

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ АКТАКОМ

ARBITRARY FUNCTION GENERATORS АКТАКОМ

Афонский А.А. (A. Afonskiy), доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана

Генераторы нескольких функциональных сигналов (синусоидальных, прямоугольных, треугольных, импульсных и т. д.) принято называть функциональными [1]. Наш журнал уже писал о генераторах в модельном ряду АКТАКОМ — АНР-1001, АНР-1002, АНР-1003 [2].

Данные генераторы построены по классической схеме формирования прямоугольного сигнала и преобразования его в треугольный и синусоидальный [3].

Данное схемотехническое решение



Рис. 1. Генераторы АКТАКОМ АНР-1001, АНР-1002, АНР-1003

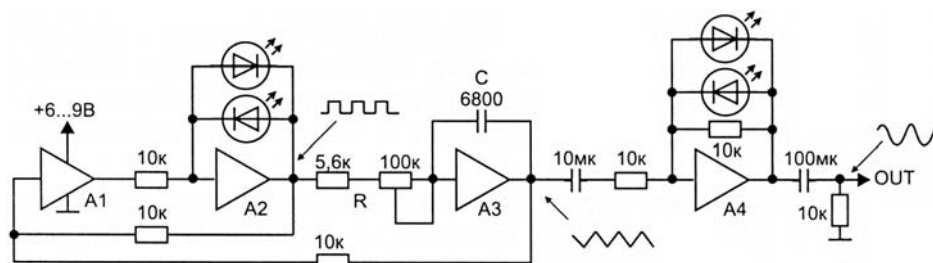


Рис. 2. Простая схема функционального генератора на интегральных операционных усилителях

обеспечивает широкий диапазон рабочих частот генератора (от единиц герц до 10-15 МГц) при небольших затратах на изготовление генератора.

В последнее время все активнее используется другая технология построения функциональных генераторов — технология прямого цифрового синтеза — так называемая технология DDS. В настоящей статье рассматривается новое поколение функциональных генераторов АКТАКОМ — АНР-1004, АНР-1006, АНР-1010, АНР-1030, АНР-1040, АНР-1050, АНР-4010, АНР-4020, АНР-4040, АНР-4060, АНР-4080, АНР-4120. Все эти генераторы построены на основе технологии прямого цифрового синтеза с разрядностью АЦП 12 разрядов и обеспечивают функциональные возможности, представленные в таблице.

Генераторы первой серии (АНР-10xx) имеют двухстрочный алфавитно-цифровой дисплей, в то время как, генераторы АНР-4xxx — используют четырехстрочную индикацию.

Последний вариант, очевидно, бо-

лее информативен при работе с прибором, но размер символов в нем меньше.

В первой серии генераторов (АНР-10xx) верхняя информационная строка содержит до четырёх регистров, последовательный переход от одного регистра к соседнему и обратно осуществляется с помощью клавиш → и ←. В то время как, вторая информационная строка имеет два регистра, переход от одного регистра ко второму и обратно осуществляется аналогично. На дисплее отображается информация установки параметров частоты, амплитуды, вида выходного сигнала и ряда других параметров (рис. 4).

В четвертой серии генераторов (АНР-4xxx) дисплей организован иначе. В первой строке отображается название вида выходного сигнала, состояние модуляции, скважности сигнала прямоугольной формы, значение установленной фазы, символы признака сохранения или отмены сохранения текущих установок прибора (рис. 5).

Во второй — индикация частоты, амплитуды, напряжения постоянного

ПАРАМЕТРЫ ГЕНЕРАТОРОВ АКТАКОМ АНР-1001, АНР-1002, АНР-1003

Таблица 1

Модель	АНР-1001	АНР-1002	АНР-1003
Диапазон частот	10 МГц...10 МГц	7 МГц...5 МГц	10 МГц...15 МГц
Выходной сигнал	синусоидальный, треугольный, прямоугольный, импульсы ТТЛ уровня, сигнал с изменяющейся частотой, частотно и амплитудно-модулированный сигнал	синусоидальный, треугольный, прямоугольный, импульсы ТТЛ уровня, сигнал с изменяющейся частотой, частотно и амплитудно-модулированный сигнал	синусоидальный, треугольный, прямоугольный, импульсы ТТЛ и КМОП уровней, сигнал с изменяющейся частотой, частотно и амплитудно-модулированный сигнал, DC, AM/ФМ
Амплитуда выходного сигнала	250 мВ...10 В _{н-п} (50 Ом) 500 мВ...10 В _{н-п} (без нагрузки)	250 мВ...10 В _{н-п} (50 Ом) 500 мВ...10 В _{н-п} (без нагрузки)	250 мВ...10 В _{н-п} (50 Ом) 500 мВ...10 В _{н-п} (без нагрузки)
Входы	Внешнее управление: качанием, модуляцией; частотомер	Внешнее управление: качанием, модуляцией; частотомер	Внешнее управление: качанием, модуляцией; частотомер
Качание частоты	Внутреннее (линейное, логарифмическое), внешнее (управляемое напряжением)	Внутреннее (линейное, логарифмическое), внешнее (управляемое напряжением)	Внутреннее линейное, внешнее по сигналу частоты
Диапазон качания частоты	0,2...100 Гц	0,2...100 Гц	0,2...100 Гц
Рабочая температура	0...+40 °С, при влажности не более 70 %	0...+40 °С, при влажности не более 70 %	0...+40 °С, при влажности не более 70 %
Средний срок службы прибора	6 лет	6 лет	6 лет
Потребляем. мощность	не более 40 ВА	не более 40 ВА	не более 40 ВА
Габаритные размеры (ДхВхШ)	261×71×211 мм	261×71×211 мм	261×71×211 мм
Погрешность установки частоты	±0,5 % от полной шкалы	±0,5 % от полной шкалы	±0,1 % от полной шкалы
Масса	1,8 кг	1,8 кг	3 кг

смещения выходного несущего сигнала; индикация начальной частоты и амплитуды сигнала в режиме свипирования (качания); индикация частоты повторения, амплитуды и напряжения постоянного смещения несущего сигнала в режиме ступенчатой фазовой модуляции FSK. Третья строка содержит индикацию частоты и амплитуды сигнала модуляции в режиме модуляции; индикация конечной частоты и длительность интервала свипирования (качания) в режиме свипирования (качания), индикация количества периодов сигнала в пачке, вид запуска (от внутреннего или внешнего сигнала) в режиме формирования сигнала в виде пачек, индикация значения второй частоты F2 и заданной частоты смены частот F1 и F2 в режиме ступенчатой частотной модуляции FSK.

Строка 4 — индикация назначения программируемых клавиш (5 синих кнопок под дисплеем) и выбор единиц измерения устанавливаемых параметров.



Рис. 3. Генераторы АКТАКОМ ANP-1040 и ANP-4040

Для управления генератором предусмотрено несколько групп клавиш и энкодер. Функциональные клавиши предназначены для выбора формы выходного сигнала, задания амплитуды и частоты

выходного сигнала, управления режимом модуляции (AM, FM, FSK, BPSK, BUST), управления выбором источника модуляционного сигнала (внутренний/внешний), включения/выключения режима модуляции, управление режимом свипирования (качания) выходного сигнала, сохранение выходных форм сигналов и их воспроизведение.

Энкодер используется для перемещения курсора по позициям цифровых значений задаваемых параметров, задание или изменение величины амплитудной модуляции, задание или изменение глубины частотной модуляции, задание величины постоянного напряжения смещения выходного сигнала.

Обе серии генераторов имеют 50-омный выход и разъем на передней панели выдачи цифрового сигнала с частотой, соответствующей частоте сигнала модуляции при внутренней модуляции и, соответствующий частоте несущего сигнала при внешней модуляции, причем, уровень сигнала

Прямой цифровой синтез (DDS)

Прямой цифровой синтез — относительно новый метод синтеза частоты, появившийся в начале 70-х годов прошлого века. Все описанные методы синтеза доступны разработчикам уже десятилетия, но только в последнее время DDS уделяется пристальное внимание. Появление дешевых микросхем с DDS и удобных средств разработки делает их сегодня привлекательными для разных сфер применения.

DDS уникальны своей цифровой определенностью — генерируемый ими сигнал синтезируется со свойственной цифровым системам точностью. Простейший DDS выглядит так: двоичный счетчик формирует адрес для ПЗУ, куда записана таблица одного периода функции \sin , отсчеты с выхода ПЗУ поступают на ЦАП, который формирует на выходе синусоидальный сигнал, подвергающийся фильтрации в ФНЧ и поступающий на выход. Для перестройки выходной частоты используется делитель с переменным коэффициентом деления, на вход которого поступает тактовый сигнал с опорного генератора.

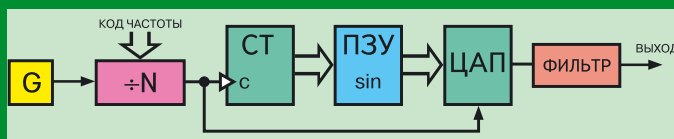


Схема простейшего прямого цифрового синтезатора

Частота, амплитуда и фаза сигнала в любой момент времени точно известны и подконтрольны. DDS практически не подвержены температурному дрейфу и старению. Единственным элементом, который обладает свойственной аналоговым схемам нестабильностью, является ЦАП. Высокие технические характеристики стали причиной того, что в последнее время DDS вытесняют обычные аналоговые синтезаторы частот. Основные преимущества DDS:

- очень высокое разрешение по частоте и фазе, управление которыми осуществляется в цифровом виде;
- экстремально быстрый переход на другую частоту (или фазу), перестройка по частоте без разрыва фазы, без выбросов и других аномалий, связанных со временем установления;
- архитектура, основанная на DDS, ввиду очень малого шага перестройки по частоте, исключает необходимость применения точной подстройки опорной частоты, а также обеспечи-

вает возможность параметрической температурной компенсации;

- цифровой интерфейс позволяет легко реализовать микроконтроллерное управление;
- для квадратурных синтезаторов имеются DDS с I и Q выходами, которые работают согласованно.

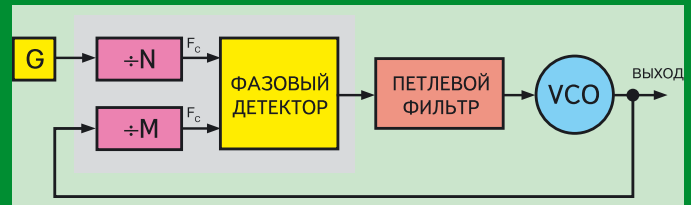


Схема синтезатора на основе PLL

Частотное разрешение DDS составляет сотые и даже тысячные доли герца при выходной частоте порядка десятков мегагерц. Такое разрешение недостижимо для иных методов синтеза. Другой характерной особенностью DDS является очень высокая скорость перехода на другую частоту. Синтезаторы на основе PLL используют обратную связь и фильтрацию сигнала ошибки, что замедляет процесс перестройки частоты. Для DDS скорость перестройки ограничена практически только быстродействием цифрового управляющего интерфейса. Более того, все перестройки по частоте в DDS происходят без разрыва фазы выходного сигнала. Поскольку выходной сигнал синтезируется в цифровом виде, очень просто можно осуществить модуляцию различных видов.

Параметры синтезатора частоты очень важны для аппаратуры связи. Являясь сердцем системы настройки, синтезатор в основном определяет потребительские свойства конкретного аппарата. Как с технической, так и с экономической стороны DDS удовлетворяет большинству критериев идеального синтезатора частоты: простой, высокоинтегрированный, с малыми габаритами. Кроме того, многие параметры DDS программно-управляемые, что позволяет заложить в устройство новые возможности. Современные DDS используют субмикронную CMOS-технологии, трехвольтовую логику, миниатюрные корпуса. Одновременно постоянно снижаются цены на них. Все это делает DDS очень перспективными приборами.

Таблица 2

ПАРАМЕТРЫ ГЕНЕРАТОРОВ АКТАКОМ СЕРИЙ АНР-10ХХ И АНР-4ХХХ

Модель	АНР-10хх	АНР-40хх
Формы выходного сигнала	синусоидальная, прямоугольная, импульсная, треугольная, пила, TTL/CMOS, AM, FM, FSK, BPSK, и т. д.	синусоидальная, прямоугольная, импульсная, треугольная, пилообразная, кардиоэлектрическая, выборочная (SinX/X), гауссов белый шум и качающаяся и т. д.
Комбинации модуляционных сигналов	Синусоидальная, прямоугольная, импульсная, пила, TTL и свип Синусоидальный плюс (+внутренняя/внешняя модуляция амплитуды (AM), +внутренняя/внешняя модуляция частоты (FM), +внутренняя/внешняя частотная манипуляция (FSK), +внутренняя/внешняя двоичная фазовая манипуляция (BPSK)) Прямоугольный плюс (+внутренняя/внешняя модуляция частоты (FM), +внутренняя/внешняя частотная манипуляция (FSK), +внутренняя/внешняя двоичная фазовая манипуляция (BPSK)) Импульсный плюс (+внутренняя/внешняя модуляция частоты (FM), +внутренняя/внешняя частотная манипуляция (FSK), +внутренняя/внешняя двоичная фазовая манипуляция (BPSK), +внутренний/внешний импульс) Треугольный плюс (+внутренняя/внешняя модуляция амплитуды (AM), +внутренняя/внешняя модуляция частоты (FM)) Пила плюс (+внутренняя/внешняя модуляция амплитуды (AM), +внутренняя/внешняя модуляция частоты (FM))	Синусоидальная, прямоугольная, импульсная, треугольная, пилообразная, кардиоэлектрическая, выборочная (SinX/X), гауссов белый шум + внутренняя модуляция частоты (AM) (синусоидальная, прямоугольная, импульсная, треугольная, положительная и отрицательная пилообразная) / внешняя модуляция частоты (AM)) Синусоидальная, прямоугольная + внутренняя модуляция частоты (FM) (синусоидальная, треугольная, положительная и отрицательная пилообразная) Синусоидальная, прямоугольная + внутренняя частотная манипуляция (FSK) (прямоугольная) / внешняя частотная манипуляция (FSK) Синусоидальная, прямоугольная + внутренняя частотная манипуляция (FSK) (прямоугольная) / внешняя фазовая манипуляция (PSK)
Выходная частота		
Синусоидальный	0,01 Гц...3 МГц (АНР-1004) 0,01 Гц...6 МГц (АНР-1006) 0,01 Гц...10 МГц (АНР-1010) 0,01 Гц...30 МГц (АНР-1030) 0,01 Гц...40 МГц (АНР-1040) 0,01 Гц...50 МГц (АНР-1050)	10 мкГц...10 МГц (АНР-4010) 10 мкГц...20 МГц (АНР-4020) 10 мкГц...40 МГц (АНР-4040) 10 мкГц...60 МГц (АНР-4060) 10 мкГц...80 МГц (АНР-4080) 10 мкГц...120 МГц (АНР-4120)
Прямоугольный	0,01 Гц...10 МГц	10 мкГц...20 МГц
Треугольный	0,01 Гц...100 МГц	10 мкГц...100 кГц
Максимальное разрешение	1 мГц	10 мкГц
Точность (стабильность частоты)	< 25 ppm	< 50 ppm
Температурный коэффициент	< 5 ppm/°C	< 5 ppm/°C
Выходной разъем	вывод основной функции, выход TTL/ CMOS, выход 50 Гц	основной функции, синхронизированный вывод сигнала, вывод аудиосигнала
Режим вывода сигнала	фиксированная частота, свип частоты, AM, FM, FSK, BPSK и импульс	свип частоты, AM, FM, FSK
Амплитуда выходного сигнала	2 мВ _{п-п} ...20 В _{п-п} (<10 МГц); 2 мВ _{п-п} ...6 В _{п-п} (<30 МГц)	1 мВ _{п-п} ...10 В _{п-п} (<20 МГц); 100 мкВ _{п-п} ...3 В _{п-п} (>20 МГц); 2 мВ _{п-п} ...20 В _{п-п} (< 20 МГц)
Реакция частоты	менее чем ±10% (<3 МГц, 20 Вп-п)	менее чем ±20% (<100 кГц, 20 Вп-п)
Синусоидальная форма	менее чем ±20% (<10 МГц, 20 Вп-п)	
Прямоугольная, импульсная форма	прямоугольная менее чем ±20% (<1 МГц, 20 В _{п-п}) прямоугольная менее чем ±30% (<3 МГц, 20 В _{п-п})	прямоугольная менее чем ±30% (<3 МГц, 20 В _{п-п}) прямоугольная менее чем ±40% (<20 МГц, 20 В _{п-п})
Искажение синуса	≤0,15% (<100 кГц, ≥10 В _{п-п})	≤0,15% (<100 кГц, ≥10 В _{п-п})

TTL или SMOC регулируется ручкой переменного потенциометра TTL на задней панели прибора.

В обеих сериях приборов реализовано измерение частоты сигнала, т. е. прибор может работать как частотомер.

Для дистанционного управления генераторы имеют стандартные интерфейсы RS-232/485 и, как опция, GPIB.

Основными режимами работы генератора (например, АНР-4080) является

формирование нескольких стандартных и 6 произвольных форм сигналов. Стандартными формами сигнала являются: синусоидальная, прямоугольная, импульсная, треугольная, положительная и отрицательная пилообразная, кардиоэлектрическая, выборочная (SINX/X), гауссов белый шум, экспоненциальная, логарифмическая и заданная пользователем произвольная форма сигнала, а также, комбинации форм модуляцион-

ных сигналов. Формы модуляционных сигналов, в свою очередь, могут быть: синусоидальная, прямоугольная, импульсная, треугольная, пилообразная, кардиоэлектрическая, выборочная (SinX/X), гауссов белый шум + внутренняя модуляция частоты (AM) (синусоидальная, прямоугольная, импульсная, треугольная, положительная и отрицательная пилообразная) / внешняя модуляция частоты (AM)). Кроме того, возможны комбинации модуляций:

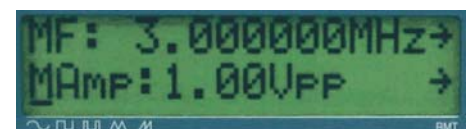


Рис. 4. Дисплей генератора АНР-1040

- Синусоидальная, прямоугольная + внутренняя модуляция частоты (FM) (синусоидальная, треугольная, положительная и отрицательная пилообразная),
- Синусоидальная, прямоугольная + внутренняя частотная манипуляция (FSK) (прямоугольная) / внешняя частотная манипуляция (FSK),

При частотной манипуляции (ЧМн, англ. Frequency Shift Keying (FSK)) значениям «0» и «1» информационной последовательности соответствуют определённые частоты синусоидального сигнала при неизменной амплитуде. Частотная манипуляция весьма помехоустойчива, поскольку помехи телефонного канала искажают в основном амплитуду, а не частоту сигнала. Однако при частотной манипуляции незаконно расходуется ресурс полосы частот телефонного канала. Поэтому этот вид модуляции применяется в низкоскоростных протоколах, позволяющих осуществлять связь по каналам с низким отношением сигнал/шум. Фазовая манипуляция (англ. phase-shift keying (PSK)) была разработана в начале развития программы исследования дальнего космоса; сейчас схема PSK широко используется в коммерческих и военных системах связи. BPSK — самая простая форма PSK. Работа схемы модуляции заключается в смещении фазы несущего колебания на одно из двух значений, нуль или π (180°). Эта модуляция является самой помехоустойчивой из всех видов PSK, то есть только при высоком уровне шума демодулятор может принять неправильное решение.

• Синусоидальная, прямоугольная + внутренняя частотная манипуляция (FSK) (прямоугольная) / внешняя фазовая манипуляция (PSK), а также, другие модуляционные и немодуляционные формы сигнала, таким образом, реализуется всего более 100 видов сигналов.

При работе обеспечивается формирование напряжения постоянного смещения выходного сигнала от нулевой линии и установку счетчика количества импульсов и состояние запуска от внутреннего триггера для задания различных условий запуска. Также, возможно включить режим программирования счетчика импульсов. Ввод значения количества импульсов, которые должен отсчитать счетчик, осуществляется клавишами ввода цифр в диапазоне от 1 до 65535. Инициализация запуска выдачи сигнала в виде пачки с количеством периодов, соответствующих установленному значению счетчика импульсов, возможна как в ручном режиме, так и по фронту внешнего импульса запуска.

В случае отключения или сброса в приборе реализована функция сохранения текущих настроек прибора. Для создания образа выходного сигнала произвольной формы используется графический редактор, поставляемый на диск. В главном меню программы можно выбрать три стандартных сигнала,

загружаемых в графическое поле редактора, синусоидальный, треугольный, прямоугольный. Далее эти сигналы можно редактировать предлагаемыми ниже инструментами меню, либо видоизменять их с помощью курсора и мыши. В поле графического редактора по горизонтали индицируется 4096 выборок, по вертикали — шкала в вольтах. Созданный образ сигнала можно сохранить в компьютере или загрузить образ сигнала в генератор.



Рис. 5. Дисплей генератора АНР-4080

Генераторы обеспечивают хорошие точностные характеристики. Максимальное разрешение 10 мкГц, точность (стабильность частоты) < 50 ppm (при комнатной температуре), температурный коэффициент < 5ppm/°C.

В зависимости от модели (и стоимости, конечно) максимальная частота выходного сигнала для обеих модельных рядов различна: в диапазоне от 3 МГц до 50 МГц для ряда приборов АНР-10xx и от 10 МГц до 120 МГц для ряда АНР-40xx.

Конструктивно генераторы состоят из базового блока и клавиатуры. Базовый блок включает источник питания,

дисплей, μP , элемент управления, DDS, FM генератор, выходной усилитель и преобразователь сигнала. Сигнал генерируется непосредственно DDS модулем. Функция частотной модуляции реализована посредством изменения опорной частоты DDS. Уровень выходного сигнала выбирается от 2 мВ до 20 В с помощью усилителя с программируемым усилением в пределах до 60 дБ.

Таким образом, рассмотренные серии генераторов Актаком, являются хорошим функционально насыщенными источниками испытательных сигналов для различных областей применения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ноткин М.Р. Функциональные генераторы и их применение. М.: «Энергия», 1981.
2. Низкочастотные генераторы АКТАКОМ АНР-1001 и АНР-1002, Контрольно-измерительные приборы и системы, 2003, № 3, стр. 31.
3. Афонский А.А., Дьяконов В.П. Современные измерительные приборы и массовые измерения. М.: «Солон – пресс», 2007 г.

In the article consider Aktakom DDS Signal Generators. Their functional using possibilities, fundamental operating modes, performance attributes comparisons and advantages.

**ДАТЧИКИ
ПОТЕНЦИОМЕТРЫ
ДЖОЙСТИКИ**

MegAuto МЕГАТРОН
RotaSet Controls

В основе автоматизации любого оборудования лежит использование различных датчиков и преобразователей. Особенно актуальной является проблема увеличения производительности небольших и недорогих машин. Более чем 40 лет MEGATRON представляет на мировом рынке экономичные механические и электрические преобразователи (датчики).

ДАТЧИКИ ЛИНЕЙНОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ДЖОЙСТИКИ БЕСКОНТАКТНЫЕ ДАТЧИКИ ЛИНЕЙНОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ

БЕСКОНТАКТНЫЕ ДАТЧИКИ ВРАЩЕНИЯ ДАТЧИКИ ВРАЩЕНИЯ

КАТАЛОГИ ПРОДУКЦИИ НА САЙТЕ WWW.IRIT.RU

ИРИТ
ИНСТИТУТ РАДИОТЕХНИКИ
ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

«ИРИТ»: Москва, 115211,
Каширское шоссе, дом 55, корпус 1
Телефон/факс: (495) 781-79-97
E-mail: sale@irit.ru
Internet: http://www.irit.ru

www.irit.ru
781-7997

**Самый полный обзор
измерительных приборов,
представленных на российском рынке
в настоящее время**

**Серия «Библиотека инженера»
А.А. Афонский и В.П. Дьяконов
«Измерительные приборы
и массовые электронные измерения»**

**Актуальная информация
за минимум средств!**

354 руб.

**По вопросам приобретения
книги обращайтесь
по тел. (495) 344-67-07
или пишите
на E-mail: editor@kipis.ru**

**Библиотека
инженера**
Мочалов А.А., Дьяконов В.П.
**Измерительные
приборы**
и массовые электронные измерения