

Простое и эффективное формирование сигналов

при помощи синтезаторов

прямого цифрового синтеза частот

Технология прямого цифрового синтеза используется для формирования колебаний с высоким качеством и изменения их параметров в широком спектре самых разнообразных областей, например в медицине, промышленности, измерительной технике, системах связи и оборонной отрасли. В статье дается обзор технологии прямого цифрового синтеза, описываются ее достоинства и ограничения, а также рассматриваются некоторые примеры применения и новые продукты, делающие ее более доступной для потребителей.

Брэндан Кронин (Brendan Cronin)

Введение

Ключевым требованием во многих отраслях промышленности является способность точно формировать колебания различной частоты и формы, легко и быстро изменяя их параметры. Независимо от того, требуется ли источник частоты с быстрой перестройкой, малым фазовым шумом и превосходным свободным от побочных составляющих динамическим диапазоном для широкополосного приемопередатчика, или возбуждающий сигнал со стабильной частотой для промышленной системы управления, возможность быстро, просто и без применения дорогостоящих средств генерировать сигнал с регулируемыми параметрами, поддерживая при этом неразрывность его фазы, является критическим критерием проекта, которому удовлетворяет технология прямого цифрового синтеза частот.

Задача синтеза частот

Растущая занятость частотного спектра наряду с неизменным спросом на более качественное измерительное оборудование, обладающее меньшим энергопотреблением, требует работы в новых частотных диапазонах и лучшего использования уже имеющихся. Это порождает необходимость в поиске более эффективных способов формирования сигналов заданной частоты. В большинстве случаев эта задача решается при помощи синтезаторов частот. Данные устройства формируют из сигнала фиксированной частоты f_C сигнал на связанной с ней желаемой частоте (и с желаемой фазой) f_{OUT} . В общем случае взаимосвязь может быть описана простым выражением:

$$f_{OUT} = \varepsilon_x \times f_C,$$

где ε_x — масштабирующий множитель, который иногда называют нормированной частотой.

Это выражение всегда реализуется при помощи алгоритмов пошаговой аппроксимации вещественных чисел. Когда масштабирующий множитель является рациональным числом, то есть отношением двух простых целых чисел, частота выходного сигнала и опорная частота будут гармонически связаны друг с другом. В то же время в большинстве случаев ε_x может принадлежать более широкому набору вещественных чисел, и тогда процесс аппроксимации останавливается, когда результирующее значение множителя попадает в пределы допустимой погрешности.

Прямой цифровой синтез частот

Одним из возможных способов практической реализации синтезатора частот является технология прямого цифрового синтеза частот (Direct Digital Frequency Synthesis, DDFS), которую иногда сокращенно именуют прямым цифровым синтезом (Direct Digital Synthesis, DDS). Этот метод основан на использовании цифровой обработки данных для формирования выходного сигнала с перестраиваемыми частотой и фазой из сигнала фиксированной опорной частоты (тактового сигнала) f_C . В архитектуре DDS опорная частота (частота системного тактового сигнала) подвергается делению на масштабирующий коэффициент, который определяется программируемым двоичным словом настройки.

Говоря простым языком, синтезатор DDFS преобразует последовательность импульсов тактового сигнала в аналоговое колебание, как правило, синусоидальной, треугольной или прямоугольной формы. Как показано на рис. 1, основными составными частями синтезатора являются: фазовый аккумулятор, формирующий число, соответствующее фазовому углу

выходного колебания; преобразователь фазы в цифровой код, формирующий мгновенное значение цифрового кода амплитуды, соответствующее фазовому углу; цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП), который преобразовывает этот цифровой код в соответствующий дискретный уровень аналогового сигнала.

В случае синусоидальных выходных сигналов преобразователь фазы в цифровой код обычно представляет собой таблицу значений синуса (рис. 2). Фазовый аккумулятор осуществляет суммирование текущего значения с величиной N для формирования частоты, которая связана с f_c выражением:

$$f_{OUT} = N/2^M \times f_c,$$

где M — разрешение слова настройки (24–48 бит); N — количество импульсов частоты f_c , соответствующее приращению выходного значения фазового аккумулятора.

Поскольку изменение N приводит к мгновенному изменению частоты и фазы выходного сигнала, архитектура, по определению, не дает разрывов фазы, что является критическим требованием для многих задач. Кроме того, в отличие от аналоговых систем, таких как системы фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ), синтезатор DDS не требует времени на стабилизацию контура.

ЦАП обычно представляет собой высококачественную схему, спроектированную специально для работы с ядром DDS (фазовый аккумулятор и преобразователь фазы в амплитуду). В большинстве случаев комбинацию ЦАП и ядра DDS, которая часто реализуется на одном кристалле, называют полнофункциональным DDS (Complete DDS, C-DDS).

На практике интегральные микросхемы (ИМС) синтезаторов DDS часто содержат набор интегрированных регистров, при помощи которых реализуются различные схемы частотной и фазовой модуляции. Содержимое регистра фазы, если он присутствует, прибавляется к результату на выходе фазового аккумулятора. Это позволяет задерживать выходной синусоидальный сигнал по фазе в соответствии с записанным словом настройки фазы. Данная функция крайне полезна для систем связи с фазовой модуляцией. Количество бит в слове настройки фазы, а следовательно, и разрешение задержки по фазе определяются разрешением схемы сумматора.

Интеграция ядра DDS и ЦАП в одном устройстве имеет свои достоинства и недостатки, однако независимо от того, интегрирован ЦАП или нет, он должен формировать аналоговый сигнал высокого качества с исключительной чистотой спектра. ЦАП преобразовывает цифровой синусоидальный выходной сигнал ядра DDS в аналоговое синусоидальное колебание и может иметь несимметричный или дифференциальный выход. Некоторыми из ключевых требований, предъявляемых к ЦАП, являются малый фазовый шум, превосходный свободный от побочных составляющих динамический диапазон (Spurious Free Dynamic Range, SFDR) в широкой и узкой полосе, а также малое энергопотребление. Если ЦАП является внешним компонентом, то он

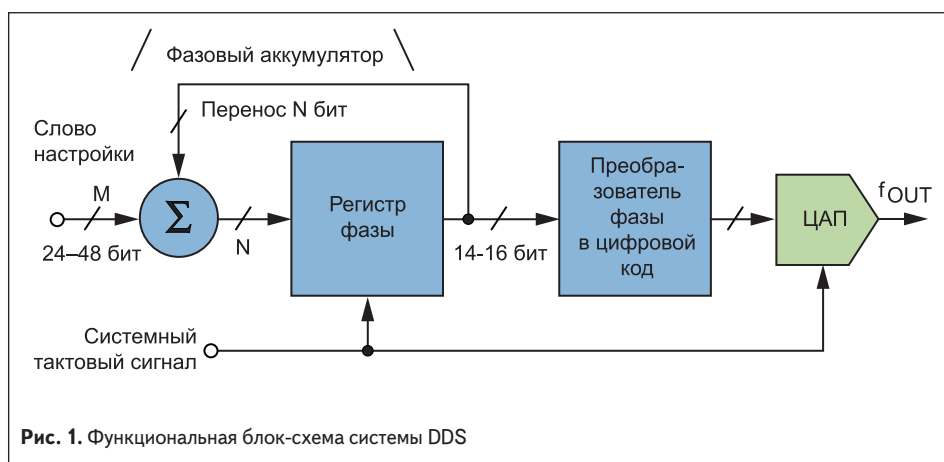


Рис. 1. Функциональная блок-схема системы DDS

должен иметь достаточное быстродействие для работы с выходным цифровым сигналом ядра DDS, поэтому в данном случае обычно используются ЦАП с внешним портом.

Сравнение DDS с другими решениями

Другими возможными способами формирования сигналов заданной частоты являются использование аналоговых схем фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ), генераторов тактовых сигналов, а также применение микросхем FPGA для динамического программирования выходного уровня ЦАП. Простое сравнение технологий можно произвести на основании спектральных характеристик и потребления мощности, как показано в таблице 1.

Схема фазовой автоподстройки частоты представляет собой контур обратной связи, который состоит из фазового компаратора, делителя и генератора, управляемого напряжением (ГУН). Фазовый компаратор производит сравнение опорной частоты с частотой выходного

сигнала (обычно деленной на коэффициент N). Напряжение ошибки, порождаемое фазовым детектором, прикладывается к ГУН, который генерирует выходную частоту. После того как контур стабилизируется, выходной сигнал будет иметь точное соотношение по частоте и/или фазе с сигналом опорной частоты. Схемы ФАПЧ давно признаны наилучшим решением для поддержания малого фазового шума и широкого SFDR в задачах, где требуется повышенная спектральная чистота и стабильность сигналов в определенном частотном диапазоне.

Невозможность быстрого и точного изменения частоты и формы выходного сигнала в синтезаторах с ФАПЧ, а также длительное время реакции ограничивают их применение в системах с быстрой псевдослучайной перестройкой частоты и некоторых системах с частотной и фазовой манипуляцией.

Другие подходы, включая применение комбинации программируемых пользователем вентильных матриц (Field-Programmable Gate Arrays, FPGA) с реализованным внутри ядром

Таблица 1. Высокоуровневое сравнение DDS и конкурирующих технологий

	Потребление мощности	Чистота спектра	Комментарии
DDS	Низкое	Средняя	Легкость перестройки
Дискретный ЦАП + FPGA	Среднее	Средняя/высокая	Возможность перестройки
Аналоговая схема ФАПЧ	Среднее	Высокая	Сложность перестройки

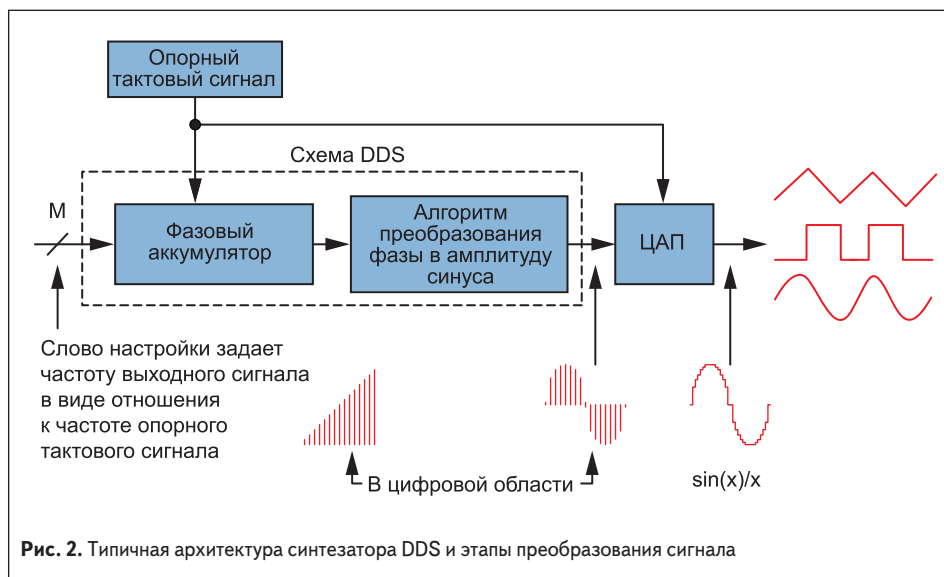


Рис. 2. Типичная архитектура синтезатора DDS и этапы преобразования сигнала

DDS и готового внешнего ЦАП для синтеза синусоидальных сигналов, позволяют преодолеть ограничения на формирование сигналов с быстрой перестройкой частоты, характерные для синтезаторов с ФАПЧ, однако имеют свои слабые стороны. Основными недостатками подобных схем являются: увеличение мощности, потребляемой компонентами и интерфейсными схемами; увеличение стоимости и габаритов; дополнительные непроизводительные расходы программных, аппаратных ресурсов и ресурсов памяти. Так, например, для формирования выходного сигнала с частотой 10 МГц и динамическим диапазоном 60 дБ при помощи ядер DDS в современных микросхемах FPGA требуется до 72 кбайт памяти. Кроме того, от разработчика требуется хорошее знание архитектуры и тонких возможностей оптимизации отдельных показателей ядра DDS.

Быстрое развитие технологии КМОП, а также современных методов проектирования цифровых схем и улучшенных топологий ЦАП позволило технологии DDS на сегодня достичь уровней потребления мощности, спектральных характеристик и стоимости, которые ранее были недостижимы (таблица 2). Несмотря на то, что готовые полнофункциональные синтезаторы DDS никогда не смогут сравниться по производительности и уровню гибкости с комбинациями высококачественных ЦАП и FPGA, выигрыш в габаритах, стоимости и энергопотреблении, а также простота применения делают их привлекательными во многих задачах.

Стоит также отметить, что формирование сигнала в цифровом виде внутри синтезатора DDS позволяет упростить архитектуру некоторых решений или обеспечить возможность цифрового программирования параметров сигнала. Для иллюстрации функций и принципа действия синтезаторов DDS обычно используют синусоидальный сигнал, однако современные ИМС синтезаторов DDS могут с легкостью генерировать треугольные или прямоугольные (тактовые) выходные сигналы. В первом случае это избавляет от необходимости в таблице преобразования, а во втором случае — от применения ЦАП, так как достаточно интегрировать в микросхеме простой, но точный компаратор.

Характеристики и ограничения синтезаторов DDS

Побочные зеркальные составляющие и огибающая: спад частотной характеристики по закону $\sin(x)/x$

Реальный выходной сигнал ЦАП не является непрерывным синусоидальным колебанием, а представляет собой последовательность импульсов с огибающей, которая повторяет форму синуса. Соответствующий частотный спектр содержит набор побочных зеркальных (images) и спектральных составляющих, возникающих в результате наложения (aliases). Уровень зеркальных составляющих убывает по закону $\sin(x)/x$ (график модуля амплитуды на рис. 3). Для подавления частотных составляющих за границами интересующей полосы частот необходима фильтрация, однако она

Таблица 2. Обзор показателей технологий синтеза частот (<50 МГц)

	Схемы ФАПЧ	ЦАП + FPGA	DDS
Спектральная чистота	Высокая	Средняя-высокая	Средняя
Потребляемая мощность	Высокая	Высокая	Низкая
Цифровая перестройка частоты	Нет	Да	Да
Время отклика при перестройке	Большое	Малое	Малое
Габариты решения	Средние	Большие	Малые
Гибкость изменения формы сигнала	Слабая	Средняя	Высокая
Стоимость	Средняя	Высокая	Низкая
Возможность повторного использования проекта	Средняя	Слабая	Высокая
Сложность реализации	Средняя	Высокая	Низкая

не способна устранить составляющие спектральных наложений высокого порядка (например, вызванных нелинейностью ЦАП), которые попадают в полосу пропускания фильтра.

Критерий Найквиста гласит, что для воссоздания желаемого выходного сигнала необходимо минимум два отсчета на период. Побочные зеркальные составляющие возникают в выходном спектре на частотах $Kf_{CLOCK} \pm f_{OUT}$. В рассматриваемом примере, где $f_{CLOCK} = 25$ МГц и $f_{OUT} = 5$ МГц, первая и вторая зеркальные составляющие появляются на частотах $f_{CLOCK} \pm f_{OUT}$ т. е. 20 и 30 МГц. Третья и четвертая зеркальные составляющие имеют частоты 45 и 55 МГц. Обратите внимание, что функция $\sin(x)/x$ обращается в ноль на частотах, кратных частоте дискретизации. В случае, когда f_{OUT} превышает ширину полосы Найквиста ($1/2f_{CLOCK}$), первая зеркальная составляющая попадет в полосу Найквиста за счет эффекта спектрального наложения (например, сигнал с частотой 15 МГц за счет этого эффекта будет проявляться на частоте 10 МГц). Такая побочная составляющая не может быть исключена из выходного сигнала при помощи традиционного Найквистовского фильтра устранения спектральных наложений (антиалайзингового фильтра).

В типичных системах на основе синтезаторов DDS для подавления зеркальных составляющих в выходном спектре используется фильтр нижних частот. Чтобы сделать требования

к частоте среза фильтра приемлемыми, а сам фильтр более простым, принято ограничивать ширину полосы частот f_{OUT} на уровне 40% от частоты f_{CLOCK} .

Амплитуду любой отдельно взятой зеркальной составляющей по отношению к основной составляющей можно определить при помощи формулы $\sin(x)/x$. Поскольку эта функция спадает по мере увеличения частоты, амплитуда основной составляющей выходного сигнала будет уменьшаться обратно пропорционально частоте; при отстройке от нуля до частоты Найквиста спад будет составлять -3,92 дБ.

Амплитуда первой зеркальной составляющей довольно велика и может достигать 3 дБ относительно основной составляющей. Чтобы упростить требования к фильтрации в системе DDS, важно продумать частотный план и проанализировать уровни зеркальных составляющих в спектре с учетом функции $\sin(x)/x$ при желаемых значениях f_{OUT} и f_{CLOCK} . Интерактивные средства проектирования для компонентов семейства синтезаторов DDS компании Analog Devices позволяют быстро и легко промоделировать расположение зеркальных составляющих и выбрать такие частоты, при которых они окажутся вне представляющего интерес диапазона.

Другие аномалии выходного спектра, такие как эффекты интегральной и дифференциальной нелинейностей ЦАП, энергия импульсных выбросов в ЦАП и шум вследствие сквозного прохождения

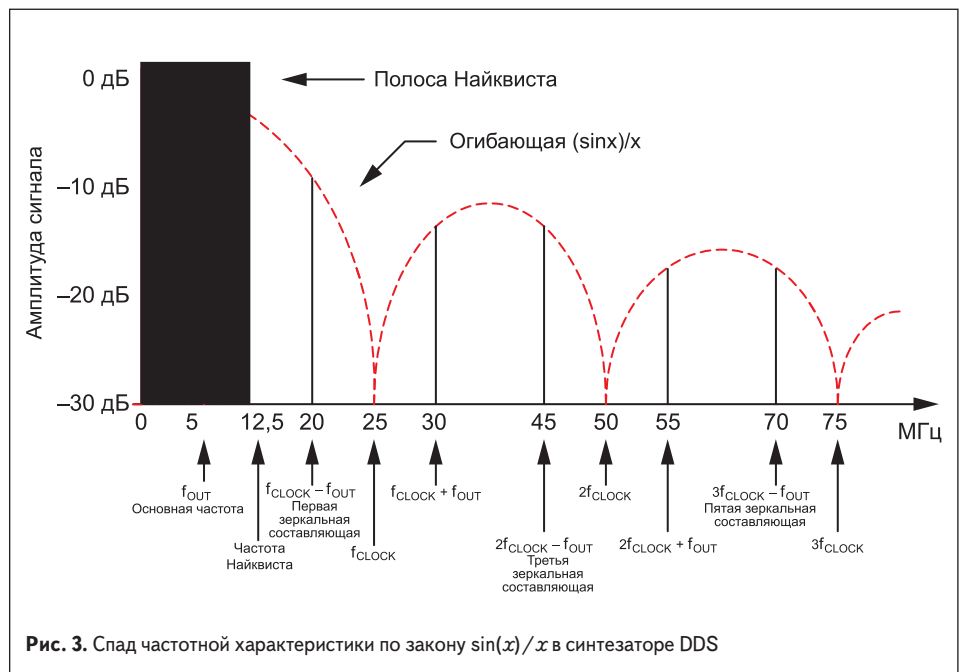


Рис. 3. Спад частотной характеристики по закону $\sin(x)/x$ в синтезаторе DDS

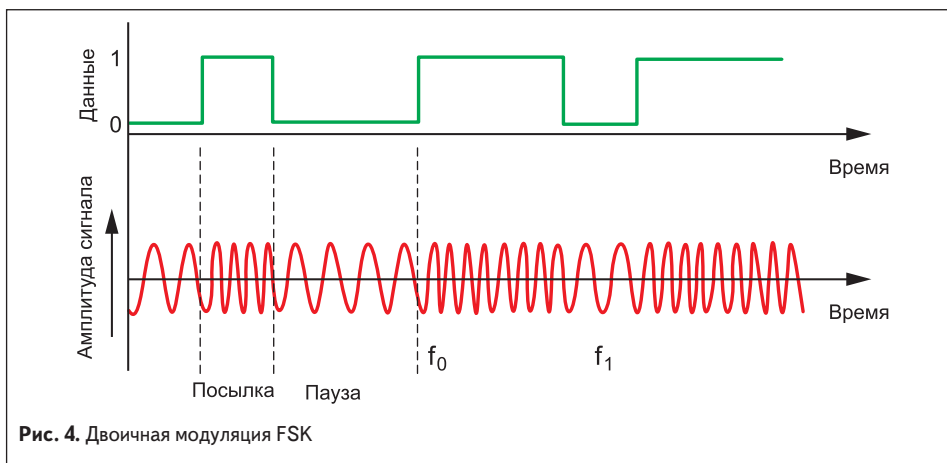


Рис. 4. Двоичная модуляция FSK

тактового сигнала, не будут подчиняться закону $\sin(x)/x$. Они будут проявляться в виде гармоник и побочных спектральных составляющих в различных областях выходного спектра. В то же время их амплитуда будет гораздо ниже амплитуды зеркальных составляющих. Шумовой порог синтезатора DDS определяется совокупностью шума подложки, эффектов теплового шума, наводок в цепи заземления и других источников наводок сигналов. На шумовой порог, побочные спектральные составляющие и дрожание фазы синтезатора DDS сильно влияют топология печатной платы, качество источников питания и, что особенно важно, качество входного сигнала опорной частоты.

Дрожание фазы

Фронты выходного сигнала идеального источника тактовых сигналов должны появляться через точно определенные интервалы времени, взаимное положение которых фиксировано. Это, естественно, невозможно. Даже самые лучшие генераторы строятся из неидеальных компонентов и обладают шумом и другими недостатками. Высококачественный кварцевый генератор с малым фазовым шумом будет иметь дрожание фазы порядка пикосекунд, накопленное за много миллионов фронтов тактового сигнала. Дрожание фазы вызывается тепловым шумом, нестабильностями электронной схемы генератора и внешними помехами, проникающими через цепи питания и заземления, а также выходные разъемы. Все эти факторы вносят вклад в отклонения формы выходного сигнала генератора от идеальной. Кроме того, на генераторы оказывают влияние внешние магнитные или электрические

поля и радиочастотные помехи от близко расположенных передатчиков. Простой усилитель, инвертор или буфер в цепи генератора также будет вносить дрожание фазы в сигнал. Поэтому выбор стабильного генератора опорного тактового сигнала с малым дрожанием фазы и короткими фронтами крайне важен. Применение опорных сигналов высокой частоты обеспечивает больший коэффициент избыточной дискретизации и позволяет несколько сократить дрожание фазы за счет деления частоты, поскольку деление частоты сигнала приводит к распределению того же количества дрожания фазы на большем периоде и, следовательно, уменьшению дрожания фазы в процентном соотношении.

Шум (включая фазовый шум)

Шум в системе с дискретными сигналами зависит от многих факторов, в том числе от дрожания фазы опорного сигнала, которое проявляется в виде фазового шума в основной гармонике генерируемого сигнала. В синтезаторе DDS усечение разрядности значения регистра фазы может приводить к системным погрешностям, зависящим от конкретного кода. Если слово приращения частоты точно кодируется двоичным кодом соответствующей разрядности, то погрешности усечения будут отсутствовать. В противном случае погрешности усечения вызовут появление побочных составляющих в спектре. Погрешности квантования и нелинейности ЦАП будут давать дополнительный шум в системе. И, наконец, отклонения формы сигнала во временной области, такие как провалы/выбросы и кратковременные скачки кода, также будут вносить искажения в сигнал.

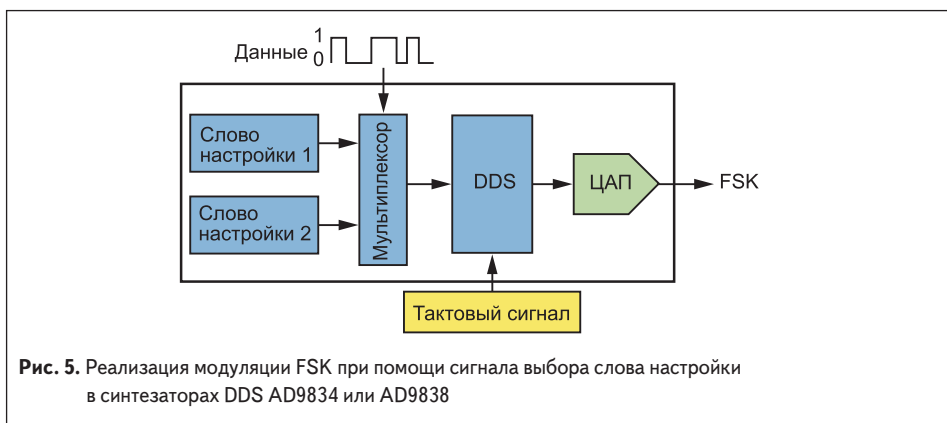


Рис. 5. Реализация модуляции FSK при помощи сигнала выбора слова настройки в синтезаторах DDS AD9834 или AD9838

Области применения

Области применения синтезаторов DDS можно разделить на две основные категории:

- радиолокационные системы и системы связи, в которых требуются источники сигналов с быстрым изменением частоты для кодирования данных и модуляции;
- измерительные, промышленные и оптические системы, где требуется базовая функция синтеза частот с программируемой настройкой и возможностью качания частоты.

Для обеих областей применения характерны, с одной стороны, тенденция к повышению чистоты спектра (меньшему фазовому шуму и большему свободному от побочных составляющих динамическому диапазону), а с другой стороны — требования к малым габаритам и сокращению потребляемой мощности в удаленном оборудовании или оборудовании с питанием от батарей.

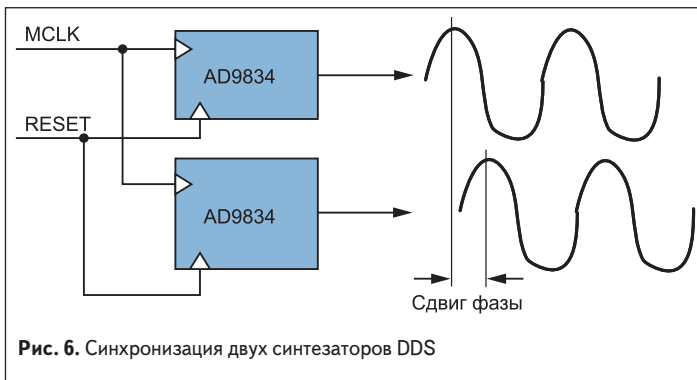
Синтезаторы DDS в задачах модуляции/кодирования данных и синхронизации

Изначально технология DDS применялась исключительно в радиолокационных и военных системах, однако некоторые усовершенствования в характеристиках компонентов (повышение производительности, сокращение стоимости и габаритов) сделали ее очень популярной в задачах модуляции и кодирования данных. Ниже мы рассмотрим две схемы кодирования данных и их предлагаемую реализацию с помощью синтезатора DDS.

Двоичная частотная манипуляция (Binary Frequency Shift Keying, BFSK, или просто FSK) — это одна из простейших форм кодирования данных. При ней данные (двоичная единица (посылка) и двоичный ноль (пауза)) передаются непрерывной несущей с двумя возможными дискретными значениями частоты. Рис. 4 иллюстрирует соотношение между двоичными данными и передаваемым сигналом.

Двоичные единица и ноль представляются двумя разными значениями частоты f_0 и f_1 соответственно. Такая схема кодирования легко может быть реализована при помощи синтезатора DDS. Для этого необходимо изменять слово настройки частоты DDS, определяющее значения выходных частот, таким образом, чтобы в зависимости от потока нулей и единиц, который необходимо передать, синтезатор генерировал сигнал соответствующей частоты. Как минимум в двух представителях семейства полнофункциональных синтезаторов DDS компании Analog Devices (AD9834 и AD9838) пользователь имеет возможность запрограммировать два желаемых значения слова настройки частоты во внутренние регистры ИМС и выбирать регистр, содержащий необходимое слово настройки, при помощи отдельного вывода FSELECT (рис. 5).

Фазовая манипуляция (Phase Shift Keying, PSK) — это еще одна простая форма кодирования данных. При фазовой манипуляции частота несущей остается постоянной, а информация передается при помощи изменения фазы передаваемого сигнала. Существует несколько вариантов PSK. В простейшем способе, который обычно называется двоичной фазовой манипуляцией (Binary PSK,



BPSK), используются только два значения фазы сигнала: 0° (логическая единица) и 180° (логический ноль). Состояние каждого бита определяется состоянием предыдущего бита. Если фаза колебания не меняется, то значение двоичного сигнала остается прежним (высоким или низким). Если фаза колебания изменяется на 180° (т. е. на противоположную), то значение двоичного сигнала тоже изменяется (из низкого в высокое или из высокого в низкое). Фазовую манипуляцию можно легко реализовать при помощи ИМС синтезаторов DDS, поскольку большинство их имеет отдельный регистр (регистр фазы), предназначенный для загрузки значения фазы. Это значение прибавляется к фазе несущей и не влияет на ее частоту. Изменение содержимого регистра фазы приводит к модуляции фазы несущей, позволяя формировать сигнал с фазовой манипуляцией. В задачах, где требуется модуляция с высокой скоростью, могут быть применены ИМС AD9834 и AD9838. Они имеют по два регистра фазы и вывод PSELECT, при помощи которого можно переключаться между двумя предварительно загруженными в регистры значениями фазы.

В более сложных формах фазовой манипуляции используется четыре или восемь значений фазы. Это позволяет передавать данные с более высокой скоростью по сравнению с BPSK. При четырехфазной модуляции (квадратурная манипуляция) возможные значения фазовых углов составляют $0, +90, -90$ и $+180^\circ$, при этом каждое значение фазы может соответствовать двум элементам двоичного сигнала. ИМС AD9830, AD9831, AD9832 и AD9835 имеют по четыре регистра фазы, что позволяет реализовывать сложные схемы фазовой модуляции путем непрерывного обновления значений, записываемых в эти регистры.

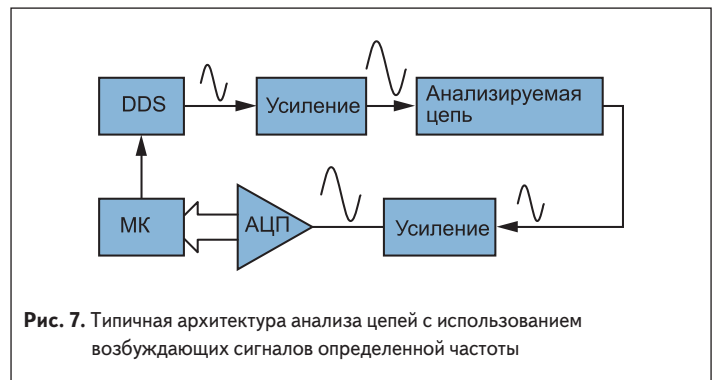
Формирование квадратурных сигналов при помощи нескольких модуляторов DDS, работающих в синхронном режиме

Во многих задачах требуется формирование двух или более синусоидальных или прямоугольных колебаний с известным фазовым соотношением. Популярным примером является модуляция с использованием синфазного и квадратурного сигналов (квадратурная модуляция) — метод, при котором информация передается двумя модулированными сигналами несущей,

имеющими фазы 0 и 90° . Для формирования выходных сигналов с управляемым фазовым соотношением могут быть использованы две ИМС синтезаторов DDS, работающие от одного источника тактового сигнала. На рис. 6 ИМС AD9834 программируются при помощи одного опорного тактового сигнала и используют общий сигнал RESET для установки внутренней логики в известное состояние. Данная схема позволяет легко реализовать квадратурную модуляцию.

Сброс должен быть инициирован после включения питания и до передачи каких-либо данных в синтезатор DDS. После сброса выходной сигнал синтезатора DDS принимает известную фазу, которая может быть использована в качестве опорной при синхронизации нескольких синтезаторов. Выполняя одновременную загрузку новых данных в несколько синтезаторов, можно поддерживать их выходные сигналы когерентными или задавать предсказуемый относительный сдвиг фазы между синтезаторами при помощи регистров сдвига фазы. Синтезаторы DDS семейства AD983x имеют разрядность слова управления фазой 12 бит, что соответствует эффективному разрешению $0,1^\circ$.

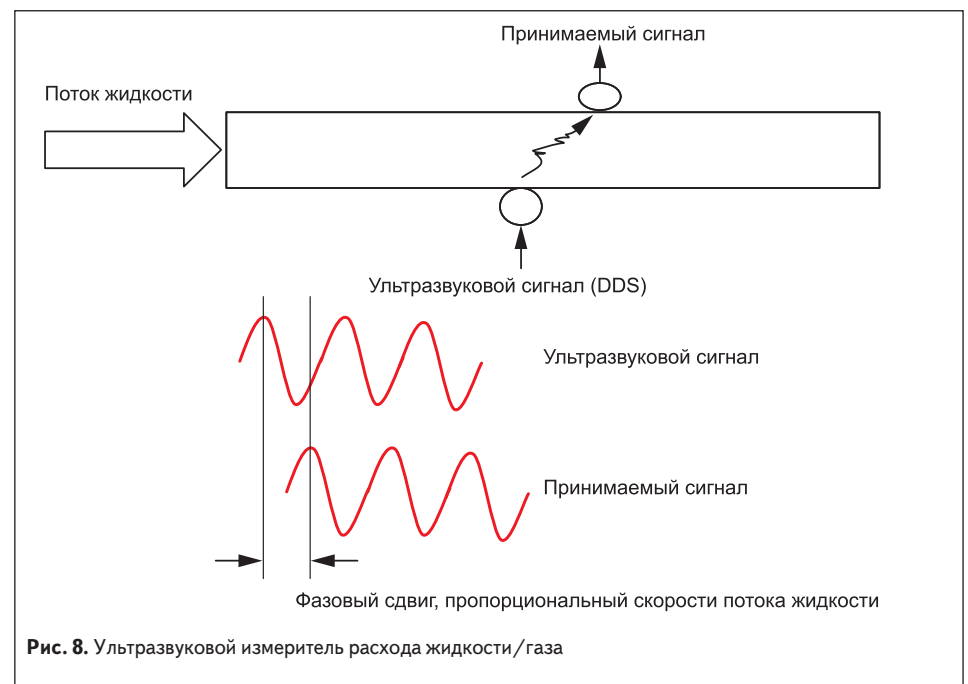
Дополнительную информацию о синхронизации нескольких синтезаторов DDS можно найти в статье [1].



Анализ цепей

Во многих областях электроники, например в измерительной технике и оптических системах связи, необходим сбор и анализ сигналов цепей. Обычно для этих целей требуется возбуждение цепи или системы с сигналом определенной частоты с известными амплитудой и фазой и анализ характеристик полученного при прохождении через систему отклика на возбуждающий сигнал.

Собранная информация об отклике используется для определения ключевых характеристик системы. Диапазон применения такого тестирования цепей (рис. 7) может быть достаточно широк и включает в себя задачи определения целостности кабелей, биомедицинские измерения и системы измерения скорости потока. Там, где базовым требованием являются формирование сигналов с определенной частотой и сравнение фазы и амплитуды отклика (откликов) на исходный сигнал, где требуется возбуждение системы сигналами в диапазоне частот или необходимы тестовые сигналы с различными фазовыми соотношениями (например, в системах с квадратурной модуляцией), могут быть очень полезны ИМС синтезаторов прямого цифрового синтеза, которые позволяют изящно и просто осуществлять цифровое программное управление частотой и фазой возбуждающих сигналов.



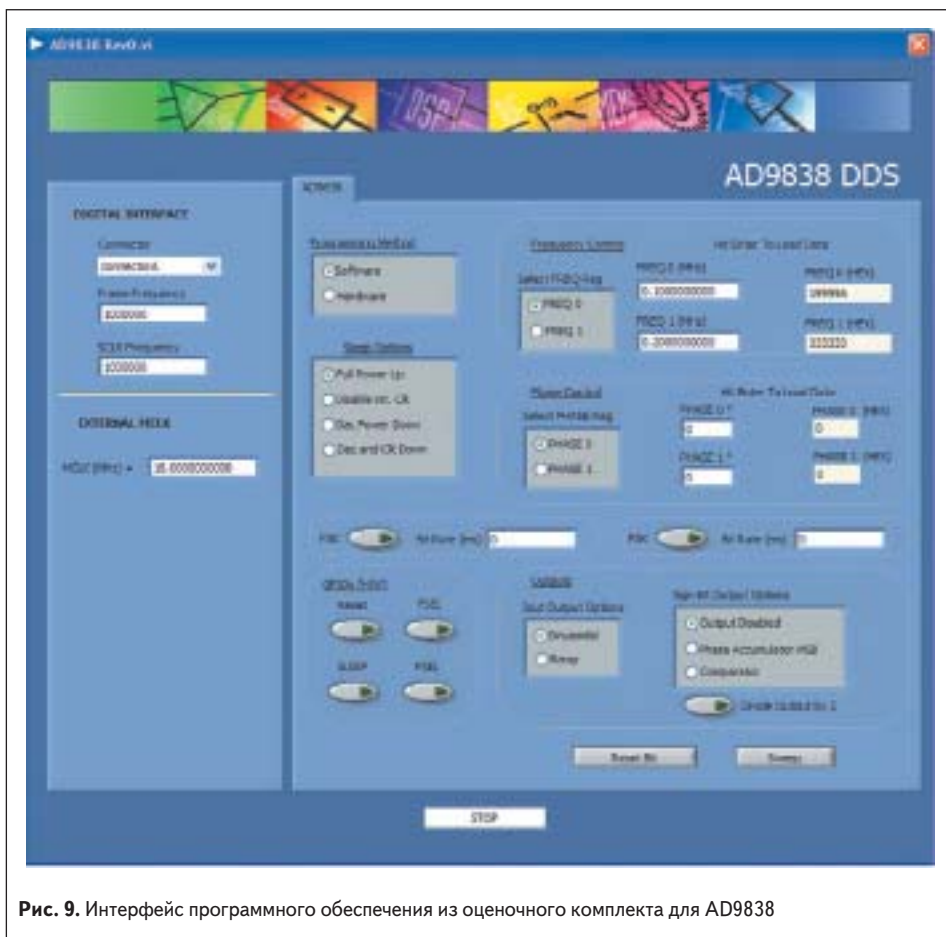


Рис. 9. Интерфейс программного обеспечения из оценочного комплекта для AD9838

Определение целостности кабеля (измерение потерь)

Определение целостности кабеля — это метод, который позволяет без вмешательства во внутреннюю структуру анализировать состояние кабелей, например в локальных сетях, телефонных линиях или кабельной системе внутри самолета. Один из способов определения целостности заключается в измерении уровня потерь при прохождении сигнала через кабель. Подав сигнал известной частоты и амплитуды, пользователь может определить ослабление кабеля по измерениям амплитуды и фазы на его противоположной стороне. На ослабление отдельно взятого кабеля будут влиять такие параметры, как характеристическое сопротивление и сопротивление по постоянному току. Результаты измерений обычно выражаются

в децибелах ниже уровня сигнала источника (0 дБ) в диапазоне исследуемых частот, который зависит от типа кабеля. Синтезаторы DDS, благодаря своей способности генерировать сигналы в широком диапазоне частот, могут быть использованы в качестве источника возбуждающих сигналов с необходимым разрешением по частоте.

Измеритель расхода жидкости/газа

Еще одна область применения синтезаторов DDS — это анализ потока воды, других жидкостей или газа в трубопроводах. В качестве примера можно привести ультразвуковое измерение расхода, основанное на принципе измерения сдвига фазы (рис. 8). В базовом варианте с одной стороны канала, по которому протекает жидкость, находится источник сигнала,

а на противоположной стороне расположен датчик, измеряющий фазовый отклик, зависящий от скорости потока. Данный метод имеет множество модификаций. Частоты тестового сигнала зависят от измеряемой субстанции. В общем случае выходной сигнал часто изменяется в диапазоне частот. Применение синтезаторов DDS в данной задаче обеспечивает гибкие возможности задания и изменения частоты.

Дополнительная информация и полезные ссылки

Интерактивные инструменты проектирования

Интерактивный инструмент проектирования для синтезаторов DDS — это инструмент, помогающий при выборе слов настройки в зависимости от частоты опорного тактового сигнала и желаемых частот и/или фаз выходного сигнала. Он отображает слово настройки и другие конфигурационные биты в виде последовательности кодов, которые необходимо запрограммировать во внутренние регистры компонента по последовательному порту. Для выбранных значений опорной частоты и частоты выходного сигнала можно отобразить уровни, которые будут иметь побочные гармоники в идеальном случае после применения внешнего восстанавливающего фильтра. Ссылки на инструменты проектирования компании Analog Devices можно найти на домашней странице [4]. Одним из примеров является инструмент проектирования для AD9834 [5].

Оценочные комплекты

Компоненты семейства AD983x сопровождаются полностью функциональным оценочным комплектом, к которому прилагаются принципиальная электрическая схема и файлы топологии печатной платы. Программное обеспечение, поставляемое в составе оценочного комплекта, позволяет легко программировать, конфигурировать и тестировать устройство (рис. 9).

Другую полезную информацию о синтезаторах DDS можно найти на веб-странице, посвященной технологии DDS [6].

Литература

1. AN-605 Synchronizing Multiple AD9852 DDS-Based Synthesizers. Analog Devices. http://www.analog.com/static/imported-files/application_notes/AN-605.pdf.
2. Murphy E., Colm S. All About Direct Digital Synthesis // Analog Dialogue. V. 38. № 3. 2004. <http://www.analog.com/library/analogDialogue/cd/vol38n3.pdf#page=8>
3. A Technical Tutorial on Digital Signal Synthesis. Analog Devices. 1999. http://www.analog.com/static/imported-files/tutorials/450968421DDS_Tutorial_rev12-2-99.pdf.
4. http://www.analog.com/en/rfif-components/direct-digital-synthesis-dds/ad9834/products/dt-design-calculators/DDS_Configuration_Assistant/resources/fca.html.
5. <http://designtools.analog.com/dt/ad98334/ad98334.html>.
6. <http://www.analog.com/en/rfif-components/direct-digital-synthesis-dds/products/index.html>.