

УДК 621.396.662

Повышение качества синтезаторов частоты

Лин Наинг

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, подразделение «Институт информационных технологий БГУИР», магистрант, Минск, Республика Беларусь

Руководитель - Титович Н.А. – к.т.н., доцент кафедры ИРТ БГУИР

Рассматриваются пути повышения качества синтезаторов частоты (СЧ), используемых в различных телекоммуникационных системах. Анализируются возможности построения комбинированных СЧ, построенных с учетом преимуществ схем с ФАПЧ и DDS.

Ключевые слова: Синтезаторы частоты. Схемы с ФАПЧ и DDS. Комбинированные схемы синтезаторов частоты.

Введение

Сегодня СЧ является одним из самых ключевых узлов связных радиостанций, систем измерения и контроля. Основные требования к ним [1, 2]:

- высокая стабильность частоты и минимальный фазовый шум — параметр, который может существенно ограничить чувствительность приемных систем;
- широкая полоса частот и высокое разрешение по частоте (менее 1 Гц), что важно при построении измерительной аппаратуры;
- скорость перестройки - важнейший параметр при построении абсолютно всех систем, особенно при внедрении в системы связи цифровых форматов, связанных с применением псевдослучайной перестройки частоты (ППРЧ);
- уровень негармонических спектральных составляющих синтезатора, в микроволновых системах связи негармонические искажения могут ограничить способность выделять, а затем и обрабатывать принимаемый сигнал;
- выходная мощность, которая в зависимости от системы, в которой применяется СЧ, составляет порядка 10 дБм и выше.

Кроме того блок СЧ должен занимает минимальный объем в приемо-передатчике, обладая при этом высокой надежностью, а также малой стоимостью.

1. Схемы построения современных СЧ

При построении аналоговых синтезаторов (Direct Analog Synthesizers) используется смешение отдельных базовых частот опорных генераторов (ОГ) в преобразователях (ПР) с их последующей фильтрацией полосовыми фильтрами (ПФ) (рис.1). Генераторы базовых частот (ГБЧ) строятся на низкочастотных резонаторах (кварцевых или ПАВ) или высокочастотных генераторах на диэлектрических и керамических резонаторах. Основным преимуществом аналоговых СЧ является их высокая скорость переключения, лежащая в микро- или даже наносекундном диапазоне. В схемах аналоговых СЧ также можно использовать смесители с весьма малым уровнем собственных шумов по сравнению с уровнями шумов ГБЧ.

Следовательно шумы аналогового синтезатора определяются в основном шумами используемых базовых генераторов и могут быть весьма низкими. Основной недостаток аналоговых СЧ – ограниченный диапазон частот и разрешение по частоте. Таким образом, применение таких СЧ оправдано при построении высокостабильных возбудителей радиотехнических систем (РТС) с малым числом генерируемых частот. Увеличение количества ГБЧ и смесительных каскадов усложняет схему.

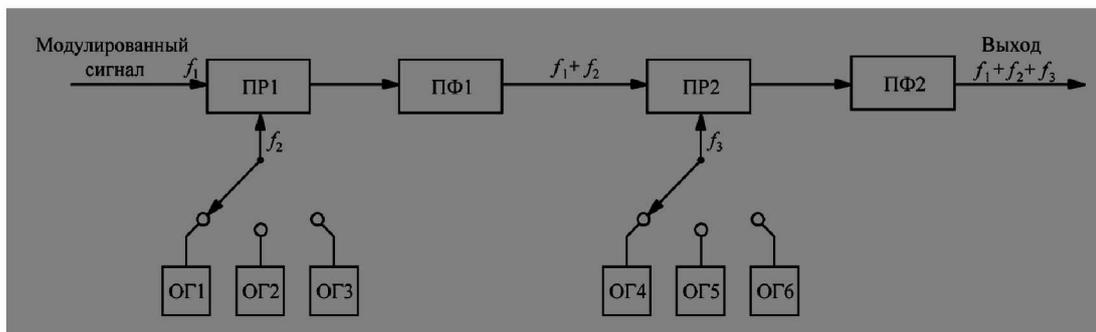


Рис. 1. Прямой аналоговый синтезатор частоты.

Благодаря минимальному уровню фазовых шумов в установившемся режиме основной структурой при построении интегральных СЧ остается схема с фазовой автоподстройкой частоты (ФАПЧ). Схема однопетлевого синтезатора с ФАПЧ (рис.2) включает в себя перестраиваемый генератор (ПГ), управляемый напряжением, сигнал которого после требуемого (программируемого) деления по частоте (ДПКД) подается на вход фазового детектора (ФД), где сравнивается с частотой сигнала высокостабильного ОГ f_0 , разделенной в делителе с фиксированным коэффициентом деления (ДФКД) до частоты сравнения f_c . ФД сравнивает сигналы на обоих входах и формирует сигнал ошибки, который после фильтрации и усиления (при необходимости) подстраивает частоту ПГ.

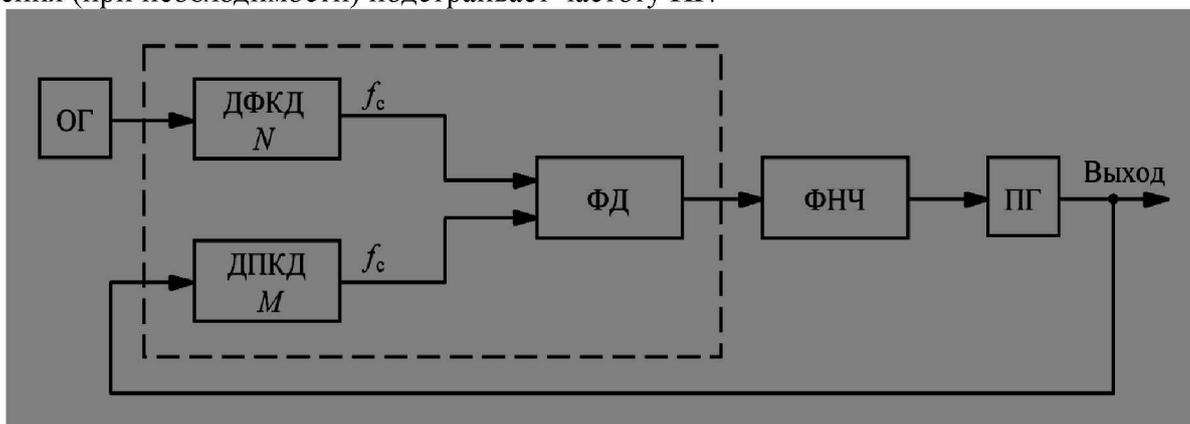


Рис. 2. Синтезатор частоты на основе ФАПЧ с делителями частоты.

Основным преимуществом схемы на основе ФАПЧ является чистый спектр выходного сигнала, обусловленный эффективным использованием фильтра нижних частот (ФНЧ), и значительно меньшая сложность устройства по сравнению с аналоговыми синтезаторами. Основной их недостаток – большее время перестройки и значительно более высокий уровень фазового шума по сравнению с аналоговыми схемами. Фазовый шум синтезатора в пределах полосы пропускания фильтра ФАПЧ равен $\theta = \theta_{ФД} + 20 \log M$, где $\theta_{ФД}$ – пересчитанный ко входу ФД суммарный уровень фазовых шумов ОГ, ДФКД, ФД и ФНЧ. Таким образом, фазовый шум зависит от коэффициента деления M частотного делителя, который, чтобы обеспечить требуемое разрешение по частоте, может быть довольно большим. Так, для получения сигнала на частоте 10 ГГц с разрешением 1 МГц коэффициент деления должен быть равен 10000, что соответствует увеличению фазового шума на 80 дБ [2]. Кроме того, программируемые делители используются на относительно низких частотах, что требует введения

дополнительного высокочастотного делителя с фиксированным коэффициентом деления (prescaler – PS). В результате увеличивается суммарный коэффициент деления петли обратной связи и, как следствие, возрастает фазовый шум. Очевидно, такая простая схема не позволяет использовать шумовые возможности современных малощумящих генераторов опорного сигнала. Для повышения разрешения по частоте используют многопетлевые схемы ФАПЧ, в которых используется несколько ФД, делителей и ФНЧ. В результате схема СЧ усложняется и суммарный коэффициент шума возрастает. В итоге типовые схемы с ФАПЧ применяются в основном в системах с низкими требованиями к качеству генерируемого сигнала.

Значительный прогресс в развитии микропроцессорных устройств обусловил скачок в развитии СЧ на основе прямого цифрового синтеза DDS (рис.3). Они позволяют значительно повысить скорость перестройки и разрешение по частоте [3].

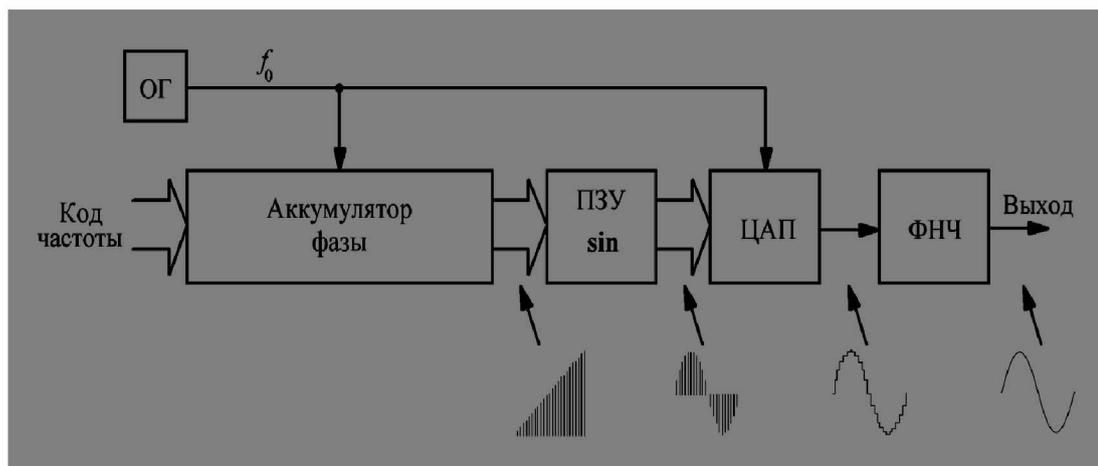


Рис. 3. Прямой цифровой синтезатор на основе аккумулятора фазы.

СЧ DDS формируют требуемую форму выходного сигнала из базового (тактового) сигнала генератора ОГ. Сначала с помощью фазового аккумулятора создается цифровое представление сигнала, а затем генерируется и сам выходной сигнал (синусоидальной или любой другой желаемой формы) посредством цифроаналогового преобразователя (ЦАП) (рис.3). Скорость генерации цифрового сигнала ограничена цифровым интерфейсом, но весьма высока и сопоставима с аналоговыми схемами. Цифровые синтезаторы также обеспечивают довольно малый уровень фазовых шумов. Однако основным достоинством цифрового СЧ является исключительно высокое разрешение по частоте (ниже 1 Гц), определяемое шагом фазового аккумулятора.

Главные недостатки СЧ с DDS – ограниченный частотный диапазон и большие искажения сигнала. Нижняя рабочая частота СЧ находится близко к нулю герц, а верхняя граница не может превышать половины тактовой частоты ОГ f_0 . Другая серьезная проблема СЧ с DDS – высокое содержание нежелательных спектральных составляющих из-за ошибок преобразования в ЦАП. С этой точки зрения цифровой синтезатор ведет себя как частотный смеситель, генерирующий побочные составляющие на комбинационных частотах, амплитуда которых иногда непредсказуема. Амплитуда паразитных спектральных составляющих увеличивается и с увеличением тактовой частоты, что также ограничивает диапазон генерируемых частот. Практические значения верхней границы диапазона СЧ с DDS находятся в районе от нескольких десятков до нескольких сотен мегагерц при уровне дискретных спектральных продуктов -50...-60 дБм. Прямое умножение выходного сигнала СЧ невозможно из-за увеличения шумовых характеристик [2].

2. Комбинированные схемы СЧ

Исследования показывают, что улучшить параметры СЧ можно используя достоинства вышеописанных схем с ФАПЧ и DDS. Схема одного из вариантов комбинированного СЧ приведена на рисунке 4. В гибридном синтезаторе вместо опорной частоты для ФАПЧ СЧ используется выходная частота DDS. Несмотря на то, что DDS имеет фазовые шумы на уровне ОГ, а уровень побочных компонентов после фильтрации не хуже, чем у качественного ОГ, петля ФАПЧ действует на выходной сигнал как полосовой фильтр первого порядка. Половина ширины пропускания этого фильтра равна полосе пропускания ФНЧ петли. ФНЧ2 ФАПЧ действует как перестраиваемый полосовой фильтр, центральная частота которого всегда равна выходной частоте, несмотря на то, что реализован он в виде неперестраиваемого ФНЧ. В результате, все побочные составляющие, лежащие вне полосы пропускания этого фильтра, будут ослаблены.

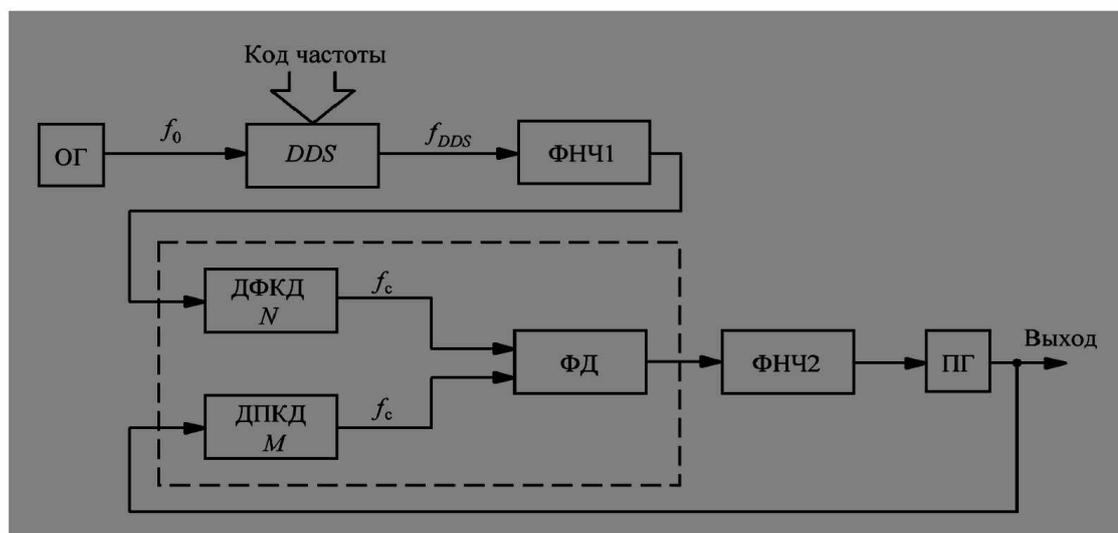


Рис.4. Гибридная схема синтезатора с ФАПЧ и DDS в качестве ОГ.

Заключение

Дальнейшие исследования по повышению качества комбинированной схемы СЧ требуют анализа вклада каждого блока в суммарный уровень шумов. Большое значение имеет улучшение параметров ОГ, делителей частоты, ФНЧ. Заслуживает внимания также схема гибридного СЧ с использованием DDS в качестве ДПКД в цепи обратной связи СЧ с ФАПЧ [3]. Упростить схему и улучшить параметры позволяет также совместное применение DDS и аналогового СЧ [4].

Новые СЧ найдут применение в современных системах связи, радиолокации, измерения и контроля.

Список источников

- [1] Browne J. Frequency Synthesizers Tune Communications Systems. – Microwaves&RF, March 2006.
- [2] Ченакин А. Частотный синтез; текущие решения и новые тенденции/ Ченакин А.// ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. - 2008. -№1. С.92-97.
- [3] Chenakin A. Microwave Frequency Synthesizers// 1527-3342/23©2023IEEE. Digital Object Identifier 10.1109/MMM.2023.3265464. Date of current version: 3 June 2023. S. 29-40.
- [4] Ридико Л.И. DDS: прямой цифровой синтез частоты // Компоненты и технологии. - 2001. № 7-8.

UDC 621.396.662

IMPROVING THE QUALITY OF FREQUENCY SYNTHESIZERS

Lin Naing

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, division "Institute of Information Technologies of BGUIR", master's student, Minsk, Republic of Belarus

Head - Titovich N.A. – Ph.D., Associate Professor, Department of IRT BSUIR

Annotation. The ways of improving the quality of frequency synthesizers (MF) used in various telecommunication systems are considered. The possibilities of constructing combined MFs, built taking into account the advantages of PLL and DDS circuits, are analyzed

Keywords: Frequency synthesizers. Schemes with PLL and DDS. Combined circuits of frequency synthesizers.