

Мордовский государственный университет им. Н.П.Огарева

Институт физики и химии

Кафедра «Радиотехники»

Бардин В.М.

**Радиопередающие устройства**

**Умножители и синтезаторы частоты**

Саранск 2006

Печатается на основании решения учебно-методической комиссии Института  
физики и химии

УДК 621.396.

### **Радиопередающие устройства**

Умножители и синтезаторы частоты(методические разработки).

Составитель: Бардин В.М., к.т.н., профессор кафедры Радиотехники.

В методической разработке изучаются общие особенности построения умножителей и синтезаторов частоты радиопередатчиков. Даны примеры конкретных схемотехнических решений.

Научный редактор- Логунов М.В., докт. физ.мат. наук, зав. кафедрой Радиотехники.

Рецензент- Беспалов Н.Н., к.т.н., доц., зав. кафедры «Автоматики» факультета «Электронной техники».

## **5. Умножители и синтезаторы частоты.**

Как стало ясно из предыдущего раздела получение исходных электрических колебаний обеспечивается автогенератором, к которому, как правило, предъявляются очень жесткие требования по стабильности частоты колебаний. В большинстве случаев требуемая стабильность обеспечивается кварцевыми резонаторами. По чисто конструктивным и технологическим ограничениям частота колебаний первой гармоники кварцевого резонатора не может быть больше 20-30 МГц. Для получения более высоких рабочих частот требуется переходить на более высокие гармоники кварца, что не всегда целесообразно, либо использовать другие способы получения более высоких частот колебаний, путем соответствующего преобразования частоты первой гармоники. Для этих целей используются умножители и синтезаторы частоты.

### **5.1. Умножители частоты.**

Промежуточный каскад, частота колебаний на выходе которого больше частоты колебаний на входе в целое число раз, называется умножителем частоты.

Применение умножителей частоты в передатчике дает возможность:

- понизить частоту задающего генератора при сохранении высокой частоты на выходе передатчика. Это позволяет обеспечивать высокую стабильность частоты передатчиков, работающих в диапазоне сотен и тысяч МГц;
- расширить в  $n$  раз диапазон рабочих частот передатчика без изменения частоты опорного генератора;
- снизить опасность самовозбуждения в передатчике, так как при большой разнице в частотах разных каскадов паразитная межкаскадная обратная связь менее опасна;

- увеличить девиацию частоты или фазы при частотной или фазовой модуляции;

- получить исходный ряд стабилизированных частот для построения синтезаторов частот широкодиапазонных передатчиков.

Получить частоты кратные частоте исходного гармонического колебания можно только в нелинейных преобразователях.

Известно, что любая периодическая последовательность сигналов может быть в соответствии с теорией Фурье представлена в виде суммы постоянной и ряда гармонических составляющих

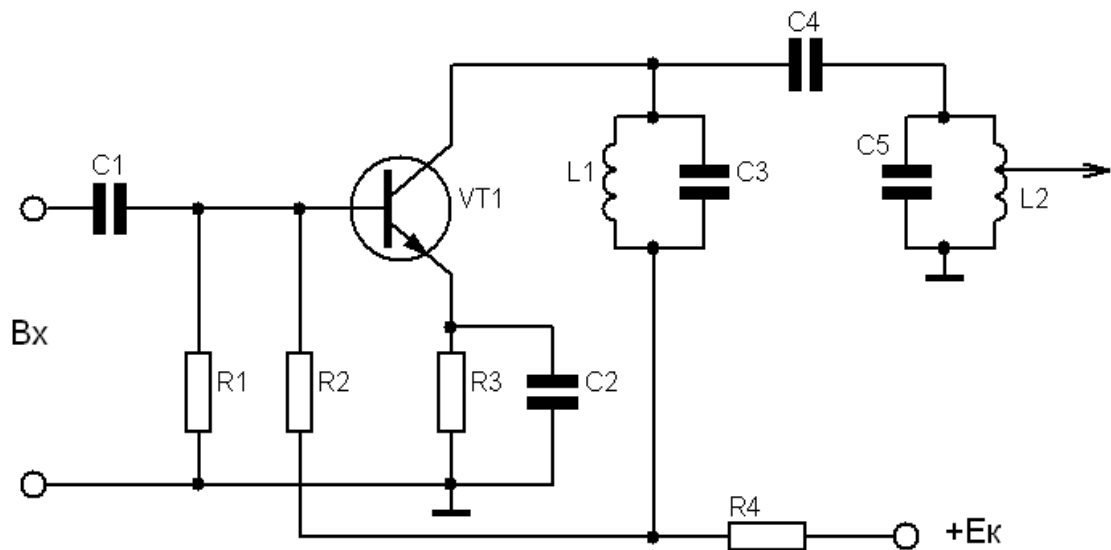
$$i = I_0 + I_m \alpha_1 \cos \omega t + I_m \alpha_2 \cos 2\omega t + \dots + I_m \alpha_n \cos n\omega t, \quad (5.1)$$

где  $I_0$  - постоянная составляющая тока в цепи,

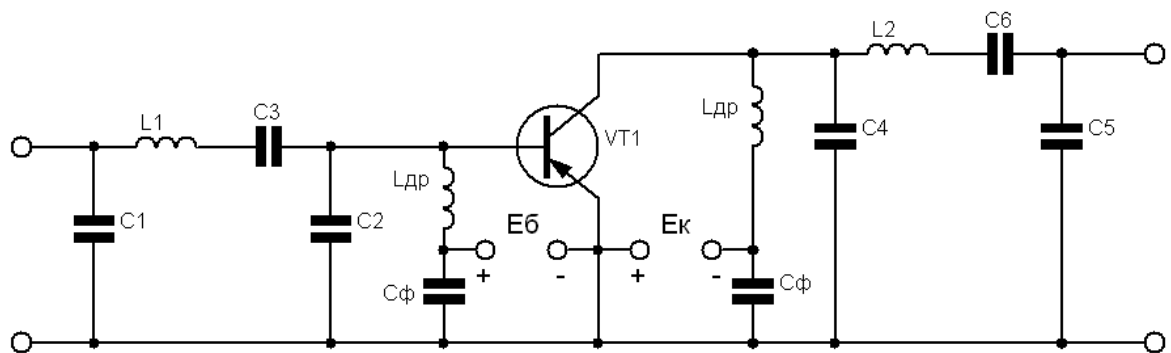
$I_m$  - амплитуда импульса тока,

$\alpha_i$  - коэффициенты разложения (даются в справочной литературе)

Следовательно, для получения кратной гармоники исходного гармонического (синусоидального) колебания надо вначале это колебание как-то «исказить», а затем из полученного спектра с помощью фильтра выделить требуемую составляющую. В качестве нелинейных преобразователей могут быть использованы транзисторы, диоды, варикапы и другие элементы, обладающие нелинейными характеристиками. На рис. 35 приведены две схемы умножителей, выполненных на транзисторах



(a)



(б)

Рис.35. Схемы транзисторных умножителей частоты: а) с полосовыми фильтрами на параллельных контурах; б) с комбинированным П-образным фильтром.

Схема рис.35 «а» напоминает обычный усилитель высокой частоты. Отличие состоит в том, что с помощью делителя  $R_1, R_2$  транзистор переводится в режим работы класса «В» или «С». Ток в цепи коллектора транзисто-

ра (при синусоидальном сигнале на входе) имеет вид периодической последовательности импульсов и, следовательно, содержит гармоники более высокого порядка, чем первая. Выделение нужной гармоники осуществляется с помощью двухконтурного фильтра. Фильтрующие цепи в схеме рис. 35 «б» выполнены в виде П-образных цепочек. Фильтр  $C_1, L_2, C_2$  выделяет первую гармонику входного колебания, а фильтр  $C_4, L_2, C_5$  - вторую или третью. Относительно невысокая кратность гармоник выходного тока объясняется тем, что амплитуда гармоник быстро падает с увеличением номера гармоники. Поэтому умножители с коэффициентом умножения больше 3-х применяются редко. Если требуется произвести умножение в большее число раз, применяется каскадное включение умножителей. Но после каждого каскада умножения необходимо включать усилитель для восстановления амплитуды колебаний.

Широкое применение в радиотехнических устройствах находят умножители частоты на варикапах. Варикапом называется полупроводниковый диод, емкость которого изменяется при изменении величины приложенного к нему напряжения (рис36).

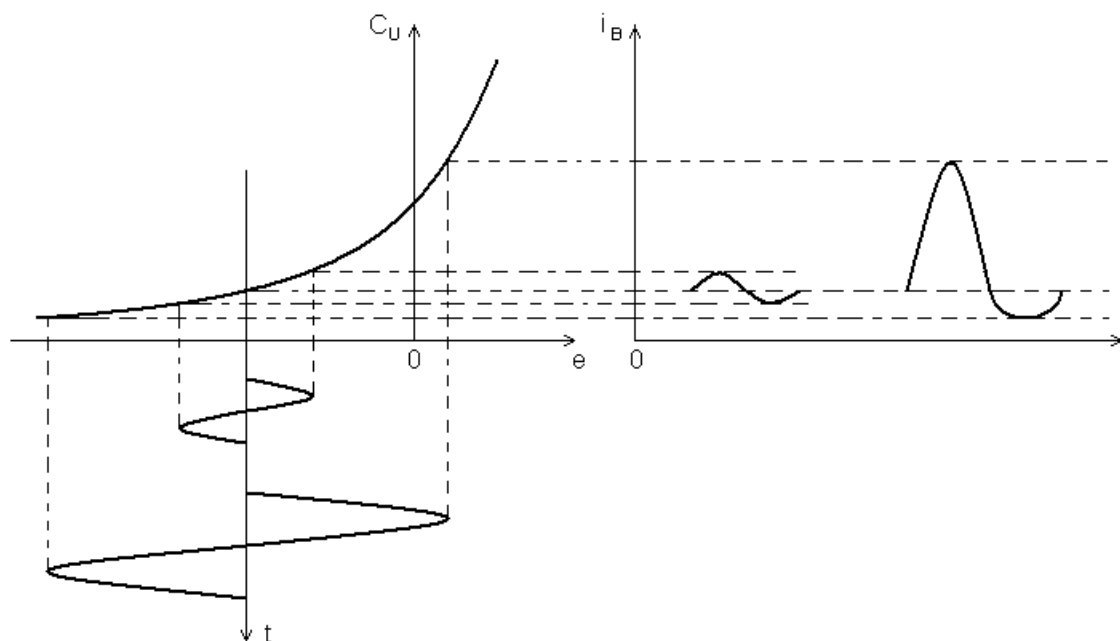


Рис.36. Характеристика варикапа и форма протекающих через него токов.

Внутреннее сопротивление варикапа имеет, в основном, реактивный характер, поэтому потери мощности в нем незначительны, а коэффициент передачи по мощности достаточно велик (0,75 в удвоителе и 0,4 в утроителе). Варикапы имеют небольшую мощность и применяются обычно для удвоения и утроения частоты. При необходимости умножения частоты на больших мощностях применяют более мощные диоды - варакторы.

Современные мощные высокочастотные транзисторы работают на частотах только до 10 ГГц. Если требуется обеспечить работу передатчика на более высоких частотах, то вначале обеспечивают избыточную мощность колебаний на относительно низкой частоте, а затем на выходе включают варакторный умножитель.

Варикап в схеме умножителя может быть включен параллельно или последовательно (рис.37).

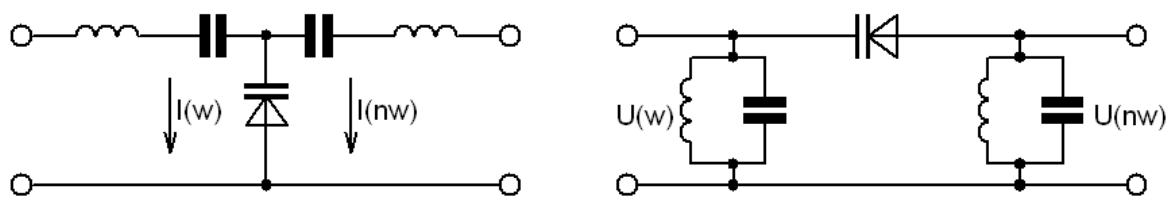


Рис.37. Схемы умножителей на варикапе.

В реальных умножителях приведенные на рис.37 схемы дополняются цепями питания, подстройки, согласования. Одна из таких схем приведена на рис.38.

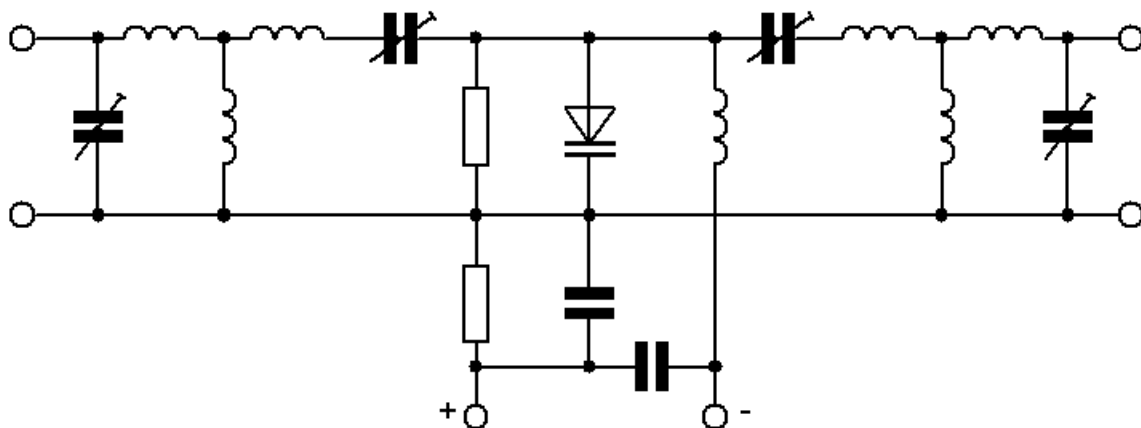


Рис. 38. Схема умножителя с цепями питания и настройки.

## 5.2. Синтезаторы частот.

В передатчиках, работающих на небольшом количестве частот (4-8 частот), можно использовать несколько кварцевых автогенераторов.

Когда количество частот составляет десятки и сотни такое решение становится невыгодным. Поскольку получить высокостабильные колебания в широком диапазоне частот при непрерывной шкале очень сложно, возбуждители передатчиков обычно строятся с дискретной сеткой частот. Шаг сетки может быть достаточно малым, например, 10 или 100 Гц. Сетку частот получают методом синтеза. Синтезом частот называют преобразование исходных колебаний стабильной частоты с помощью различных математических операций: суммирования, вычитания, умножения, деления. Устройства, формирующие такую сетку частот, называют синтезаторами. По способу формирования сетки частот синтезаторы делят на два класса:

- с прямым синтезом,
- с косвенным синтезом.

При прямом синтезе выходной сигнал требуемой частоты формируется путем многократного умножения, деления, сложения, вычитания частоты



эталонного генератора. Заданную составляющую колебаний отделяют от остальных узкополосным перестраиваемым фильтром. При косвенном синтезе выходной сигнал формируется в перестраиваемом по частоте автогенераторе, частота которого непрерывно сравнивается с эталонной и подстраивается с помощью системы автоматической подстройки частоты (АПЧ).

Структурная схема синтезатора первого типа приведена на рис.39.

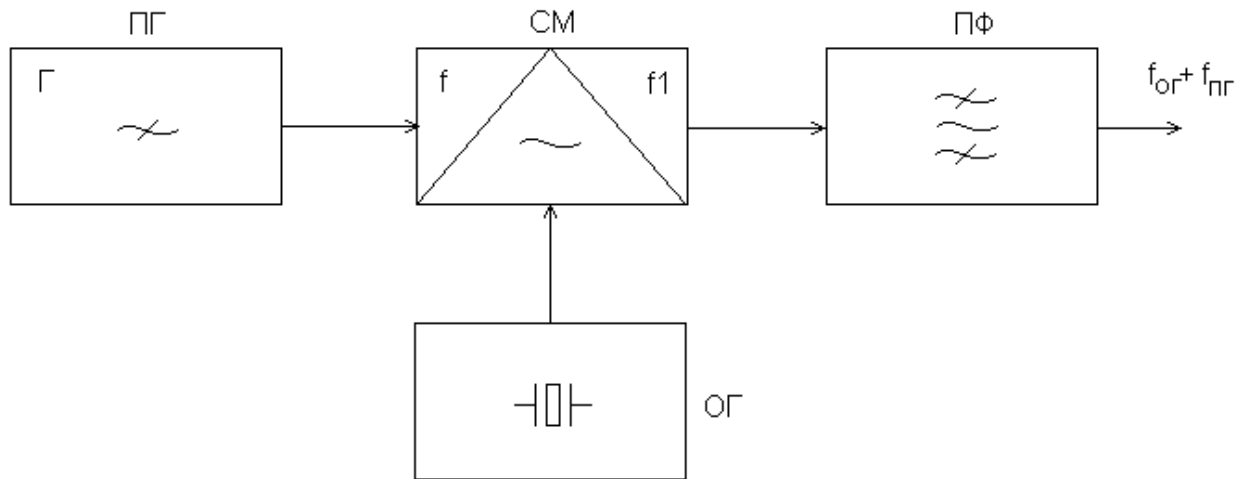


Рис.39. Структурная схема гетеродинного синтезатора.

Каждая рабочая частота в таком синтезаторе создается суммированием (или вычитанием) частот колебаний двух генераторов – опорного (ОГ) и перестраиваемого (ПГ):

$$f_{\text{Вых}} = f_{\text{ОГ}} \pm f_{\text{ПГ}} \quad (5.2)$$

Требуемая частота выделяется узкополосным фильтром. Если  $f_{\text{ОГ}} \gg f_{\text{ПГ}}$ , то стабильность частоты выделенного колебания определяется, в основном, стабильностью частоты опорного генератора. Число генерируемых частот можно расширить, если вместо ОГ использовать генератор гармоник (ГГ) – рис.40.

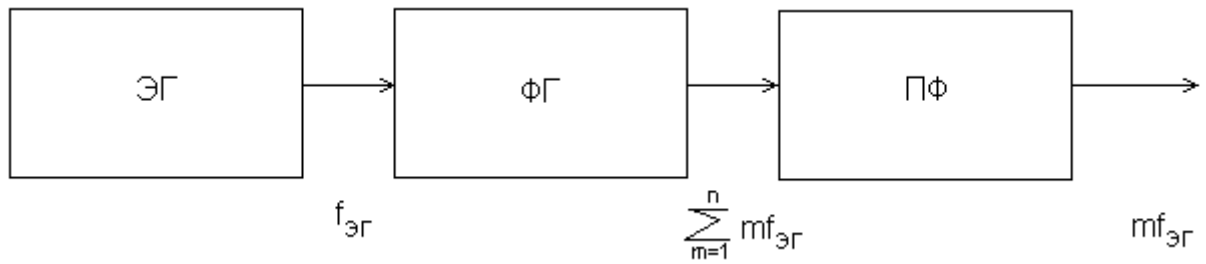


Рис. 40. Структурная схема генератора гармоник.

ЭГ – эталонный генератор,

ФГ – формирователь гармоник,

ПФ – полосовой фильтр.

Генератор гармоник по сути является умножителем частоты. Степень подавления нежелательных гармоник здесь целиком определяется полосовым фильтром. При большом числе рабочих частот этот фильтр должен быть перестраиваемым.

Лучшее ослабление побочных составляющих можно получить компенсационным методом с двойным преобразованием частоты (рис.41).

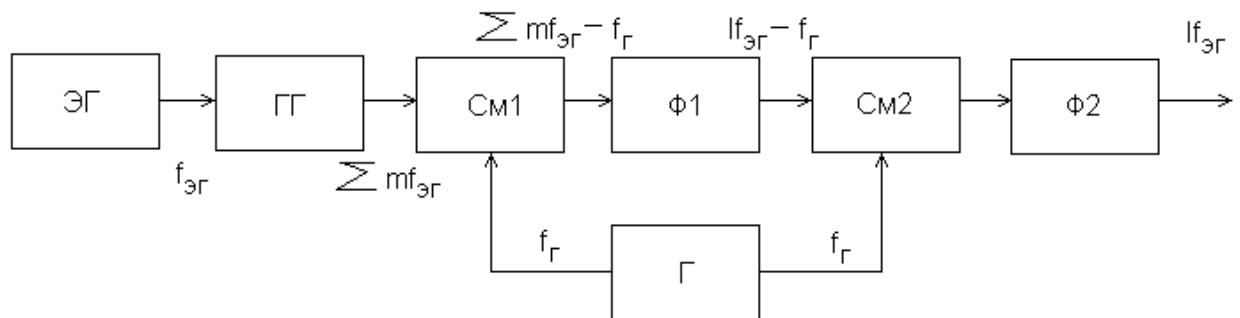


Рис. 41. Синтезатор комбинационного типа.

В первом смесителе СМ1 частоты всех гармоник, сформированных на выходе ГГ, понижаются на частоту  $f_{Г}$  вспомогательного генератора Г.

Узкополосный фильтр Ф1 настраивается на одну из гармонических составляющих, например,  $l f_{Г} - f_{Г}$ . После второго смесителя и фильтра Ф2 получаем требуемую частоту  $l f_{Г}$ .

Структурная схема синтезатора второго типа приведена на рис. 42.

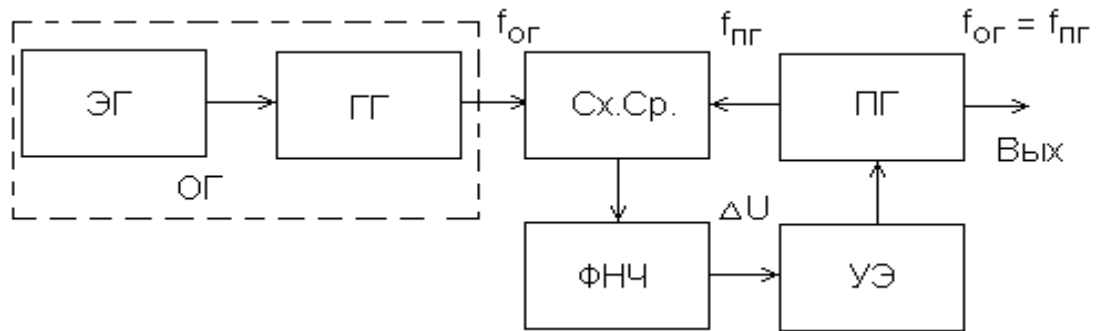


Рис. 42. Функциональная схема синтезатора, построенного по принципу косвенного синтеза.

Схема содержит опорный генератор (ОГ), подстраиваемый по частоте автогенератор (ПГ), и цепь автоподстройки частоты, состоящую из схемы сравнения (сх.ср.), фильтра нижних частот (ФНЧ) и управляющего элемента (УЭ). Если частота  $f_{пг}$  отличается от частоты  $f_{ог}$ , то на выходе схемы сравнения появляется напряжение, величина которого определяется разностью этих частот (или фаз). Напряжение со схемы сравнения через фильтр нижних частот поступает на управляющий элемент, который изменяет частоту ПГ, приближая ее к частоте ОГ. То есть, в данном случае реализована система автоподстройки частоты (ЧАП или ФАПЧ). Для того, чтобы на выходе синтезатора получить сетку дискретных частот в схему вводят дополнительные элементы, например, делитель частоты с переменным коэффициентом деления (ДПКД) (рис.43).

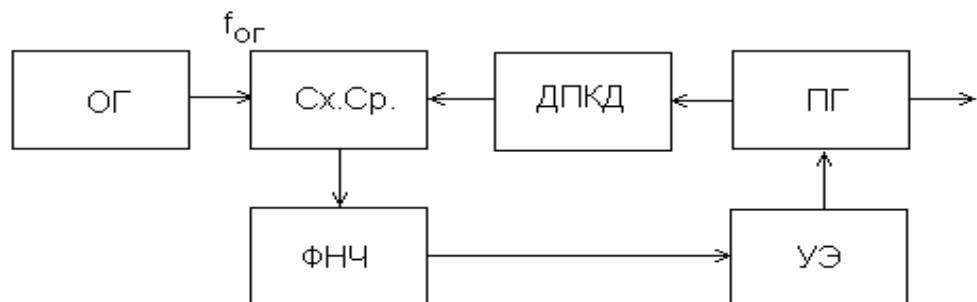


Рис.43. Синтезатор частоты с ДПКД.

Меняя коэффициент деления в ДПКД, можно дискретно менять частоту колебаний на выходе ПГ. При этом шаг перестройки равен  $f_0$ . В качестве ДПКД используются счетчики импульсов на цифровых микросхемах. Цифровые ДПКД устойчиво работают на частотах до 200-300 МГц. Если рабочая частота ПГ должна быть выше 300 МГц, то для снижения частоты выходных сигналов ДПКД используется понижение частоты вычитанием (рис.44а) или делением (рис.44б).

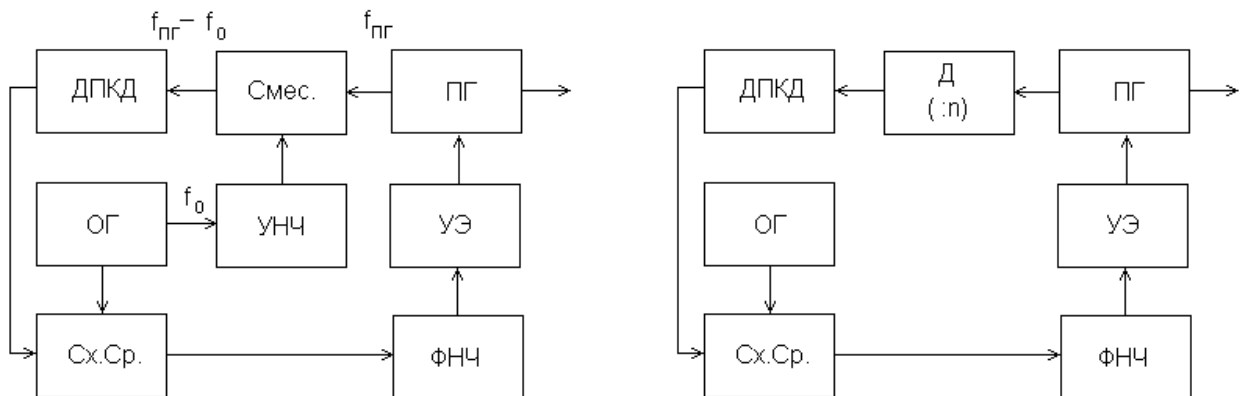


Рис.44. Синтезаторы частоты с понижением (а) и делением (б) частоты ПГ.

Цифровые схемы в подобных синтезаторах требуют преобразования гармонических (синусоидальных) колебаний ОГ и ПГ в импульсные сигналы. Это приводит к некоторым сложностям, поскольку фронты импульсов создают дополнительные гармоники и вносят фазовые сдвиги (создают фазовый шум) в кольцо автоподстройки. Для формирования большого числа частот надо уменьшать шаг сетки и полосу пропускания ФНЧ, а это приводит к большой инерционности системы.

### **Контрольные вопросы.**

1. Каким образом с помощью транзисторного усилителя можно получить гармоники кратные частоте входного гармонического колебания?
2. Можно ли создать генератор гармоник на диоде?
3. Поясните, каким образом с помощью схем рис.37 может быть реализован умножитель частоты на три.
4. На выходе синтезатора частоты, приведенного на рис.43 необходимо получить частоту равную 30 МГц, а опорный генератор настроен на частоту 5 МГц. Какой коэффициент деления должен иметь ДПКД?
5. В цифровых синтезаторах гармонический сигнал генератора с перестройкой частоты преобразуется в импульсную форму. Каким образом это можно выполнить?