

**АВТОМАТИКА, ТЕЛЕМЕХАНИКА, СВЯЗЬ, ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА,  
ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ**

УДК 621.3.04.77(031)

Достярова Алия Мухамедияровна – к.т.н., доцент (Алматы, КазАТК)

Агеев Александр Сергеевич – магистрант (Алматы, КазАТК)

**СМЕСИТЕЛИ ЧАСТОТ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В СОВРЕМЕННЫХ  
РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВАХ**

Во многих радиотехнических приложениях используется функциональное преобразование сигналов:

1. В радиопередающих устройствах производится угловая модуляция несущей и преобразование частоты вверх;
2. В радиоприемниках – преобразование спектра частот принятого сигнала вниз и демодуляция;
3. Нерезонансное умножение или деление частоты используется для упрощения технической реализации устройств формирования и обработки сигналов.

Такие операции выполняются нелинейным узлом – смесителем частот.

Рассмотрим подробнее применение смесителей в современной радиоэлектронной аппаратуре.

Преобразователь частоты в радиоприёмниках амплитудно-модулированных (АМ) сигналов. Во всех промышленно выпускаемых радиоприёмниках используют супергетеродинную схему радиотракта, показанную на рисунке 1.

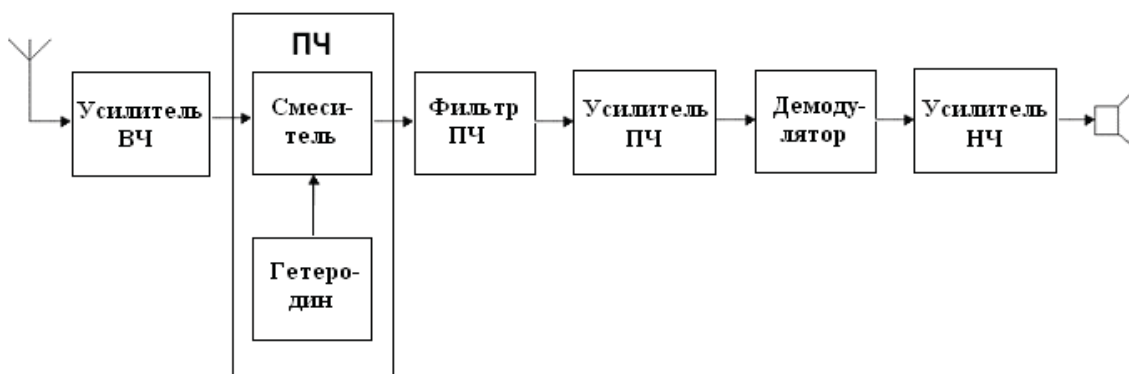


Рисунок 1 – Супергетеродинная схема радиоприёмного тракта

Главной ее особенностью является преобразователь частоты, установленный на входе. Элементы настройки приемника есть только в преобразователе. Его задача - привести все частоты принимаемых радиостанций к единой, стандартизованной промежуточной частоте (ПЧ). В схеме на рисунке 1 указаны усилитель высокой частоты (ВЧ) на входе приёмного устройства и усилитель низкой частоты (НЧ), предшествующий звуковыводящему устройству, например громкоговорителю. Для АМ приемников значение ПЧ выбрано равным 465 кГц в отечественных и 455 кГц в импортных приемниках. ПЧ лежит как раз в неиспользуемом для радиовещания промежутке между диапазонами длинных волн (ДВ) и средних волн (СВ) [1].

Для преобразования частоты нужен гетеродин - встроенный в приемник маломощный генератор, частота которого отличается на значение ПЧ от принимаемой,

обычно в большую сторону. Другой элемент преобразователя - смеситель, на который поступают принимаемый сигнал и сигнал местного гетеродина. Преобразование частот происходит по закону:

$$ПЧ = f_{гетеродина} - f_{сигнала} \quad (1)$$

В самых простых приемниках функции смесителя и гетеродина объединяют, и весь преобразователь часто выполняют на одном транзисторе. В приемниках же с высокими параметрами обязательно используют отдельный гетеродин.

Разновидностью супергетеродинов является радиоприемник прямого преобразования. В нем частота гетеродина равна частоте принимаемого сигнала и, соответственно, промежуточная частота равна нулю. В этом случае демодулятор не нужен, сигнал ПЧ является собственно сигналом звуковых частот. Приемники прямого преобразования имеют ряд особенностей, которые предопределили их распространение в очень дешевой и компактной аппаратуре.

Модулятор/демодулятор бинарного фазоманипулированного сигнала (BPSK, рисунок 2).

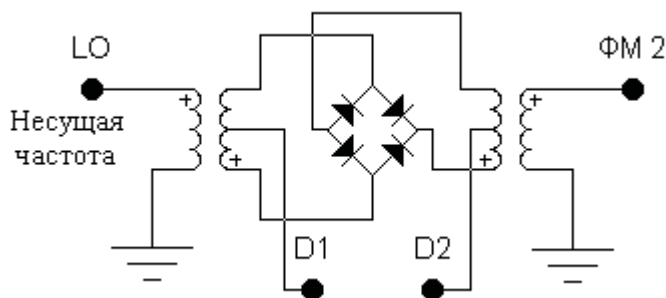


Рисунок 2 – Модулятор/демодулятор бинарного фазоманипулированного (ФМ) сигнала

В данной схеме на LO-вход подается гармоническое колебание несущей частоты, на входы D1 и D2 – модулирующие информационные сигналы. В схеме происходит двустороннее расширение спектра (Double Sideband – DSB) [2].

Смеситель с подавлением зеркального канала (Image Reject Mixer – IR) для преобразования частоты вниз (рисунок 3).

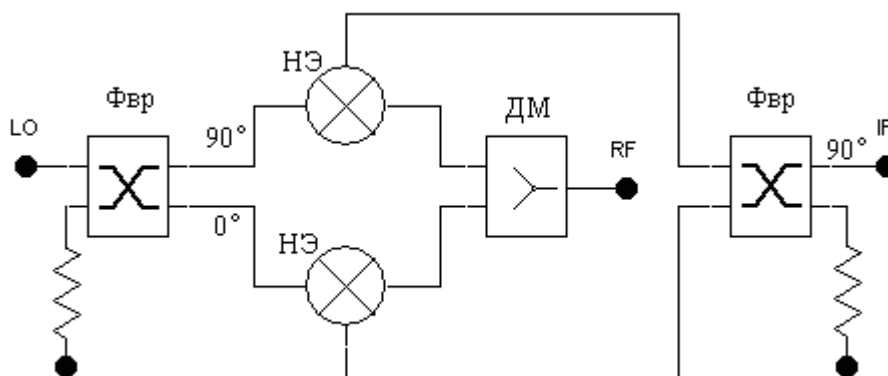


Рисунок 3 – Смеситель с подавлением зеркального канала

Мощность продуктов первого порядка в зеркальной полосе, а также удвоение полезной мощности в выделяемой полосе обеспечивает применение двух идентичных

балансных нелинейных элементов (НЭ). Высокочастотные сигналы поступают на них синфазно через делитель мощности ДМ, а опорные – со сдвигом на  $90^\circ$  через гибридный (Quadrature Hybrid) фазовращатель ( $\Phi_{вр}$ ). Выбором одного из выходов выходного  $\Phi_{вр}$  задается полезная полоса сигнала IF. Полосовая фильтрация в схеме почти не требуется. Иногда для подавления зеркального канала используют четыре опорных колебания с частотой  $f_{LO}$  одинаковой амплитуды, сдвинутые по фазе на  $90, 180, 270$  и  $360^\circ$ , соответственно.

Квадратурный модулятор/демодулятор (Quadrature or inphase/quadrature – I/Q, рисунок 4).

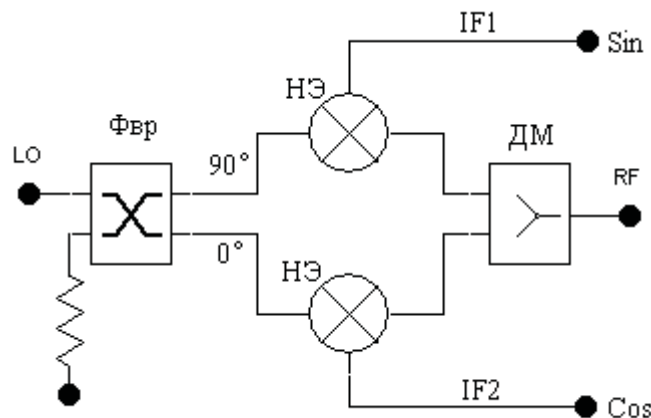


Рисунок 4 – Квадратурный модулятор/демодулятор

Если информационные сигналы I и Q – входные, то на выходе RF-порта формируется сигнал ФМ-4 (QPSK). Если же на входной RF-порт подается фазоманипулированный сигнал, то схема работает как квадратурный демодулятор, выходные сигналы I и Q снимаются с IF1- и IF2-портов. Такая же схема может быть использована для однополосного преобразователя частоты (Single Sideband – SSB) без применения полосового фильтра. Это особенно ценно, когда основная и зеркальная полосы близки. Например, при прямой модуляции видеосигналом от постоянного тока до некоторой граничной частоты [3].

Фазовый дискриминатор (Phase Comparator) организуется, если на LO- и RF-порты поступают сигналы одинаковых частот с подлежащим измерению сдвигом по фазе, а IF-выход имеет передачу по постоянному току. Его дискриминационная характеристика близка к косинусоидальной  $e_{\phi\delta}(\varphi) \approx E \cos\varphi$ , где множитель  $E$  пропорционален амплитуде сигнала на RF-входе. Такой дискриминатор способен работать в широком диапазоне сверхвысокочастотных (СВЧ) сигналов.

Частотный дискриминатор (ЧД, рисунок 5).

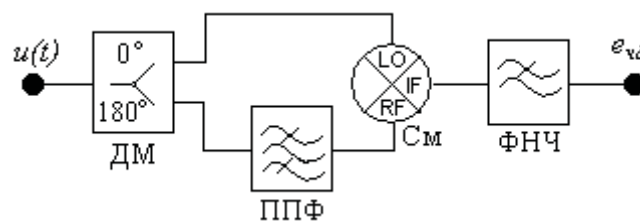


Рисунок 5 – Частотный дискриминатор

На LO-вход поступает входной сигнал  $u(t)$ , а на RF-вход – выходной сигнал полоснопропускающего фильтра (ППФ), возбуждаемого копией  $u(t)$ . С выхода фильтра нижних частот (ФНЧ) снимается напряжение  $e_{чд}$ , пропорциональное отклонению частоты  $f - f_0$  от заданного значения  $e_{чд} \approx E \cdot S_{чд}(f - f_0)$ , где  $S_{чд}$  – крутизна дискриминатора. Такой частотный дискриминатор отличается простотой и высоким быстродействием.

Широкополосный умножитель частоты (Fullband Frequency Multiplier – MF, рисунок 6), реализуемый при последовательном включении инвертора-разветвителя (ИР), НЕ (смесителей с параллельным включением RF и LO входов), сумматора С и промежуточного полосового фильтра ППФ.

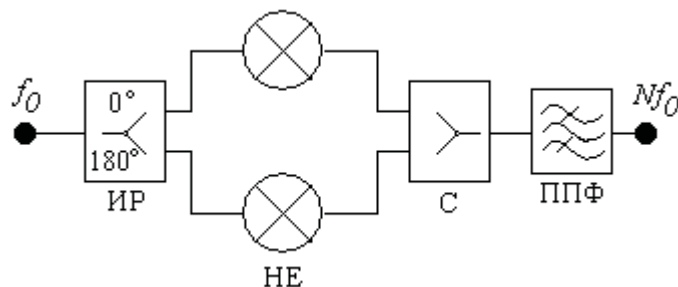


Рисунок 6 – Умножитель/делитель частоты с компенсацией гармоник

Если на входе ППФ сигналы от НЕ складываются синфазно, то за счет балансировки плеч умножителя происходит компенсация нечетных и сложение мощности четных гармоник частоты входного сигнала. При этом узел становится удвоителем (Doubler) или учетверителем (Quadrupler) частоты. В утроителе (Tripler) и упятерителе (Quintupler) частоты сумматор выполняется с инвертированием входных сигналов, поэтому мощности нечетных гармоник складываются, а четных – компенсируются. Выходной фильтр ППФ подавляет остаточную мощность мешающих гармоник частоты входного сигнала.

При построении умножителей частоты высокой кратности дополнительно используют широкополосные маломощные усилители входного и выходного сигналов и входной фильтр нижних частот СВЧ [4].

Делитель частоты (Frequency Divider) входного сигнала в два раза (рисунок 6), образуется, если НЕ выполнены в виде варикапов (варакторов) с запертым рп-переходом и с нелинейной вольт-фарадной характеристикой. Эффект параметрического деления частоты в совокупности с ППФ на входе и фильтр нижних частот ФНЧ на выходе позволяет получить высокий коэффициент передачи по мощности. В диапазоне входных частот менее 1 ГГц возможно применение счетчиковых делителей частоты: в таких узлах коэффициент деления частоты устанавливается произвольным с помощью внешних переключателей или загрузкой управляющего кода.

**Вывод.** Несмотря на непрерывное повышение научно-технического потенциала современной радиоэлектронной промышленной сферы, смесители частот по-прежнему сохраняют за собой право называться одним из основных функциональных узлов радиотехнических и электронных устройств как бытового назначения, так и в электронике специализированного оборудования.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Головин О.В. Радиоприёмные устройства: Учебник для техникумов. – Москва: Горячая линия – Телеком, 2004. – 384 с.
2. Артеменко В. Простой SSB-мини-трансивер на 160м // Радиолобитель, 1994. – № 1. – С. 45-46.
3. Погосов А. Модуляторы и детекторы на полевых транзисторах // Радио, 1981. – № 10. – С. 19.
4. Радиоприёмные устройства /Под ред. Л.Г. Барулина. – Москва: Радио и связь, 1984. – 272 с.