправленное назначение – ввод-вывод, то у него есть и третий режим работы – высокоомное (неактивное) состояние.

Память генератора, предназначенная для формирования кодовых последовательностей, может быть разделена на множество отдельных сегментов, в которые записываются формы цифрового сигнала. Каждая форма определяется числом используемых в ней логических каналов, длиной (числом битов) последовательности и заполнением этой последовательности (указанием значения каждого бита). Из этих форм можно составлять различные кодовые последовательности, соответствующие различным сигналам.

Конструируются формы в редакторе кодовых последовательностей (рис.9). Для определенных форм сигнала выбираются группы логических каналов (шины). Затем необходимо создать форму сигнала, задать ее имя и определить длину кодовой последовательности. Длину кодовой последовательности можно задать в битах или единицах интервала времени. Чем меньше длина формы сигнала, тем больше сегментов можно создать в редакторе. Редактор кодовых последовательностей позволяет создавать сигналы в следующих режимах:

- заполнить шины логическими нулями;
- заполнить шины логическими единицами;
- установить на шине высокоомное состояние (безразличное как к выдаче, так и к приему сигналов, и допускающее физическое объединение с другими сигналами);
- установить на шине статическое кодовое слово (постоян-



ное на все время кодовой последовательности) в двоичном, десятичном или шестнадцатеричном кодах;

- установить на шине тактовый сигнал, кратный исходному тактовому сигналу;
- заполнить шину сигналами счетчика, при котором счет начинается в сторону увеличения значений, начиная с предварительно заданного числа;
- инвертировать ранее присутствующие на шине сигналы;
- заполнить шины случайной комбинацией чисел (всю последовательность, каждый заданный интервал времени или каждый заданный бит).

Заполнение, полученное в указанных автоматических режимах, можно затем редактировать вручную. Кроме этого, редактор кодовых последовательностей позволяет импортировать данные из файлов с расширением .csv и из них создавать формы кодовых последовательностей. Также возможен обратный процесс – редактор позволяет созданные формы сигналов сохранять в виде файлов с расширением .csv.

На последнем этапе программирования генератора задается последовательность воспроизведения форм сигналов.

Кодовые последовательности, получаемые на выходе генератора, можно посмотреть на экране осциллографа (рис.10).

МУЛЬТИГЕНЕРАТОРНЫЙ СИНХРОННЫЙ РЕЖИМ РАБОТЫ

Последней особенностью, на которую стоит обратить внимание, является возможность объединения в одну систему до восьми генераторов АК ИП одного типа (например, объединение генераторов АК ИП-3404 и АК ИП-3405 невозможно). Это

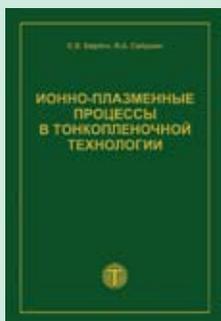


Рис.10. Пример кодовой последовательности

позволяет значительно расширить функциональные возможности системы в целом. При объединении генераторов применимы два режима – последовательное или параллельное использование генераторов. При параллельном использовании увеличивается число каналов. Например, система из генераторов АК ИП-3405 может иметь до 32 аналоговых выходов или до 288 логических каналов. При параллельном использовании генераторов целесообразно физически объединить как аналоговые, так и цифровые входы-выходы генераторов, и в этом режиме возможно увеличение объема памяти системы в восемь раз по отношению к стандартной.

В заключение можно отметить, что ни один генератор сигналов произвольной формы, существующий на сегодняшний день на рынке РФ, не имеет таких широких функциональных возможностей, как генераторы АК ИП. При этом генераторы имеют весьма малый вес (всего 845 г) и небольшой размер (27,4×18,5×6,5 см). ○

НОВЫЕ КНИГИ ИЗДАТЕЛЬСТВА "ТЕХНОСФЕРА"



Ионно-плазменные процессы в тонкопленочной технологии
Берлин Е.В., Сейдман Л.А.

Москва: Техносфера, 2010. – 528 с., 14 с. цв. вклейки. ISBN: 978-5-94836-222-9

Настоящая книга представляет собой подробное справочное руководство по основным вакуумным плазмохимическим процессам в тонкопленочной технологии – реактивному магнетронному нанесению тонких пленок и ионно-плазменному травлению. В ней обобщено современное состояние этих процессов.

Книга содержит подробное описание магнетронных напылительных установок и плазмохимических установок для травления тонких пленок. Рассмотрены технологические особенности их использования. Описаны способы управления процессами реактивного нанесения тонких пленок и использования среднечастотных импульсных источников питания. Показаны технологические особенности получения тонких пленок тройных химических соединений методом реактивного магнетронного сораспыления. Описана структура получаемых пленок и ее зависимость от параметров процесса нанесения. Приведены принципы конструирования источника высокочастотного разряда высокой плотности для ионного или плазмохимического прецизионного травления тонких пленок, а также его использования для стимулированного плазмой осаждения тонких пленок.

Книга рассчитана на специалистов, занимающихся исследованием, разработкой и изготовлением различных изделий электронной техники и нанотехнологии, совершенствованием технологии их производства и изготовлением специализированного оборудования. Она также будет полезна в качестве учебного пособия для студентов старших курсов и аспирантов соответствующих специализаций.

Как заказать наши книги?

По почте: 125319 Москва, а/я 594. По тел./факсу: (495) 956-3346, 234-0110.
E-mail: knigi@technosphera.ru; sales@technosphera.ru.