

Божаткин И.А.

Научный руководитель д.т.н. проф. Ромашов В.В.

Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет

имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23

E-mail: romashovamur@mail.ru, ilya.bozhatkin@mail.ru

Классификация гибридных синтезаторов на основе прямого и косвенного цифровых методов синтеза

С 1980-х гг. гибридные синтезаторы частот все активнее начинают распространяться в качестве формирователей сигналов в современных приемопередающих системах и контрольно-измерительной аппаратуре. До недавнего времени по тематике гибридного метода синтеза в отечественной и зарубежной литературе были представлены либо обобщенные обзоры структур гибридных синтезаторов [2], либо разработаны конкретные схемы для определенных приложений [3]. Результаты математического и имитационного моделирования гибридных синтезаторов представлены в [4]. В настоящее время гибридные синтезаторы частот выпускаются производителями в виде субблоков, в том числе и на основе интегральных микросхем [5].

Теоретически можно выделить 4 основных типа синтезаторов гибридного метода синтеза: прямой аналоговый + прямой цифровой методы, косвенный + прямой цифровой методы, прямой аналоговый + косвенный методы, прямой цифровой + косвенный + прямой аналоговый методы. На рисунках 1-4.

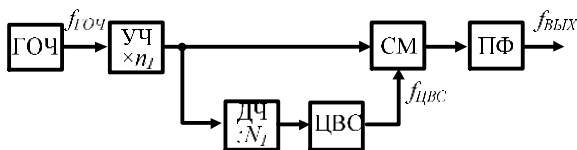


Рисунок 1. – Одноопорный гибридный синтезатор на основе ЦВС и аналогового метода синтеза

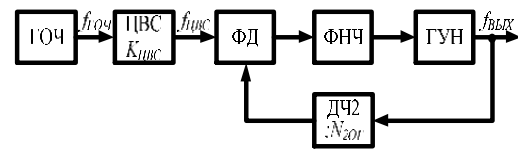


Рисунок 2 – Гибридный синтезатор с ЦВС в качестве опорного генератора ФАПЧ

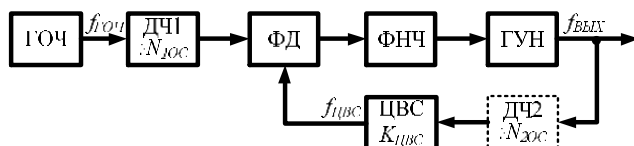


Рисунок 3. – Гибридный синтезатор с ЦВС в цепи обратной связи ФАПЧ кратностью деления выходного сигнала ГУН.

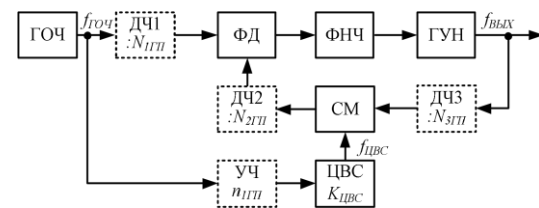


Рисунок 4. – Гибридный синтезатор с ЦВС в качестве генератора подставки ФАПЧ

1. Данный синтезатор состоит из банка генераторов ГОЧ1...ГОЧN, смесителя СМ, цифрового вычислительного синтезатора ЦВС и набора полосовых фильтров. Крупный шаг сетки частот получается переключением выходного сигнала банка ГОЧ. ЦВС в свою очередь обеспечивает малый шаг перестройки. Достоинства гибридного синтезатора: широкий диапазон частот; высокая скорость перестройки; низкий уровень фазовых шумов; малое количество и малый уровень побочных составляющих спектра на больших отстройках от несущей за счет применения полосовых фильтров; достижение очень малого шага перестройки частоты (за счет ЦВС).

2. Генератор опорной частоты тактирует ЦВС, выходная частота которого подается на ФД системы ФАПЧ для сравнения. Поскольку выходная частота ЦВС ограничена максимально

допустимым значением частоты сравнения в фазовом дискриминаторе (у современных микросхем ФАПЧ она достигает 100 МГц), необязательно повышать тактовую частоту ЦВС до максимально возможных пределов. В данном ГСЧ систему ФАПЧ можно представить в качестве умножителя выходной частоты ЦВС в $N_{2ог}$ -раз. Гибридный синтезатор обеспечивает широкую полосу частот, практически свободную от нежелательных составляющих спектра. Шаг перестройки частоты составляет $\Delta f_{ГСЧ} = N_2 \Delta f_{ЦВС}$, где $\Delta f_{ЦВС}$ – шаг перестройки ЦВС. Поскольку шаг сетки частот ЦВС достигает долей герца, шаг перестройки всего синтезатора тоже будет иметь небольшое значение.

3. Для получения необходимой частоты сравнения ФД частота выходного сигнала ГОЧ может быть поделена в делителе ДЧ1. Выходной сигнал ГУН является тактовым для ЦВС. Максимальная тактовая частота современных интегральных ЦВС достигает 3,5 ГГц. Поэтому, если частота выходного сигнала ГУН больше максимальной тактовой, то необходимо использовать дополнительный делитель ДЧ2. По сути ЦВС в данной схеме является дробным делителем частоты. Поэтому достоинства данного синтезатора схожи с достоинствами Fractional-N синтезаторов.

4. Данный синтезатор представляет собой систему ФАПЧ со смесителем СМ в цепи обратной связи, на который подается частота смещения (подставки) с ЦВС. При необходимости устанавливаются дополнительные делители ДЧ1, ДЧ2, ДЧ3. Для увеличения тактовой частоты ЦВС используется умножитель УЧ выходной частоты ГОЧ. Обычно такие умножители, реализованные на косвенном методе синтеза, встроены в интегральный ЦВС. Использование смесителя в цепи обратной связи позволяет снизить общий коэффициент деления частоты в цепи обратной связи, а, следовательно, уровень фазовых шумов выходной частоты ГСЧ.

Существенно снизить влияние недостатков позволяет гибридный метод синтеза. Проведенный анализ позволил выявить основные методы построения и структурные схемы гибридных синтезаторов частот и составить декомпозицию методов синтеза. Показано, что наиболее распространенными являются гибридные синтезаторы на основе прямого аналогового и прямого цифрового методов синтеза и гибридные синтезаторы на основе косвенного (ФАПЧ) и прямого цифрового (цифровых вычислительных синтезаторов) методов синтеза.

Уровень фазовых шумов гибридных синтезаторов частот на основе ФАПЧ и цифровых вычислительных синтезаторов на 5–10 дБ больше уровня фазовых шумов гибридных синтезаторов на основе прямого аналогового и прямого цифрового методов синтеза, в связи с этим задача снижения уровня фазовых шумов гибридных синтезаторов на основе ФАПЧ и цифровых вычислительных синтезаторов представляется актуальной.

Литература

1. Якименко К. А. Гибридные синтезаторы частот с низким уровнем фазовых шумов // Диссертация канд. техн. наук 05.12.04, Муром 2018г.
2. Ямпурин, Н.П. Формирование прецизионных частот и сигналов: Учеб. пособие. / Н.П. Ямпурин, Е.В. Сафонова, Е.Б. Жалнин. – Нижегород. гос. техн. ун-т. Нижний Новгород, 2003. – 187 с.
3. Григорьев, И.А. Методы минимизации фазовых шумов в гибридном синтезаторе частот КУ-диапазона с режимом быстрой перестройки частоты / И. А. Григорьев // Радиотехника. – 2012. – №4. – С. 105-116.
4. Ромашов, В.В. Разработка схемотехнических моделей гибридных синтезаторов частот в программе Multisim / В.В. Ромашов, К.А. Якименко // Наука и образование в развитии промышленной, социальной и экономической сфер регионов России: VIII Всероссийские научные Зворыкинские чтения. Сб. тез. докладов. – Муром: ИПЦ МИ ВлГУ. – 2016. – С. 71–72.
5. Бельчиков, С. Фазовый шум: как спуститься ниже –120 дБн/Гц на отстройке 10 кГц в диапазоне частот до 14 ГГц, или борьба за децибелы / С. Бельчиков // Компоненты и технологии. – 2009. – №5, №6.
6. Кочемасов, В. Цифровые вычислительные синтезаторы - применение в системах синтеза частот и сигналов / В. Кочемасов, А. Голубков, Н. Егоров, А. Черкашин, А. Чугуй // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. – 2014. – №8.

