

Секция «Моделирование радиоэлектронных устройств и систем»

Формирователь сигналов с прямой квадратурной модуляцией

В современных системах связи, использующих цифровой метод формирования сигналов, тракт передачи строится, как правило, с использованием архитектуры прямой квадратурной модуляции [1]. Обобщенная схема такого формирователя приведена на рис. 1. Такой вариант построения передающего тракта является более общей формой архитектуры прямого преобразования сигналов.

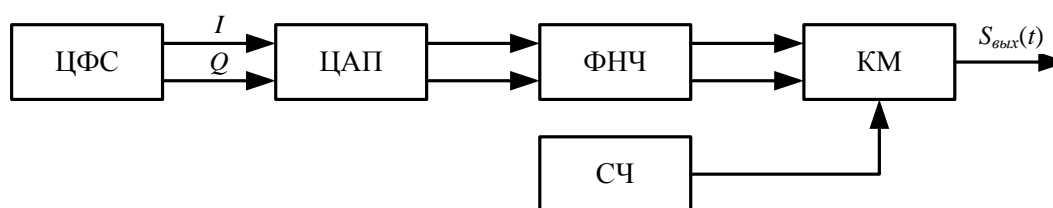


Рис. 1. Обобщенная схема тракта передачи с прямой квадратурной модуляцией

Ключевым блоком приведенной схемы является аналоговый квадратурный модулятор (КМ) или IQ (In-phase/quadrature) модулятор, который представляет собой универсальное устройство, с помощью которого могут быть получены сигналы практически со всеми видами модуляции, используемыми в современных системах связи. КМ – это устройство, имеющее высокочастотные вход и выход, также два информационных (модуляционных) входа I и Q . На модуляционные входы поступают две информационных последовательности. Они формируются в цифровых формирователях сигналов (ЦФС) из исходного информационного потока с помощью последовательно-параллельного преобразования, а затем преобразуются в аналоговую форму с помощью цифро-аналогового преобразователя (ЦАП) и ФНЧ и подаются на квадратурный модулятор. В качестве опорного высокочастотного источника сигнала на практике, чаще всего, используется синтезатор частот (СЧ) на основе системы ФАПЧ.

К достоинствам схем с прямой модуляцией относятся: простота, большой динамический диапазон передатчика по сравнению с передатчиком, выполненным с трактом преобразования частоты, уменьшение энергопотребления, уменьшение массогабаритных показателей устройства из-за отсутствия фильтров промежуточной частоты и смесителей.

В данной работе рассматривается один из вариантов реализации приведенной структуры, в котором источником цифрового квадратурного сигнала является программируемая логическая интегральная схема семейства Cyclone компании Altera; в качестве ЦАП используются два 12-разрядных преобразователя DAC7821 компании Texas Instruments; квадратурный модулятор выполнен на отладочном модуле TRF37017 той же фирмы.

В докладе приводятся особенности реализации формирователя, основные результаты его работы и варианты практического применения.

Литература

1. Феер, К. Беспроводная цифровая связь. Методы модуляции и расширения спектра: Пер. с англ. / Под ред. В.И. Журавлева. – М.: Радио и связь, 2000. – 520 с.

Применение образов цифровых вычислительных синтезаторов для повышения выходной частоты и улучшения шумовых характеристик формирователей сигналов

В технике формирования радиосигналов нашли широкое применение цифровые вычислительные синтезаторы (ЦВС). ЦВС обладают существенным недостатком: частота выходного сигнала цифрового вычислительного синтезатора ограничена 45% от частоты тактового сигнала и для современных ЦВС достигает 1600 МГц. Для получения более высокочастотных сигналов на выходе формирователей обычно применяют умножители частоты.

Структурная схема формирователя сигналов с ЦВС и выходным умножителем частоты на биполярных транзисторах приведена на рис. 1.

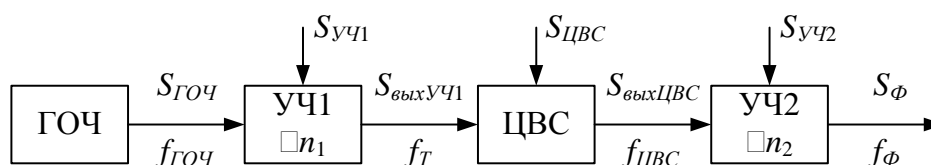


Рис. 1. Структурная схема формирователя сигналов радиосистем

Здесь ГОЧ – генератор опорной частоты, f_T – тактовая частота, $f_{ЦВС}$ – основная частота выходного сигнала ЦВС. Частота опорного генератора – $f_{ГОЧ}$, коэффициенты умножения тактовой и выходной частоты ЦВС, соответственно, n_1 и n_2 , частота сигнала на выходе формирователя – f_Φ . УЧ1 и УЧ2 – умножители тактовой и выходной частоты. Часто в интегральных ЦВС умножитель тактовой частоты делается встроенным, на системе ФАПЧ, с программно выбираемым коэффициентом n_1 . $K_{ЦВС} = f_{ЦВС} / f_T$ – коэффициент деления ЦВС.

Перспективным способом повышения выходной частоты формирователей является использование побочных компонент спектра выходного сигнала ЦВС – образов.

Частоты образов можно записать в виде

$$f_{обp} = |nf_T + f_{ЦВС}|, \quad (1)$$

где $n = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$ – номер образа. При $n = 0$ на выходе ЦВС основная частота $f_{ЦВС}$. Для оптимальной фильтрации необходимо соблюдать условие $0,15 \leq K_{ЦВС} \leq 0,35$.

Учитывая, что $f_T = n_1 \cdot f_{ГОЧ}$, представим (1) в виде

$$f_{обp} = |n \cdot n_1 \cdot f_{ГОЧ} + f_{ЦВС}| \quad (2)$$

С использованием основных соотношений для частотного планирования из [1] в таблице 1 приведен пример расчета частот образов $f_{обp}$ при $f_{ГОЧ} = 24$ МГц, $f_\Phi = 11$ ГГц. В качестве ЦВС использована AD9910, производства компании Analog Devices.

Из таблицы 1 видно, что частоты выходного сигнала ЦВС на образах $f_{обp}$ существенно отличаются друг от друга.

Таблица 1.

		$f_{обр}, \text{МГц}$								
n	n_1	5	10	15	20	25	30	35	40	41
-5		578	0	0	0	0	0	0	0	0
-4		458	916	1375	1833	2200	2750	0	3666	3666
-3		333	647	1000	0	0	0	0	0	2750
-2		211	423	647	846	1100	1222	0	0	0
-1		90	180	268	354	458	550	647	733	733
0		30	60	90	120	150	180	211	239	244
1		150	297	458	611	733	916	1100	1222	1222
2		268	550	785	1100	1375	1571	1833	2200	2200
3		392	785	0	1571	0	0	2750	0	0
4		500	1000	0	0	0	0	0	0	0
5		0	0	0	0	0	0	0	0	0

Для расчета шумовых характеристик ЦВС в режиме образов основной частоты воспользуемся методом расчета СПМ формирователей на образах и моделью из [2]

$$S_{ЦВС}(F) = \left(\frac{f_{ЦВС}}{f_T}\right)^2 \left(\frac{10^{k_2}}{F^2} + \frac{10^{k_1}}{F} + 10^{k_4}\right) + \left(10^{k_3} + 2^{-2N-0.59} \left(\frac{f_{ЦВС}}{f_T^2}\right)\right) \frac{\left(\frac{\pi |nf_T + f_{ЦВС}|}{f_T}\right)^2}{\sin\left(\frac{\pi |nf_T + f_{ЦВС}|}{f_T}\right)} \quad (3)$$

Результаты расчета СПМ фазовых шумов формирователя сигналов при $f_{ГОЧ} = 24 \text{ МГц}$, $f_{\phi} = 11 \text{ ГГц}$, для ЦВС AD9910 приведены на рис. 2

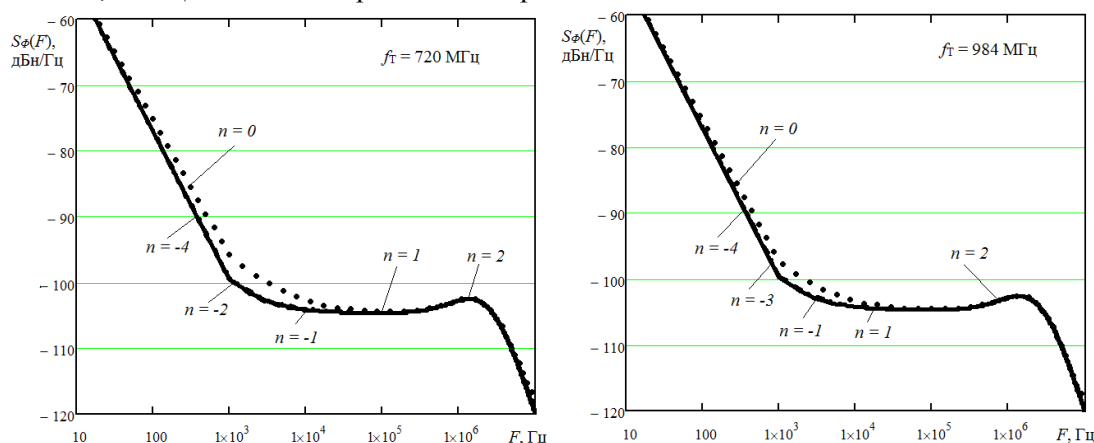


Рис. 2. СПМ фазовых шумов формирователей сигналов с ЦВС AD9910 на образах

Использование образов основной частоты ЦВС позволяет либо повысить частоту выходного сигнала формирователей радиосистем, либо упростить их конструкцию, за счет уменьшения числа каскадов выходных умножителей частоты.

Литература

1. Докторов А.Н., Якименко К.А. Алгоритм частотного планирования формирователя сигналов на основе цифровых вычислительных синтезаторов в режиме образов основной частоты // Научный потенциал молодежи – будущее России [Электронный ресурс]: V Всероссийские научные Зворыкинские чтения: сб. тез. докл. V Всероссийской молодежной научной конференции. Муром, 22 апр. 2013 г.– Муром: Изд.-полиграфический центр МИ ВлГУ, 2013.– 964 с.: ил.– 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
2. Ромашов В.В., Ромашова Л.В., Храмов К.К., Докторов А.Н. Модель спектральной плотности мощности фазовых шумов цифровых вычислительных синтезаторов на образах основной частоты // Радиопромышленность. 2012. №2. – С.38–48.

Математическое моделирование шумовых характеристик радиосистем с цифровыми вычислительными синтезаторами на образах основной частоты

Методы математического моделирования широко используются для проектирования разнообразных радиосистем. Важнейшим параметром является спектральная плотность мощности (СПМ) фазовых шумов. Рассмотрим метод математического моделирования СПМ фазовых шумов на примере формирователя сигналов с цифровым вычислительным синтезатором (ЦВС) на образах основной частоты.

Структурная схема формирователя сигналов с ЦВС и выходным умножителем частоты на биполярных транзисторах приведена на рис. 1. [1]

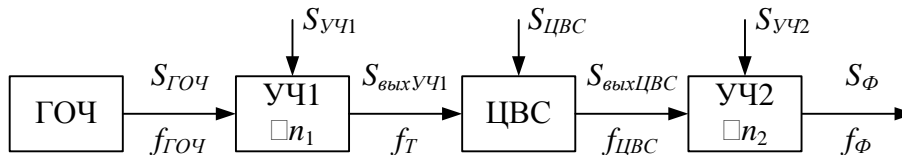


Рис. 1. Структурная схема формирователя сигналов радиосистем

Каждый каскад данной структурной схемы имеет СПМ собственных фазовых шумов, вносимую в результирующую СПМ фазовых шумов формирователя. То есть $S_{ГОЧ}(F)$, $S_{УЧ1}(F)$, $S_{УЧ2}(F)$, $S_{ЦВС}(F)$ – СПМ собственных фазовых шумов ГОЧ, УЧ1, УЧ2 и ЦВС соответственно.

Перспективным способом повышения выходной частоты формирователей является использование побочных компонент спектра выходного сигнала ЦВС – образов.

Частоты образов можно записать в виде [2]

$$f_{обp} = |nf_T + f_{ЦВС}|, \quad (1)$$

где $n = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$ – номер образа. При $n = 0$ на выходе ЦВС основная частота $f_{ЦВС}$.

СПМ фазовых шумов на выходе УЧ1:

$$S_{выхУЧ1}(F) = S_{ГОЧ}(F) \cdot n_1^2 + S_{УЧ1}(F) \quad (2)$$

СПМ фазовых шумов на выходе ЦВС:

$$S_{выхЦВС}(F) = (S_{ГОЧ}(F) \cdot n_1^2 + S_{УЧ1}(F)) \cdot (K_{ЦВС} + n)^2 + S_{ЦВС}(F) \quad (3)$$

СПМ фазовых шумов на выходе формирователя:

$$S_{\Phi}(F) = ((S_{ГОЧ}(F) \cdot n_1^2 + S_{УЧ1}(F)) \cdot (K_{ЦВС} + n)^2 + S_{ЦВС}(F)) \cdot n_2 + S_{УЧ2}(F) \quad (4)$$

Математическая модель СПМ собственных фазовых шумов ЦВС на образах рассмотрена в [3]:

$$S_{ЦВС}(F) = \left(\frac{f_{ЦВС}}{f_T} \right)^2 \left(\frac{10^{k_2}}{F^2} + \frac{10^{k_1}}{F} + 10^{k_4} \right) + \left(10^{k_3} + 2^{-2N-0.59} \left(\frac{f_{ЦВС}}{f_T^2} \right) \right) \left(\frac{\left(\frac{\pi |nf_T + f_{ЦВС}|}{f_T} \right)^2}{\sin \left(\frac{\pi |nf_T + f_{ЦВС}|}{f_T} \right)} \right) \quad (5)$$

В случае, если в качестве умножителей частоты используются каскады на биполярных транзисторах, для $S_{УЧ}(F)$ используется математическая модель из [4]

$$S_{УЧ}(F) = n^2 \frac{4kT}{P_c} \left[1 + \frac{F_{\alpha}}{F} \right], \quad (6)$$

где n_2 – коэффициент умножения частоты, k – постоянная Больцмана $k=1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К, T – температура, P_c – мощность входного сигнала, F_a – граничная частота фликкерных шумов фазы (не более 10^4 Гц), а если применен умножитель частоты на ФАПЧ, то

$$S_{\text{ФАПЧ}}(F) = [S_{\text{ГОЧ}}(F) + (S_{\text{ДПКД}}(F) + S_{\text{ФД}}(F))] \cdot N_2^2 |H_{31}(F)|^2 + S_{\text{ГУН}}(F) \cdot |H_{32}(F)|^2, \quad (7)$$

где $S_{\text{ГОЧ}}(F)$, $S_{\text{ДПКД}}(F)$, $S_{\text{ФД}}(F)$, $S_{\text{ГУН}}(F)$ – СПМ фазовых шумов ГОЧ, ДПКД, ФД, ГУН; $H_{31}(p) = H(p)/(1+H(p))$, $H_{32}(p) = 1/(1+H(p))$, $H(p) = K_{\text{ФНЧ}}(p) \cdot N_2 \cdot S_{\text{ГУН}}/p$ – передаточные функции кольца ФАПЧ: по внешним шумам, по внутренним шумам, разомкнутого кольца; $K_{\text{ФНЧ}}(p)$ – передаточная функция ФНЧ.

Благодаря данным математическим моделям проведено моделирование шумовых характеристик формирователя сигналов с ЦВС AD9914 на образцах для $f_{\phi} = 12$ ГГц. Результаты моделирования представлены на рис.2 при а) $f_{\text{ГОЧ}} = 24$ МГц, $n_1 = 104$, б) $f_{\text{ГОЧ}} = 90$ МГц, $n_1 = 27$.

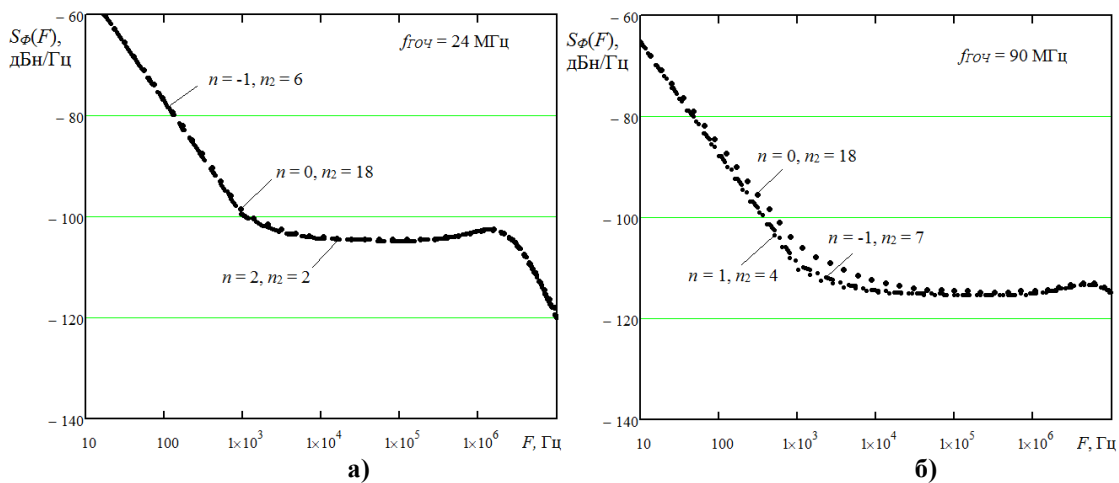


Рис.2. СПМ фазовых шумов формирователя сигналов

Видно, что использование образов и высокочастотных ГОЧ позволяет снизить уровень фазовых шумов на 3-4 дБн/Гц в полосе частот отстройки $F = 10^2 \dots 10^5$ Гц. Кроме того, число каскадов транзисторного умножителя на выходе формирователя заметно уменьшается, так как коэффициент умножения изменяется с 18 (при работе на основной частоте) до 2 при использовании 2-го образа. Все это позволяет сказать о том, что применение образов является перспективным направлением улучшения шумовых характеристик, повышения выходной частоты формирователя сигналов.

Литература

1. Докторов А.Н., Харитонов И.С. Применение образов цифровых вычислительных синтезаторов для повышения выходной частоты и улучшения шумовых характеристик формирователей сигналов // Настоящий сборник.
2. Ромашов В.В., Храмов К.К., Докторов А.Н. Частотное планирование формирователей сигналов радиосистем на основе цифровых вычислительных синтезаторов // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2012, № 4. - С. 10-15.
3. Ромашов В.В., Ромашова Л.В., Храмов К.К., Докторов А.Н. Модель спектральной плотности мощности фазовых шумов цифровых вычислительных синтезаторов на образцах основной частоты // Радиопромышленность. 2012. №2. - С.38-48.
4. Рыжков А.В., Попов В.Н. Синтезаторы частот в технике радиосвязи. - М.: Радио и связь, 1991. - 264 с.

С.В. Изьюров, К.М. Антонова
Научный руководитель: к.ф.-м.н., доц. М.Н. Кулигин
Муромский институт (филиал) Владимирского государственного университета
602264, Владимирская обл., г. Муром, ул. Орловская, д. 23
E-mail: neon.verba@mail.ru

Система регистрации и виртуальный вольтметр на базе стенда SDK-1.1

В рамках дипломного проектирования поставлена задача создания виртуального измерительного комплекса на базе стенда SDK-1.1.

Виртуальный прибор представляет собой компьютер с дополненными аппаратными средствами ввода-вывода аналогового сигнала и специализированным программным обеспечением, которое определяет конфигурацию и функционирование законченной системы. Для практической реализации виртуального прибора и системы измерения в учебном процессе достаточно приобрести недорогую стандартную плату аналогового ввода-вывода, основными составляющими которой являются многоканальный коммутатор и аналого-цифровой преобразователь. В стенды SDK-1.1 эти аппаратные компоненты встроены. Необходимо написать соответствующее программное обеспечение.

Прототипом для исследования данной темы послужила программа Visual Analyser, которая является программным продуктом для ПК, измерения производятся при помощи звуковой карты компьютера [1]. Стенд SDK-1.1 имеет встроенный 8-миканальный аналоговый тракт (12-тиразрядное АЦП, два 12-тиразрядных ЦАП) и средства связи с компьютером по интерфейсу RS-232. Если потребуется подключить к стенду какие-либо аналоговые датчики, то необходимо будет разработать и изготовить дополнительные платы для усиления и фильтрации сигналов поступающих от датчиков.

При разработке программного обеспечения необходимо будет учитывать аппаратные особенности встроенного АЦП стенда: диапазон измеряемого напряжения на аналоговых входах – однополярное напряжение в диапазоне (0-5)В.

Программа для виртуального вольтметра будет написана в среде программирования Borland Delphi. В окне приложения будут размещены область для визуализации графика зависимости измеряемого напряжения от времени; индикатор, показывающий текущее значение напряжения на входе АЦП; группа переключателей для выбора частоты измерений; управляющие кнопки «Пуск/Пауза» и «Сброс»; выбор существующих на данном компьютере портов. Минимальная скорость проведения измерений электрического напряжения равна одному измерению в две минуты. Максимальная скорость — около 100 измерений в секунду (примерно одно измерение в 0,01 секунды). Это позволяет визуализировать на экране и анализировать медленные и быстропротекающие процессы, происходящие в исследуемых электрических цепях. Также программа будет автоматически заносить в подключенную базу данных все показания, полученные с АЦП с указанием времени их измерения. База данных для хранения результатов измерений будет написана в InterBase для создания запросов и чтения из БД приложение на Delphi имеет специальное окно, в котором отображается либо вся база запросов, либо конкретно по временному интервалу.

Программная часть виртуального прибора может создать на экране дисплея компьютера виртуальную переднюю управляющую панель стационарного измерительного прибора. Сама панель с виртуальными кнопками, ручками и переключателями, сформированная на экране дисплея, становится панелью управления виртуального прибора. В отличие от реальной панели управления стационарного измерительного прибора, виртуальная панель может быть многократно перестроена в процессе работы для адаптации к конкретным условиям эксперимента. В зависимости от используемой платы и программного обеспечения пользователь получает измерительный прибор под ту или иную метрологическую задачу.

Литература

1. Электронный журнал "Радиоежегодник" - Выпуск 22. Измерения. 2013.

К.Е. Лемешкин
Научный руководитель: к.ф.-м.н., доц. М.Н. Кулигин
Муромский институт (филиал) Владимирского государственного университета
602264, Владимирская обл., г. Муром, ул. Орловская, д. 23
E-mail: kaf-eivt@yandex.ru

Микроконтроллер в системе управления современным подсобным хозяйством

В рамках дипломного проектирования поставлена задача исследования и разработки системы управления современным подсобным хозяйством. Для разработки оптимальной системы управления сначала необходимо детально изучить (исследовать) объект управления и элементную базу, на которой будет разрабатываться эта система.

Подсобное хозяйство может быть, как частным (личным), так и фермерским [1]. В настоящее время всё больше внимания уделяют личным подсобным хозяйствам (ЛПХ). Основной вид ЛПХ - приусадебное хозяйство многопрофильного характера. Основные составляющие современного подсобного хозяйства, подлежащие автоматизации:

- теплица;
- полив;
- птичник.

Для того чтобы организовать круглосуточное поддержание оптимальной температуры в своей теплице, птичнике, организовать автоматическую подачу корма для животных, а так же облегчить жизнь человека и сэкономить время, необходимо применение автоматизированных систем управления подсобным хозяйством, которые наделены такими основными функциями как:

- автоматическое поддержание оптимальной (установленной) температуры;
- автоматическое поддержание оптимальной (установленной) влажности
- автоматическое управление режимом освещения;
- автоматическая подача кормов и воды;
- автоматическое управление режимом открытие - закрытие дверцы.
- системы оповещения об авариях.

Используя такие системы управления, можно добиться полной автоматизации подсобного хозяйства. При этом это касается не только процесса управления, но также и контроля.

Оптимальным выбором, разрабатывая такую систему, будет использование микроконтроллера, так как их использование позволяет реализовать все необходимые функции для данной системы и без особых затрат. Каждая функция системы, представляет собой отдельный узел и находится под управлением микроконтроллера.

Современные микроконтроллеры обладают высокой надежностью и достаточно низкой ценой, вследствие чего круг автоматизируемых объектов и процессов постоянно расширяется. Благодаря их бурному внедрению автоматизируются все более сложные объекты управления. Микропроцессорные системы, благодаря дополнительным информационным каналам и сложным алгоритмам, позволяют обеспечить более качественное управление технологическими процессами.

На базе микроконтроллера, будут реализованы все необходимые функции разрабатываемой системы, который будет управлять следующими узлами объекта управления:

- освещением;
- электроприводом;
- термостатами;
- сигнализацией.

Многие режимы работ микропроцессорных устройств, таких как «Умный дом», стало возможно реализовать только с появлением микроконтроллеров, поскольку на старой элементной базе их воплощение получилось бы слишком сложным, дорогим и ненадежным.

Использование микроконтроллера намного проще. При разработке требуется только определить, из каких функциональных блоков будет состоять устройство, какими интерфейсами их объединить, и какую элементную базу выбрать. Вместо составления схемы

будущего устройства из отдельных деталей применяется блочное проектирование. Реализация всех алгоритмов работы — задача программы контроллера, а написание программы гораздо менее трудоемко, чем синтез цифровой схемы. Для внесения изменений в алгоритм работы устройства достаточно загрузить новую прошивку в микроконтроллер, чем соединить ее элементы в другом порядке, удалить часть из них или добавить новые на жесткой логике.

Литература

1. http://www.fadr.msu.ru/rin/vestnic/vestnic4_01/4_3_01.htm#1.

А.А. Липина
Научный руководитель: к.т.н., доц. К.К. Храмов
Муромский институт (филиал) Владимирского государственного университета
602264, Владимирская обл., г. Муром, ул. Орловская, д. 23
E-mail: Ashule4ka@mail.ru

Обзор приемопередающих модулей ОВЧ-УВЧ диапазонов

Приемо - передающее устройство предназначено для переноса спектра модулированного сигнала промежуточной частоты в рабочий диапазон частот аппаратуры и для обратного преобразования. В настоящее время приемопередатчики имеют различные применения начиная от бытовых устройств и заканчивая РЛС.

В докладе будут рассмотрены приемопередатчики нескольких производителей, том числе устройства наиболее популярной фирмы Analog Devices.

Передатчики и приемопередатчики ВЧ компании Analog Devices представляют собой полнофункциональные, высококачественные системы на кристалле, включающие в себя ВЧ тракт и схемы аналого-цифровой обработки. Предлагаемые компанией Analog Devices приемопередатчики диапазонов ISM для беспроводных систем с малой дальностью действия и широкополосные приемопередатчики для беспроводной связи стандартов UMTS, LTE, 3G/4G обладают высокой степенью интеграции, обеспечивают наилучшие среди устройств данного класса характеристики и позволяют значительно сократить общее количество компонентов в системе. [1].

В докладе рассматриваются и сравниваются устройства двух серий. Серия ADF70 включает в себя приемопередатчики сигналов FSK/GFSK/ASK/OOK/GOOK с высокой степенью интеграции и малой потребляемой мощностью, которые предназначены для работы в нижней части диапазона УВЧ и диапазоне ОВЧ.

Серия ADF72 состоит из приемопередатчиков с высокой степенью интеграции и малой потребляемой мощностью, которые предназначены для работы в международном диапазоне ISM 2.4 ГГц. При проектировании преследовалась цель получения гибких, устойчивых, простых в применении и обладающего малым энергопотреблением устройства.

Областями применения таких приемопередатчиков являются беспроводные сенсорные сети, автоматическое считывание показаний счетчиков/ интеллектуальные счетчики, промышленные беспроводные системы управления, здравоохранение, беспроводная передача звука/видеоизображений, бытовая электроника.

В докладе более подробно рассматриваются и сравниваются основные характеристики приемопередатчиков и области их применения.

Литература

1. Analog Devices. Приемопередатчики для радиовязи [Электронный ресурс] // Analog Devices: [сайт]. <http://www.analog.com/ru/rfif-components/rfif-transceivers/products/index.html>.

И.И. Назаров, В.А. Орефин
Научный руководитель: к.ф.-м.н., доц. М.Н. Кулигин
Муромский институт (филиал) Владимирского государственного университета
602264, Владимирская обл., г. Муром, ул. Орловская, д. 23
E-mail: kaf-eivt@yandex.ru

Исследование возможностей применения ARM-контроллеров в мультимедиа системах

Мультимедиа технологии и мультимедиа устройства являются одними из самых динамично развивающихся направлений в сфере информационных технологий и компьютерной техники. Системы программной обработки аудио- и визуальной информации интегрируются в персональные компьютеры, мобильные телефоны, телевизоры, специализированные терминалы, средства навигации, системы управления транспортными средствами и т.д.

Большинство из вышеперечисленных устройств представляют собой микропроцессорные системы, основанные на архитектурах x86 и ARM, причем вторая архитектура чаще находит применение в мобильных и встраиваемых устройствах.

Архитектура ARM (Acorn RISC Machine, Advanced RISC Machine) была разработана компанией Acorn Computers в 1983 - 1985 годах. Области применения микропроцессоров и микроконтроллеров с архитектурой ARM - это бытовые микропроцессорные устройства (карманные и планшетные компьютеры, сотовые телефоны, навигаторы, телевизоры, игровые консоли, плееры), компьютерная периферия (маршрутизаторы, контроллеры жестких дисков), встраиваемые системы, вычислительные кластеры и т.д. Основными преимуществами архитектуры ARM является низкое энергопотребление ядра (как следствие относительной простоты), сравнительно высокая производительность, открытость для лицензирования.

Согласно данным компании ARM, в 2013 в мире году произведено 2,9 миллиарда процессоров на основе архитектуры ARM [2]. На рынке смартфонов и мобильных телефонов доля процессоров ARM составляет более 90% [1].

Последней на данный момент линейкой ядер архитектуры ARM является линейка Cortex, которая делится на серии Cortex-A, Cortex-R и Cortex-M. Серия Cortex-A – это высокопроизводительные процессоры для операционных систем. Именно они используются в большинстве современных мультимедийных мобильных устройств. Cortex-R – процессоры для систем реального времени, отличающиеся низким энергопотреблением, высокой производительностью и продвинутой обработкой прерываний. Примерами применения для данного вида процессоров являются системы управления торможением автомобиля, системы управления трансмиссией, сетевые устройства, принтеры, контроллеры запоминающих устройств и т.д. Cortex-M – серия низкопроизводительных дешевых процессорных ядер, предназначенных, прежде всего, для использования в микроконтроллерах. Ядра данной серии отличаются также более низким энергопотреблением.

Целью работы является разработка микропроцессорной системы на базе микроконтроллера с архитектурой ARM и исследование возможностей данной системы в части обработки мультимедиа информации.

Процессорное ядро разрабатываемого мультимедийного устройства должно быть выбрано на основании требований, предъявляемых к устройству, заданных технических характеристик устройства, а также исходя из разработанной ранее архитектуры устройства и специфики программной части.

Согласно техническому заданию, микропроцессорная система должна базироваться на микроконтроллере с архитектурой ARM. Современные микроконтроллеры данной архитектуры основаны на процессорных ядрах серии Cortex-M.

Желательно наличие в микроконтроллере интерфейса прямого доступа к памяти и интерфейса USB.

Стандартом SECAM установлено разрешение изображения 720 на 576 пикселей или 414720 элементов. Учитывая то, что согласно заданию, для формирования изображения используется 256-цветная программируемая палитра, для хранения одного элемента

изображения необходим один байт памяти. Соответственно, для хранения одного кадра необходимо 414720 байт. Частота обновления изображения стандарта SECAM составляет 25 Гц. Следовательно, максимальная скорость заполнения изображения должна составлять $25 \cdot 414720 = 1036800$ байт в секунду. Центральный процессор, шина данных и подсистема памяти должны обеспечивать необходимую производительность для передачи указанного количества данных.

Кроме того, одним из требований к разрабатываемому устройству является доступность элементной базы.

Исходя из вышеизложенного, в качестве процессорного ядра разрабатываемого устройства решено использовать микроконтроллер на базе ядра Cortex-M3 с тактовой частотой свыше 100 МГц, внешней тридцатидвухразрядной шиной адреса и шиной данных, а также со встроенным контроллером прямого доступа к памяти и контроллером интерфейса USB.

Литература

1. An interview with Steve Furber // Communications of the ACM, May 2011, Vol. 54 No. 5, Pp. 34-39.
2. ARM Holdings PLC Reports Results For The Fourth Quarter And Full Year 2013. <http://www.arm.com/about/newsroom/arm-holdings-plc-reports-results-for-the-fourth-quarter-and-full-year-2013.php>.

В.В. Шутова
Научный руководитель: к.т.н., доц. К.К. Храмов
Муромский институт (филиал) Владимирского государственного университета
602264, Владимирская обл., г. Муром, ул. Орловская, д. 23
E-mail: shutik13@mail.ru

Обзор высокочастотных модуляторов компании Analog Devices

В настоящее время область применения интегральных модуляторов очень широка. Они используются в радиопередающих устройствах систем радиосвязи, радиолокации, спутниковой связи, в преобразовательном оборудовании цифрового и спутникового телевидения и других сферах. С развитием технологий происходит освоение высокочастотного диапазона, и, следовательно, увеличение несущих частот. Одновременно с этим уменьшаются размеры и увеличивается функциональность интегральных микросхем (ИМС). В одну интегральную микросхему объединяют несколько устройств: квадратурный модулятор, синтезатор сетки частот, программируемый аттенюатор и высокочастотный усилитель.

Компания Analog Devices является одним из мировых лидеров производства всех ключевых функциональных блоков тракта преобразования сигналов высокой частоты в цифровую форму от выхода антенны до входа процессора и в обратном направлении.

В работе рассматриваются и сравниваются модуляторы нескольких серий [1].

Достоинство интегральных модуляторов фирмы Analog Devices заключается в том, что они работают в широком диапазоне частот – до 6 ГГц, а также сочетают в себе высокие характеристики и гибкую архитектуру.

Серия ADL53xx включает в себя квадратурные модуляторы, работающие в диапазоне частот от 400 МГц до 6 ГГц. Такие модуляторы применяются в системах сотовой связи и в спутниковых модемах.

Серия AD83xx состоит из полупроводниковых высокочастотных ИМС квадратурного модулятора. Серия обеспечивает хорошие показатели баланса амплитуд, согласования фаз и подавления зеркального канала, что позволяет использовать ИМС для создания радиосистем с квадратурной амплитудной модуляцией высоких порядков или высокой емкости. Модуляторы этой серии используются для работы в стандартных диапазонах частот сотовой связи 900 МГц, 1.9 ГГц и 2.1 ГГц.

Серия ADRF67xx представляет собой квадратурные модуляторы с интегрированной схемой ФАПЧ с дробным коэффициентом деления. Модуляторы этой серии работают в диапазоне частот от 400 МГц до 3 ГГц. Интеграция квадратурного модулятора, схемы ФАПЧ и ГУН дает значительное сокращение площади печатной платы, позволяет уменьшить число используемых компонентов и упростить проект.

В микросхемах серии ADLxx используются векторные модуляторы, которые выполняет независимую модуляцию амплитуды и фазы высокочастотного сигнала. Этот компонент может быть использован в качестве универсального высокочастотного модулятора, переменного аттенюатора/фазовращателя или ремодулятора. Применяется, главным образом, в линейных усилителях мощности и в интеллектуальных антеннах.

В докладе более подробно рассматриваются и сравниваются основные характеристики модуляторов и области их применения.

Литература

1. Модуляторы/демодуляторы [Электронный ресурс] // Сайт компании Analog Devices. URL: <http://www.analog.com/ru/rfif-components/modulatorsdemodulators/products/index.html>.

К.А. Якименко
 Научный руководитель: д.т.н., проф. В.В. Ромашов
 Муромский институт (филиал) Владимирского государственного университета
 602264, Владимирская обл., г. Муром, ул. Орловская, д. 23
 E-mail: yakimenko.kirill@yandex

Моделирование шумовых характеристик ЖИГ-генераторов

Фундаментальным определением фазового шума является спектральная плотность мощности (СПМ) фазовых шумов вблизи несущей частоты в зависимости от отстройки при различных значениях выходной частоты. Целью данной работы является определение универсальной математической модели СПМ фазовых шумов ЖИГ-генератора для ее использования при моделировании шумовых характеристик синтезаторов частот на основе систем ФАПЧ.

ЖИГ-генераторы – это генераторы частот, в которых в качестве резонатора используется резонатор СВЧ диапазона на основе ферромагнитного резонанса в железо-иттриевом гранате (ЖИГ). Управляемые ЖИГ-генераторы используются в системах косвенного синтеза частот (ФАПЧ). По сравнению с обычными генераторами, управляемыми напряжением (ГУН) на варикапах ЖИГ-генераторы имеют ряд преимуществ: широкая полоса выходных частот, очень низкий уровень фазовых шумов, линейные перестроечные характеристики. К недостаткам ЖИГ-генераторов можно отнести низкую скорость перестройки, а также значительные габариты. Несмотря на недостатки ЖИГ-генераторы широко применяются в первых гетеродинах анализаторов спектра, а также во многих других системах, для которых низкий уровень фазовых шумов является решающим фактором.

В [1,2] приводится модель СПМ фазовых шумов генераторов:

$$S(F) = \frac{G \cdot K_{ш} \cdot k \cdot T}{2 \cdot P} \left[\frac{f_c}{F^3} \cdot \left(\frac{f_0}{2 \cdot Q} \right)^2 + \frac{1}{F^2} \cdot \left(\frac{f_0}{2 \cdot Q} \right)^2 + \frac{f_c}{F} + 1 \right], \quad (1)$$

где G – коэффициент усиления транзистора; $K_{ш}$ – коэффициент шума транзистора; k – постоянная Больцмана; T – абсолютная температура; P – высокочастотная мощность, передаваемая в резонатор; Q – добротность нагруженного резонатора; f_0 – частота генератора; f_c – граничная частота области преобладания фликкер-шума в спектре шума транзистора; F – отстройка частоты от f_0 .

С учетом шумов, вносимых управляющей системой, а также при подстановке известных экспериментальных значений из [3] формула будет иметь вид:

$$S(F) = \frac{1}{F^3} \cdot 10^{-11,6} \cdot \frac{f_0^2}{Q^2} + \frac{1}{F^2} \cdot 10^{-15,6} \cdot \frac{f_0^2}{Q^2} + \frac{10^{-11}}{F} + 10^{-15}. \quad (2)$$

Данная формула позволяет рассчитать СПМ фазовых шумов генераторов, управляемых напряжением, на варакторных управителях частоты. Поскольку почти все параметры (G , $K_{ш}$, k , T , P , f_c , f_0) для ГУН и ЖИГ совпадают, то данную формулу можно использовать для моделирования шумовых характеристик ЖИГ.

Существенное отличие ГУН от ЖИГ-генераторов заключается в применении колебательных систем с очень низкой добротностью (порядка 100). Добротность ЖИГ-резонаторов составляет 2000-3000. За счет высокой добротности и проявляется существенный выигрыш по шумовым характеристикам.

На рисунке 1 (кривая 1) представлены экспериментально снятые шумовые характеристики ЖИГ-генератора МУТО-3080 русской фирмы МИКРАН [4]. Данная модель способна генерировать колебания в широком диапазоне частот (от 3000 до 8000 МГц). Мощность выходного колебания составляет 12 дБм. Разработчики отмечают в качестве особенностей данной модели: сверхширокую полосу перестройки, низкий фазовый шум (минус 130 дБ/Гц при отстройке 100 кГц от несущей во всем диапазоне частот), высокую линейность регулировочной характеристики, а также небольшие габариты.

Кривая 2 рисунка 1 – это теоретически рассчитанная СПМ фазовых шумов по формуле (2). Генераторы СВЧ, перестраиваемые с помощью ЖИГ, отличаются почти постоянным спектром фазовых шумов при перестройке генератора по частоте, что объясняется линейностью перестройки [5]. Поэтому моделирование производилось при выходной частоте генератора $f_0 = 5500$ МГц (средней частоте диапазона выходных частот). Значение добротности $Q=3000$.

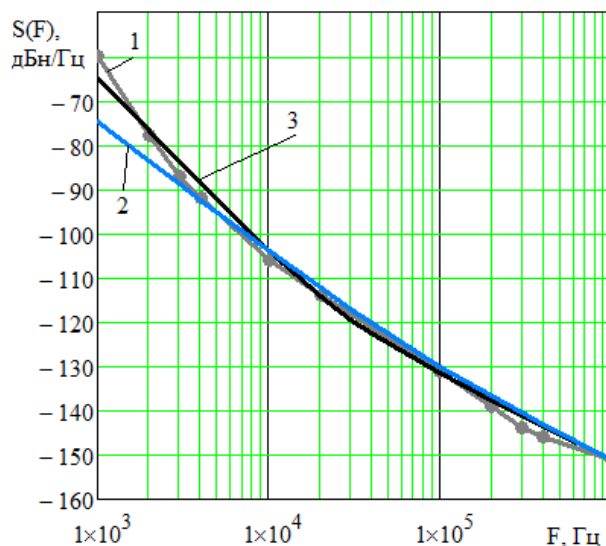


Рис.1. Экспериментальные (кривая 1) и теоретически рассчитанные (кривые 2 и 3) шумовые характеристики ЖИГ-генератора

Сравнение теоретических и экспериментальных данных показало, что модель позволяет рассчитать СПМ фазовых шумов ЖИГ-генератора на основном промежутке частот. Видимое отличие на промежутке частот отстройки до 4 кГц проявляется из-за того, что формула (1) не учитывает влияния частотного шума случайных блужданий (слагаемого $1/F^4$). Они обычно связаны с воздействием на генератор окружающей среды (температура, вибрация, ударные воздействия и т.п.). С учетом данной составляющей модель будет иметь вид (кривая 3):

$$S(F) = \frac{1}{F^4} \cdot 10^{-7} \cdot \frac{f_0^2}{Q^2} + \frac{1}{F^3} \cdot 10^{-11.6} \cdot \frac{f_0^2}{Q^2} + \frac{1}{F^2} \cdot 10^{-15.6} \cdot \frac{f_0^2}{Q^2} + \frac{10^{-11}}{F} + 10^{-15}. \quad (3)$$

Таким образом, в ходе данной работы была определена модель СПМ фазовых шумов для ЖИГ-генераторов. Шумовые характеристики, рассчитанные с помощью данной модели, показали хорошее совпадение с экспериментальными данными.

Литература

1. Leeson D.V. A simple model of feedback oscillator noise spectrum // IEEE Proc. Letters, February 1966, v.54, p.329–330.
2. Ченакин А. ГУН или ЖИГ? Проблема выбора при проектировании высококачественного синтезатора с ФАПЧ // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес, 2012, № 6.
3. Рыжков А.В., Попов В.Н. Синтезаторы частот в технике радиосвязи – М.: Радио и связь, 1991. – 264 с.
4. МУТО-3080 ЖИГ-генератор [Электронный ресурс]: сайт фирмы НПФ МИКРАН. URL: <http://www.micran.ru/productions/svch/oscillators/>.
5. Манасевич В. Синтезаторы частот. Теория и проектирование: Пер. с англ. / Под. ред. А.С. Галина. - М.: Связь, 1979. - 384 с.

К.А. Якименко
Научный руководитель: д.т.н., проф. В.В. Ромашов
Муромский институт (филиал) Владимирского государственного университета
602264, Владимирская обл., г. Муром, ул. Орловская, д. 23
E-mail: yakimenko.kirill@yandex

Реализация гибридного синтезатора частот, использующего образы основной частоты ЦВС, на интегральных микросхемах

Применение образов основной частоты ЦВС в гибридном синтезаторе частот на основе ЦВС и смесителя в цепи обратной связи ФАПЧ позволяет существенно снизить уровень фазовых шумов выходного сигнала [1,2]. Целью данной работы является обзор современной элементной базы для реализации гибридного синтезатора на интегральных микросхемах. Структурная схема устройства представлена на рис. 1.

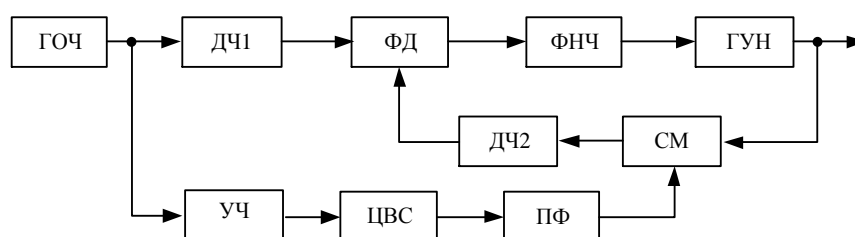


Рис.1. структурная схема гибридного синтезатора частот

На структурной схеме применены обозначения: ГОЧ – генератор опорной частоты; ЦВС – цифровой вычислительный синтезатор; ДЧ1, ДЧ2 - делители частоты с фиксированными коэффициентами деления N_1 , N_2 ; ФД – фазовый детектор; ФНЧ – фильтр нижних частот; ГУН – генератор, управляемый напряжением; СМ – смеситель частоты, УЧ – умножитель частоты; ПФ – полосовой фильтр. Использование образов позволяет увеличить выходную частоту ЦВС. Выбор устройств будем производить, ориентируясь на формирование сетки частот 3000-3200 МГц.

Компания Analog Devices [2] предлагает широкий спектр радиочастотных компонентов. В качестве микросхемы ФАПЧ можно использовать ADF4153A. Микросхема ADF4153A работает с сигналами ВЧ в полосе 4 ГГц и включает в себя малошумящий цифровой фазочастотный детектор (с максимальной частотой 32 МГц), прецизионную схему накачки заряда, делитель с дробным коэффициентом деления N на основе сигма-дельта модулятора и программируемый делитель опорной частоты R . Ключевая особенность данной микросхемы - показатель фазового шума: -223 дБн/Гц. В документации к микросхеме предлагаются разнообразные схемы ФНЧ из сосредоточенных компонентов. Проектировщик может выбрать любую в зависимости от требований к синтезатору.

В качестве смесителя можно использовать модель ADL5802. По заверениям разработчиков данная модель, которая основана на комбинации ядер активных смесителей с двойной балансировкой, обладающих повышенной линейностью, и интегрированных буферных усилителей сигнала гетеродина, обеспечивает преобразование частоты в широком диапазоне от 100 МГц до 6 ГГц.

Микросхемой ЦВС может служить AD9914. Ключевыми особенностями данной микросхемы являются высокая частота внутреннего тактового сигнала (3,5 GSPS), интегрированный 12-разрядный ЦАП с быстродействием 3,5 GSPS, разрешение по частоте 4 мкГц. Благодаря увеличенной тактовой частоте данная микросхема может формировать колебания с частотой до 1396 МГц. В микросхеме содержится встроенный умножитель, позволяющий увеличить тактовую частоту до 2500 МГц.

Еще одним крупнейшим производителем радиоэлектроники является компания Mini-Circuits [3]. Данная компания предлагает крупный выбор генераторов, управляемых

напряжением. Для гибридного синтезатора можно использовать в качестве ГУН микросхему ROS 3250-619+. Данная микросхема способна формировать сигнал на промежутке частот от 3000 МГц до 3250 МГц.

Для выделения необходимого образа основной частоты нужно использовать полосовой фильтр, настроенный на определенный промежуток частот. Компания Mini-Circuits выпускает линейку полосовых фильтров и усилителей. Для данного синтезатора можно выбрать фильтр BFCN-3115+ (полоса пропускания которого 2720-3570 МГц).

Для выделения разностной частоты смесителя тоже нужен полосовой фильтр. Полоса пропускания фильтра для заданного диапазона частот должна быть на промежутке 300-500 МГц.

Амплитуда образов уменьшается по закону синуса Котельникова. Для увеличения амплитуды образа необходимо включить малошумящий усилитель. Модель СМА-545+ позволяет усиливать сигналы на промежутке частот от 50 МГц до 6 ГГц.

В качестве генератора опорной частоты можно использовать термостатированный кварцевый генератор МОХО-100 отечественной фирмы «Микран» [4]. Данная модель имеет хорошие шумовые характеристики (минус 176 дБн/Гц на частоте отстройки 100 кГц).

Обобщенная структурная схема гибридного синтезатора с учетом выбранных компонентов принимает вид (рис. 2).

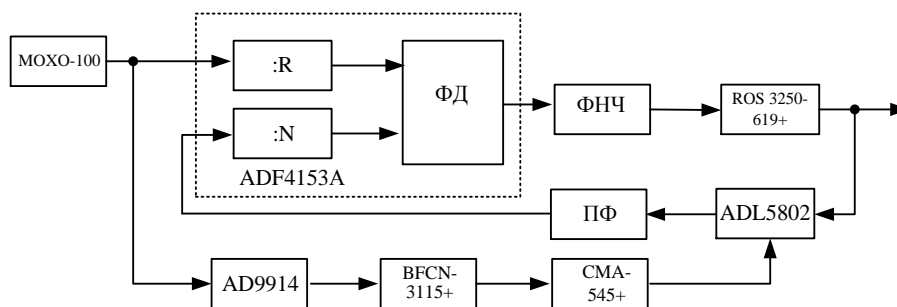


Рис.2. Структурная схема гибридного синтезатора частот с учетом выбранных компонентов

Таким образом, в данной работе был предложен пример технической реализации гибридного синтезатора частот на современной элементной базе. На сайтах компаний-производителей в свободном доступе имеются принципиальные схемы и программное обеспечение, позволяющее автоматически спроектировать синтезатор, исходя из требований, а также рассчитать его характеристики.

Литература

1. Ромашов В.В., Ромашова Л.В., Храмов К.К., Якименко К.А. Применение образов основной частоты ЦВС в гибридных синтезаторах частот // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2013, №3. С. 19-24.
2. Ромашов В.В., Ромашова Л.В., Храмов К.К., Докторов А.Н., Якименко К.А. Моделирование шумовых характеристик гибридных синтезаторов частот // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2014, №1. С. 5-20.
3. Сайт фирмы Analog Devices [Электронный ресурс] – <http://www.Analog.com>.
4. Сайт фирмы Mini-Circuits [Электронный ресурс] – <http://www.minicircuits.com>.
5. Сайт НПФ «Микран» [Электронный ресурс] – <http://www.micran.ru/>.

Частотное планирование гибридного синтезатора частот, использующего образы основной частоты ЦВС

Исследованию возможности применения образов основной частоты ЦВС в гибридном синтезаторе частот на основе ЦВС и смесителя в цепи обратной связи ФАПЧ посвящены публикации [1,2]. Определено, что применение образов позволяет существенно снизить уровень фазовых шумов выходного сигнала. Целью данной работы является частотное планирование гибридного синтезатора частот, использующего образы основной частоты ЦВС. Структурная схема устройства представлена на рисунке 1.

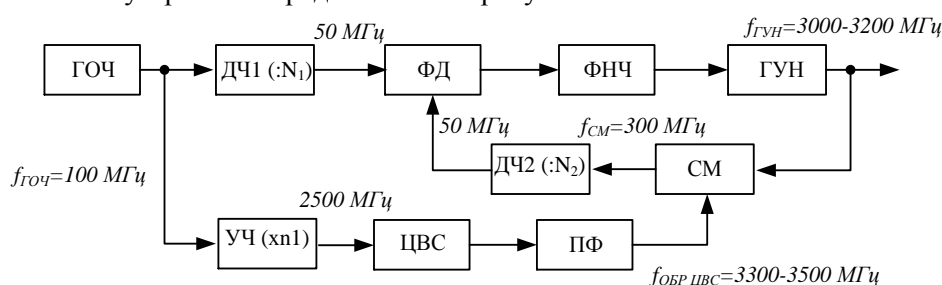


Рис.1. Структурная схема гибридного синтезатора частот

На структурной схеме применены обозначения: ГОЧ – генератор опорной частоты; ЦВС – цифровой вычислительный синтезатор; ДЧ1, ДЧ2 - делители частоты с фиксированными коэффициентами деления N_1, N_2 ; ФД – фазовый детектор; ФНЧ – фильтр нижних частот; ГУН – генератор, управляемый напряжением; СМ – смеситель частоты, УЧ – умножитель частоты; ПФ – полосовой фильтр. Использование образов позволяет увеличить выходную частоту ЦВС, а, следовательно, снизить коэффициент деления в цепи обратной связи ФАПЧ, за счет чего существенно уменьшатся фазовые шумы синтезатора [3,4]. Образы имеют частоты $f_{обр} = |nf_T + f_{ЦВС}|$, где f_T – тактовая частота ЦВС, где $f_{ЦВС}$ – основная частота ЦВС, $n = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3 \dots$ – номер образа.

Коэффициент деления N_1 рассчитывается по формуле:

$$N_1 = \frac{f_{ГОЧ}}{f_{CP}}, \quad (1)$$

где $f_{ГОЧ}$ – выходная частота ГОЧ, f_{CP} – частота сравнения в фазовом детекторе.

Коэффициент деления N_2 рассчитывается по формуле:

$$N_2 = \frac{|f_{ГУН} - f_{обр}|}{f_{CP}}, \quad (2)$$

где $f_{ГУН}$ – выходная частота ГУН.

В качестве примера рассчитаем частотный план гибридного синтезатора, использующего образы основной частоты ЦВС, для следующих условий. Выходная частота ГОЧ $f_{ГОЧ} = 100$ МГц. ГУН должен формировать сетку частот в диапазоне $f_{ГОЧ} = 3000-3200$ МГц. Максимальная частота сравнения фазового детектора $f_{CP\max} = 100$ МГц.

Выберем частоту сравнения в фазовом детекторе $f_{CP} = 50$ МГц (следовательно, коэффициент деления ДЧ1 $N_1 = 2$). Во многих микросхемах ЦВС есть встроенный умножитель тактовой частоты. К примеру, встроенный умножитель микросхемы AD9914 фирмы Analog Devices [5] имеет коэффициент умножения $n1 = 8-255$. С учетом этого выберем тактовую частоту ЦВС $f_T = 2500$ МГц (коэффициент умножения $n1 = 250$). Основная частота ЦВС не может превышать

значения $0.4 \cdot f_T$. Таким образом, выберем диапазон изменения основной частоты ЦВС от $f_{ЦВС1}=800$ МГц до $f_{ЦВС2}=1000$ МГц. На рис.2 показано распределение образов выбранного диапазона основных частот ЦВС.

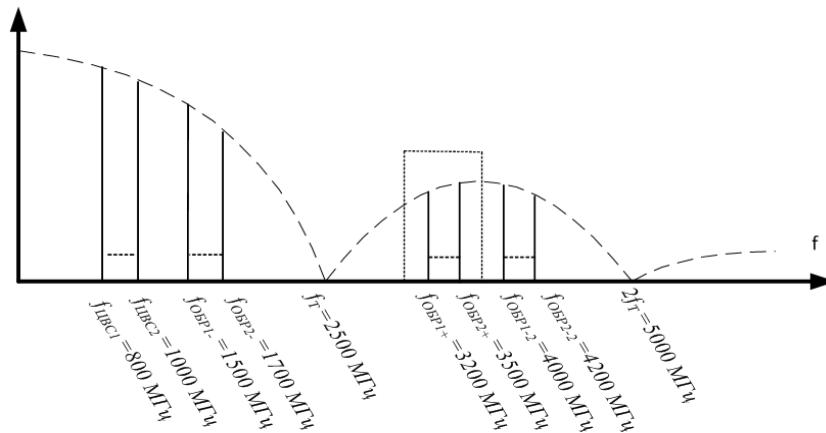


Рис.2. Образы основной частоты ЦВС

Как видно из рис.2, образы основного диапазона частот чередуются через каждую f_T , при этом их амплитуда уменьшается в соответствии с синусом Котельникова. Для заданного диапазона частот подходят образы в диапазоне частот от $f_{ОБР1+}=3200$ МГц до $f_{ОБР2+}=3500$ МГц. Для выделения данных образов необходимо использовать полосовой фильтр.

Разностная частота смесителя составляет 300 МГц. Коэффициент деления $N_2=6$ по (2). Таким образом, для перестройки выходной частоты синтезатора $f_{ГУН}$, необходимо переключить частоту ЦВС. При этом изменится разностная частота смесителя, и фазовый детектор будет вырабатывать сигнал ошибки, подстраивающий ГУН. Шаг частоты синтезатора определяется шагом частоты ЦВС (тысячные доли Герца) и не зависит от частоты сравнения в фазовом детекторе, как у обычных систем ФАПЧ. В этом заключается основное преимущество гибридных синтезаторов частот.

Таким образом, в данной работе были приведены формулы, по которым можно рассчитать частотный план гибридного синтезатора частот, использующего образы основной частоты ЦВС. Также был приведен пример расчета частотного плана для заданного диапазона выходных частот синтезатора. На рис.1 представлены промежуточные частоты звеньев синтезатора.

Литература

1. Ромашов В.В., Ромашова Л.В., Храмов К.К., Якименко К.А. Применение образов основной частоты ЦВС в гибридных синтезаторах частот // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2013, №3. С. 19-24.
2. Ромашов В.В., Ромашова Л.В., Храмов К.К., Докторов А.Н., Якименко К.А. Моделирование шумовых характеристик гибридных синтезаторов частот // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2014, №1. С. 5-20.
3. Ромашов В.В., Храмов К.К., Докторов А.Н. Модель цифрового вычислительного синтезатора, работающего на образах основной частоты // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2012, №2. С. 13 – 17.
4. Ромашов В.В., Мергурьев А.В. Исследование применения образов для повышения рабочей частоты DDS синтезатора // Методы и устройства передачи и обработки информации. 2009, № 11. С. 93-97.
5. AD9914.pdf [Электронный ресурс] – <http://www.Analog.com>.

Принцип работы PDS-синтезаторов

Известные к настоящему времени методы синтеза частот (прямой аналоговый, косвенный на основе ФАПЧ и прямой цифровой) имеют как достоинства, так и недостатки. Существенно снизить недостатки позволяет гибридный метод синтеза частот [1], представляющий собой комбинацию из элементов вышеперечисленных методов.

В [2,3] предлагается новый метод синтеза частот – фазо-цифровой метод (Phase Digital Synthesis). Синтезаторы, построенные по данному методу, базируются на системе ФАПЧ с модернизированным фазовым детектором. Целью данной работы является рассмотрение принципа действия PDS-синтезаторов, а также предварительная оценка их спектральных характеристик.

Принцип работы PDS-синтезатора заключается в следующем [4]. Некоторое логическое устройство выполняет следующие функции:

- накапливает R-логических единиц при поступлении каждого импульса частоты опорного генератора $f_{ГОЧ}$;
- удаляет число C ранее накопленных логических единиц при поступлении каждого импульса сигнала с генератора, управляемого напряжением $f_{ГУН}$.

Подробнее рассмотреть принцип работы фазового детектора можно по диаграммам на рис.1.

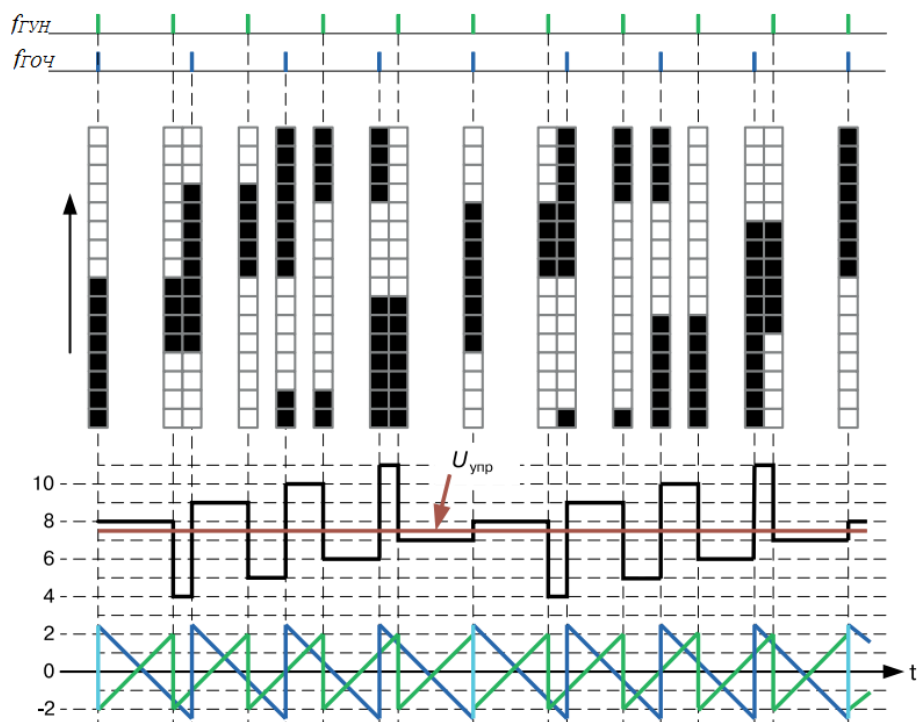


Рис.1. Диаграммы работы фазового детектора

Для диаграмм на рис.1 $R=5$, $C=4$. При этом соотношение частот в системе ФАПЧ $f_{ГОЧ}/f_{ГУН}=C/R$. Каждый импульс $f_{ГОЧ}$ добавляет 5 логических единиц в последовательный кольцевой регистр, при этом каждый импульс $f_{ГУН}$ удаляет четыре единицы из регистра. Сигнал с кольцевого регистра подается в ЦАП, на выходе которого формируется ступенчатое управляющее напряжение с постоянной составляющей $U_{упр}$, которое используется для

подстройки ГУН. Также на выходе ЦАП присутствуют две переменных составляющих с частотами $f_{ГОЧ}$ и $f_{ГУН}$, которые отфильтровываются в ФНЧ.

В том случае, когда отношение частот $f_{ГОЧ}/f_{ГУН}$ не равно C/R , изменится значение $U_{УПР}$, и система ФАПЧ войдет в режим перестройки. На рисунке 2 показана структурная схема фазового детектора, построенного на базе кольцевого сдвигового регистра.

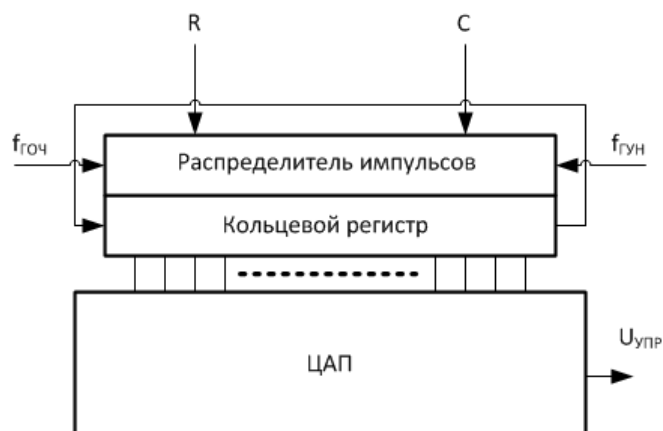


Рис.2. Структурная схема фазового детектора, построенного на базе кольцевого сдвигового регистра

В обычных системах ФАПЧ уровень фазовых шумов выходного сигнала увеличивается на $20\log(N)$, где N – коэффициент деления делителя частоты в цепи обратной связи. Основное преимущество PDS-синтезаторов по мнению разработчиков заключается в отсутствии делителя частоты, а, следовательно, и в лучших шумовых характеристиках.

Авторами приведено сравнение шумовых характеристик PDS-синтезаторов с шумовыми характеристиками Fractional-N синтезаторов (синтезаторов частот на основе системы ФАПЧ с дробным коэффициентом деления в цепи обратной связи). По мнению авторов, уровень спектральных составляющих шума сигнала на выходе PDS-синтезаторов на 30-60 дБ ниже, чем Fractional-N синтезаторов.

В [1,5] предлагается один из вариантов практической реализации PDS-синтезатора на современных цифровых устройствах.

По данной методике построен синтезатор частот [6]. Данная модель способна формировать сетку частот в диапазоне 950 МГц – 2015 МГц. При этом шаг сетки частот составляет 1-2 Гц. Время переключения - 5 мкс. Синтезаторы имеют возможность PSK или FSK модуляции. Уровень фазовых шумов составляет – минус 110 дБн/Гц на отстройке 100 кГц. Выходная мощность сигнала составляет 6 дБм.

Очевидно, что данный синтезатор имеет хорошие шумовые характеристики. При этом авторы не исключают возможности уменьшить шаг сетки частот за счет увеличения количества разрядов в цифровых блоках устройства. Таким образом, метод PDS-синтеза является весьма перспективным для исследований.

Литература

1. Ромашов В.В., Ромашова Л.В., Храмов К.К., Докторов А.Н., Якименко К.А. Моделирование шумовых характеристик гибридных синтезаторов частот // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2014, №1. С. 5-20.
2. Vitaly Koslov, A New Concept in Frequency Synthesis, Microwave Product Digest, Oct 2010
3. Vitaly Koslov and Nicholas Payne, A New Approach to Frequency Synthesis, Microwave Product Digest, Sep 2011.
4. Макаренко В. Фазо-цифровые и частотно-цифровые синтезаторы частоты, часть 1. Телекоммуникации и связь. Ноябрь 2012, №11.С.24-30.
5. Vitaly Koslov, Digital PLL Frequency Synthesizer, US Patent #5,748,043, 05.05.1998.
6. <http://speedwell-designs.com> [Электронный ресурс].