

Архитектура умножающих колец фазовой автоподстройки

Рассмотрена архитектура умножающих колец импульсно-фазовой автоподстройки частоты (ИФАП) и проведен сравнительный анализ умножающих колец ИФАП.

Ключевые слова: умножающие кольца импульсно-фазовой автоподстройки частоты (ИФАП)

Применение синтезированных генераторов или синтезаторов частот и многообразие их реализаций – структурных, схемотехнических и конструктивных – обусловлено различными факторами. Это и области применения таких систем, и различие задач, решаемых с их помощью, и различие требований к качественным характеристикам колебаний, синтезируемых на их выходах [1,2]. Существует множество реализаций импульсных (умножающих или синтезаторных) колец ИФАП для решения разных задач и учитывающих предельные возможности и доступность элементной базы [3]. Возможное «дерево реализаций» СВЧ синтезаторов, приведено на рис.1

Общая тенденция развития инфокоммуникационных технологий приводит к непрерывному возрастанию объемов информации и к разнообразию способов ее кодирования. Этому сопутствует ряд факторов. Первый из этих факторов приводит к постоянному увеличению скорости передачи информации в каналах связи, к расширению требуемой полосы частот информационных каналов, и, как следствие, к переносу информационных каналов в более высокочастотные области спектра – микроволновые и оптические.

Причиной второго фактора является желание и потребность в уплотнении информационных потоков в каналах связи. Поскольку пропускная способность радиотрактов принципиально ограничена физическими, техническими, организационными и юридическими причинами, необходимо увеличивать плотность информационных потоков в каналах, т.е. применять новые, более сложные и изощренные способы кодирования информации. Сказанное приводит к непрерывному ужесточению требований к качественным показателям систем формирования, передачи и обработки сигналов.

Следствием указанной тенденции является постоянное возрастание требований к формирующим трактам СВЧ радиопередающих устройств (к возбудителям передатчиков) и к гетеродинным трактам (синтезированным гетеродинам) радиоприемных устройств. Поскольку в обоих упомянутых случаях в качестве синтезированных генераторов используют кольца ИФАП, возрастают требования к точности установки частоты на их выходе, к уменьшению времени переключения при смене формируемых частот, к преобладанию фазы при смене выходных частот, к минимизации помеховых составляющих колебаний – шумовым и дискретным, формируемых на их выходе [4-6].

Заметим, что введение в цепь отрицательной обратной связи кольца фазовой автоподстройки частоты (ФАП) конечного автомата (КА), как правило, счетчика импульсов

(СИ) или накапливающего сумматора (*DDS*) превращает непрерывное аналоговое кольцо ФАП в импульсную систему автоматического регулирования – ИФАП.

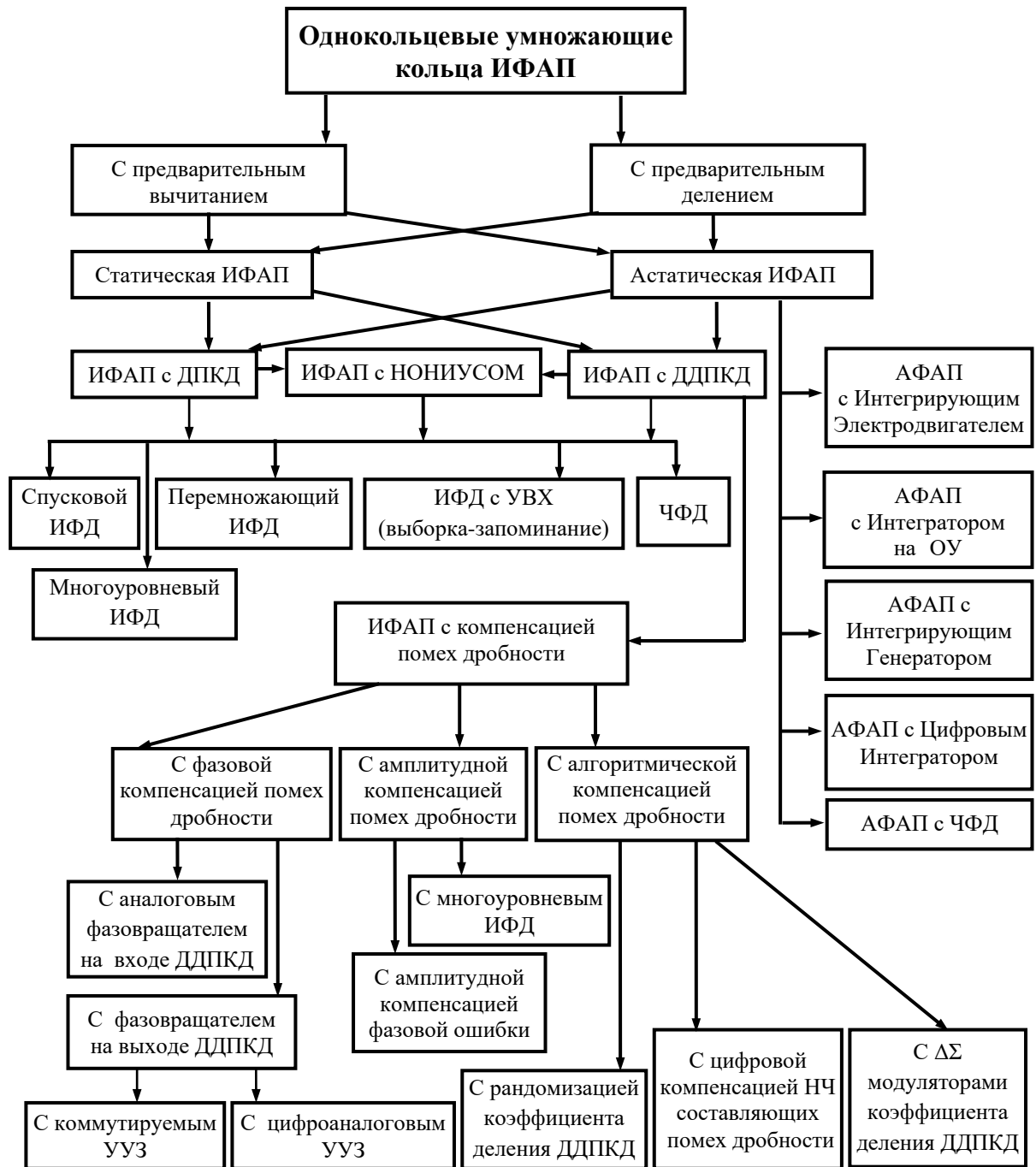


Рис. 1. Классификация однокольцевых цифровых синтезаторов частот на основе ИФАП

Это влечет за собой существенные последствия:

1. Кольцо ИФАП становится импульсной системой автоматического регулирования, сохраняя астатизм по частоте, но прекращает фильтрацию помех при отстройках от несущей, больших половины частоты сравнения $f_{0\text{нч}}/2$;
2. Уменьшается зона компенсации помех, воздействующих на перестраиваемый генератор (ПГ);

3. Возрастает подчеркивание низкочастотных помех, приходящих с опорным колебанием и попадающих в полосу прозрачности кольца $f_{\text{ФАП}}$;
4. Появляется возможность умножения частоты дискретизации $f_{\text{опнч}}$ в N раз.

В технике синтеза частот принято называть счетчик импульсов с управляемым коэффициентом пересчета делителем с переменным или дробно-переменным коэффициентом деления (соответственно, ДПКД или ДДПКД).

Таким образом, используя ДПКД или ДДПКД в цепи отрицательной обратной связи (в тракте приведения частоты $f_{\text{ВыхВЧ}}$ к частоте $f_{\text{опнч}}$), можно на выходе кольца ИФАП формировать сетку частот $f_{\text{ВыхВЧ}}$, когерентных частоте опорного колебания $f_{\text{опнч}}$ – рис.2.

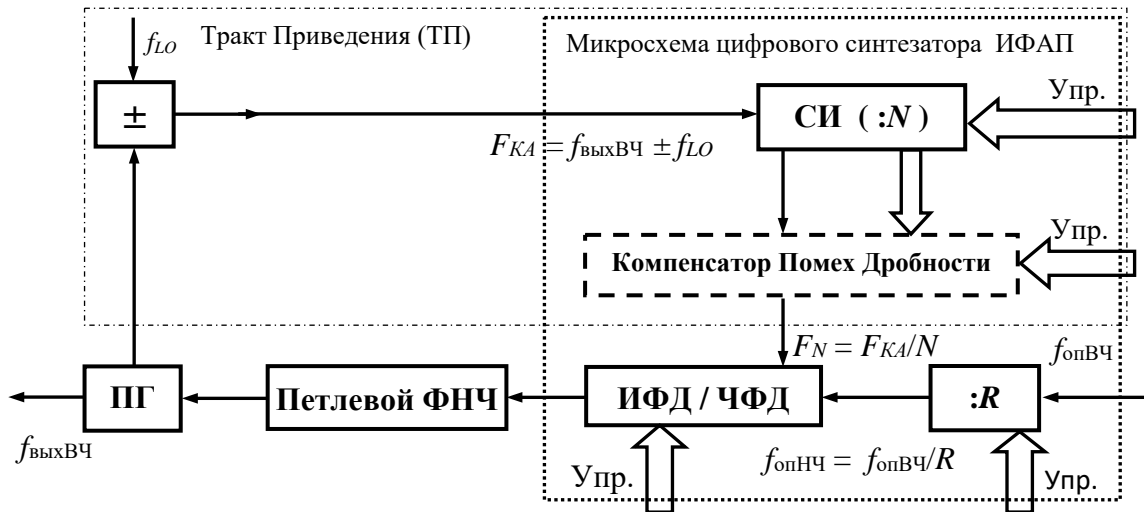


Рис. 2. Обобщенная структурная схема умножающего кольца импульсно-фазовой автоподстройки частоты (ИФАП)

Управляющий сигнал (напряжение или ток) на входе ПГ можно формировать последовательно или параллельно, в цифровой или аналоговой форме, а тракт приведения (ТП) выходного колебания ПГ $f_{\text{ВыхВЧ}}$ к частоте сравнения (дискретизации) $f_{\text{опнч}}$ может быть аналоговым, цифроаналоговым и чисто цифровым. Различия в построении ТП определяются множеством приводящих факторов. Это и быстродействие ДПКД (ДДПКД), и требуемый уровень побочных спектральных составляющих (ПСС) в спектре выходного колебания, и энергопотребление, и, наконец, опыт инженера.

В первом случае ТП реализуют в виде аналогового перемножителя – сумматора частот (смесителя). При этом коэффициент деления $N=1$ и кольцо ИФАП, строго говоря, синтезаторным не является. Иными словами, такое кольцо является вспомогательным. Его можно использовать для вложения сеток – мелкой сетки в крупную – в рамках структуры синтезатора, а также для переноса выходной частоты в требуемый диапазон. Действительно, $f_{\text{ВыхВЧ}} = f_{KA} \pm f_{\text{доп}} = f_{\text{опнч}} \times N \pm f_{\text{доп}}$. Если $F_{\text{доп}} > f_{KA}$, то на выходе кольца ИФАП наблюдают *инверсию* спектра.

Во втором случае ТП реализуют в виде КА. Кольцо ИФАП с цифровым ТП является синтезаторным и может перестраивать выходную частоту с требуемым шагом. КА может быть составным – в начале тракта быстродействующий СИ с небольшим постоянным коэффициентом деления (например, в M раз), а за ним основной КА с коэффициентом деления N . Тогда шаг сетки синтезируемых частот F_s увеличивается в M раз, а эквивалентный коэффициент деления $N_{\text{э}} = M \times N$. Подчеркнем, что такое решение вынужденное и связано с недостаточным быстродействием основного КА.

В третьем случае аналоговый смеситель предваряет КА. Цифроаналоговые ТП чаще всего строят в СВЧ диапазонах в тех случаях, когда быстродействие цифровой элементной базы (ДПКД, ДДПКД или *DDS*) недостаточно для приведения частоты ПГ $f_{\text{ВыхВЧ}}$ к частоте сравнения в кольце $f_{\text{ОпнЧ}}$ [1]. Кроме того, такое построение ТП позволяет уменьшить коэффициент умножения помех, приходящих с опорным колебанием.

Возможно и смешанное построение ТП, как показано на рис.3. Оно было предложено в 60-х годах прошлого века [7,8] и появилось вновь несколько лет назад [3].

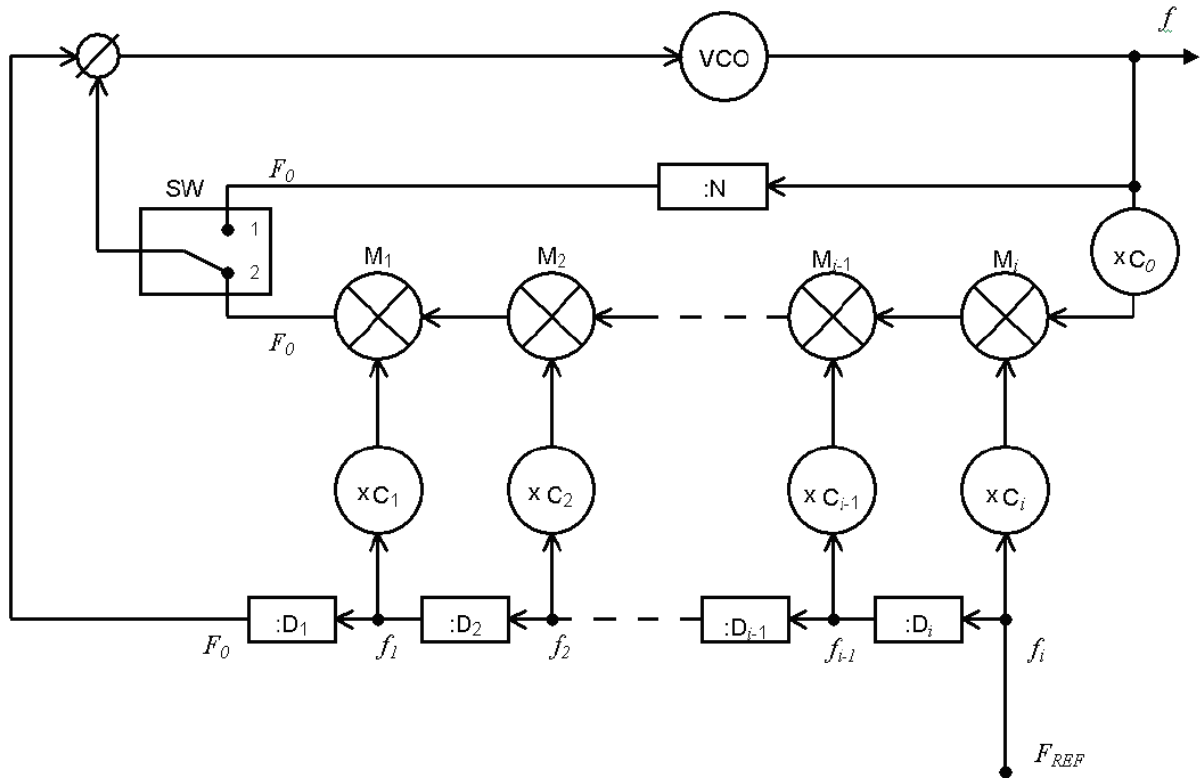


Рис. 3. Синтезаторное кольцо ИФАП со смешанным ТП

Также можно формировать частоту подставки внутри кольца с помощью нониусного тракта приведения – рис.4 [9-11].

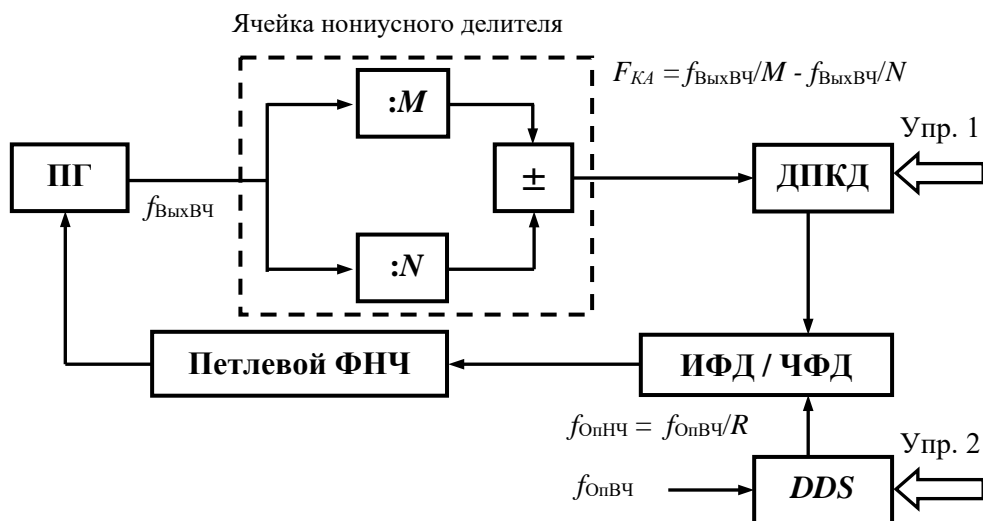


Рис. 4. Структура умножающего кольца ИФАП с нониусным ТП

В этом случае равномерную сетку частот получить затруднительно и поэтому кольца с нониусными ТП целесообразно использовать как умножительные с фиксированным значением коэффициента N . Главное в этой структуре – существенное уменьшение помех в спектре выходного колебания.

Кроме того, тракт управления ПГ можно сделать комбинированным – ввод в синхронизм возложить на частотно-фазовый детектор (или импульсно-фазовый детектор), а фильтрацию помех в статическом режиме – на аналоговый фазовый детектор – рис.5.

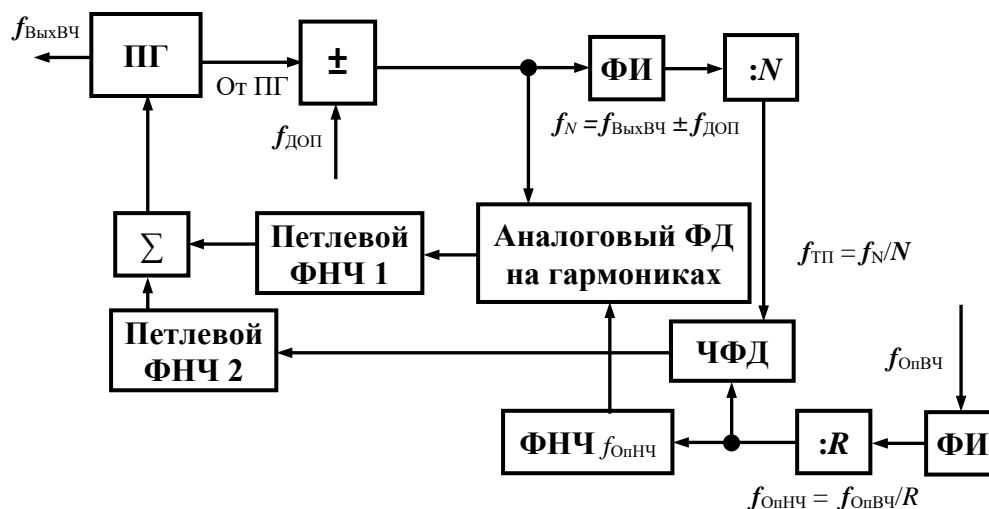


Рис. 5. Структура комбинированного умножающего кольца ФАП – ИФАП

Многообразие возможных решений построения умножающих колец ИФАП позволяет реализовывать требуемые характеристики при разумных затратах.

Библиографический список

1. Шапиро, Д. Н., Паин А. А. Основы теории синтеза частот. – М. : Радио и связь, 1981. – 264 с.
2. Никитин Ю.А. Схемотехника современных микроволновых синтезаторов частот. Часть 2. Активный синтез частот: учебное пособие / СПбГУТ. – СПб., 2015. 95с.
3. Chenakin A. Frequency Synthesizers: Concept to Product. – Norwood, MA: Artech House, 2010
4. Леонов Г.А., Селеджи С.М. Системы фазовой синхронизации в аналоговой и цифровой схемотехнике. СПб.: Невский Диалект, 2002. – 112с.
5. Кузменков А.С., Поляков А.Е., Стрыгин Л.В. Обзорный анализ современных архитектур синтезаторов частот с ФАПЧ // Труды МФТИ. Радиотехника и телекоммуникации. – 2013. – №3. – С. 121 – 133.
6. Шахгильдян В. В., Пестряков А. В. Тенденции развития техники синтеза частот для телекоммуникационных систем и устройств // Электросвязь, 2003. – № 11. – С. 74–78.
7. Манассевич В. Синтезаторы частот. Теория и проектирование. – М.: Связь, 1979 – 384 с.
8. Галин, А. С. Диапазонно-кварцевая стабилизация СВЧ. – М. : Связь, 1976. – 256 с.
9. Sadowski, B. A Self-offset Phase-locked Loop / B. Sadowski // [Microwave Journal. – 2008. – Vol. 51. – № 4. – P. 116–124.](#)
10. Никитин, Ю. А. Анализ целочисленного нониусного тракта приведения умножающего кольца импульсно-фазовой автоподстройки частоты // Известия вузов России. Серия Радиоэлектроника. – 2011. – № 6. – С. 58–65.
11. Никитин, Ю. А. Анализ дробного нониусного тракта приведения умножающего кольца импульсно-фазовой автоподстройки частоты // Известия вузов России. Серия Радиоэлектроника. – 2012. – № 1. С. 31–37.