

Приём и обработка СИГНАЛОВ

Лекции для специальности:
162107.65 - «Техническая эксплуатация
радиооборудования»
2011 год

Содержание

1. Классификация радиоприемных устройств (РПУ)
2. Общие сведения о принципах работы РПУ
3. Функциональные схемы РПУ
4. Супергетеродинный приемник
5. Основные показатели РПУ
6. Радиоприемники непрерывных сигналов
7. Прием однополосных сигналов
8. Приемники частотно-модулированных сигналов
9. Радиоприемники дискретных сигналов
10. Радиотелеграфные приемники
11. Импульсные приемники
12. Радиовещательные приемники
13. Профессиональные радиоприемные устройства декаметровых волн
14. Радиолокационные приемники
15. РПУ систем мобильной связи

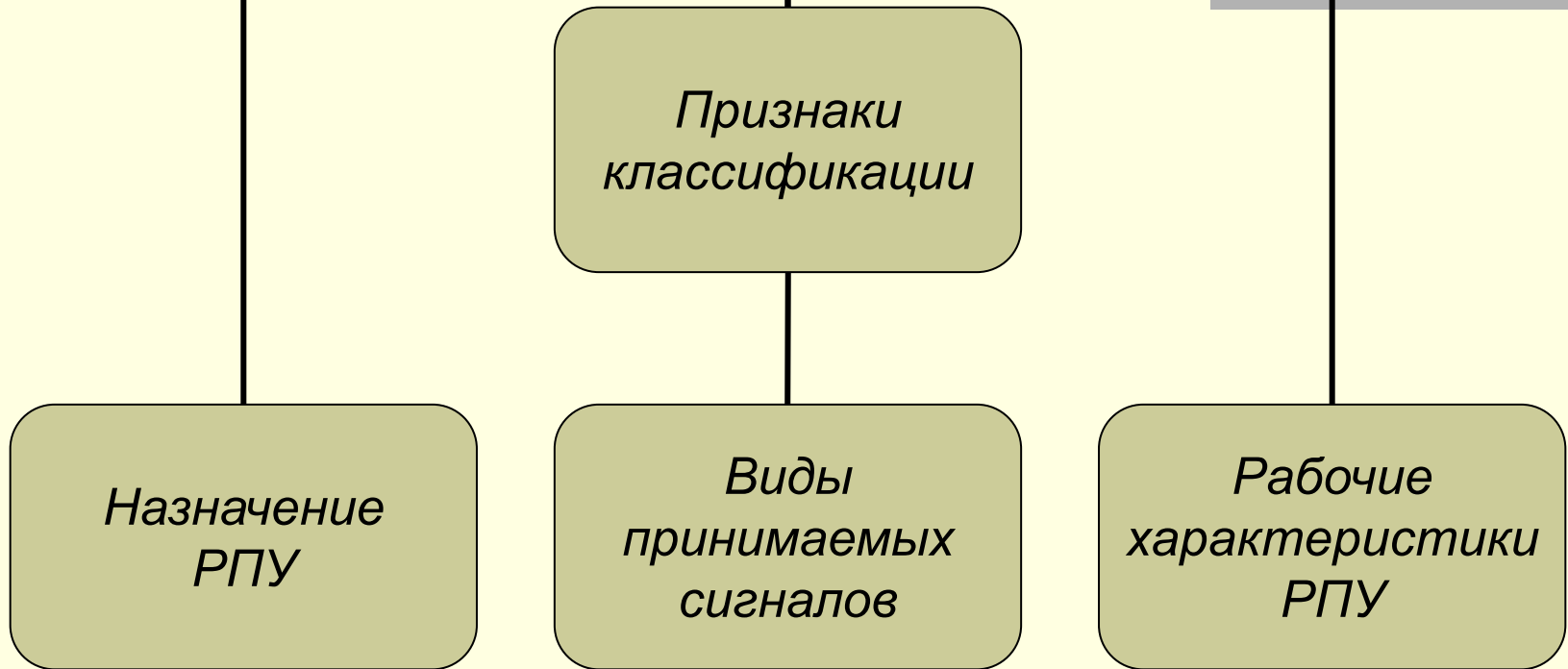
Содержание

16. Входные цепи РПУ
17. Усилители радиочастоты
18. Усилители промежуточной частоты (УПЧ)
19. Преобразователи частоты (ПРЧ)
 1. Диодный преобразователь частоты
 2. Балансные преобразователи частоты
 3. Кольцевые ПРЧ
 4. Транзисторные преобразователи частоты (ТПЧ)
20. Детекторы
 1. Частотные
 2. Фазовые детекторы (ФД)
21. Автоматические системы регулирования в РПУ
 1. Системы автоматической регулировки усиления (АРУ)
 2. Автоматическая подстройка частоты (АПЧ)
 1. Принцип действия и виды систем АПЧ

Содержание

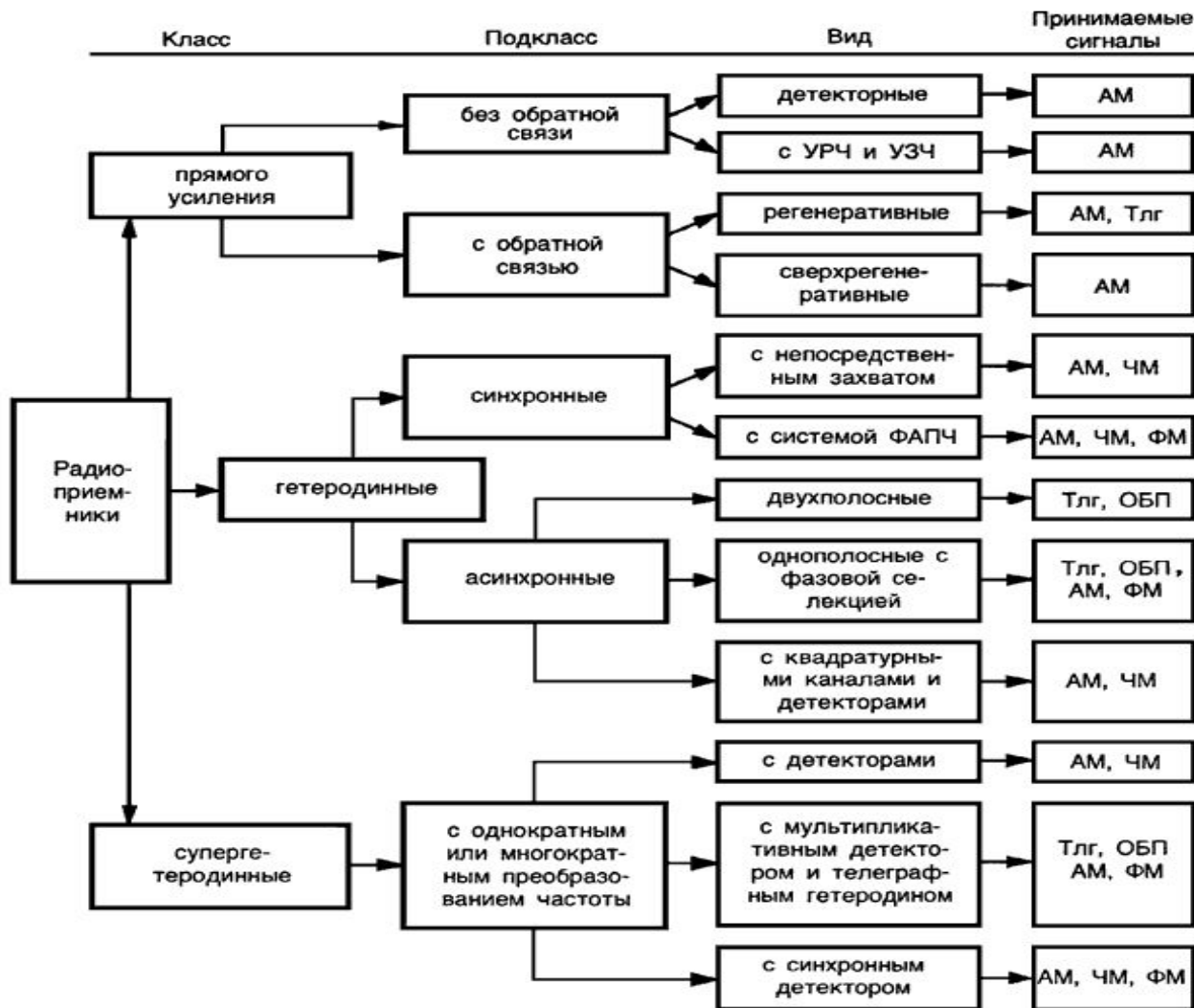
31. Введение в вейвлет преобразования сигналов
 1. Некоторые особенности Фурье преобразования
 2. Основные черты вейвлет преобразования
32. Библиографический список

Классификация радиоприемных устройств



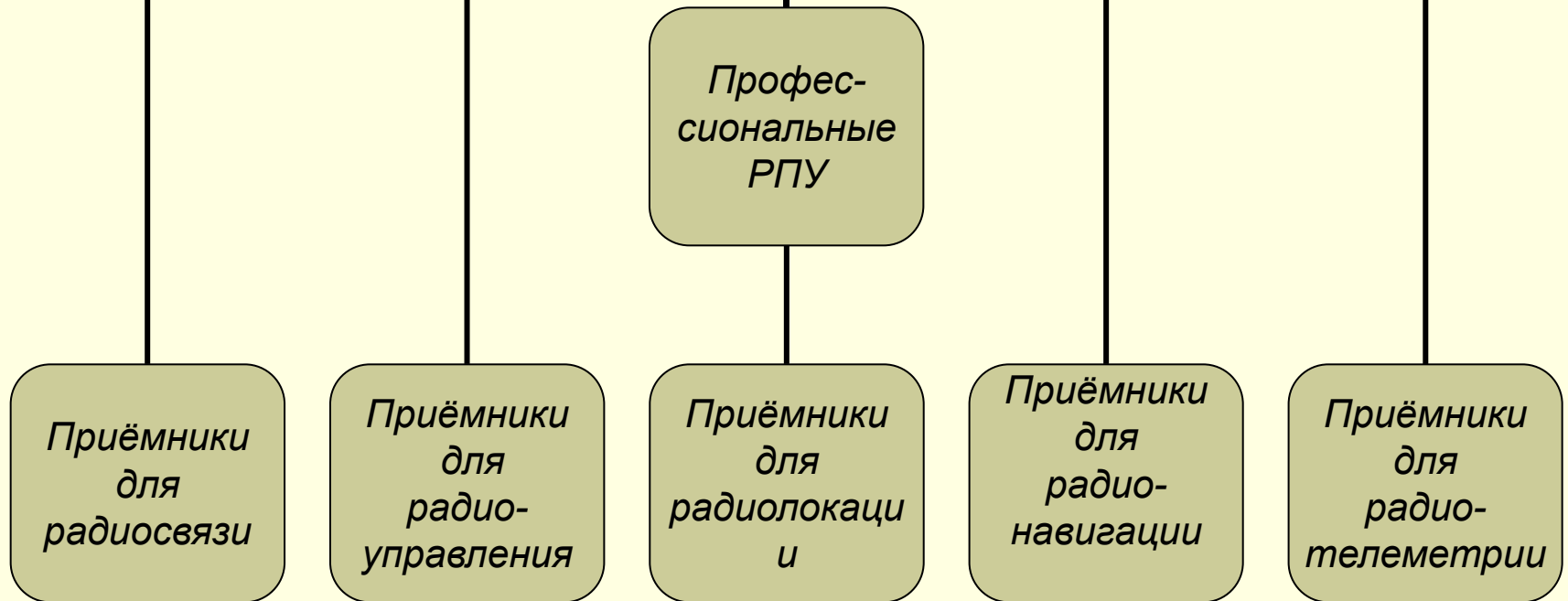
Современные РПУ различаются: назначением, видом принимаемых сигналов, параметрами и т. д.

Классификация радиоприемных устройств по принципу действия



Классификация радиоприемных устройств (по области применения)

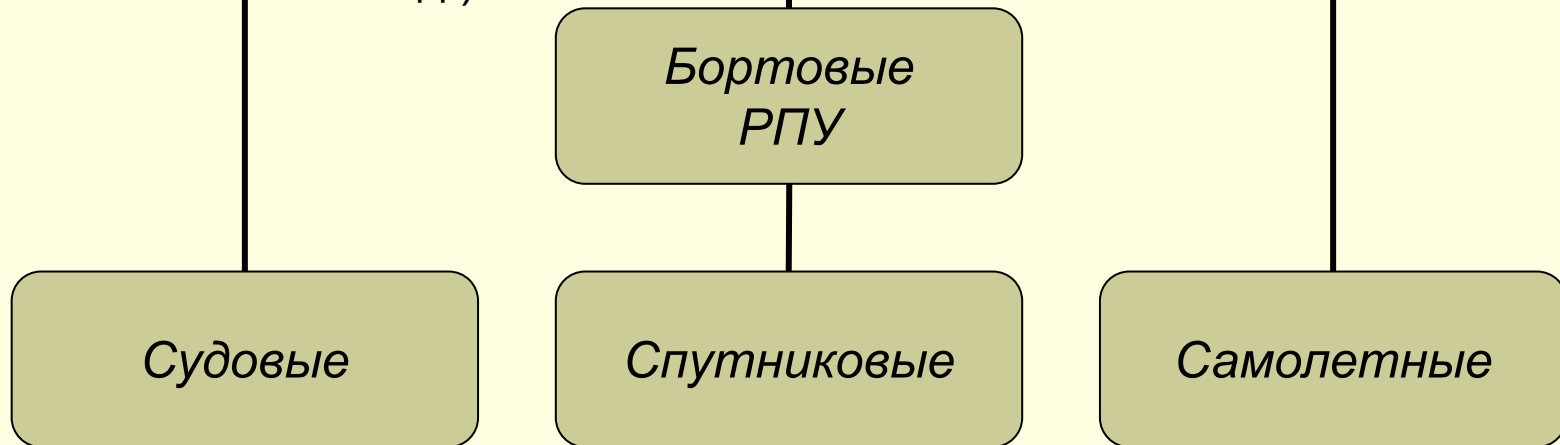
По назначению РПУ можно разделить на профессиональные и бытовые.



К профессиональным РПУ относятся: приемники для радиосвязи, радиоуправления, радиолокации, радионавигации, радиотелеметрии и т. д.

Классификация радиоприемных устройств (по месту установки)

В зависимости от места установки профессиональные РПУ могут быть: **стационарными** и **бортовыми** (судовыми, спутниковыми, самолетными и т.д.)



Бытовые РПУ предназначены для приема программ звукового и телевидения. В зависимости от сложности и качества они делятся на **классы**.

Бытовые РПУ могут быть переносными, автомобильными и т. д.

Классификация радиоприемных устройств (по виду сигналов)

По виду принимаемых сигналов РПУ подразделяются на устройства **непрерывных** и **дискретных** сигналов

РПУ непрерывных сигналов различаются по виду модуляции принимаемых сигналов на АМ, однополосную (ОМ), ЧМ, ФМ.

Виды
модуляции
непрерывных
сигналов

Амплитудная
(АМ)

Однополосная
(ОМ)

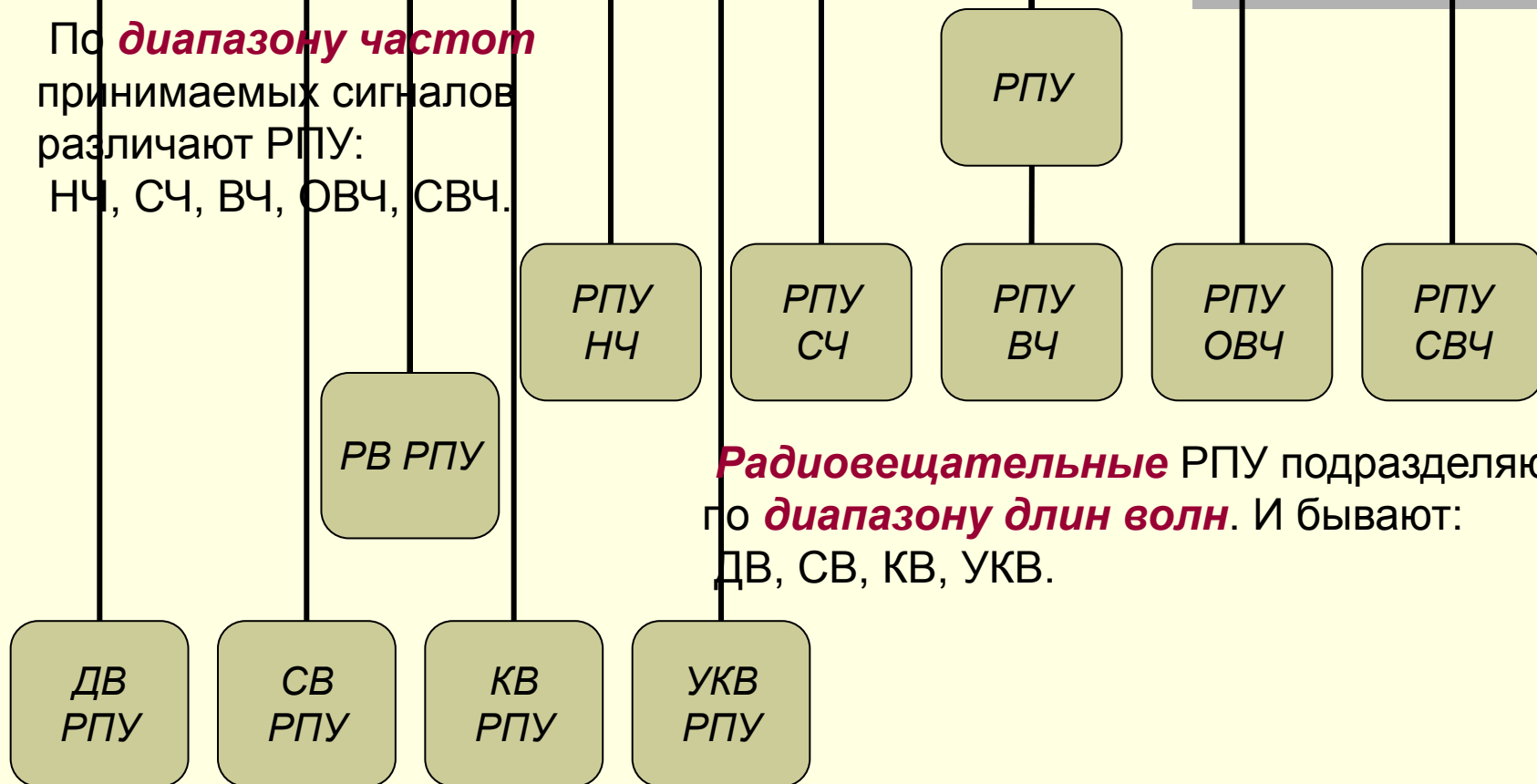
Частотная
(ЧМ)

Фазовая
(ФМ)

РПУ дискретных сигналов подразделяются на устройства **импульсной модуляции** и **телеграфные**.

Классификация радиоприемных устройств (по диапазону частот)

По **диапазону частот** принимаемых сигналов различают РПУ: НЧ, СЧ, ВЧ, ОВЧ, СВЧ.

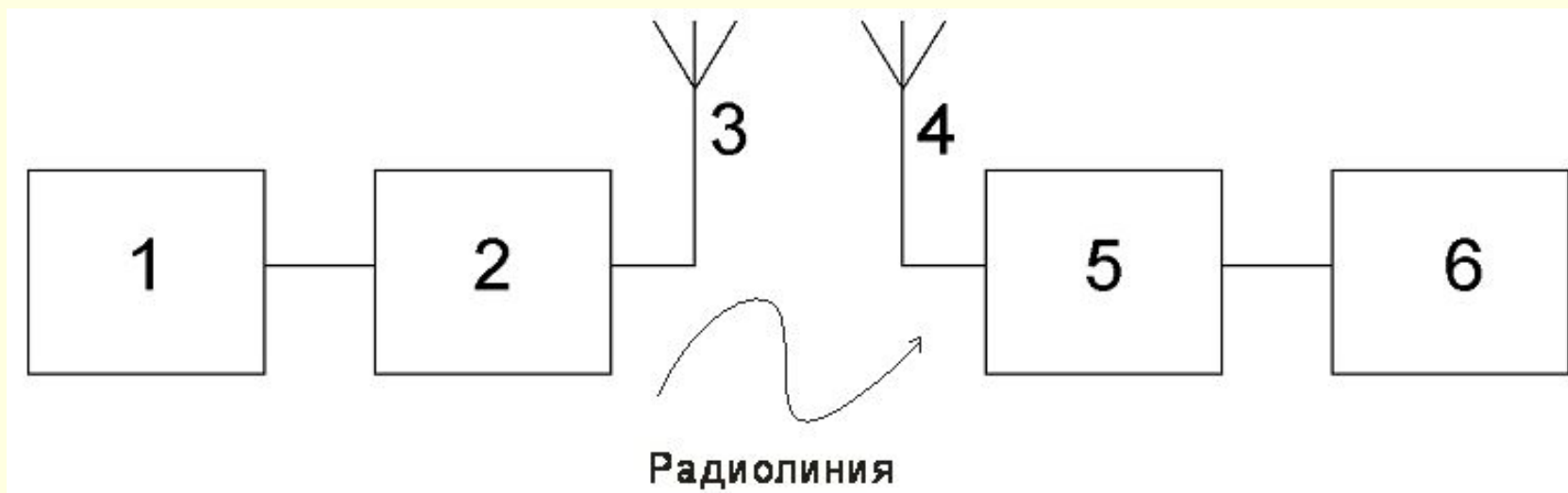


Радиовещательные РПУ подразделяются по **диапазону длин волн**. И бывают: ДВ, СВ, КВ, УКВ.

Приемники СВЧ широко используются в радиолокации и спутниковых системах связи.

Общие сведения о принципах работы РПУ

РПУ является одним из основных устройств систем радиосвязи (рис. 1).



- 1 – источник информации;
- 2 - РПДУ (радиопередающее устройство);
- 3,4 – передающая и приемная антенны;
- 5 – РПУ;
- 6 – получатель информации.

Среда, в которой распространяются радиоволны, называется радиолинией.

Общие сведения о принципах работы РПУ

- Информация – совокупность сведений о каких-либо событиях и процессах, а форма предоставления информации называется сообщением.
- Любое передаваемое на расстоянии сообщение в системах радиосвязи вначале преобразуется в электрический сигнал, изменяющийся соответственно этому сообщению. Электрический сигнал управляет радиочастотными колебаниями. Эти колебания, несущие передаваемое сообщение и называемые модулированными, преобразуются в радиоволны, распространяющиеся в пространстве.
- Назначение РПУ – обеспечить воспроизведение передаваемого сообщения при воздействии на него радиоволн, поступающих от РПДУ. Сообщение воспроизводится в РПУ на основе той информации, которая заключена в модулированном колебании. Поэтому в РПУ необходимо осуществить преобразование принятого колебания. Современное РПУ должно обеспечить прием нужного сигнала на фоне колебаний от всевозможных посторонних источников, называемых помехами. При этом мощность помех, действующих на РПУ, может превышать мощность требуемого сигнала в миллионы раз, что затрудняет его прием.

Общие сведения о принципах работы РПУ

Основные функции РПУ:

- 1. Улавливание радиоволн.
- 2. Преобразование принятого радиочастотного колебания в напряжение или ток, изменяющийся в соответствии с принятым сообщением.
- 3. Воспроизведение переданного сообщения в виде звука, изображения на экране или записи текста и т. п.

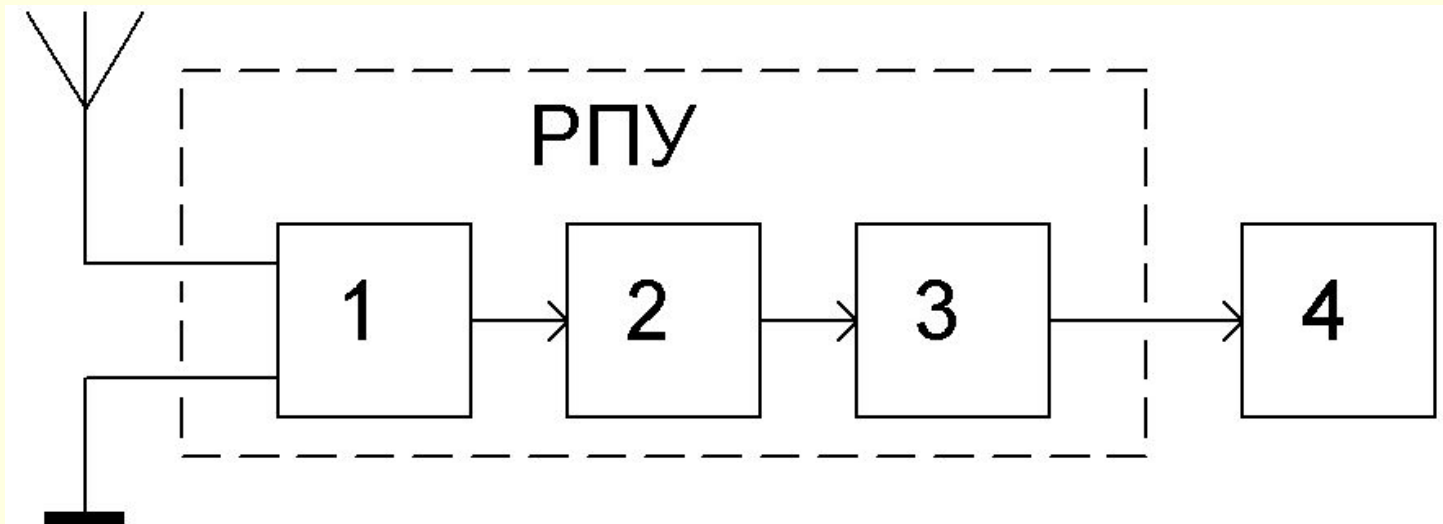


Рис. 2. Структурная схема РПУ:

1 – радиотракт; 2 – детектор; 3 – УЗЧ (усилитель звуковой частоты);
4 – воспроизводящее устройство.

Общие сведения о принципах работы РПУ

Часть радиоприемника от его входа до детектора называется **радиотрактом**.

Одной из основных функций радиотракта является усиление принятого колебания до уровня необходимого для нормальной работы детектора. В результате воздействия на антенну электромагнитных волн от ряда радиостанций на входе РПУ действует много колебаний с различными частотами. Только одно из них полезное, остальные – мешающие. Функция радиотракта, кроме усиления сигнала – выделить (отфильтровать) полезное колебание и подавить мешающие, что достигается использованием **частотно-селективных цепей**. При этом усиление полезного сигнала в радиотракте должно обеспечиваться, по возможности, без его искажений. Иначе говоря, радиотракт РПУ должен быть **линейным** устройством.

Последующее преобразование радиосигнала осуществляется в детекторе РПУ.

Детектор является устройством, создающим на своем выходе напряжение, которое изменяется в соответствии с законом модуляции того или иного параметра радиочастотного колебания.

В **УЗЧ РПУ** происходит усиление протектированного сигнала до уровня, необходимого для нормальной работы воспроизводящего устройства.

Для воспроизведения звукового сообщения используются громкоговорители или телефоны, для изображения – электронно-лучевые трубки (ЭЛТ), для телеграфных сообщений – радиотелеграфный аппарат

Функциональные схемы РПУ

- Усиление сигнала в радиотракте может обеспечиваться на радиочастоте без ее преобразования, либо с преобразованием частоты.
- РПУ с радиотрактом, в котором усиление осуществляется на радиочастоте называется приемником прямого усиления, (рис. 3), а РПУ с усилением на частоте преобразования - называется супергетеродинным

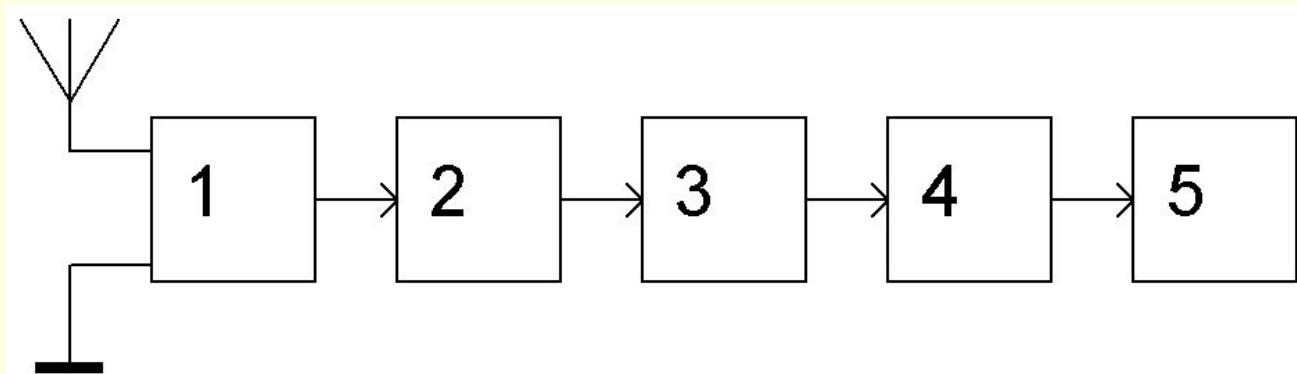


Рис. 3. Структурная схема РПУ прямого усиления.

1 – входная цепь; 2 – УРЧ (усилитель радиочастоты); 3 – детектор; 4 – УЗЧ (усилитель звуковой частоты); 5 – воспроизводящее устройство.

Функциональные схемы РПУ

- Входная цепь представляет собой частотно-селективную электрическую цепь, которая служит для передачи принятого антенной сигнала на вход первого каскада УРЧ и для предварительной фильтрации сигнала от помех.
- Для фильтрации сигнала во входную цепь включаются **колебательные контуры, настроенные на несущую частоту принимаемого сигнала.**
- УРЧ обеспечивают усиление сигнала и дальнейшую фильтрацию его от помех.
- Нагрузкой УРЧ служат колебательные контуры, настроенные, как и входные цепи, на несущую частоту принимаемого сигнала.
- Тип детектора зависит от вида модуляции принимаемого сигнала. Настройка приемника на любую частоту в заданном диапазоне осуществляется установлением резонансных частот всех селективных цепей радиотракта согласно требуемой частоте сигнала.

Функциональные схемы РПУ

- Входная цепь представляет собой частотно-селективную электрическую цепь, которая служит для передачи принятого антенной сигнала на вход первого каскада УРЧ и для предварительной фильтрации сигнала от помех.
- Для фильтрации сигнала во входную цепь включаются **колебательные контуры, настроенные на несущую частоту принимаемого сигнала**.
- УРЧ обеспечивают усиление сигнала и дальнейшую фильтрацию его от помех.
- Нагрузкой УРЧ служат колебательные контуры, настроенные, как и входные цепи, на несущую частоту принимаемого сигнала.
- Тип детектора зависит **от вида модуляции** принимаемого сигнала.
- Настройка приемника на любую частоту в заданном диапазоне осуществляется установлением резонансных частот всех селективных цепей радиотракта согласно требуемой частоте сигнала.

Функциональные схемы РПУ

- При перестройке приемника прямого усиления с одной частоты на другую необходимо перестраивать **все** селективные цепи радиотракта. При этом система настройки приемника оказывается конструктивно сложной и дорогой. Если на входе РПУ действуют модулированные сигналы от нескольких радиостанций, работающих на различных несущих частотах, то данный приемник необходимо настраивать только на **одну** фиксированную частоту и только при **идеально прямоугольной амплитудно-частотной** характеристике радиотракта все составляющие спектра сигнала, принимаемого радиостанцией, пройдут без искажения, а сигналы всех других радиостанций будут полностью подавлены.

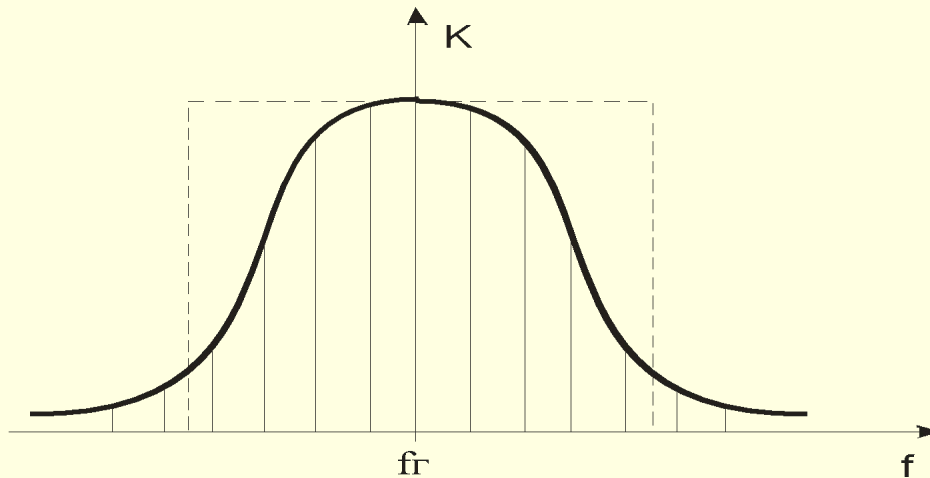


Рис. 4. АЧХ РПУ.

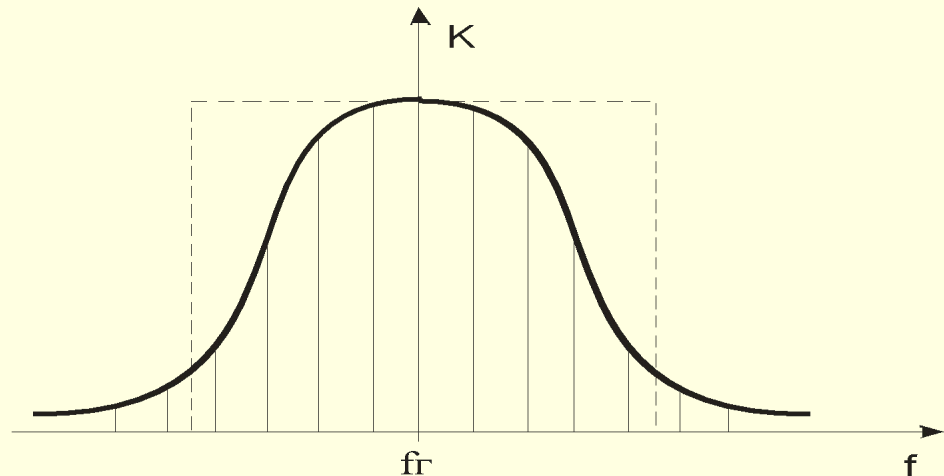
Идеальная характеристика радиотракта изображена на рисунке штриховой линией.

Функциональные схемы РПУ

(Недостатки приемника прямого усиления)

- Недостатками приемника прямого усиления являются:
- 1) Низкая избирательность и селективность, и плохое качество принимаемого сигнала за счет того, что реальная АЧХ одиночного колебательного контура УРЧ сильно отличается от идеальной АЧХ (рис. 4);
- 2) Полоса пропускания (ПП) при перестройке РПУ в диапазоне принимаемых частот изменяется. Из-за непостоянства полосы пропускания одиночного колебательного контура в поддиапазоне, где d , Q – затухание и добротность контура, причём d постоянно в поддиапазоне, прием сигнала сопровождается с искажениями принимаемого сообщения.

Рис. 4.
Реальная АЧХ РПУ.



Функциональные схемы РПУ

- Обычно полоса пропускания (ПП) выбирается равной ширине спектра принимаемого сигнала.
- Если полоса пропускания контура выбрана на максимальной частоте $\Pi = f_{\max} \cdot d$, то приём сигнала сопровождается с искажением передаваемого сообщения.
- В другом случае, когда полоса пропускания выбрана на минимальной частоте $\Pi = f_{\min} \cdot d$, то приём сигнала сопровождается с прохождением сильных помех от соседних радиостанций.

Супергетеродинный приемник

- Супергетеродинный приемник (рис. 5) отличается от РПУ прямого усиления наличием двух дополнительных элементов: преобразователя частоты (ПЧ) и усилителя промежуточной частоты (УПЧ).

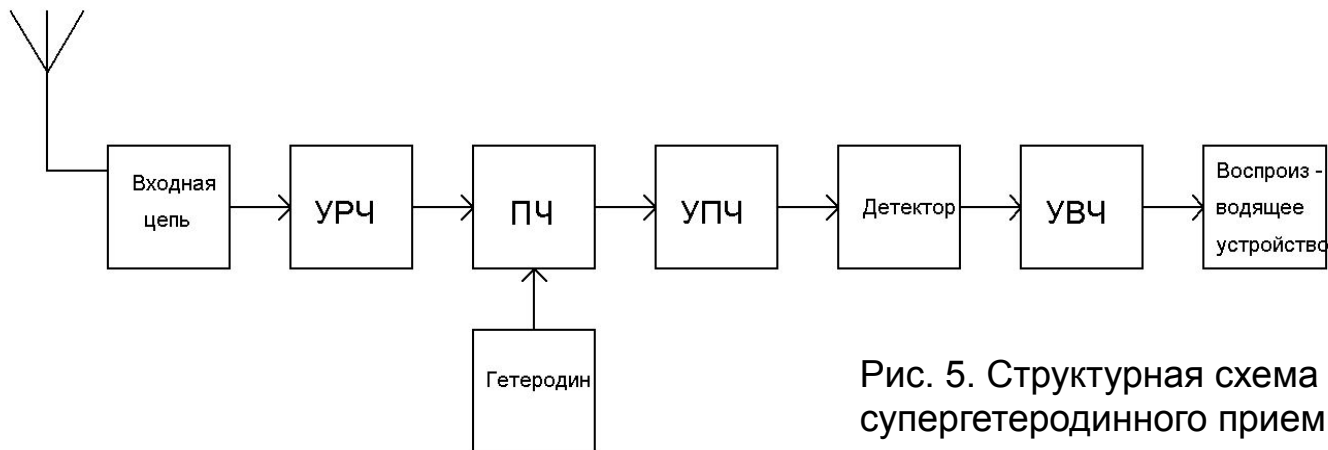


Рис. 5. Структурная схема супергетеродинного приемника

В результате взаимодействия двух напряжений с частотами f_c и f_2 в нелинейном элементе ПЧ образуется много комбинационных составляющих этих частот, в том числе и составляющая, частота которой равна разности частот гетеродина и сигнала $f_{np} = f_2 - f_c$.

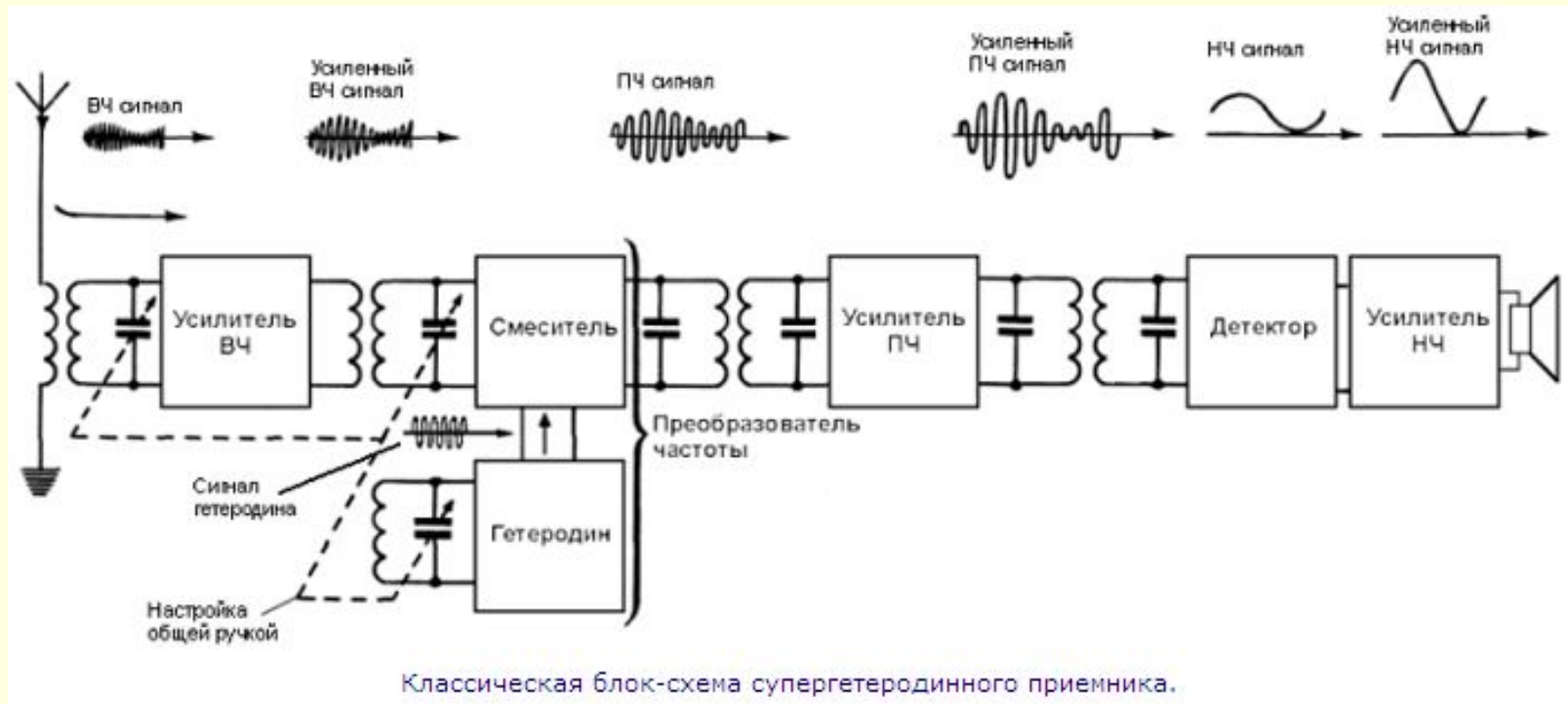
Супергетеродинный приемник

Правило выбора
 $f_{пр}$

Разностная частота (промежуточная частота $f_{пр}$) выбирается ниже частоты принимаемого сигнала (f_c), но выше частоты модуляции сигнала.

- Резонансная система выходной цепи ПЧ настроена на промежуточную частоту. В диапазонных приемниках промежуточная частота является постоянной, независимо от перестройки приемника.

Супергетеродинный приемник



- Это достигается одновременной перестройкой контуров входной цепи (УРЧ) и гетеродина (f_2) с помощью одной ручки настройки.

Супергетеродинный приемник

- **Важные преимущества данного приемника:**
 - 1) независимость параметров УПЧ от настройки приемника;
 - 2) высокая избирательность, так как резонансная характеристика непереключаемых контуров (контур УПЧ) может быть близка к идеальной (прямоугольной);
 - 3) высокая устойчивость работы, так как паразитные обратные связи на более низкой промежуточной частоте значительно слабее, а это дает возможность увеличить коэффициент усиления, не снижая устойчивости.
 - 4) упрощение конструкции непереключаемых резонансных цепей УПЧ (т.е. УПЧ - унифицированы);
 - 5) высокая чувствительность, так как на более низкой и постоянной промежуточной частоте можно получить более устойчивое и большее усиление.
- **В то же время такой приемник имеет и недостатки.**
 - Наиболее существенный из них – наличие **побочных каналов приема**.
 - Они создаются в приемнике в процессе преобразования частоты.
 - Наиболее опасный канал – **зеркальный** или **симметричный**.
 - На входе приемника всегда действует много колебаний, имеющих различные частоты. Среди них может оказаться колебание с частотой, отличающейся от частоты сигнала на удвоенную промежуточную частоту, то есть $f_3 = f_c \pm 2f_{пр}$
 - где, f_c - частота сигнала; f_3 – зеркальная частота (рис. 6).

Супергетеродинный приемник

- При этом колебание с частотой f_3 преобразуется в колебание промежуточной частоты $f_{пр}$, так же как и сигнал.
- Приемник в этом случае будет одновременно принимать колебания двух частот f_c и f_3 , симметрично расположенных относительно частоты гетеродина f_g . Одна из них соответствует сигналу f_c , другая f_3 – помехе и называется зеркальной.
- Второй побочный канал приема – это **канал промежуточной частоты**. Помеха на частоте $f_{пр}$, равной промежуточной частоте, проходит прямо через смеситель и выделяется в фильтре УПЧ. Такая помеха называется **помехой прямого прохождения**.
- Мешающее влияние зеркальной помехи и помехи прямого прохождения ослабляются формой АЧХ усилителя радиочастоты.

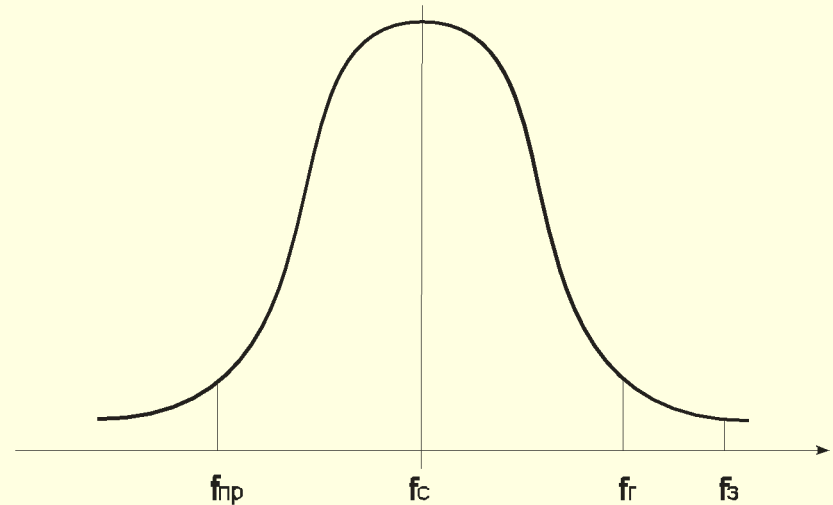


Рис. 6. Образование зеркального канала

Пример практической конструкции гетеродинного приемника

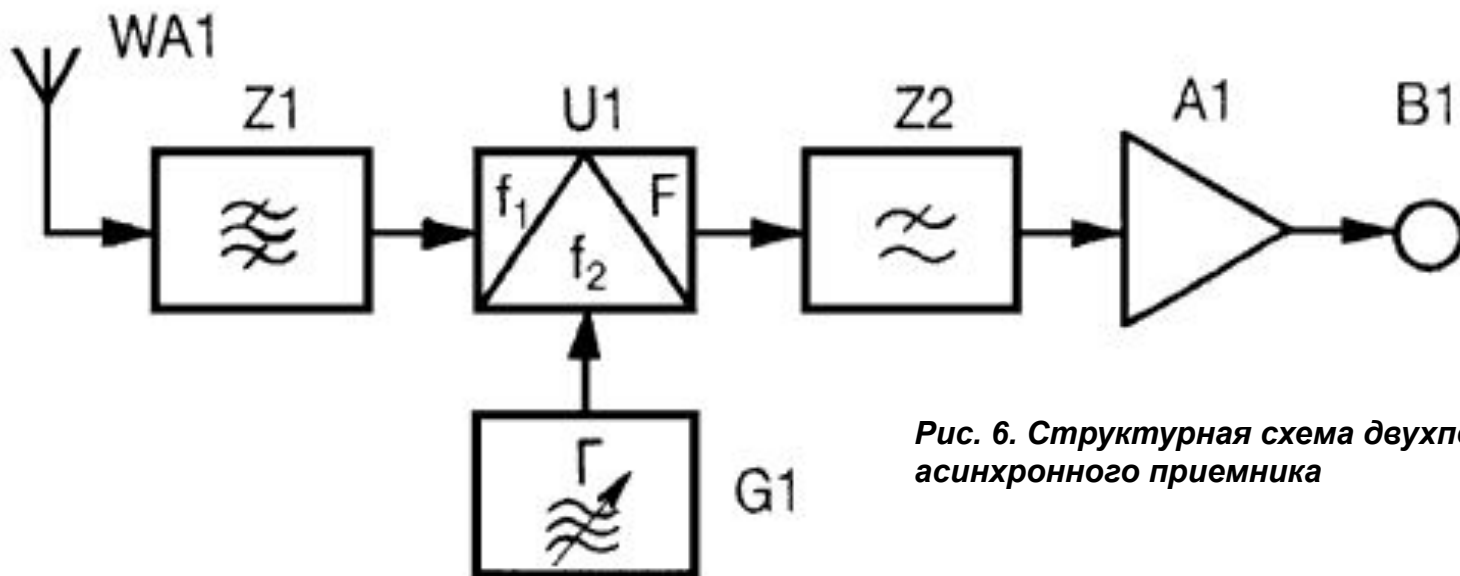


Рис. 6. Структурная схема двухполосного асинхронного приемника

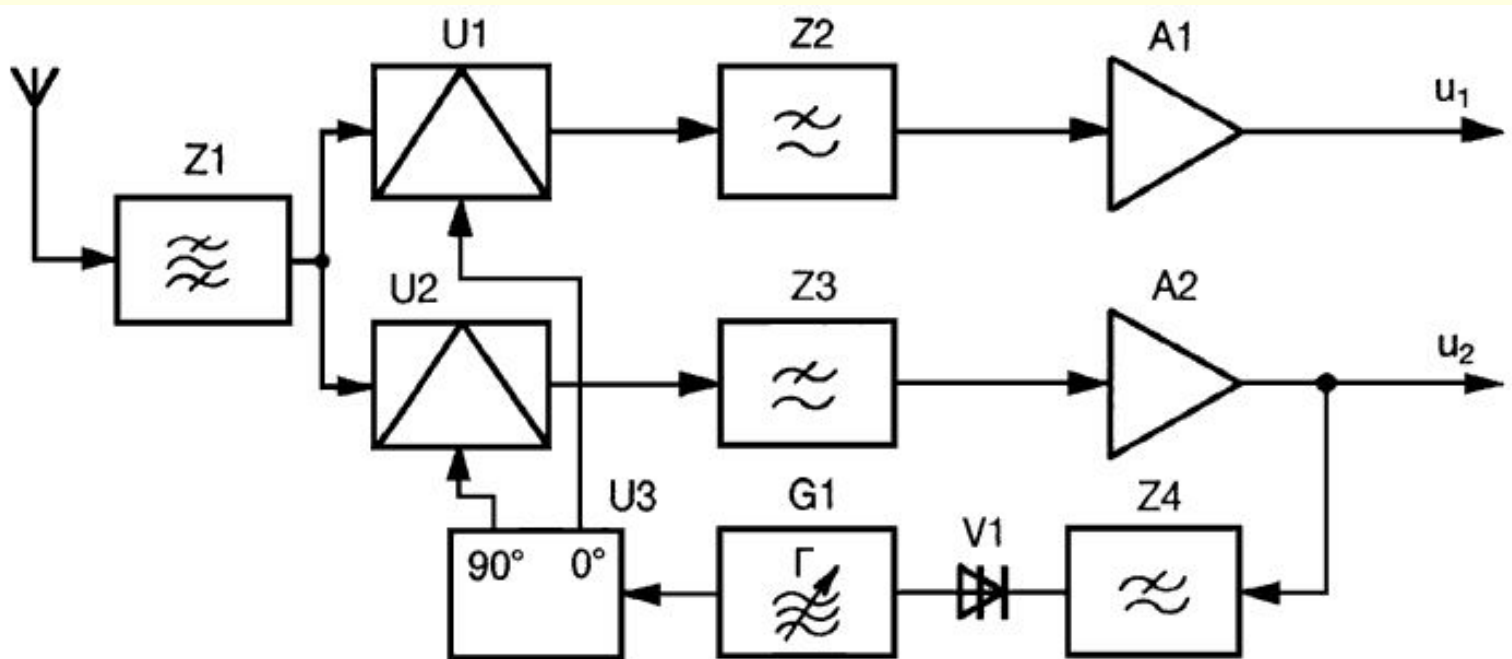
- Структурная схема простейшего двухполосного асинхронного приемника показана на рис. 6. Он содержит преселектор $Z1$, смеситель $U1$, гетеродин $G1$, ФНЧ $Z2$ и УЗЧ $A1$, нагруженный на телефоны или громкоговоритель $B1$. В задачу преселектора входит ослабление сильных внедиапазонных мешающих сигналов и побочных каналов приема. Их у гетеродинного приемника немного - прием возможен, главным образом, на гармониках гетеродина. Если диапазон перестройки приемника невелик (как в случае узких любительских КВ диапазонов), преселектор по диапазону не перестраивается. Минимальные потери сигнала при хорошей селективности обеспечивают полосовые фильтры.

Супергетеродинный приемник

- **Двухполосный асинхронный гетеродинный приемник** не пригоден для приема АМ сигнала, поскольку даже при точной настройке фаза гетеродина будет изменяться относительно фазы сигнала. Когда колебания гетеродина синфазны с несущей, обе боковые полосы, преобразуясь на ЗЧ, складываются на выходе смесителя. Когда же колебания гетеродина находятся в квадратуре (сдвинуты на 90 градусов) относительно несущей, преобразованные на ЗЧ колебания боковых полос противофазны и компенсируют друг друга - сигнал ЗЧ пропадает. Поэтому в двухполосном приемнике необходимы средства синхронизации колебаний гетеродина с несущей.

Структурная схема устройства для синхронного приема АМ сигналов

Синхронный прием АМ сигналов возможен при установке второго смесителя и ВЧ фазовращателя (рис. 17). Гетеродинные напряжения на оба смесителя U_1 и U_2 подаются со сдвигом фазы 90 градусов, так же как и в схеме рис. 9. Квадратурные сигналы ЗЧ фильтруются ФНЧ Z_2 и Z_3 , усиливаются (A_1 , A_2), один из сигналов служит выходным, а другой используется в системе ФАПЧ с элементами Z_4 и V_1 . Усилитель A_2 здесь должен быть УПТ. С его выхода можно снять и переменное демодулированное напряжение при ФМ входного сигнала.



«Супер» супергетеродин или супергетеродин с двойным преобразованием частоты

В приемной части современных радиостанций в большинстве случаев применяется более сложный вид супергетеродинной схемы. Так называемый супергетеродин с двойным преобразованием частоты. От обычного супергетеродина он отличается наличием второго преобразователя и второй промежуточной частоты. Это позволяет обеспечить еще большую чувствительность, избирательность и помехозащищенность. Схема супергетеродина с двойным преобразованием похожа на схему обычного супергетеродина, но с добавлением еще одного гетеродина, смесителя, а также соответствующих каскадов усиления и фильтрации. Первая промежуточная частота обычно более высокая (10.7, 17, 21, 45... МГц), а вторая более низкая (455 кГц).



Блок-схема супергетеродинного приемника с двойным преобразованием частоты.

Большинство приемников современных радиостанций и другого радиосвязного оборудования собираются по схеме супергетеродина с двойным преобразованием. В некоторых случаях, в частности в высококлассных любительских приемниках и в специальной технике, применяются супергетеродинные схемы с тройным преобразованием. Для вас принцип их работы уже должен быть очевиден из названия.

Основные показатели РПУ

Одним из основных показателей, оценивающих радиотракт приемника, является чувствительность, то есть способность приемника принимать слабые радиосигналы. Количественно чувствительность оценивается минимальной ЭДС в антенне E_a (в микровольтах) или мощностью P_a (в микроваттах), при которой на выходе приемника сигнал воспроизводится с требуемым качеством.

Под требуемым качеством обычно понимают обеспечение заданного уровня сигнала на выходе приемника при определенном отношении сигнал/помеха.

Чувствительность зависит от усиления сигнала в приемнике. Чем больше усиление радиотракта, тем меньший уровень сигнала требуется на входе приемника и тем выше его чувствительность.

Однако бесконечно увеличивать усиление в радиотракте нельзя, поэтому чувствительность ограничена усилением. Чувствительность также ограничена помехой. Особенно когда помеха по уровню сравнима с сигналом. Предел чувствительности ограничен внутренними шумами, оценка уровня выходных шумов производится по коэффициенту различимости (D_p).

$$D_p = \frac{P_{c \max}}{P_{швых}}$$

где $P_{c \max}$ – максимальная мощность сигнала,

$P_{швых}$ – мощность шума на выходе.

Допустимое значение коэффициента различимости зависит от характера принимаемого сообщения, требуемого качества приема и вида модуляции сигнала. (Обычно D_p – не менее 20 дБ).

Основные показатели РПУ

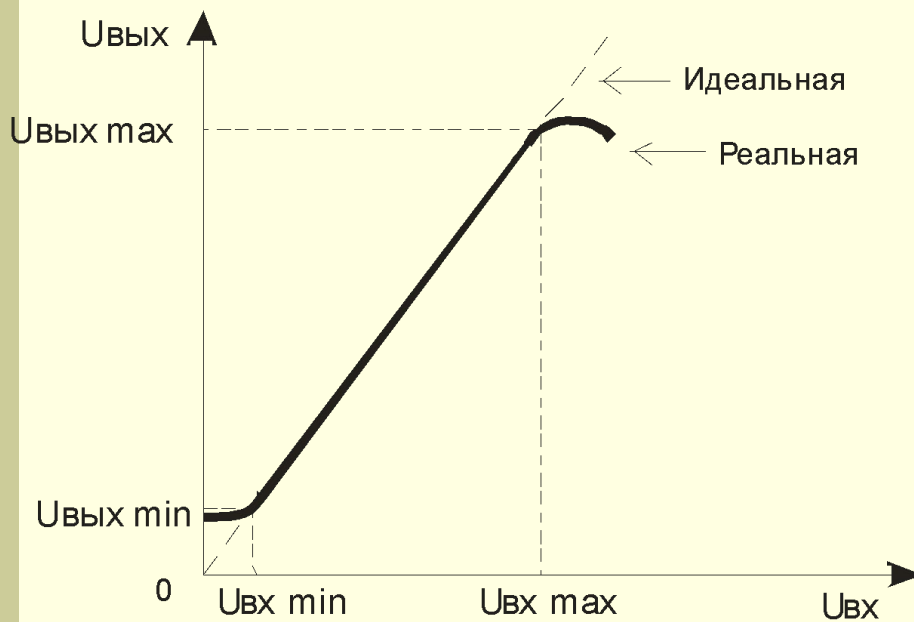


Рис. 7. Амплитудная характеристика реального и идеального усилителя

- Чувствительность приемника — это такая мощность $P_{\text{свх}}$, при которой на выходе радиотракта обеспечивается требуемая мощность $P_{\text{свых}}$ и требуемый коэффициент различимости D_p .
Для повышения чувствительности приемника необходимо:
 1. уменьшать шумы радиотракта,
 2. использовать помехоустойчивые сигналы,
 3. уменьшать полосу пропускания радиотракта.
- Уменьшение коэффициента шума радиотракта достигается включением дополнительного УРЧ.

Основные показатели РПУ

- Амплитудной характеристикой (АХ) радиотракта приемника или его отдельных каскадов называется зависимость амплитуды выходного напряжения от амплитуды входного напряжения.
- Как видно из рис 7, амплитудная характеристика АХ реального и идеального усилителя совпадают только для амплитуд входного сигнала от $U_{вх\min}$ до $U_{вх\max}$.
- **Несоответствия АХ вызваны:**
 - при *малых входных сигналах* – действием флуктуационных шумов и другими помехами,
 - а при *больших входных сигналах* – нелинейностью вольтамперной характеристики (ВАХ) усилительных элементов.
- Таким образом, реальный усилитель может усиливать сигнал без существенных искажений только при выполнении условия

$$U_{вх\min} \leq U_{вх} \leq U_{вх\max}$$

- Отсюда следует параметр – **динамический диапазон радиотракта**

приемника (или его отдельного каскада): $D = \frac{U_{вх\max}}{U_{вх\min}}$ $D_{дб} = 20 \lg \left(\frac{U_{вх\max}}{U_{вх\min}} \right)$

- **Избирательность** – это способность РПУ выделить сигнал из совокупности всех колебаний.

Основные показатели РПУ

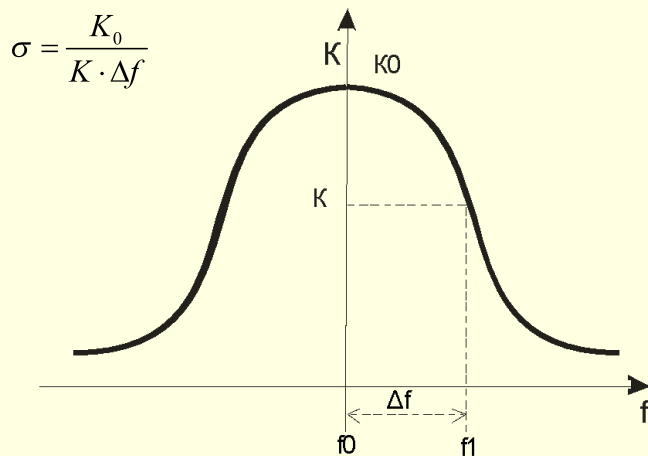


Рис. 9. Полоса пропускания РПУ

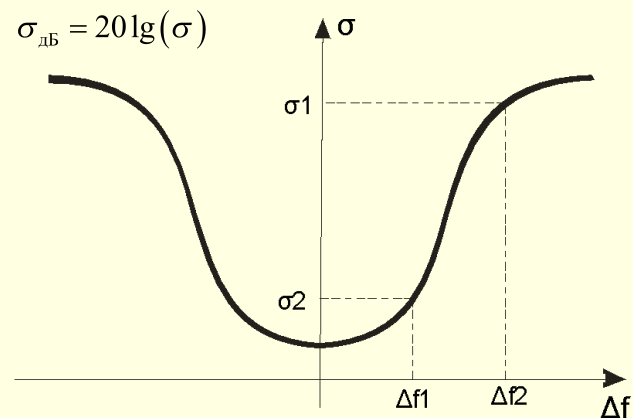


Рис. 8. Коэффициент избирательности РПУ (логарифмический)

- Основной вид избирательности – **частотная избирательность**. Это способность РПУ выделять сигнал заданной частоты из колебаний с различными несущими радиочастотами. Оценивается избирательность по **коэффициенту избирательности** (рис. 8).
- **Полоса пропускания** – это полоса частот, на границах которой коэффициент усиления приемника от входа до детектора уменьшается по отношению к заданной (центральной частоте) в заданное число раз, например, в 1,4 раза или на 3 дБ (рис. 9).

Основные показатели РПУ

- **Селективность приемника** – это способность приемника отделять полезный сигнал от мешающего. Она основана на использовании отличительных признаков между полезным и мешающим сигналом – на направлении распространения и времени действия, амплитуды, частоты и фазы.
- Пространственная селективность реализуется с помощью антенн с узкой (или острой) диаграммой направленности. Временная селективность сводится к отпираанию приемника только на время действия полезного сигнала. Основное значение имеет **частотная селективность**. Она осуществляется с помощью резонансных цепей и фильтров.
- **Диапазон рабочих частот**. Это полоса частот, в пределах которых приемник может перестраиваться на любую заданную частоту (станцию) и сохранять в допустимых пределах все основные параметры.

Радиоприемники непрерывных сигналов

- Структурная схема приемника двукратно модулированного сигнала (рис. 10, 11) состоит из радиотракта и детектора несущей и тракта и детектора поднесущей частоты.

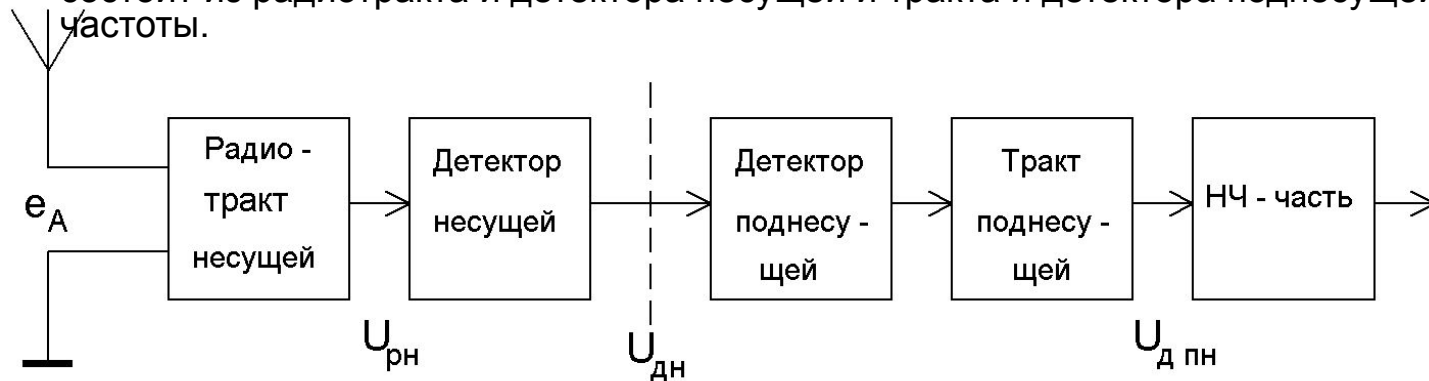


Рис. 10. Структурная схема двукратно модулированного сигнала

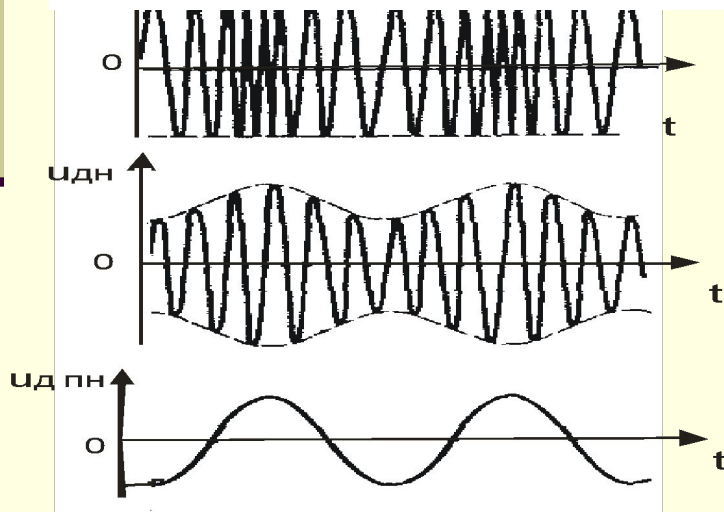


Рис.11. Диаграммы напряжений на входе РПУ (антенны), на выходе детектора несущей и на выходе детектора поднесущей частоты

Радиоприемники непрерывных сигналов

Примером многоканального приемника может служить телевизионный приемник (рис. 12); в групповом спектре телевизионного сигнала (рис. 13), поднесущая канала изображения отсутствует, а поднесущая канала звука $f_{\text{пнз}} = 6,5 \text{ МГц}$. Канал изображения выделяется ФНЧ в видеоусилителе.

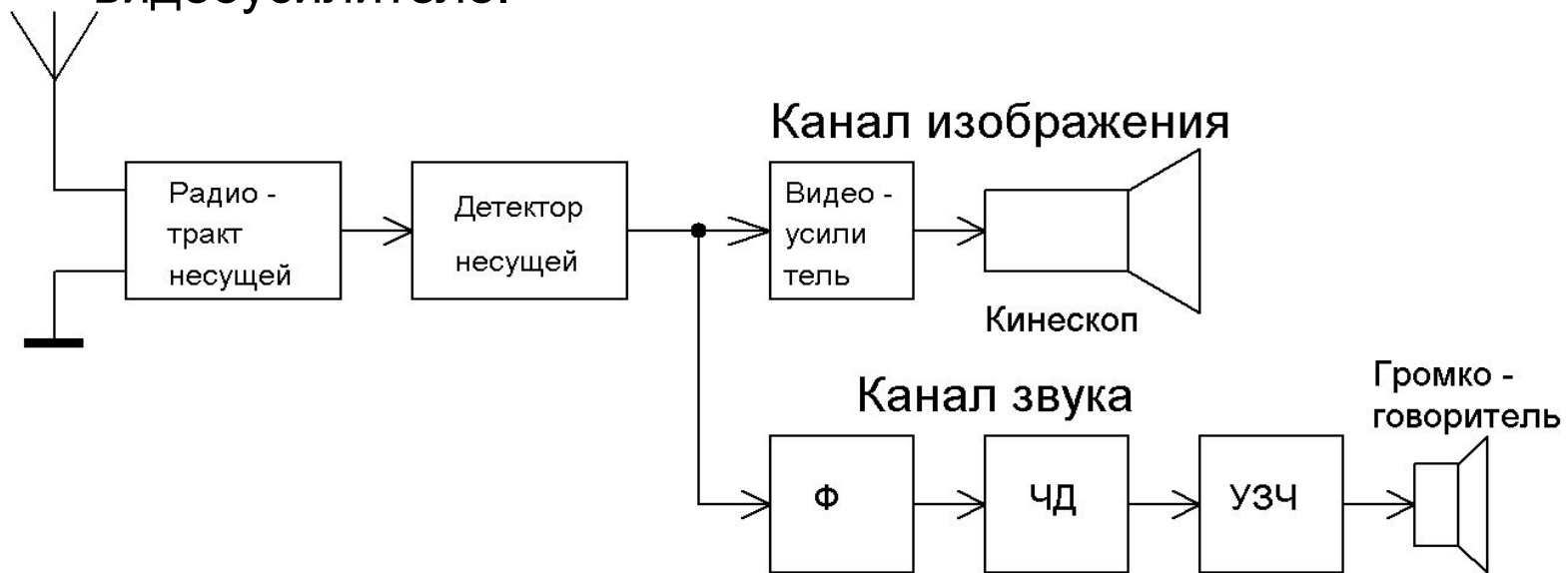


Рис. 12. Структурная схема телевизионного приемника

Радиоприемники непрерывных сигналов

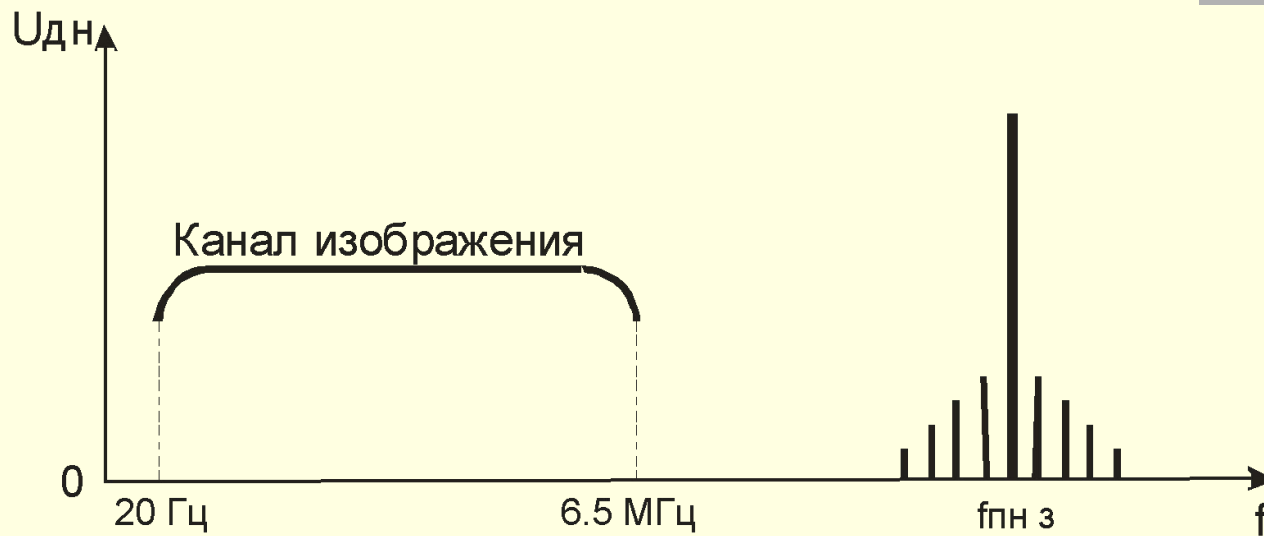


Рис. 13. Групповой спектр телевизионного сигнала

- Радиоприемники АМ-сигналов с двумя боковыми полосами применяют в основном для приема программ радиовещания в диапазонах длинных, средних и коротких волн; они имеют ограниченное использование в системах телефонной радиосвязи, как правило, с однополосной модуляцией. Радиоприемники ЧМ-сигналов используют в УКВ-диапазоне для приема программ звукового и телевизионного вещания, а также для организации служебной связи в системах наземной, космической, спутниковой, радиорелейной и тропосферной связи.

Радиоприемники непрерывных сигналов

В одноканальных приемниках для приема АМ-сигналов включают амплитудный, а для приема ЧМ-сигналов – частотный детектор.

К многоканальным приемникам относятся:

1. радиорелейные,
2. радиотелеметрические,
3. телевизионные приёмники.

В многоканальных системах сигнал модулируется дважды:

2. сначала поднесущая,
3. а затем промодулированная поднесущая модулирует несущую частоту.

Двукратно модулированный сигнал обозначают, например, АМ-ЧМ, ЧМ-ЧМ и т. д..

Первые буквы характеризуют закон модуляции поднесущей, вторые – несущей.

Прием однополосных сигналов

- **Однополосная модуляция** – это частный случай амплитудной модуляции, когда антенна передатчика излучает только одну боковую полосу частот АМ-сигнала и небольшой уровень колебания несущей частоты (пилот-сигнал).
- **Однополосная модуляция по сравнению с АМ имеет следующие преимущества:**
 1. спектр передаваемых частот в два раза меньше;
 2. мощность передатчика в 8–12 раз меньше, по сравнению с АМ;
 3. помехоустойчивость выше;
 4. возможность размещения (или работы) в заданном диапазоне частот большего количества радиостанций.
- **Недостатки однополосной модуляции:**
 1. необходимость восстановления колебания несущей частоты с высокой точностью в радиоприёмном устройстве;
 2. более сложные схемы и конструкции передатчика и приёмника.
- Для воспроизведения принимаемого сигнала без искажения в приёмнике необходимо полностью восстанавливать весь спектр АМ-сигнала.
- Для восстановления сигнала несущей частоты в приёмнике используется гетеродин, колебания которого должны быть строго синфазны с задающим генератором передатчика.

Прием однополосных сигналов

- Пилот-сигнал в приёмнике выполняет роль опорного генератора, на частоту которого с помощью системы АПЧ автоматически подстраивается частота гетеродина.
- Системы связи с ОМ нашли широкое применение в радиосвязи:
 1. в подвижных радиостанциях в КВ-диапазоне,
 2. в магистральных линиях,
 3. многоканальных системах связи,
 4. для дальней передачи программ радиовещания.
- Структурная схема приемников ОМ-сигналов строится так же, как и приемников АМ-сигналов.
- АЧХ радиотракта приемника ОМ-сигналов выбирается так, чтобы несущая частота располагалась на границе полосы пропускания.

Однополосный прием

- В супергетеродинных приемниках с мультипликативным детектором (смесителем) и телеграфным гетеродином для получения однополосного приема используются кварцевые и электромеханические фильтры в тракте ПЧ. В гетеродинных приемниках такой возможности нет, а селективности входного фильтра далеко недостаточно. Но здесь можно применить методы фазовой селекции, известные весьма давно [1-4]. Суть их сводится к следующему. В гетеродинном приемнике устанавливают два смесителя **U1** и **U2** (*рис. 9*), на которые подается напряжение гетеродина **G1** со сдвигом фаз 90 градусов (если гетеродин работает на половинной частоте сигнала, то 45 градусов).
- На выходах смесителей образуются сигналы биений, также сдвинутые по фазе друг относительно друга на 90 градусов, причем если прием происходит в ВБП, то фаза сигнала во втором канале отстает, а если в НБП, то опережает фазу сигнала в первом канале. Если теперь фазу сигнала во втором канале дополнительно сдвинуть на 90 градусов с помощью НЧ фазовращателя **U4**, то на выходах каналов сигналы будут синфазны и сложатся при приеме в ВБП; при приеме же в НБП они будут противофазны и скомпенсируют друг друга. Переключение выводов одного из фазовращателя (ВЧ **U3** или НЧ **U4**) приводит к подавлению ВБП и выделению НБП. Сведения о практических реализациях фазокомпенсационных однополосных смесителей можно найти в [2, 3].
- В связи с трудностями достижения одинаковых амплитуд и точных фазовых сдвигов в каналах, особенно в НЧ фазовращателе, работающем в десятикратной полосе ЗЧ, подавление нежелательной боковой полосы получается обычно не более чем в 100 раз (на **40 дБ**).
- Имеются малоизвестные разработки, сулящие существенное улучшение подавления боковой полосы фазокомпенсационным методом.

Однopolосный прием

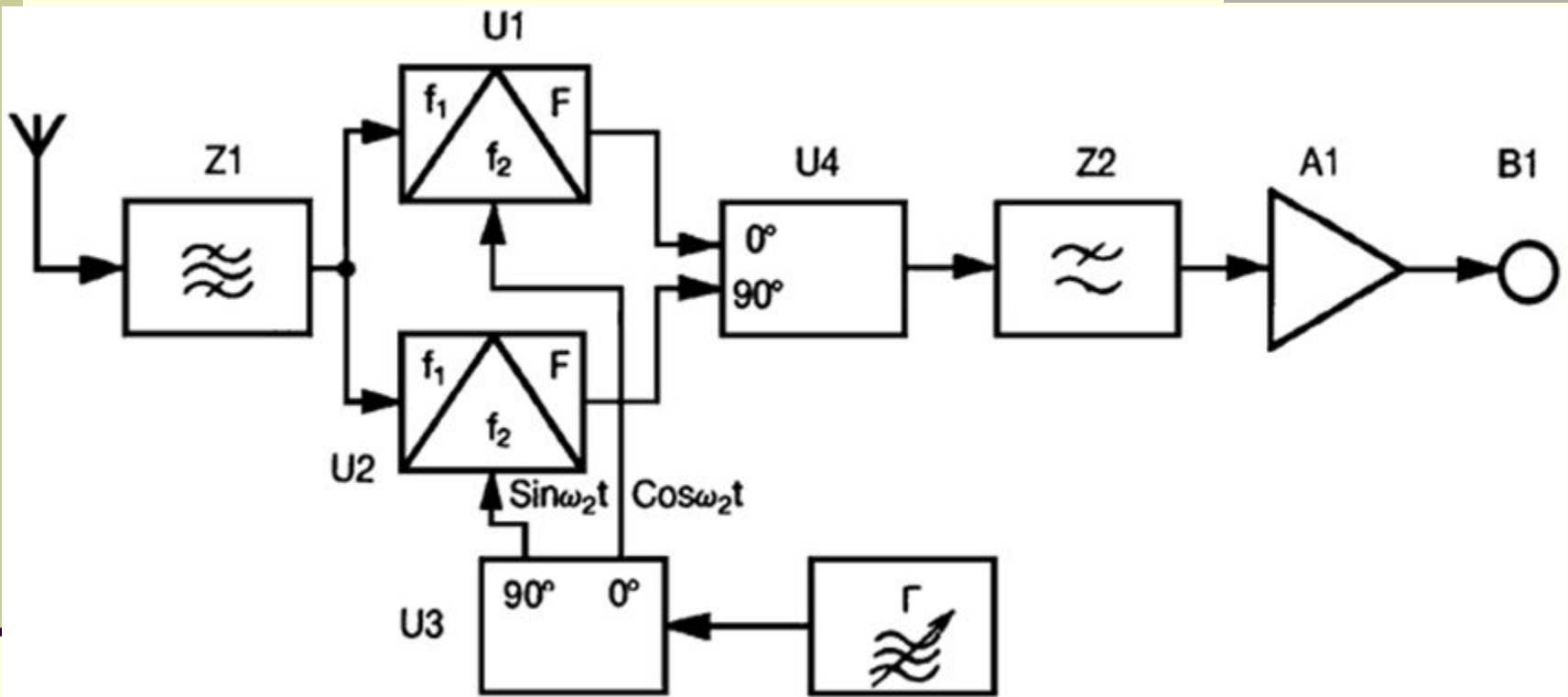


Рис. 9. Схема гетеродинного приемника для однополосного приема

Приемники частотно-модулированных сигналов

- При частотной модуляции частота ВЧ-колебания изменяется пропорционально амплитуде передаваемого сигнала. Мгновенное значение амплитуды ВЧ колебаний имеет вид:

$$U(t) = U_{\text{н}} \cos \int (\omega + \Delta\omega \cos \Omega t) dt = U_{\text{н}} \cos \left(\omega t + \left(\frac{\Delta\omega}{\Omega} \sin \Omega t \right) \right)$$

- $\Delta\varphi = \Delta\omega/\Omega$ при ЧМ, где $\Delta\varphi = m$ – индекс частотной модуляции.
- Спектр частот при угловой модуляции линейчатый и ширина спектра теоретически бесконечна. Однако на практике за ширину спектра колебаний с угловой модуляцией принимают полосу частот, в которую входят лишь составляющие спектра, амплитуда которых превышает 1–5% от амплитуды несущей в режиме молчания. Гармонические составляющие спектра отстоят одна от другой на частоту модуляции. При небольшой девиации частоты в спектре имеются только составляющие с несущей частотой и две боковые составляющие (как при АМ). При () модуляцию называют узкополосной и она используется только в служебной радиосвязи, так как из-за малого числа боковых составляющих она обладает плохим качеством воспроизведения. При () ширина спектра примерно равна удвоенной амплитуде девиации частоты .

Приемники частотно-модулированных сигналов

- При уменьшении частоты модуляции число спектральных составляющих увеличиваются, но ширина спектра модулированного колебания (особенно при $m \gg 1$) не изменяется, то есть спектр уплотняется (сгущается), ширина спектра определяется только девиацией частоты, а следовательно, она прямо пропорциональна амплитуде модулирующего колебания.
- Достоинства ЧМ:
- 1. Излучаемая передатчиком мощность постоянна во времени в режиме молчания, и вся мощность затрачивается на излучение несущей. При модуляции излучаемая мощность перераспределяется, часть мощности идёт на излучение несущей, а часть на излучение боковых составляющих. При некоторых индексах модуляции несущая или значительно ослаблена или вообще не излучается.
- 2. Высокая помехоустойчивость, так как при ЧМ амплитуда сигнала постоянна. Атмосферные и промышленные помехи, меняя амплитуду сигнала, не меняют закон модуляции, то есть они могут быть срезаны в приёмнике путём ограничения амплитуды сигнала.
- 3. Возможность улучшения качества воспроизведения.
- Недостаток: более широкий спектр излучаемых частот.

Радиоприемники дискретных сигналов. Радиотелеграфные приемники

- Эти приемники предназначены для приема дискретных сигналов, представляющих собой последовательность импульсов. К таким сигналам прежде всего можно отнести двоичные (бинарные) сигналы. Бинарные сигналы могут принимать одно из двух значений, например нуль или единицу, быть отрицательными или положительными.
- Передача дискретных сигналов реализуется с помощью радиотелеграфной связи, отличительной особенностью которой является кодирование сообщения. Модуляцию при передаче дискретной информации называют манипуляцией. Скорость телеграфирования измеряется числом элементарных посылок, передаваемых за одну секунду. За единицу скорости телеграфирования принят 1 БОД, соответствующий скорости передачи одной элементарной посылки в секунду. При амплитудной манипуляции один элементарный сигнал кода соответствует излучению полной энергии передатчика (посылка), а другой – отсутствию этого излучения. При частотной манипуляции передатчик все время излучает одну и ту же энергию, но каждому элементарному сигналу кода соответствует колебание своей частоты.

Радиоприемники дискретных сигналов. Радиотелеграфные приемники

- Колебания с более высокой частотой соответствуют передаче позитивной посылки, а передача с более низкой частотой соответствует негативной посылке. При фазовой манипуляции происходит скачкообразное (дискретное) изменение фазы колебания передатчика в соответствии с передаваемой последовательностью импульсов телеграфного сигнала. При любом способе манипуляции ширина спектра определяется скоростью манипуляции. За полосу пропускания (ПП) ВЧ-тракта выбирается ПП 3–5 гармоник спектра. ПП при телеграфии получается меньше, чем при телефонии. При ручной передаче ПП во много раз меньше, чем при автоматической. При сравнении спектров АТ, ЧТ, ФТ видно, что при ЧТ скорость убывания гармоник значительно больше, чем при АТ, поэтому ПП при ЧТ уже, помехоустойчивость выше, дальность передачи больше, чем при АТ.

Радиоприемники дискретных сигналов. Радиотелеграфные приемники

- При ФТ убывание гармоник такое, как при АТ, но уровень этих гармоник в 2 раза больше за счет того, что подавлена несущая и четная гармоники. Поэтому преимуществом фазовой телеграфии является более высокая помехоустойчивость, эквивалентная увеличению мощности передатчика по сравнению с АТ в 4 раза и по сравнению с ЧТ в 2 раза, и возможность передачи двух независимых сообщений на одной несущей частоте, без расширения полосы частот канала связи. Но основным недостатком ФТ является возникновение «негативной работы» при случайном скачке фазы опорного колебания на 180° .
- Искажение формы сигналов при радиотелеграфии происходит в следствие:
 - переходных процессов в контурах манипулируемых усилителей;
 - модуляции затухающими колебаниями, возникающими в фильтрах источников питания.

Радиоприемники дискретных сигналов. Импульсные приемники

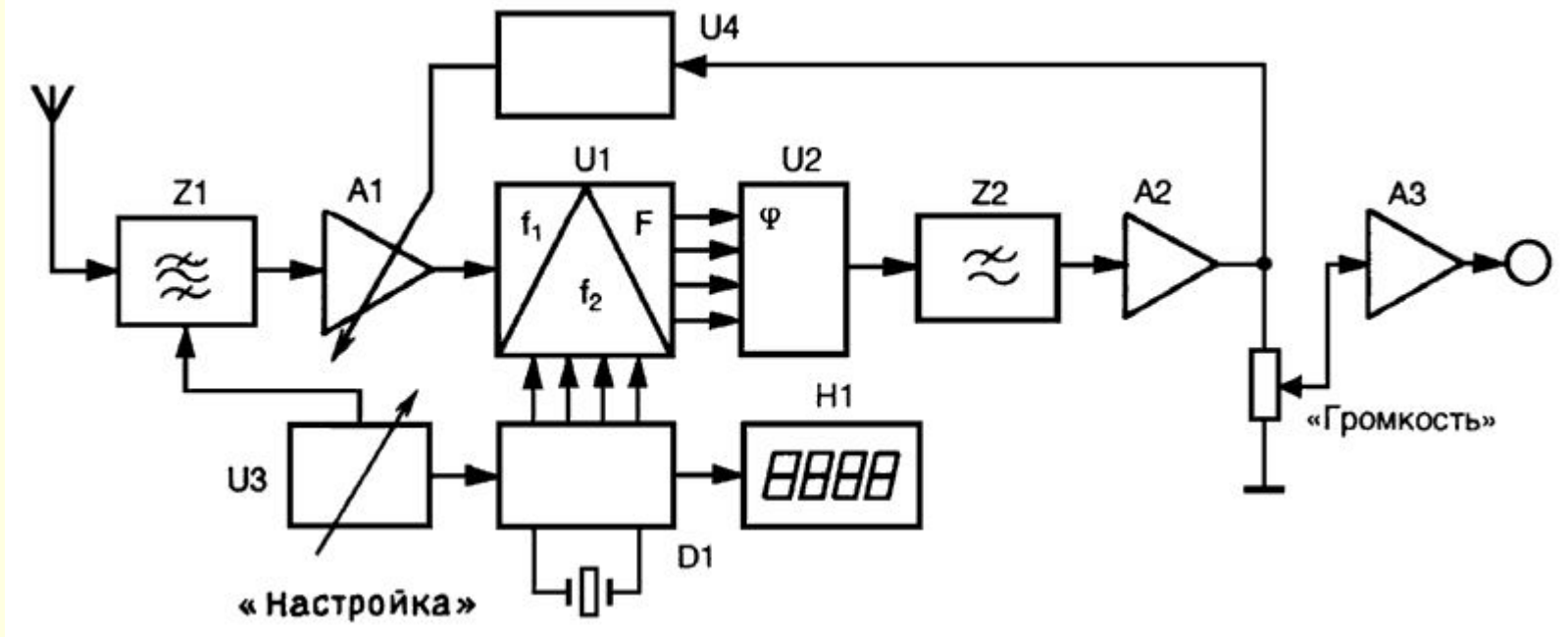
- Одноканальные импульсные приемники применяют в радиолокации, радионавигации, радиотелеметрии, связи и др., многоканальные – в радиосвязи с временным уплотнением.
- При этом между импульсами одного сообщения передаются импульсы других сообщений. Количество каналов определяется скважностью последовательности импульсов. Скважность не может быть большой из-за двух причин:
 - 1) для передачи неискаженного сигнала на периоде НЧ-сигнала должно быть не менее 3–5 прямоугольных импульсов;
 - 2) с уменьшением длительности импульсов происходит увеличение ширины спектра, что ограничивает уменьшение длительности импульса.
- При импульсной модуляции по закону передаваемого сигнала изменяется один из параметров последовательности прямоугольных импульсов. Импульсная модуляция представляет собой скачкообразное изменение амплитуды колебаний радиочастоты. Импульсное колебание характеризуется: длительностью импульса, периодом повторения импульса или частотой следования импульса, амплитудой и частотой заполнения импульсов. Искажения радиоимпульсов оцениваются длительностью фронта, длительностью среза, спадом вершины и выбросом на вершине $\Delta U/U(\%)$. Спектр импульсной последовательности имеет линейчатый характер с максимумом на несущей частоте и интервалами между соседними составляющими $\Delta\omega = \Omega$. В зависимости от изменения одного из параметров импульсов различают: АИМ, ШИМ, ЧИМ, ФИМ, где соответственно изменяются амплитуда, длительность, частота и момент начала импульса. Практически находят применение три последних метода, обладающих лучшей помехоустойчивостью, но ЧИМ сложно реализуема, а при ШИМ изменяется в процессе модуляции ширина спектра излучаемых частот. В практике радиолокации используются и более сложные виды импульсной модуляции.

Радиоприемники дискретных сигналов. Радиовещательные приемники

- Радиовещательные приемники предназначены для приема и воспроизведения звуковых монофонических и стереофонических программ радиовещания. В зависимости от условий эксплуатации РПУ подразделяются на стационарные и переносные; по электрическим и электроакустическим параметрам и комплексу потребительских удобств – на четыре группы сложности: 0 (высшую), 1, 2 и 3-ю. Разработка радиовещательных приемников, являющихся самым массовым устройством, особенно сложна и ответственна. Это связано с тем, что такие приемники должны обеспечивать прием сигналов в диапазонах ДВ, СВ, КВ, УКВ и ДЦВ с различными видами модуляции: АМ, ЧМ, ЧМ-стерео, а в последнее время и АМ-стерео. Кроме того, они должны, имея очень высокие показатели качества, обладать минимальной стоимостью. К радиовещательным приемникам предъявляют повышенные требования по надежности, поскольку ими пользуются не специалисты, а люди различных профессий. Устройства более высокой группы сложности имеют более высокие показатели качества. Например, высококачественные стационарные приемники имеют следующие показатели качества: чувствительность при отношении сигнал/шум не менее 26 дБ – не выше 2 мкВ; отношение сигнал/шум при входном сигнале 1 мВ – не менее 60 дБ; селективность по зеркальному каналу – не менее 66 дБ; диапазон воспроизводимых звуковых частот при неравномерности 14 дБ – не уже 31,5 – 15 000 Гц.

Структурная схема гетеродинного радиовещательного приемника

- Структурная схема гетеродинного радиовещательного приемника показана на *рис.*. Он содержит преселектор **Z1**, УРЧ **A1**, служащий скорее для развязки цифровой части приемника от антенны, чем для усиления, четырехфазный смеситель **U1** с синтезатором частоты **D1** и индикатором частоты настройки **H1**, НЧ фазовращатель **U2**, ФНЧ **Z2** и УЗЧ **A2**. Оконечный усилитель ЗЧ **A3** может быть встроенным или отдельным, общим для всего бытового радиокомплекса. Органом настройки приемника **U3** может быть обычная ручка, связанная с потенциометром или оптоэлектронным формирователем импульсов, клавиатура с памятью или автоматическое сканирующее устройство.



Радиоприемники дискретных сигналов. Радиовещательные приемники

- Выводы:
- 1. Современные радиовещательные приемники выполняются по супергетеродинной схеме; для одновременного приема как АМ, так и ЧМ-сигналов РПУ содержит два отдельных тракта радиочастоты и общий тракт УПЧ.
- 2. Стереофонические вещательные приемники имеют стереодемодулятор, в котором осуществляется восстановление амплитуды поднесущей частоты, детектирование полярномодулированного колебания, коррекция передыскажений, а также разделение каналов.
- 3. Повышение качества воспроизведения звуковых программ в радиовещательных приемниках достигается путем применения:
 - а) ИС и многофункциональных БИС;
 - б) электронно-варикапной настройки, а также автоматических систем регулировки усиления, настройки и подстройки частоты;
 - в) цифровых СЧ и индикаторных устройств;
 - г) керамических, кварцевых и монокристаллических фильтров;
 - д) сенсоров и электронных коммутирующих устройств.
- 4. Использование цифровой схмотехники, микропроцессоров позволило значительно расширить функции в радиовещательных приемниках.

Радиоприемники дискретных сигналов.

Профессиональные радиоприемные устройства декаметровых волн

- Коротковолновая радиосвязь играет важную роль в народном хозяйстве. Несмотря на создание радиорелейных, спутниковых и кабельных сетей связи с их большой пропускной способностью, коротковолновая связь сохраняет свое значение как одно из основных средств связи. На декаметровых волнах осуществляются магистральная, зонавая и местная радиосвязи; авиационная и морская связь; радиосвязь в системе железнодорожного транспорта и др.
- Для радиосвязи на дальние расстояния используют волны, отражающиеся от ионосферы в процессе распространения и позволяющие устанавливать связь при относительно небольших мощностях передатчиков. Однако дисперсность, неоднородность и нестабильность отражающих слоев ионосферы делают связь в декаметровом диапазоне неустойчивой. Для обеспечения устойчивости связи необходимо знать максимальную частоту, при которой волны, отражаясь от ионосферы, обеспечивают работу радиоприемника с наибольшей надежностью. Такую частоту называют максимально применимой (МПЧ). Поскольку слой F2, от которого в основном происходит отражение радиоволн, наиболее часто подвержен ионосферным возмущениям, при сеансе радиосвязи возможны изменения МПЧ. Для КВ-канала является характерным замирание сигнала на входе приемника. Под замирающим сигналом подразумевают сигнал с флуктуирующими параметрами.
- В профессиональном РПУ (Рис. 14) можно выделить следующие основные функциональные блоки: главный тракт приема (ГТП); синтезатор частот (СЧ); блок управления (БУ); выходные устройства (ВУ); блок питания (БП).

Радиоприемники дискретных сигналов. Профессиональные радиоприемные устрой- ства декаметровых волн

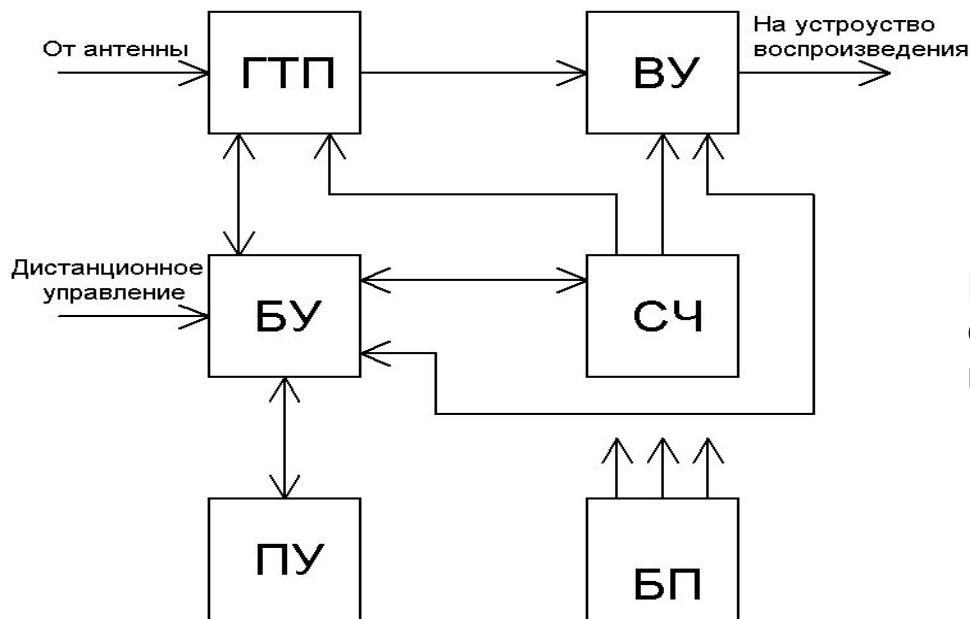


Рис. 14. Функциональная схема профессионального РПУ

- Задача ГТП–осуществлять предварительную селекцию, усиление и преобразование сигнала. Синтезатор вырабатывает гетеродинные напряжения с нужными частотами. Выходные устройства обеспечивают оптимальную или близкую к ней обработку принимаемого сигнала. Тип ВУ определяется видом принимаемого сигнала. Блок управления осуществляет функции управления и контроля за работой приемника как с местного пульта ПУ, так и на расстоянии. На ПУ поступает информация о состоянии РПУ: рабочей частоте настройки, ширине полосы пропускания, параметрах цепи АРУ, типе демодулятора и т.д. Профессиональные КВ РПУ принимают различные виды телеграфных и телефонных сигналов.

Радиоприемники дискретных сигналов.

Профессиональные радиоприемные устройства декаметровых волн

- Для магистральной радиосвязи отведен диапазон частот 1.5–30 МГц, однако в ряду РПУ диапазон принимаемых частот несколько отличается от рекомендованного, особенно из-за расширения в область частот ниже 1.5 МГц. Для большинства профессиональных КВ-приемников коэффициент шума составляет 7–10 дБ; типовые нормы на ослабление побочных каналов составляют 100–120 дБ. Стабильность синтезаторов частот, используемых в РПУ, составляет .
- Синтезаторы выполняются с шагом установки частоты 1, 10 или 100 Гц. Иногда допускается дополнительная плавная перестройка в пределах дискретного шага. При работе приемника в автоматизированных системах связи большое значение имеет время настройки на требуемую рабочую частоту, под которым понимают интервал между сигналом к настройке и сигналом готовности приемника к приему в эксплуатационном режиме. Допустимое время настройки во многом определяет выбор системы настройки приемника, а следовательно, и основные конструктивные решения.
- Наименьшее время настройки (10 ... 100 мс) реализуется при электронной настройке.

Радиоприемники дискретных сигналов. Профессиональные радиоприемные устройства декаметровых волн

- Выводы:
- 1. В профессиональных РПУ используется двойное или тройное преобразование частоты, часто с наддиапазонной первой промежуточной частотой. Для расширения динамического диапазона и повышения реальной селективности в преселекторе применяются аттенюаторы, ультралинейные УРЧ, балансные преобразователи частоты на полевых транзисторах, кольцевые преобразователи на диодах Шоттки.
- 2. Основная селекция обычно обеспечивается в тракте второй промежуточной частоты с помощью переключаемых кварцевых и монокристаллических фильтров.
- 3. В профессиональных РПУ, как правило, производится автоматическая электронная настройка на требуемую частоту. Напряжения с частотами гетеродинов вырабатываются высокостабильным синтезатором частот. Наряду с электронной плавной перестройкой входных цепей широко используется фильтровый способ настройки.
- 4. Микропроцессор является одним из основных узлов современного профессионального РПУ. Он выполняет функции контроля и управления.
- 5. В профессиональных РПУ широко внедряются методы цифровой обработки сигнала; РПУ обладают широкими возможностями управления и контроля как с местного пульта, так и на расстоянии с помощью дистанционного управления, как по проводам, так и с помощью служебной радиосвязи.

Радиоприемники дискретных сигналов. Радиолокационные приемники

- Радиолокационные приемники (РЛП) являются составной частью радиолокационных станций (РЛС), предназначенных для обнаружения, определения координат и параметров движения удаленных объектов (целей) путем приема отраженной от них электромагнитной энергии. В зависимости от структуры радиолокационного сигнала различают два вида РЛС—с импульсными и непрерывными сигналами. В импульсных РЛС передатчик периодически излучает кратковременные зондирующие импульсы (ЗИ) с гармоническим либо с частотно-модулированным ВЧ-заполнением, которые отражаются от объекта и принимаются РЛП в промежутках между зондирующими импульсами. В РЛС с непрерывным излучением используются немодулированные и ЧМ-колебания.

Радиоприемники дискретных СИГНАЛОВ. Радиолокационные приемники

- В импульсных РЛС (рис. 15) передатчик излучает в направлении объекта короткие СВЧ-радиоимпульсы, которые после отражения от объекта поступают на вход приемника с временным сдвигом $\Delta t = 2R/c$. Где R - расстояние до объекта.

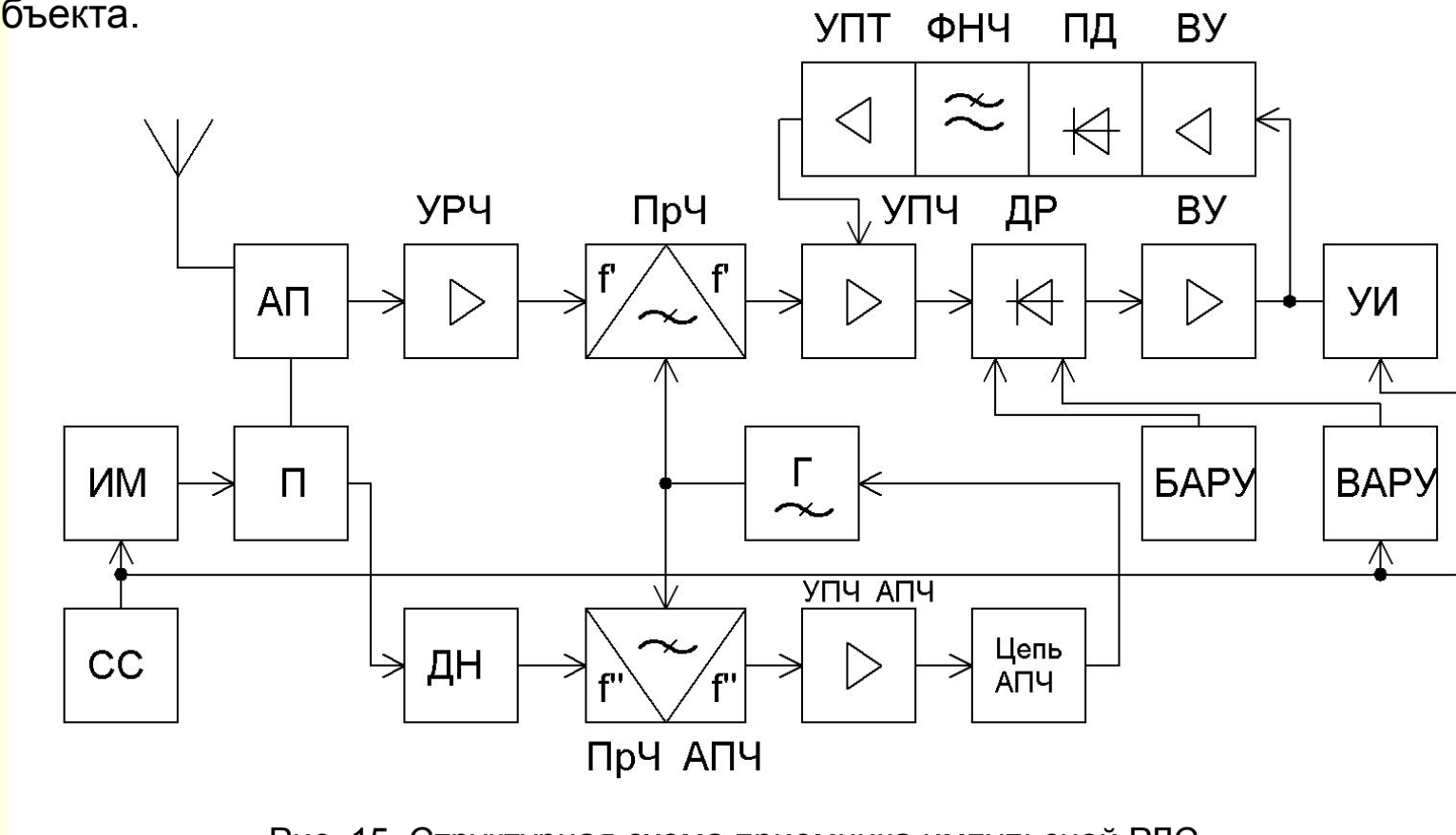


Рис. 15. Структурная схема приемника импульсной РЛС

Радиоприемники дискретных сигналов. Радиолокационные приемники

- По значению Δt можно судить о расстоянии R до объекта; узкая диаграмма направленности антенны РЛС позволяет определять угловое направление на объект. Система синхронизации (СС) вырабатывает синхроимпульсы (СИ), которые вызывают срабатывание импульсного модулятора (ИМ). Импульсы со стабильным периодом повторения от ИМ запускают мощный импульсный передатчик (П), генерирующий короткие радиоимпульсы. Эти радиоимпульсы через антенный переключатель (АП), осуществляющий автоматическое переключение антенны с передачи на прием и обратно и обеспечивающий защиту входа приемника от больших уровней импульсного сигнала на выходе передатчика, излучаются в пространство в направлении объекта. Отраженный от объекта радиоимпульс принимается антенной и через АП передается на вход РЛП. Поскольку передаваемые и принимаемые радиоимпульсы разнесены во времени, в РЛС можно использовать общую антенну для передатчика и приемника. Сигнал с выхода АП усиливается малошумящим УРЧ, преобразуется в ПрЧ в сигнал промежуточной частоты, детектируется в детекторе радиоимпульсов (ДР), усиливается видеоусилителем (ВУ) и подается на устройство индикации (УИ), работа которого синхронизируется от СС. В УИ регистрируется время Δt между переданным и принятым импульсами. В качестве УИ обычно используют электронно-лучевую трубку. Для автоподстройки частоты гетеродина (Г) применяют двухканальную АПЧ. В приемнике РЛС по схеме рис. 15. предусмотрена, обычная программная и быстродействующая АРУ.

Радиоприемники дискретных сигналов. РПУ систем мобильной связи

- В зависимости от условий эксплуатации в соответствии с ГОСТ 16019–70 радиостанции делятся на девять групп. К пятой группе относятся мобильные радиостанции, предназначенные для работы на речных судах (а также на судах смешанного плавания) и устанавливаемые во внутренних помещениях. Отдельно, самостоятельно РПУ в системах мобильной связи не применяется: выполнено оно в едином корпусе совместно с радиопередающим устройством, так как отдельные узлы и блоки радиостанции работают как на прием, так и на передачу. В радиостанциях подвижной связи используются как симплексный, так и дуплексный режим работы. Симплексным является режим, при котором передача и прием возможны попеременно в каждом из двух направлений. При дуплексном режиме, передача и прием возможны одновременно в обоих направлениях. Для симплексного режима работы переключение радиостанции с приема на передачу и наоборот осуществляется с помощью тангенты или автоматически от голоса абонента.

Радиоприемники дискретных сигналов. РПУ систем мобильной связи

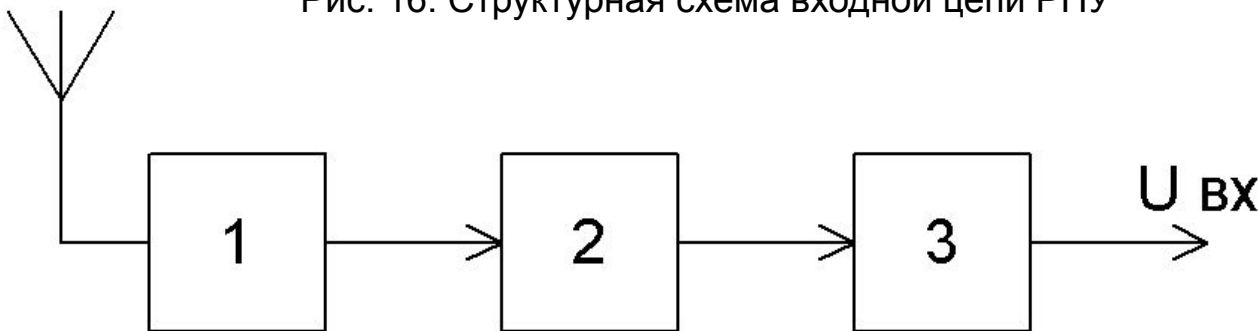
- В настоящее время в речном флоте широко используются портовые радиостанции типа «Кама-П» и судовые типа «Кама-С». В системе речной связи используется 11 каналов (с 1 по 5 симплексные каналы в диапазонах 300.0–300.2 МГц, с 6 по 11 – дуплексные каналы в диапазонах 300.25–300.5 МГц и 336.25–336.5 МГц). Связь с абонентами АТС ведется на дуплексном канале через радиостанцию типа «Кама-П» при помощи диспетчера портовой радиостанции. Возможно дистанционное управление радиостанцией типа «Кама-П» с вынесенного до 100 м пульта управления или телеуправление – при расстояниях до 10 км по телефонному каналу. В случае телеуправления используются дополнительные блоки (шифратор, дешифратор и стандартные телефонные усилители ИТУМ). Радиостанции типа «Кама» соответствуют речному Регистру, а по электронным параметрам – ГОСТ 12252–70.
- Дальность связи обеспечивается до 20–30 км. Чувствительность приемника при отношении сигнал/шум 20 дБ–2 мкВ. Выходная мощность приемника – 1 Вт. Рвых РПДУ – 30 Вт.
- Антенна–вертикальный вибратор. ДН – круговая. Разнос частот между каналами 50 кГц. Тип модуляции – ЧМ.

Радиоприемники дискретных сигналов. РПУ систем мобильной связи

- Для морского флота используется система УКВ-радиосвязи на базе аппаратуры типа «Порт-2», «Корабль-2», «Корабль-3» работающей в диапазоне 156–162 МГц на 26 каналах с разносом по частоте между соседними каналами 50 кГц. На малотоннажных судах используются радиостанции типа «Катер», для лоцманской службы – радиостанции типа «Лоцман».
- Система УКВ-радиосвязи для морского флота используется для переговоров непосредственно между судоводителями, диспетчерами различных береговых служб, а также пассажирами и командами судов с абонентами городской телефонной сети. Работа ведется на 78 рабочих каналах (из них 55–международных и 23–национальных). Дальность связи обеспечивается между базовыми и судовыми радиостанциями до 30 миль.
- Радиостанции типа «Рейд» имеют 78 каналов связи (35–дуплексных и 43–симплексных) в диапазоне 156–158 МГц с разносом по частоте 25 кГц для связи между судами в море.
- Радиостанция типа «Причал» малогабаритная, с питанием от батарейки. Диапазон 156.3–158 МГц, число каналов – 4.

Входные цепи РПУ

Рис. 16. Структурная схема входной цепи РПУ



- Входная цепь представляет собой колебательную систему, связанную с антенной и первым каскадом приемника элементами связи (рис. 16), где 1 – элемент связи с антенной, 2 – колебательный контур, 3 – элемент связи с первым каскадом собственно РПУ. Входная цепь предназначена для предварительного осуществления частотной избирательности и наилучшей передачи энергии принятого радиосигнала из антенны на вход первого каскада радиоприемника. Входное устройство выполняет роль согласующего трансформатора сопротивления антенны и входного сопротивления первого каскада. При согласовании этих сопротивлений на вход первого каскада поступает наибольшая мощность принятого сигнала.

Входные цепи РПУ

- Элементы связи ослабляют влияние антенны и входного сопротивления первого каскада на настройку и добротность колебательного контура, а следовательно, и на избирательность входной цепи. Используемые виды связи с антенной следующие: непосредственная (рис. 17а), индуктивная (рис. 17б), емкостная (рис. 17в), комбинированная (рис. 17г).

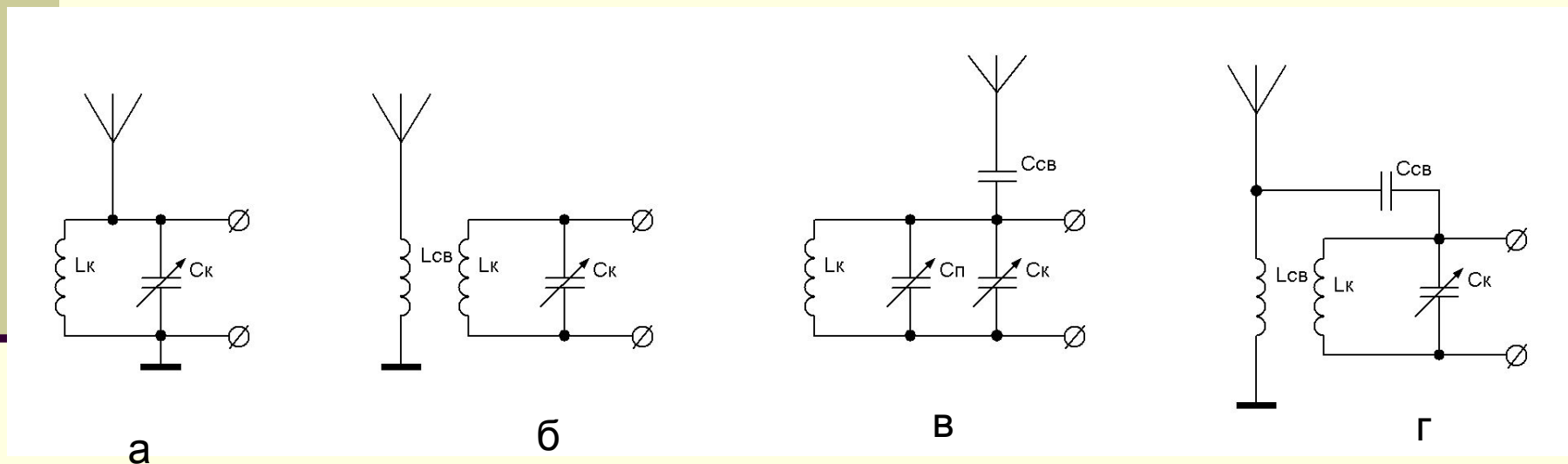


Рис. 17. Схемы связи входной цепи с антенной

Входные цепи РПУ

■ Основные характеристики входной цепи:

1. коэффициент передачи по напряжению $K_0 = \frac{U_{\text{вх}}}{E_a}$ где,

$U_{\text{вх}}$ – входное напряжение; E_a – ЭДС в антенне.

2. коэффициент передачи по мощности $K_p = \frac{P_{\text{вх}}}{P_a}$

где $P_{\text{вх}}$ – входная мощность; P_a – мощность в антенне.

3. δ - коэффициент избирательности

Он показывает, во сколько раз коэффициент передачи на резонансной частоте входной цепи больше его значения при расстройке входной

цепи на Δf : $\Delta f = f_0 - f$ то есть $\delta = \frac{K_0}{K \Delta f}$

В приемнике прямого усиления входная цепь осуществляет избирательность по соседнему каналу при частотной расстройке $\Delta f = 9$ кГц, а в супергетеродинном приемнике – по зеркальному каналу при и на частоте, равной

$$f_{\text{пр}}$$

$$\Delta f = 2 f_{\text{пр}}$$

Входные цепи РПУ

4. коэффициент перекрытия диапазона $K = \frac{f_{0\max}}{f_{0\min}}$

Полосы пропускания входной цепи определяют на уровне 0.707 от максимального значения коэффициента передачи по напряжению K_0 .

5. Коэффициенты непостоянства параметров входной цепи при перестройке РПУ в пределах рабочего диапазона для коэффициента передачи по напряжению, полосы пропускания и избирательности соответственно равны:

$$K = \frac{K_2}{K_1} \quad K_{\Pi} = \frac{\Pi_2}{\Pi_1} \quad K_{\delta} = \frac{\delta_2}{\delta_1}$$

где K_1, Π_1, δ_1 и K_2, Π_2, δ_2 - параметры в начале и в конце рабочего диапазона соответственно.

Эти коэффициенты должны быть по возможности ближе к 1, чтобы основные параметры РПУ изменялись незначительно.

Входные цепи РПУ

- Коэффициент передачи входной цепи по напряжению зависит как от связи с антенной m_1 , так и от связи с первым каскадом m_2 . Коэффициент будет максимальным при согласовании антенны с контуром. Условие согласования выполняется тогда, когда приведенная проводимость антенны равна сумме проводимостей контура и приведенной входной проводимости первого каскада РПУ, то есть входной проводимости первого каскада с учетом коэффициента включения m_2 .

$$g_a m_1^2 = g_k + g_{вх} m_2^2$$

g_a - проводимость антенны, g_k - проводимость контура, $g_{вх}$ - входная проводимость.

Отсюда находится оптимальный коэффициент включения антенны, обеспечивающий режим согласования:

$$m_{\text{опт}} = \sqrt{\frac{g_{\text{к экв}}}{g_a}}; \quad g_{\text{к экв}} = g_k + g_{\text{вх}} m_2^2$$

Входные цепи РПУ

Следовательно,

$$K_{\text{вх max}} = \frac{m_{\text{опт}} m_2 g}{m_{\text{опт}}^2 g_a + g_x + g_{\text{вх}} m_2^2} = \frac{m_2}{2} \sqrt{\frac{g}{g_x + g_{\text{вх}} m_2^2}}$$

Из этого выражения видно, что **m1** и **m2** находятся в числителе и в знаменателе и, следовательно, оказывают на коэффициент передачи двойное влияние. Это значит, что выбор, например коэффициента **m1** оптимальным образом определяет значение коэффициента **m2** и наоборот.

Избирательность входной цепи определяется его резонансной характеристикой, форма которой зависит от эквивалентной добротности входного контура (зависящей, в свою очередь, от вносимых и из антенны и из входа первого каскада проводимостей). Для повышения избирательности следует уменьшать вносимые проводимости, ослабляя связь контура с антенной и входом первого каскада, то есть уменьшать коэффициенты **m1** и **m2**. Но уменьшение **m1** и **m2** ведет к уменьшению коэффициента передачи входной цепи по напряжению (то есть выбирать их надо оптимальными). При всех видах связи входной цепи с антенной последняя вносит в колебательный контур входной цепи активные и реактивные (емкостное или индуктивное) сопротивления.

Входные цепи РПУ

- Вносимое активное сопротивление ухудшает добротность контура, а вносимое реактивное сопротивление вызывает расстройку контура и при изменении частоты эта расстройка также изменяется.
- При этом изменяются избирательность и полоса пропускания входной цепи. Чтобы не допустить ухудшения избирательности, уменьшают связь с антенной. Из-за влияния антенны на входную цепь коэффициент передачи входной цепи при ее перестройке будет изменяться по диапазону (см. рис. 18).

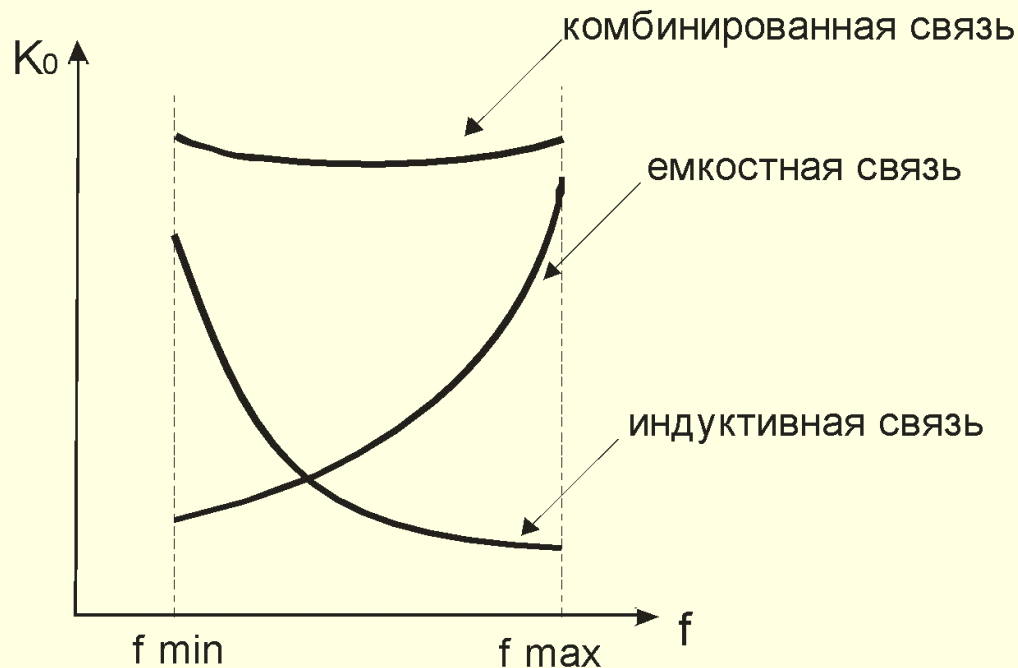
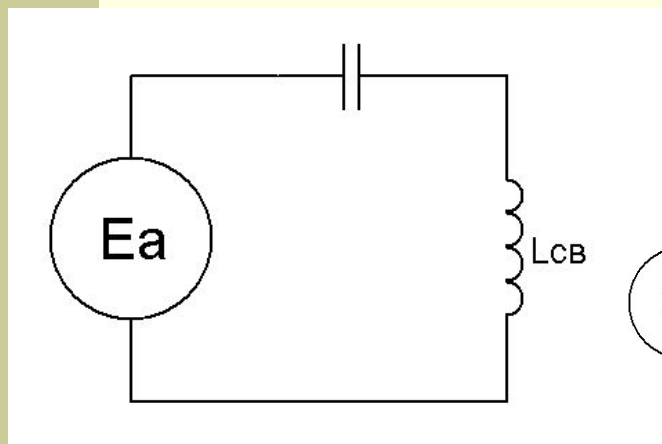


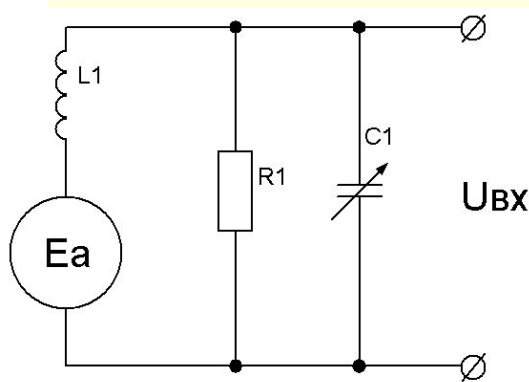
Рис. 18. Зависимость коэффициента передачи входной цепи от вида связи с антенной

Входные цепи РПУ

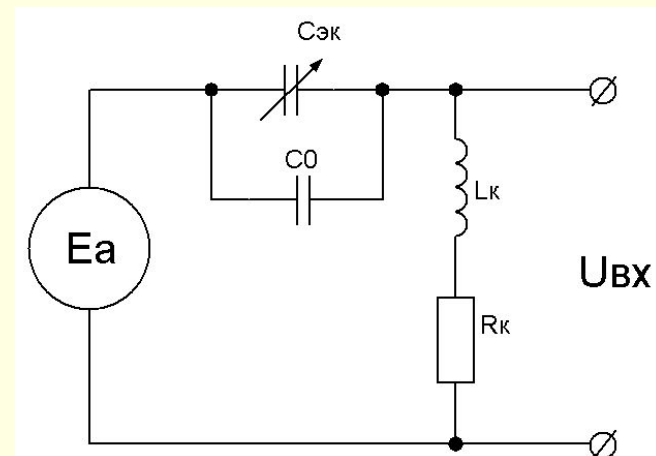
- При индуктивной связи с антенной коэффициент передачи убывает с ростом частоты настройки (f). Коэффициент передачи по диапазону желательно иметь постоянным (рис.19).



а



б



в

Рис. 19. Эквивалентные схемы входной цепи:
а, б - с индуктивной связью; в - с емкостной связью

Входные цепи РПУ

- Для схемы с индуктивной связью (выборки из теории цепей)

$$E_K = J_A \cdot \omega_0 \cdot M; \quad \omega_A^2 = \frac{1}{L_{CB} C_A}$$

- где M – коэффициент взаимоиндукции;

$$J_A = \frac{E_A}{Z_A}$$

$$K_0 = \frac{U_{BX}}{E_A} = \frac{K_{CB} Q_{ЭКВ}}{1 - \frac{\omega_A^2}{\omega_0^2}} \sqrt{\frac{L_K}{L_{CB}}}$$

$$\frac{K_{CB}}{1 - \frac{\omega_A^2}{\omega_0^2}} \sqrt{\frac{L_K}{L_{CB}}} = m_1 \text{ (от же, что и упоминался выше)}$$

$$K_{\Theta KB} = \frac{U_{BX}}{E_A} = m_1 Q$$

Входные цепи РПУ

- Для схем с емкостной связью все аналогично, поэтому приведем только конечные выражения:

$$\text{Здесь } C_{\text{ЭКВ}} = \frac{C_A C_{\text{СВ}}}{C_A + C_{\text{СВ}}} ; C_{\text{ВХ}} = C + C + C$$

$C_{\text{ЭКВ}}$ эквивалентная емкость контура

$C_{\text{М}}$ емкость монтажа

$$E_{\text{Э}} = J_A X_{\text{ЭКВ}} = \frac{J_A C_0}{C_{\text{ЭКВ}} + C_0} = J m_1$$

$$U_{\text{ВХ}} = E_A Q = E_A m_1 Q_{\text{ЭКВ}} ; m_1 = \frac{C_0}{C_{\text{ЭКВ}} + C_0}$$

$$K_{\text{ВХ Ц}} = \frac{U_{\text{ВХ}}}{E_A} = \frac{E_A m_1 Q_{\text{ЭКВ}}}{E_A} = m_1 Q_{\text{ЭКВ}} ; m_1 = \frac{C_{\text{СВ}}}{C_{\text{ЭКВ}}}$$

$$K_{\text{ВХ Ц}} = \frac{Q_{\text{ЭКВ}} C_{\text{СВ}}}{C_{\text{ЭКВ}}} ;$$

$$K_{\text{ВХ Ц}} = C_{\text{СВ}} Q_{\text{ЭКВ}} \omega^2 L_K$$

Усилители радиочастоты

- К УРЧ относятся каскады, осуществляющие усиление сигнала на радиочастоте и обеспечивающие частотную избирательность. В состав УРЧ входит электронный прибор и избирательная система как нагрузка электронного прибора. Связь избирательной системы с выходом усилительного прибора и входом следующего каскада выполняется с помощью цепей связи (m_1 и m_2).
- Чтобы повысить чувствительность приемника, УРЧ должен обладать малыми собственными шумами и большим коэффициентом передачи по мощности. Совместно с входной цепью усилители должны обеспечивать избирательность приемника по зеркальному каналу, каналу промежуточной частоты, а также по отношению к сильным помехам, вызывающим нелинейные эффекты. УРЧ должны также обеспечивать защиту антенны от проникновения в нее колебаний гетеродина, которые могут создавать помехи соседним РПУ. УРЧ характеризуется такими параметрами, как коэффициент усиления по напряжению и мощности, полоса пропускания, избирательность.
- Искажения сигналов в усилителях вызваны характеристиками избирательных цепей и нелинейностью характеристик усилительных приборов. Устойчивость работы усилителя – это способность его сохранять постоянство основных параметров при изменении условий эксплуатации.

Усилители радиочастоты

Рассмотрим принцип действия УРЧ (рис. 20).

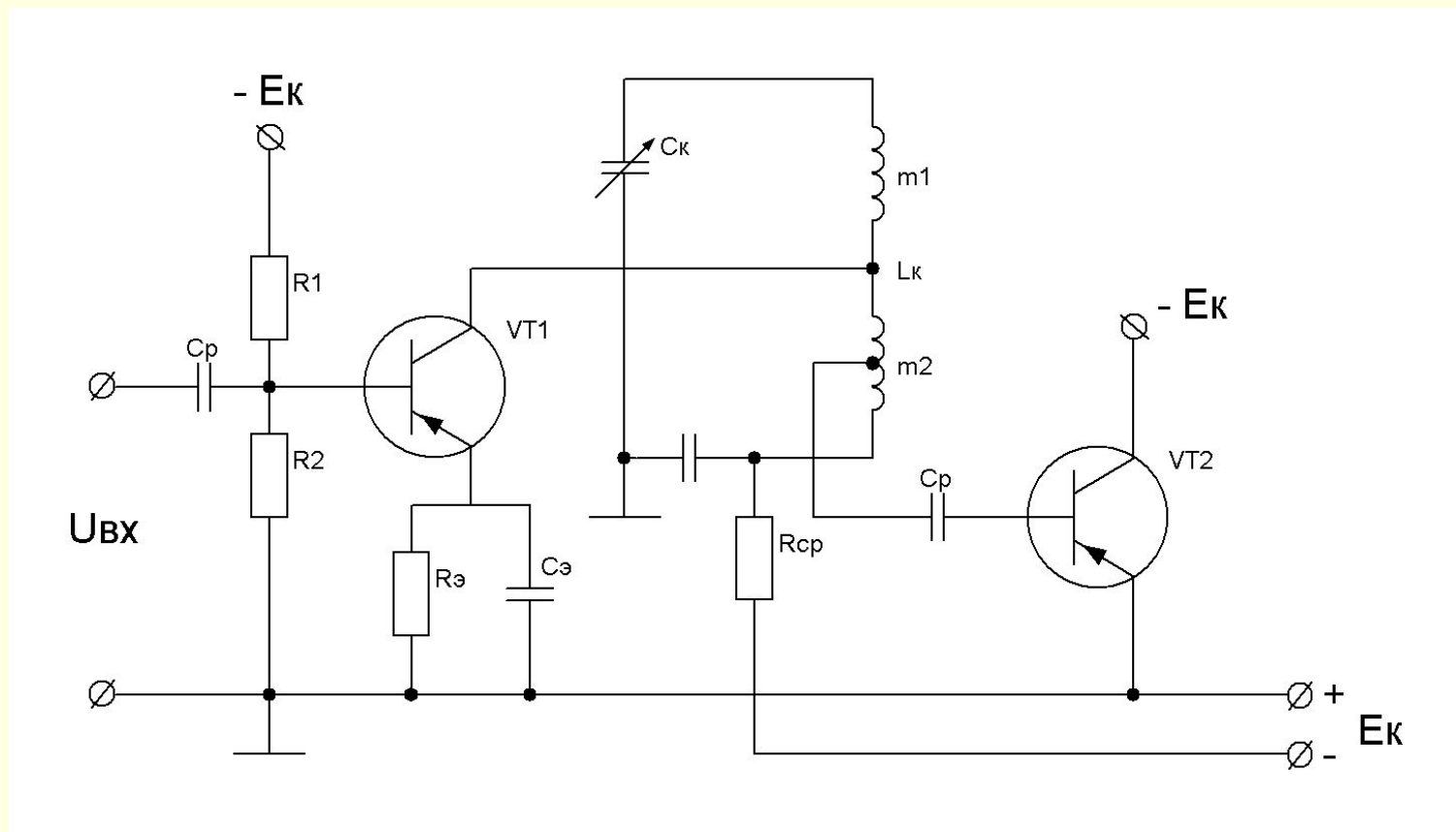


Рис. 20. Принципиальная схема УРЧ с общим эмиттером и автотрансформаторной связью

Усилители радиочастоты

- На заданную частоту колебательный контур настраивается конденсатором переменной емкости C_k . Питание коллекторной цепи осуществляется от источника питания E_k по последовательной схеме питания.
- Резонансный коэффициент усиления K_o равен:

$$K_o = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}} = m_{\text{ЭВБ}} m_2 S \cdot R_2 = m_{\text{ЭВБ}} m \rho Q_k = m m S Q 2\pi f L$$

- Где R_k – эквивалентное сопротивление контура, S – крутизна проходной характеристики транзистора:

$$S = \frac{di_x}{dU_{\text{б}}} = \frac{di_{\text{ВЫХ}}}{dU_{\text{ВХ}}}$$

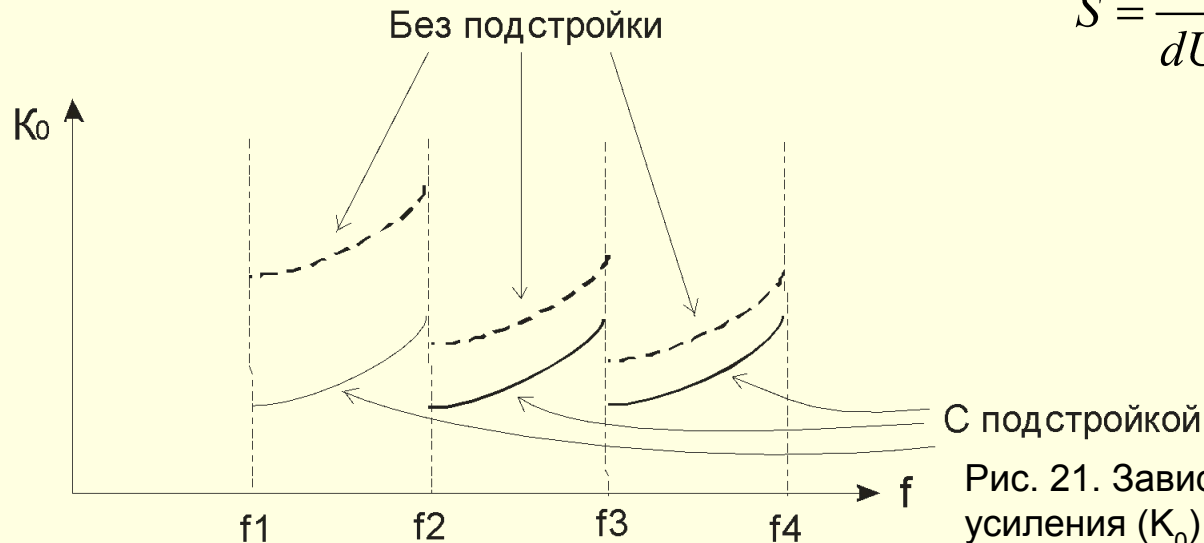


Рис. 21. Зависимость коэффициента усиления (K_o) УРЧ от частоты настройки

Усилители радиочастоты

- Из приведенной формулы видно, что в пределах одного поддиапазона ($L = \text{const}$) резонансный коэффициент усиления пропорционален частоте настройки усилителя f_0 и с увеличением частоты растет (рис. 21). Небольшая нелинейность изменения коэффициента усиления объясняется нелинейностью зависимости добротности контура от частоты. При переключении поддиапазона индуктивность контура изменяется скачком, поэтому скачком изменяется и коэффициент усиления. Выровнять коэффициенты усиления при смене поддиапазонов можно, подобрав в каждом поддиапазоне коэффициент включения усилительного элемента в контур m_1 . Тогда коэффициенты усиления в начале каждого поддиапазона будут одинаковыми (см. рис. 21, сплошные линии).

Усилители радиочастоты

Рассмотрим принцип действия УРЧ (рис. 22).

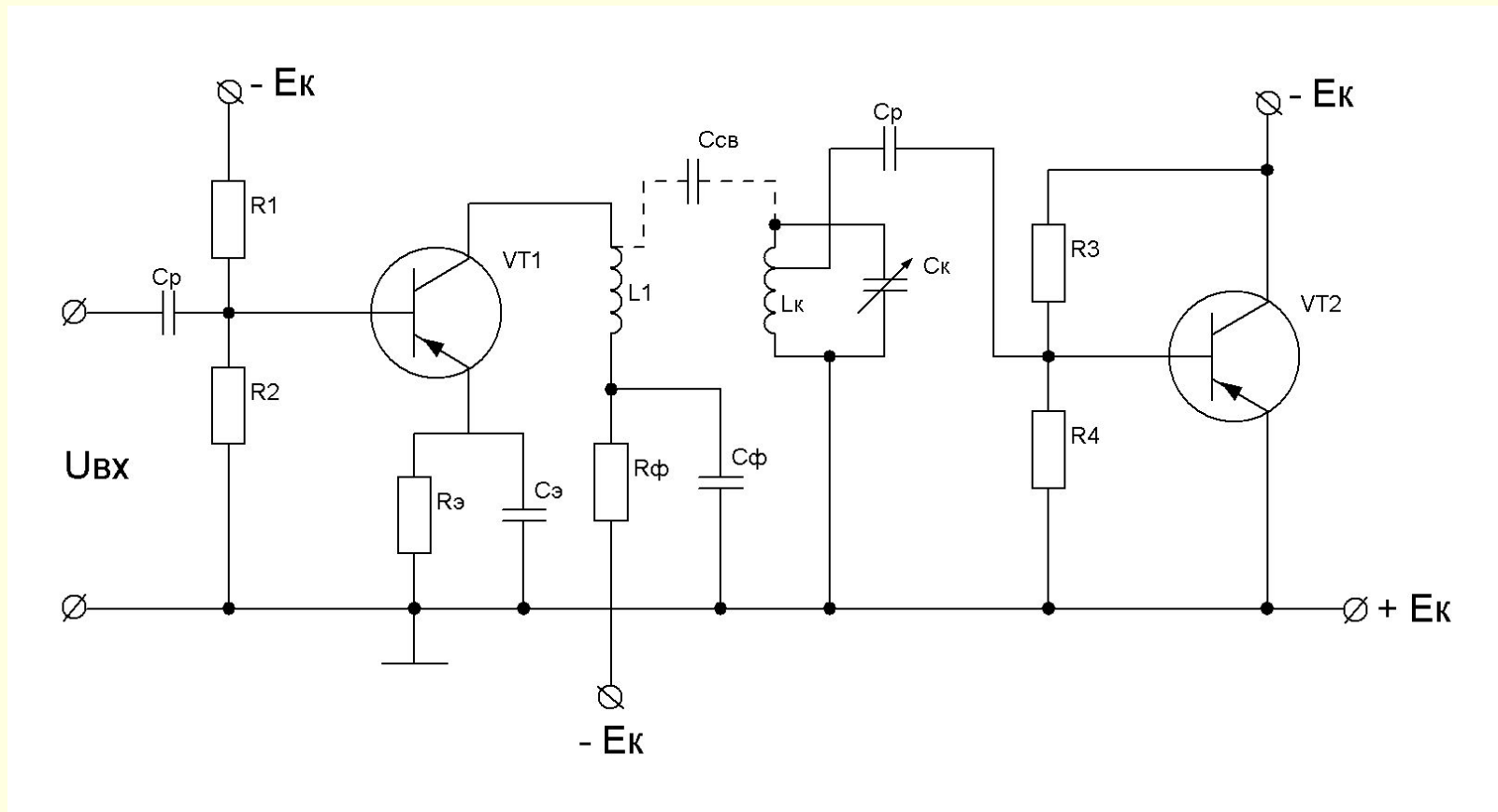


Рис. 22. Принципиальная схема УРЧ с трансформаторной связью

Усилители радиочастоты

- Физические процессы в схеме протекают аналогично процессам, представленным в схеме с автотрансформаторной связью. Отличие в том, что переменный ток сигнала в выходной цепи протекает через катушку $L_{св}$. В результате в катушке контура L_k наводится ЭДС и на контуре создается усиленное напряжение входного сигнала. Эквивалентная схема усилительного каскада с трансформаторной связью представляет собой систему двух связанных контуров. Первый контур образован индуктивностью связи $L_{св}$ и входной емкостью, включающей емкость монтажа и емкость катушки связи:
 - $$C_{вх} = C_M + C_{св}.$$
- Второй контур состоит из индуктивности L_k и емкости C_k , а также емкости монтажа и входной емкости следующего (второго) каскада:
 - $$C_{эк} = C_k + C_M + C_{вх2}.$$
 -
- Второй контур настраивается на рабочую частоту f_0 конденсатором C_k
- Значение и характер изменения коэффициента усиления каскада по диапазону зависят от собственной резонансной частоты f_1 первого контура ($L_k - C_{вых}$).

Усилители радиочастоты

- В зависимости от соотношения частот этих двух контуров f_0 и f_1 возможны три режима работы усилителя (рис. 23):
 - режим удлинения $(f_1 < f_{\min})$ – 2,
 - режим укорочения $(f_1 > f_{\max})$ – 1
- и средний режим $(f_{\min} < f_1 < f_{\max})$ – 3.

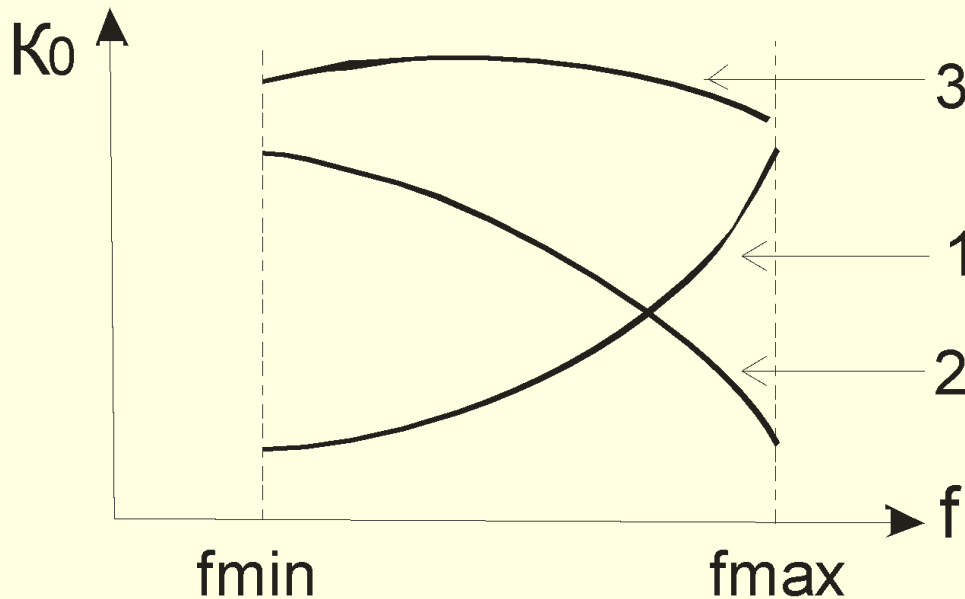


Рис. 23. Зависимость резонансного коэффициента усиления УРЧ от частоты в пределах поддиапазона

Усилители радиочастоты

- Когда резонансная частота первого контура меньше резонансной частоты второго контура, то второй контур имеет индуктивный характер. А когда частота первого контура выше резонансной частоты второго контура – то емкостный характер.
- Зависимость резонансного коэффициента усиления УРЧ от частоты получается аналогичной оэффициенту передачи входной цепи с комбинированной связью (рис. 24).

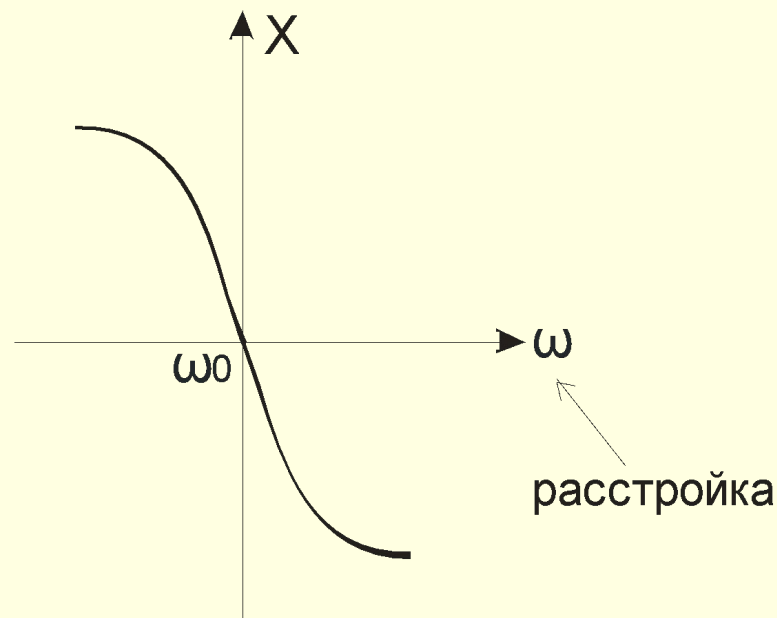


Рис. 24. Характер реактивного сопротивления контура (L_K, C_K) в зависимости от частоты контура (L_1, C_{CB})

Усилители радиочастоты

- В результате изменения внешних условий параметры усилительного прибора и других элементов схемы могут изменяться и вызывать изменения параметров усилителя в целом. Особенно сильное влияние на устойчивость работы усилителя оказывает положительная обратная связь. При выполнении условий баланса фаз и баланса амплитуд возникает самовозбуждение усилителя: в результате он превращается в автогенератор, то есть работает неустойчиво. Под устойчивой работой усилителя понимают такой режим работы, при котором он не только не самовозбуждается, но и далек от самовозбуждения и сохраняет постоянство параметров в процессе эксплуатации. Обратные связи в усилителе создаются следующим образом:
 - через внутреннюю обратную связь в усилительном приборе $C_{кб}$ (емкость коллектор-база);
 - через общие источники питания;
 - через индуктивные и емкостные связи отдельных каскадов.
- Наличие внутренней проводимости ($C_{кб}$) в усилительных приборах приводит к влиянию этой проводимости на параметры контура и вызывает изменения АЧХ усилителя.

Усилители радиочастоты

- Степень изменения АЧХ и основных параметров усилителя характеризуется коэффициентом устойчивости K_{yc}

$$K_{yc} = \frac{R_{эк0}}{R_{эк}} = \frac{Q_{эк0}}{Q_{эк}} = \frac{\Pi}{\Pi_0}$$

- Где $R_{эк0}$, $Q_{эк0}$, Π_0 – соответственно эквивалентное резонансное сопротивление, добротность и полоса пропускания без учета влияния обратной связи, а $R_{эк}$, $Q_{эк}$, Π – с учетом влияния обратной связи. Коэффициент устойчивости может быть от 0 до 1, и чем он ближе к 1, тем больше запас устойчивости и тем дальше усилитель от самовозбуждения. Обычно коэффициент устойчивости равен 0,8 – 0,9.
- При этом изменение параметров усилителя будет составлять 10–20 %, что допустимо.
- Искажение формы АЧХ будут тем сильнее, чем больше коэффициент усиления УРЧ. Для нормальной работы усилителя необходимо уменьшить изменение АЧХ под действием внутренней обратной связи.

Усилители радиочастоты

- Поэтому следует определить максимальный устойчивый коэффициент усиления, при котором искажения будут допустимыми. Для одноконтурного усилителя:

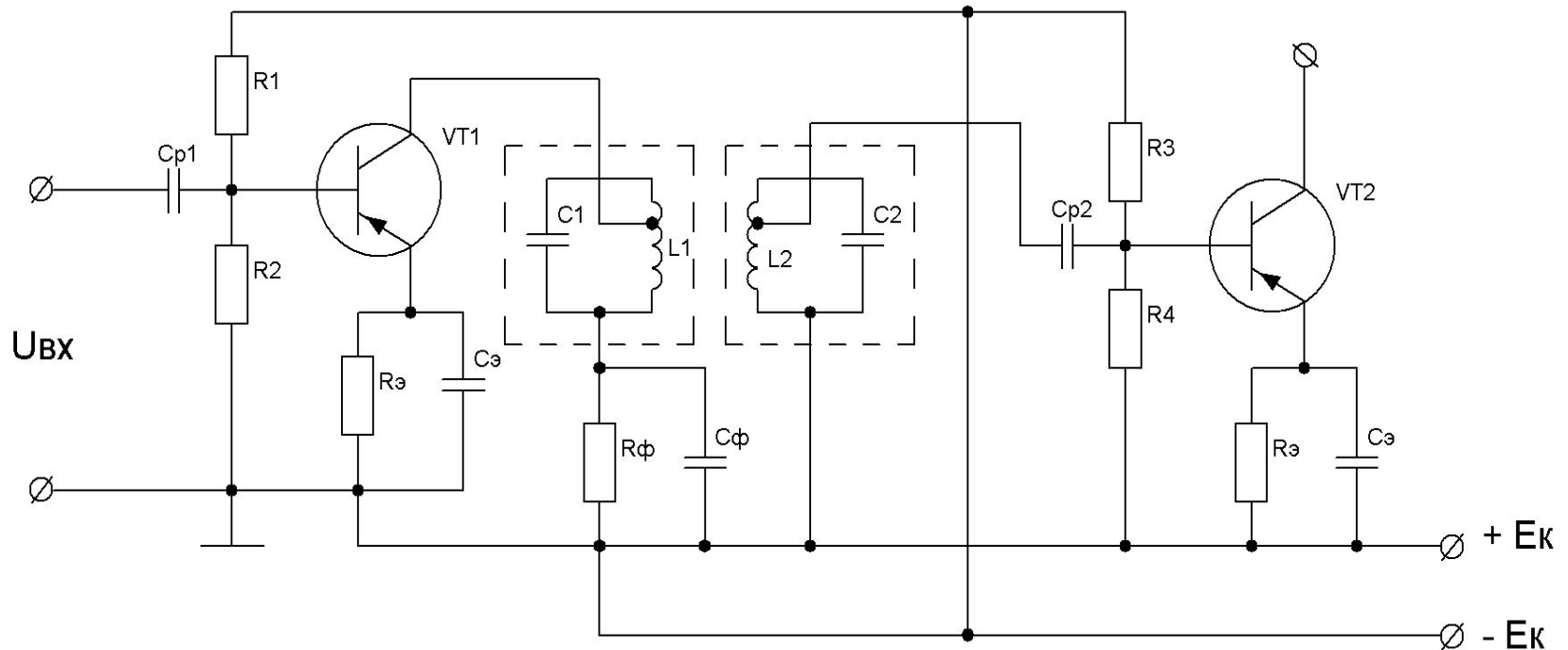
$$K_{уст} = \sqrt{2(1 - K_{уст}) S_0 / (\omega C_{кб})}$$

- где S_0 – крутизна характеристики усилительного прибора, ω – рабочая частота, $C_{кб}$ – проходная емкость для транзистора.
- Если рассчитанный коэффициент усиления по выражению $K_0 = m_1 m_2 S_p Q_{эКВ}$ оказывается больше, чем $K_{0уст}$, то его надо уменьшить, ослабив связь m_1 контура усилителя с усилительным прибором. Условием устойчивости является выполнение неравенства $K_0 < K_{0уст}$.
- Повышения устойчивости работы УРЧ осуществляется методами:
- применения транзисторов с минимальной внутренней обратной связью или большим отношением $C_0/C_{кб}$; нейтрализации внутренней обратной связи или **каскадного** включения транзисторов; включения транзистора по схеме ОБ (с общей базой).

Усилители промежуточной частоты (УПЧ)

- К УПЧ относятся каскады РПУ, которые усиливают принимаемый сигнал на постоянной промежуточной частоте. В радиовещательных приемниках АМ-сигналов промежуточная частота (ПЧ) обычно выбирается порядка 465 кГц, при приеме ЧМ-сигналов – 10 МГц. Полоса пропускания частот УПЧ связанных приемников с АМ-модуляцией равна 6 кГц, радиовещательных – 9–13 кГц, а при ЧМ – 250 кГц.
- УПЧ обеспечивают основное усиление сигнала для нормальной работы детектора и основную избирательность по соседнему каналу. Для этого УПЧ должен иметь большой коэффициент усиления. Обычно УПЧ состоит из 2–3 и более каскадов. Отличительной особенностью УПЧ является то, что частота усиленного сигнала постоянна. Она не изменяется при изменении частоты принимаемого сигнала, если приемник перестраивается на другую станцию. Это дает возможность применять в УПЧ сложные избирательные цепи, обеспечивающие частотные характеристики, близкие к прямоугольным. Работа УПЧ аналогична УРЧ, только вместо частоты сигнала f_c нужно иметь в виду промежуточную частоту, поэтому коэффициент усиления по напряжению однокаскадного УПЧ такой же, как у УРЧ: $K_0 = m_1 m_2 S_p Q_{экв}$, но избирательность одноконтурного УПЧ невысокая из-за небольшого небольшого коэффициента прямоугольности его АЧХ. Его применение ограничено.

Усилители промежуточной частоты (УПЧ)



■ Рис. 25. Двухконтурный УПЧ

Усилители промежуточной частоты (УПЧ)

■ Применение в УПЧ двухконтурных (полосовых) фильтров позволяет улучшить параметры усилителя, особенно избирательность. Связь между контурами полосового фильтра может быть индуктивной, внешне емкостной, внутриемкостной и комбинированной (Рис. 26).

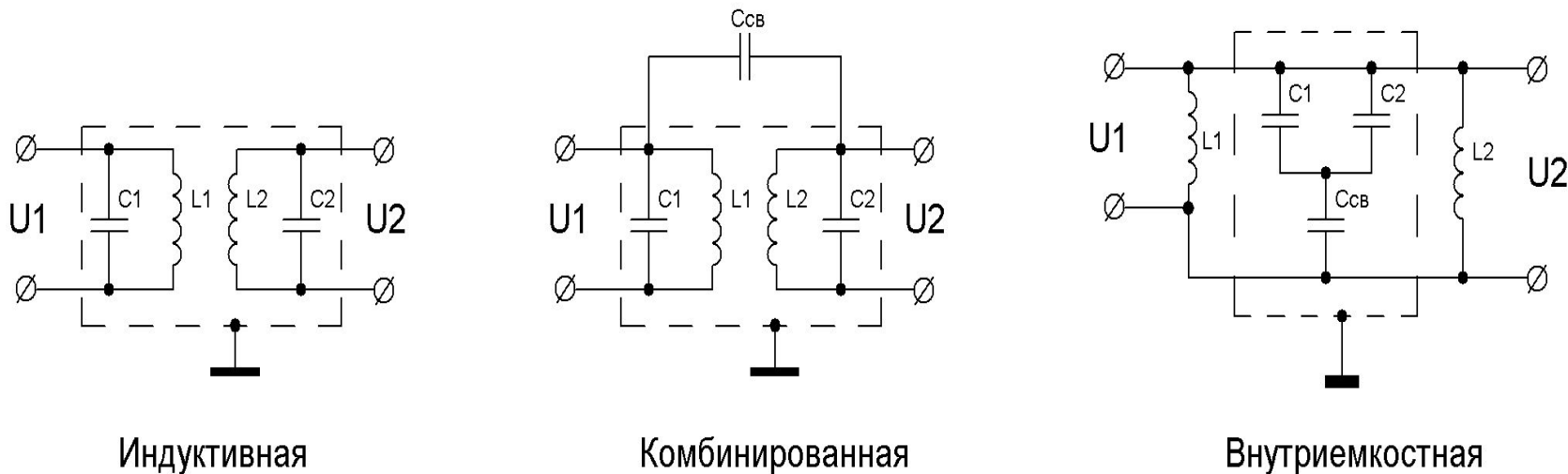


Рис.26. Связь между контурами

Усилители промежуточной частоты (УПЧ)

- Коэффициент усиления каскада УПЧ по напряжению:

$$K = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}} = m_{\phi} m_2 S \rho K$$

- где K_{ϕ} – коэффициент передачи полосового фильтра

$$K_{\phi} = \frac{\beta}{(1 + \beta^2)} \quad \beta = \frac{M}{Z_{\text{ЭКВ}}} K_{\text{СВ}} L; \quad K_{\text{СВ}} = \sqrt{\frac{1}{1 + 2}}$$

- M – взаимоиנדукция.
- Резонансный коэффициент усиления каскада УПЧ:

$$K_{\text{ЭКВ}} = \frac{\beta}{(1 + \beta^2)} m_1 m_2 S \rho Q$$

- Коэффициент усиления двухконтурного, полосового УПЧ зависит от фактора связи между контурами β (Рис. 27).

Усилители промежуточной частоты (УПЧ)

- Возможно три случая связи:
- $\beta_1 < 1$ – слабая связь; $\beta_2 = 1$ – критическая связь; $\beta_3 > 1$ – сильная связь.
- Наибольшее значение $K_\phi = \frac{\beta}{(1 + \beta^2)}$ принимает при критической
- связи (при $\beta = 1$ $= 0.5$), тогда коэффициент усиления:

$$K_{\text{окв}} = 0.5 m_{\text{мак}} m_2 S \rho Q = K$$

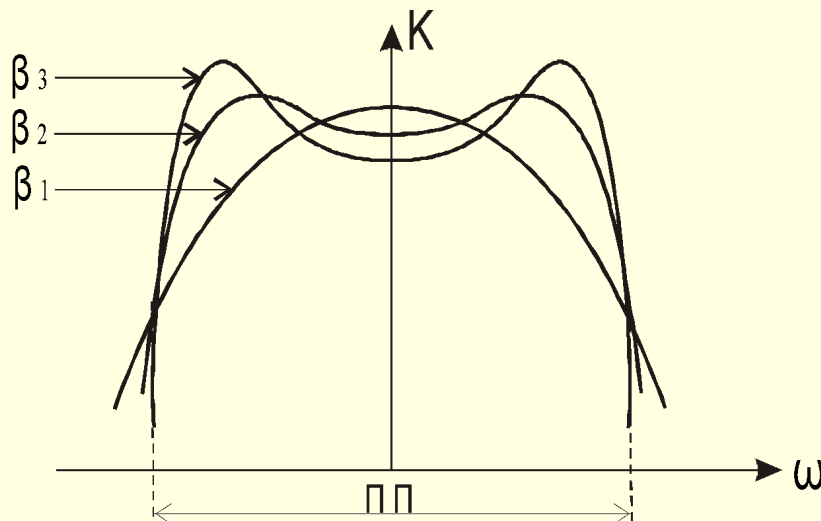


Рис. 27. АЧХ полосового фильтра при различной связи $\beta_3 > \beta_2 > \beta_1$

Усилители промежуточной частоты (УПЧ)

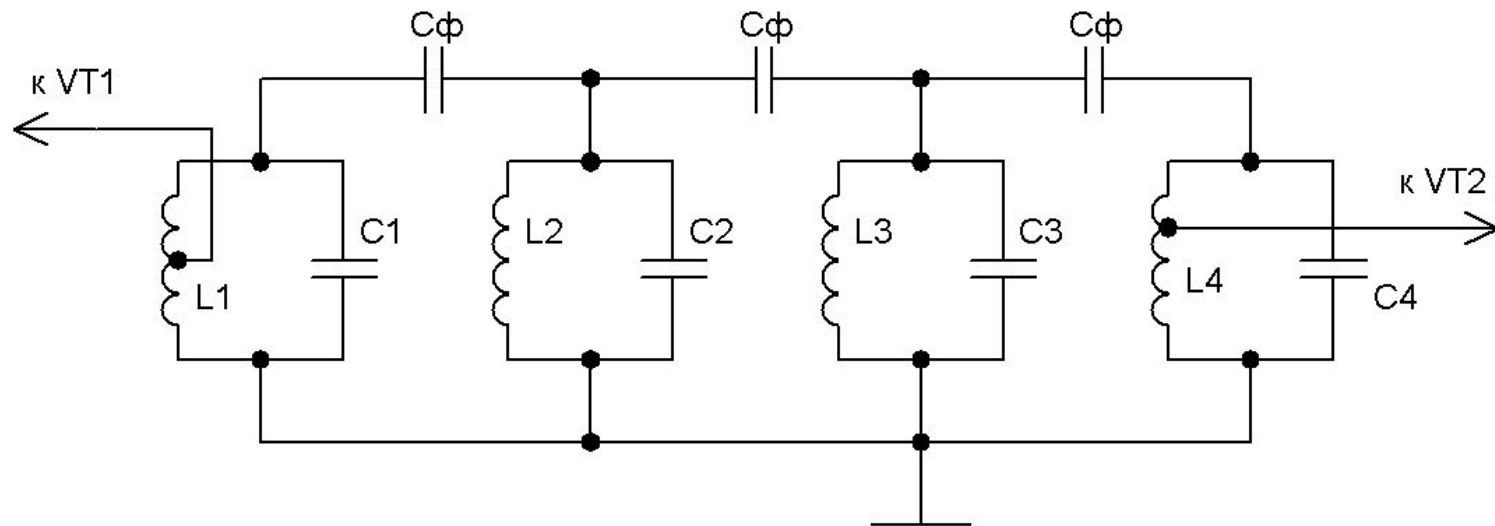


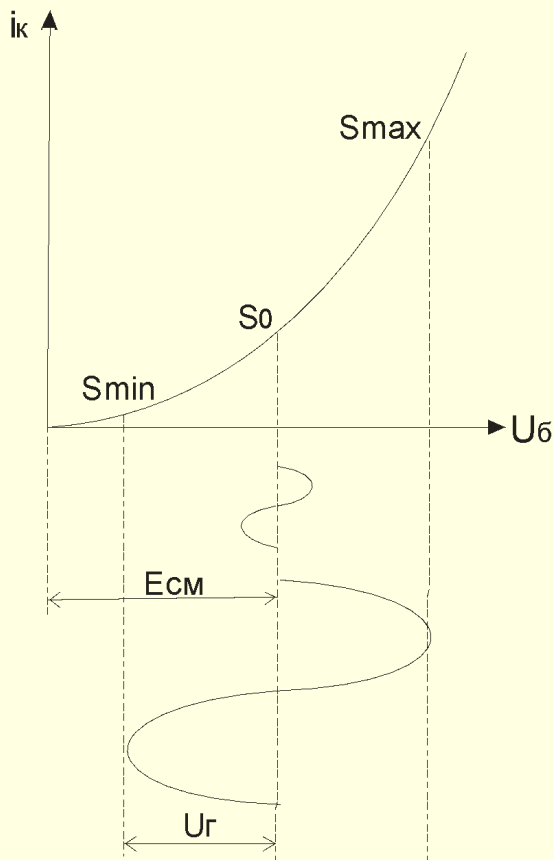
Рис. 28. Схема фильтра сосредоточенной селекции (ФСС)

- Улучшение свойств избирательности системы идет по линии усложнения фильтров. Разновидностью таких систем являются фильтры с сосредоточенной селекцией (ФСС): электрические, пьезоэлектрические, электромеханические, пьезокерамические и пьезомеханические (рис. 28).

Преобразователи частоты

- Преобразователем частоты (ПЧ) называется каскад РПУ, в котором осуществляется преобразование колебаний принимаемых сигналов одной радиочастоты в колебания промежуточной частоты. ПЧ должны выполнять следующие функции:
- 1. Преобразование несущей частоты сигнала f_c в $f_{пр}$ в промежуточную частоту. Для этого нужен нелинейный элемент.
- 2. Сохранение закона модуляции исходного сигнала. Здесь необходим линейный элемент.
- 3. Выделение напряжения промежуточной частоты на выходе преобразователя. Эту функцию выполняет избирательная система.
- Первые две функции выполняет усилитель на транзисторе. Для больших амплитуд, приложенных ко входу напряжения, транзистор будет нелинейным прибором. Для малых амплитуд можно выбрать участок характеристики, близкий к линейному и рассматривать транзистор как линейный элемент (Рис. 29).

Преобразователи частоты



- Огибающая модулирующего сигнала не должна быть искажена. Поэтому напряжение сигнала U_c на входе преобразователя должно быть малым, чтобы транзистор был для него линейным элементом. Чтобы транзистор был одновременно и нелинейным элементом на его вход надо подавать напряжение гетеродина $U_г$ значительно большей амплитуды (то есть $U_г \gg U_c$). В ПЧ происходит перемножение двух напряжений. На выходе ПЧ выделяется напряжение промежуточной частоты $f_{пр} = f_г - f_c$. Преобразовательный прибор вместе с избирательной цепью называется смесителем

Рис. 29. ВАХ транзистора

Преобразователи частоты

- На вход ПЧ подается напряжение сигнала, представляющее амплитудно-модулированное колебание:

$$U_c = U_c (1 + m \cos \Omega t) \cos \omega_c t$$

- и напряжение гетеродина $U_r = U_r \cos \omega_r t$; $U_r \gg U_c$

- Под действием сравнительно большего напряжения гетеродина $U_r \gg U_c$
- ($U_r \approx 10$ В, $U_c \approx 1$ мВ) изменение характеристики преобразовательного прибора носит периодический характер:

$$S(t) = S_0 + S_c \cos \omega t$$

- Затем пишем выражение для тока сигнала на выходе ПЧ:

$$i = S U_c = (S_0 + S_c \cos \omega t) U_c (1 + m \cos \Omega t) \cos \omega_c t$$

- и потом, после математического преобразования:

$$i = S_0 U_c (1 + m \cos \Omega t) \cos \omega_c t + 0.5 S_c U_c (1 + m \cos \Omega t) \cos(\omega_c - \omega) t + 0.5 S_c U_c (1 + m \cos \Omega t) \cos(\omega_c + \omega) t$$

Преобразователи частоты

- Избирательная цепь на выходе ПЧ настроена на промежуточную
- частоту $f_{\text{пр}} = f_{\Gamma} - f_c$
- Поэтому на выходе ПЧ выделяется напряжение промежуточной частоты:

$$U_{\text{пр}} = 0.5 S_{\Gamma} U_c (1 + m \cos \Omega t) \cos [(\omega_{\Gamma} - \omega_c) t] = U_{\text{пр}} (1 + m \cos \Omega t) \cos \omega_{\text{пр}} t$$

Диодный преобразователь частоты

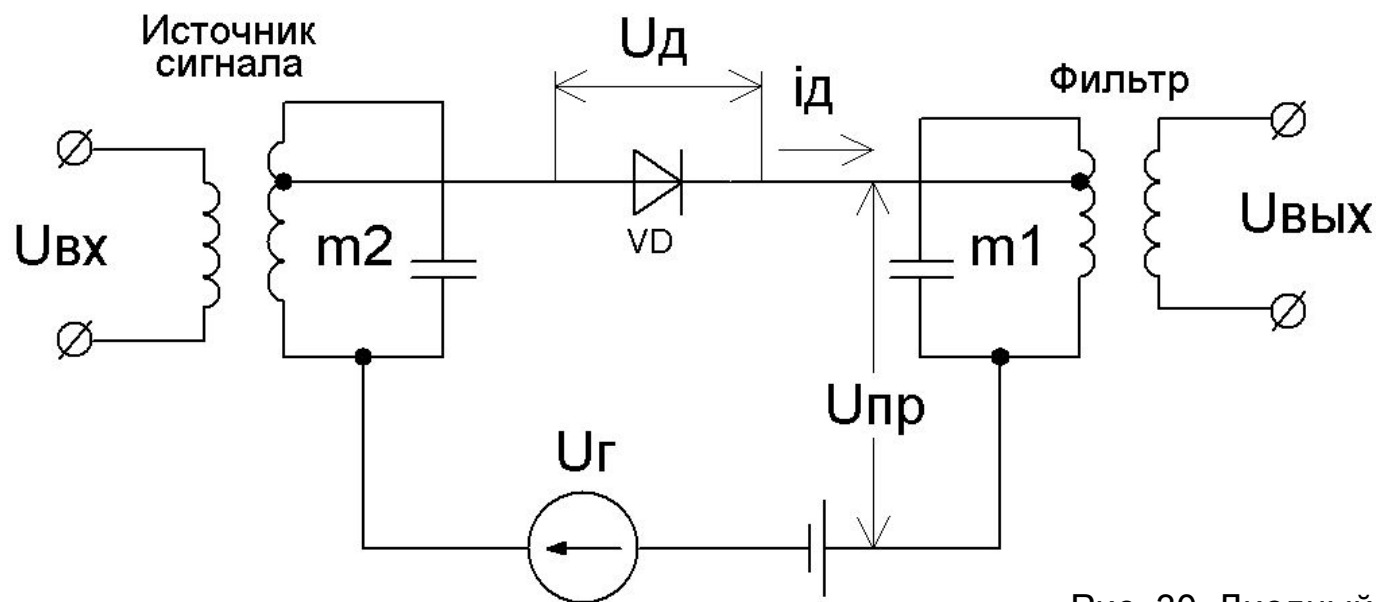


Рис. 30. Диодный ПЧ

- В большинстве СВЧ-приемников в качестве преобразующих элементов (ПЭ) используются кристаллические диоды, обладающие малым временем пролета электронов (малой инерционностью) и сравнительно малыми шумами. Такие ПЧ применяют в РПУ КВ-диапазона (рис.30).

Диодный преобразователь частоты

- Фильтр настроен на промежуточную частоту ($f_{\text{пр}}$).
- Частичное подключение диода к входному и выходному контурам снижает шунтирующее действие на них сопротивления диода. В реальных конструкциях диодных ПЧ СВЧ-входной контур выполняют в виде отрезка полосковых или коаксиальных линий, а также в виде объемных резонаторов. В некоторых ПЧ предусматривают источник напряжения смещения E , оптимизирующий рабочий участок ВАХ диода.
- Достоинством диодного ПЧ является простота схемы
- Недостатки: а) отсутствие усилительных свойств; б) цепь сигнала и гетеродина сильно взаимозависимы. На выходе должна быть сложная фильтрующая система, так как там много комбинационных частот.

Балансные преобразователи частоты

Балансные ПРЧ (или ПЧ) представляют собой соединение двух небалансных преобразователей (рис. 31).

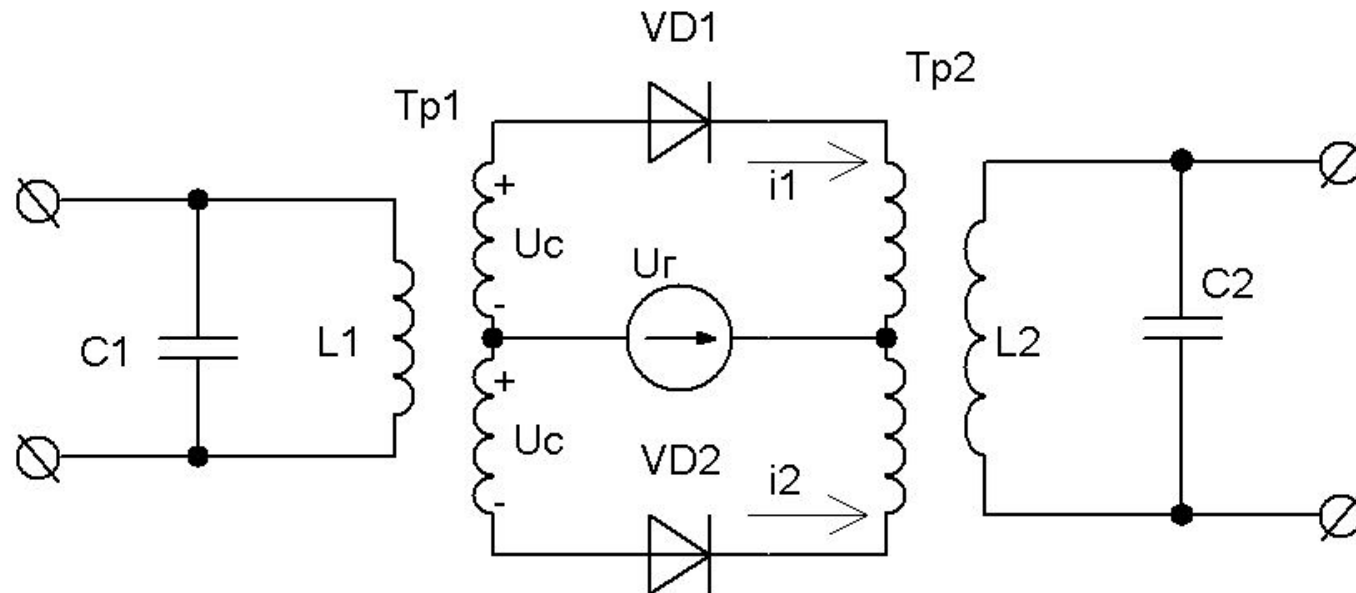


Рис. 31. Балансный ПЧ

Балансные преобразователи частоты

- В зависимости от подачи напряжения U_c и U_r на ПЭ (преобразовательный элемент) возможно два варианта построения балансных ПРЧ.
- При первом варианте напряжения сигнала на ПЭ равны по значению, но противоположны по фазе (противофазные сигналы). Напряжение гетеродина на обоих ПЭ (на обоих диодах) равны по значению и синфазны.
- При втором варианте напряжение сигнала – синфазное, а напряжение гетеродина – противофазное.
- Общим для обоих вариантов построения балансных ПРЧ является то, что из двух подводимых напряжений U_c и U_r одно действует на оба диода синфазно, а другое – противофазно. Напряжение на выходе балансного ПРЧ определяется разностью выходных токов ПЭ (преобразовательного элемента или диодов). Балансный ПРЧ имеет свойства, аналогичные свойствам двухтактного усилителя, такие как:
 - компенсация всех помех от любых источников на выходе каскада при их синфазном воздействии на ПЭ. При этом на выходе ПРЧ нет напряжения шумов гетеродина, а во входную цепь приемника не просачивается напряжение с частотой гетеродина;
 - компенсация четных гармоник токов ПЭ в нагрузке, что приводит к уменьшению в балансном преобразователе числа побочных каналов.

Кольцевые ПРЧ

- Для повышения развязки между цепями сигнала и гетеродина, а так же для обеспечения практически полного исключения прохождения сигнала гетеродина в цепи промежуточной частоты используют двойные балансные ПРЧ, получившие название кольцевых ПРЧ (рис. 32).

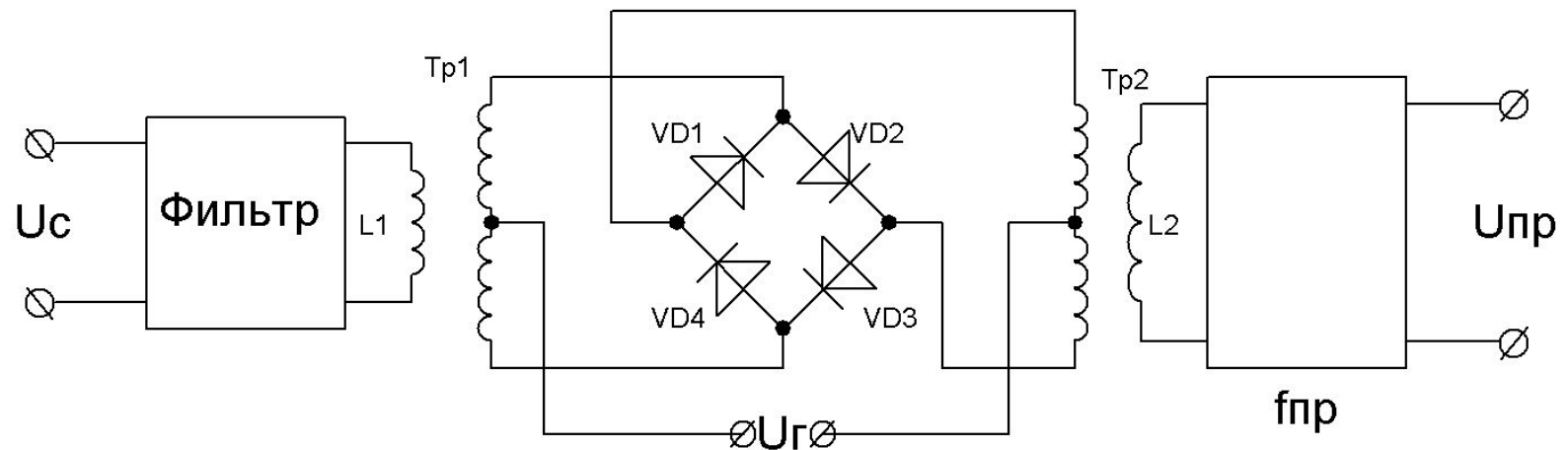


Рис. 32. Кольцевой ПЧ

Кольцевые ПРЧ

- Напряжение сигнала через согласующую катушку связи со средней точкой подаётся в первую диагональ моста, а во вторую – включена катушка связи с фильтром промежуточной частоты. Напряжение гетеродина подключено между средними точками катушек связи. На выходе кольцевого ПРЧ при высокой симметрии плеч обеспечивается подавление побочных эффектов преобразования. Данные ПРЧ используют в диапазоне частот до 100 МГц в РПУ КВ-диапазона.
- Достоинства данных ПРЧ по сравнению с балансными:
- коэффициент передачи в два раза выше (двухполупериодное преобразование);
- меньший уровень комбинационных частот ($n\omega_r \pm \omega_c$).

Транзисторные преобразователи частоты (ТПЧ)

- В ТПЧ в качестве преобразующего элемента используют биполярный или полевой транзистор. Под действием напряжения $U_{г}$ гетеродина периодически с частотой $f_{г}$ изменяется во времени крутизна S транзистора, за счет чего и происходит преобразование частоты.
- По аналогии с усилителем в ТПЧ напряжение сигнала может подаваться как в цепь базы (рис.33,а) – схема с ОЭ, либо в цепь эмиттера (схема с ОБ – рис. 33,б)

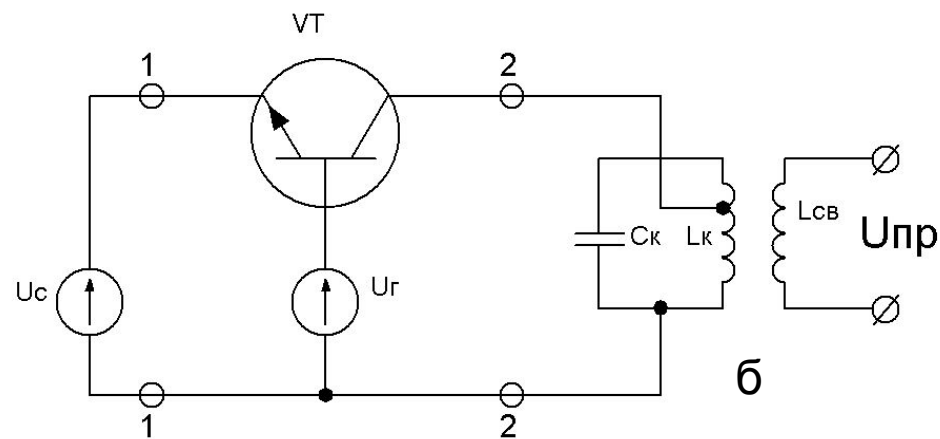
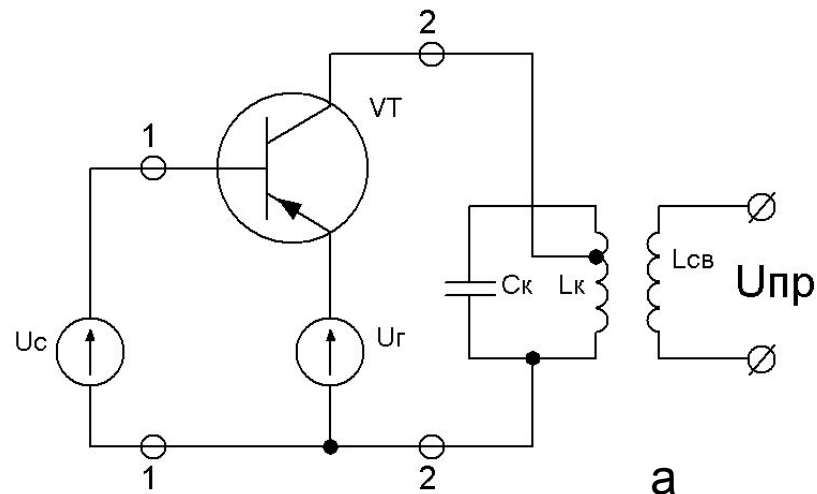


Рис. 33. Транзисторный преобразователь частоты (ТПЧ): а – с общим эмиттером; б – с общей базой

Транзисторные преобразователи частоты (ТПЧ)

- На упрощенной схеме по переменному току ТПЧ с ОЭ, показано, что напряжение сигнала подано в цепь базы транзистора, а напряжение гетеродина – в цепь эмиттера (см. рис. 33,а). Для сигнала транзистор включен по схеме с ОЭ, а для гетеродина - по схеме с ОБ.
- На схеме ТПЧ с общей базой (см. рис. 33,б) напряжение сигнала подано в цепь эмиттера транзистора, а напряжение гетеродина – в цепь базы (для гетеродина это схема с ОЭ). В обоих преобразователях суммарное напряжение сигнала и гетеродина действует между эмиттером и базой. В преобразователе с ОЭ (рис. 33,а) входной ток с частотой сигнала определяется током базы, а в преобразователе с ОБ (рис. 33,б) – током эмиттера. Поскольку ток базы меньше тока эмиттера, преобразователь с ОЭ потребляет от источника сигнала меньший ток по сравнению с преобразователем с ОБ. Напряжение гетеродина можно подавать в цепь совместно с напряжением сигнала, однако при этом между цепями сигнала и гетеродина возникает связь, которая может привести к следующим явлениям:
 - взаимному влиянию настройки контуров сигнала и гетеродина;
 - просачиванию напряжения с частотой сигнала в цепь гетеродина, что может вызвать синхронизацию гетеродина напряжением сигнала;
 - излучению антенной приемника сигнала с частотой гетеродина, если контур является входным, что создает помехи другим близко расположенным РПУ.

Транзисторные преобразователи частоты (ТПЧ)

Для ослабления обозначенных отрицательных явлений напряжение сигнала и гетеродина подаются в различные цепи транзистора (рис. 34).

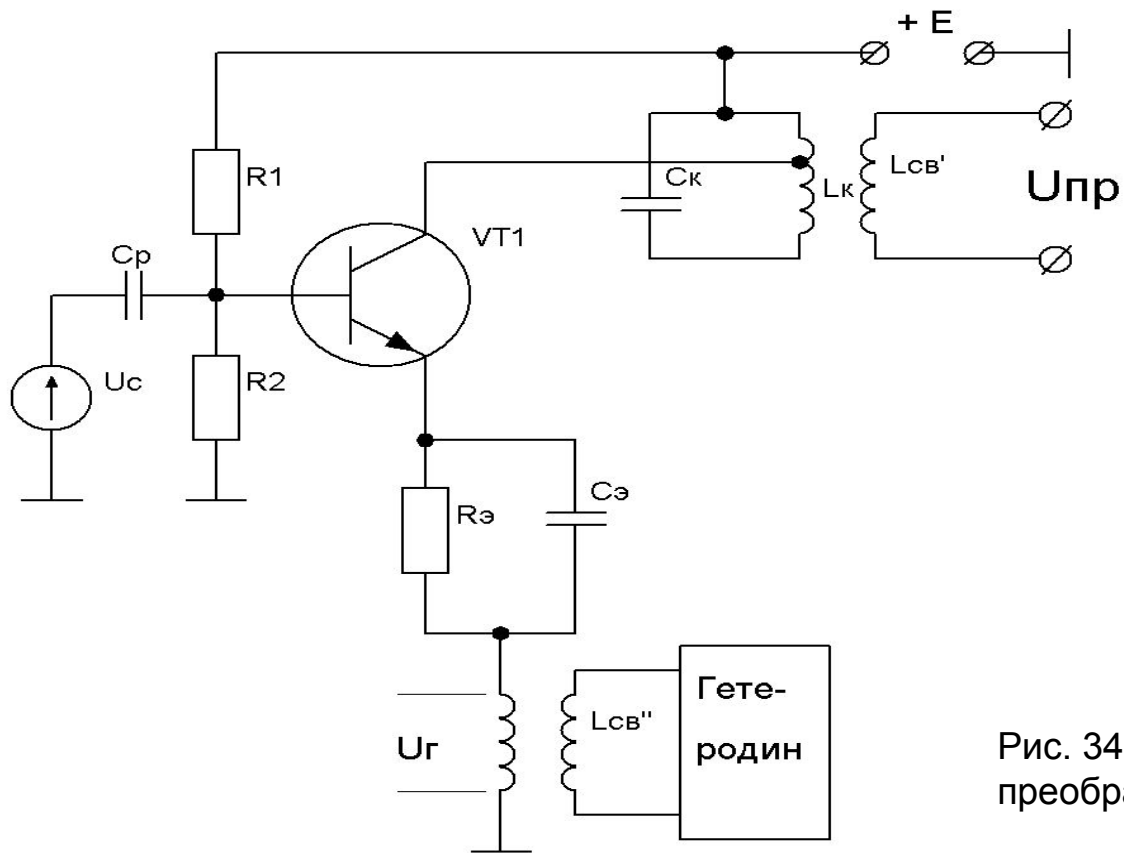


Рис. 34. Транзисторный преобразователь частоты

Транзисторные преобразователи частоты (ТПЧ)

- Напряжение гетеродина вводится в цепь эмиттера, выходной фильтр настроен на промежуточную частоту, в качестве фильтра используют сложный фильтр сосредоточенной селекции (рис. 35).

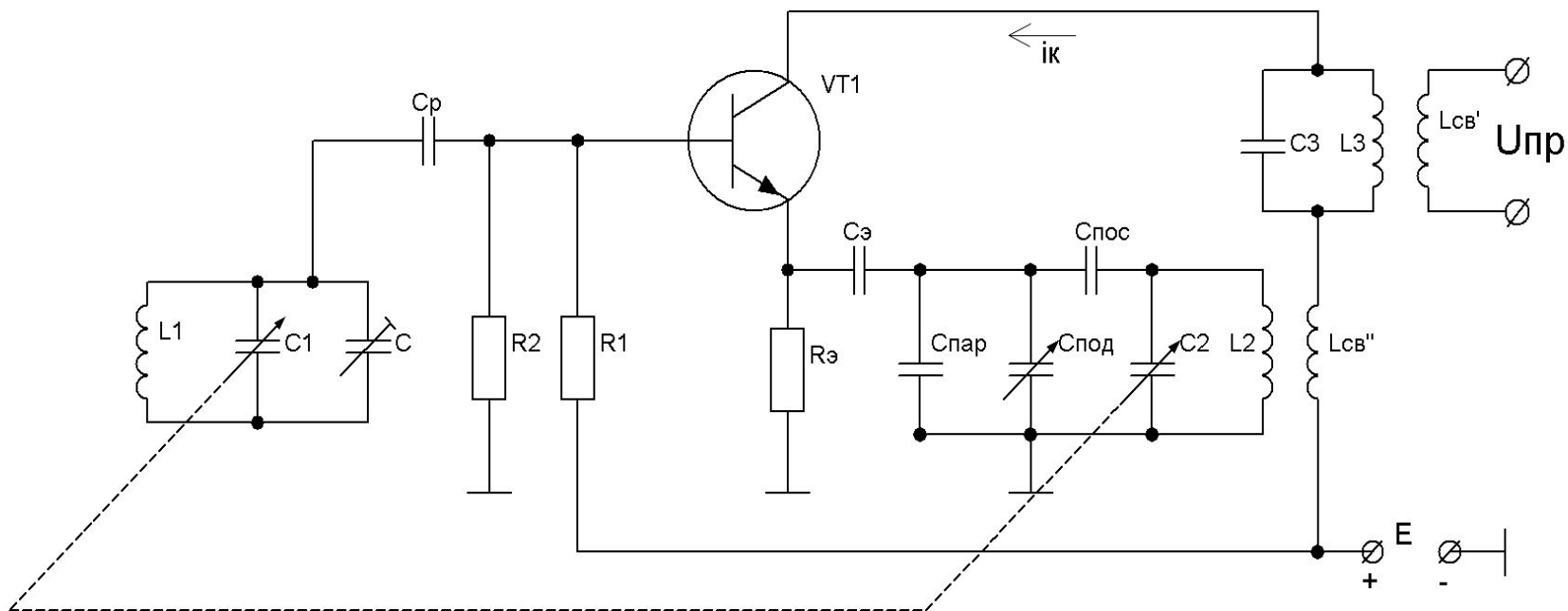


Рис. 35. Схема транзисторного преобразователя частоты (ТПЧ) с совмещенным гетеродином

Транзисторные преобразователи частоты (ТПЧ)

- Контур $L1, C1$ настроен на частоту сигнала. Контур $L2, C2$ – на частоту гетеродина, контур $L3, C3$ – на промежуточную частоту. Коллекторный ток транзистора содержит помимо составляющих с частотами $(n\omega_s \pm \omega_c)$
- составляющую с частотой гетеродина (то есть ω_c), которая в ТПЧ с
- отдельным гетеродином отфильтровывалась, а в ТПЧ совмещенным гетеродином (рис. 35) используется для получения колебаний с частотой гетеродина. Для генерирования колебаний с частотой гетеродина предусмотрена индуктивная обратная связь через катушку $L_{св}$ с контуром $L2, C2$.
- Настройка приемника осуществляется одновременным изменением емкости конденсаторов $C1$ и $C2$, контуров сигнала и гетеродина, которые обычно выбираются одинаковыми. При перестройке приемника необходимо обеспечить постоянную разность между частотами сигнала и гетеродина, то есть получить $f_{пр}$. Реально это условие (сопряжение контуров) можно выполнить только в некоторых точках диапазона рабочих частот. Для обеспечения сопряжения контуров в контур гетеродина включают специальные конденсаторы $C_{пар}$ и $C_{посл}$.
- Достоинства ТПЧ по схеме рис. 34:
 1. Простота регулировки.
 2. Независимость режима работы гетеродина и смесителя (ПЧ).
 3. Возможность использования транзистора с меньшей граничной частотой и малое влияние перестройки УВЧ на работу гетеродина.

Транзисторные преобразователи частоты (ТПЧ)

- **Недостатки:**

- 1. Сложность схемы.
- 2. Увеличение потребляемой энергии.
- 3. Возможность проникновения в антенну колебаний гетеродина.

- Достоинствами работы ТПЧ по схеме рис. 35 являются простота и экономичность.

- **Недостатки:**

- 1. Трудность обеспечения оптимального режима работы смесителя и гетеродина.
- 2. Низкая стабильность работы.
- 3. Сложность регулировки.
- 4. Высокий уровень нелинейных искажений.

Детекторы

- Детекторы (Д) предназначены для преобразования спектра модулированного колебания с целью выделения из него модулирующего сигнала, несущего информацию. В зависимости от вида модуляции ВЧ-колебаний детекторы разделяются на АМ-детекторы, импульсные, частотные и фазовые. Основным требованием, предъявляемым к детекторам является возможно более точное выделение и воспроизведение модулирующего сигнала.
- АМД применяются в приемниках АМ-колебаний для преобразования ВЧ-колебаний модулированного по амплитуде в напряжение, изменяющееся по закону низкочастотного модулирующего сигнала. Диодные АМД строятся по последовательной и параллельной схемам (рис. 36, а и б).

Амплитудные детекторы

- Работа детектора основана на односторонней проводимости диода. При подаче на вход АМД АМ-колебания, снимаемого с контура $L_k C_k$, входящего в УПЧ, ток через диод будет протекать в виде отдельных импульсов только во время положительных полупериодов входного напряжения (рис. 37).

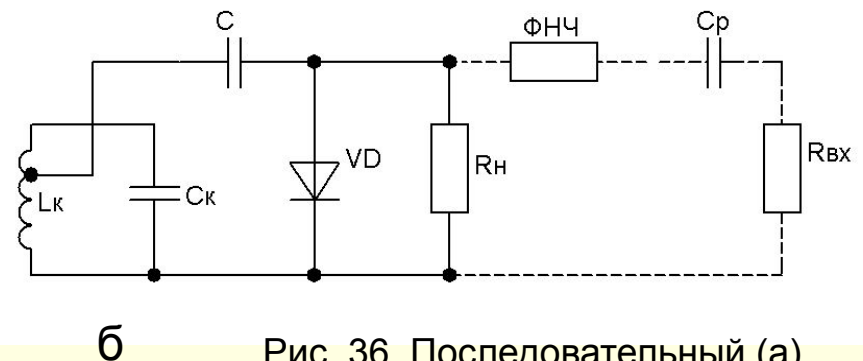
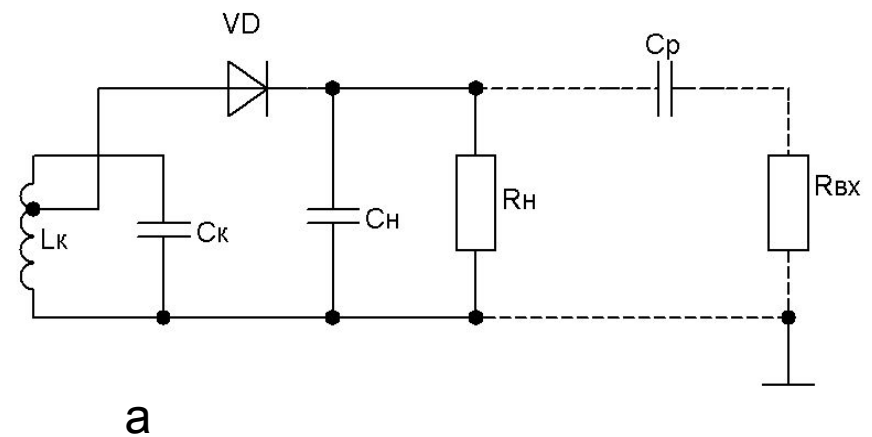
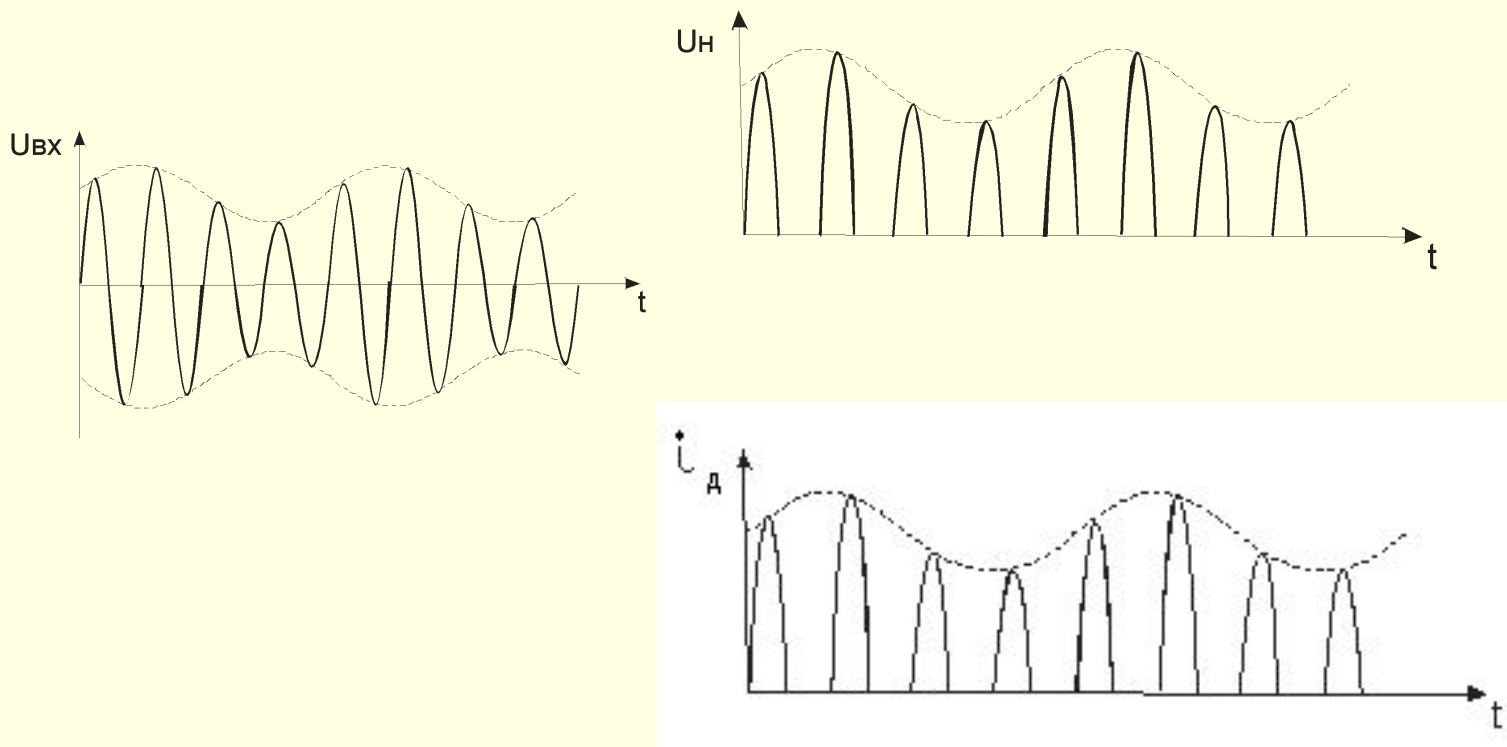


Рис. 36. Последовательный (а) и параллельный (б) АМ-детектор

Амплитудные детекторы



- Рис. 37. Временные диаграммы тока и напряжения в диодном амплитудном детекторе

Амплитудные детекторы

- Этот ток через малое внутреннее сопротивление открытого диода заряжает конденсатор C_N до напряжения, близкого к амплитуде входных колебаний. При убывании тока и во время отрицательных полупериодов входного колебания конденсатор C_N сравнительно медленно разряжается через резистор нагрузки R_N . В результате на резисторе R_N создается напряжение, которое воспроизводит закон изменения огибающей входного колебания, то есть модулирующий сигнал. Процесс работы параллельного АМД не отличается от работы последовательного, но в параллельном АМД на резисторе нагрузки, не зашунтированном конденсатором, действует напряжение высокой частоты.
- Для уменьшения этого напряжения на входе следующего каскада необходимо ставить ФНЧ (фильтр низких частот), либо снимать продетектированное напряжение с конденсатора C . В параллельном АМД резистор нагрузки через малое сопротивление конденсатора C по высокой частоте оказывается подключенным параллельно контуру УПЧ и ухудшает его частотные избирательные свойства. По своим свойствам параллельный детектор хуже последовательного и его применяют реже. Его применяют в тех случаях, когда на входе детектора действует постоянная составляющая напряжения и ее надо отфильтровать. В этом случае конденсатор C будет одновременно выполнять роль разделительного конденсатора

Амплитудные детекторы

- Различают два режима детектирования:
- детектирование больших сигналов на линейном участке ВАХ;
- детектирование малых сигналов на нелинейном участке ВАХ.
- В детекторе возможно искажение из-за нелинейности ВАХ и из-за инерционности нагрузки детектора R_H , C_H и из-за влияния разделительной емкости и входного сопротивления следующего за детектором каскада (УЗЧ). В детекторе обычно используют линейное детектирование, так как сигналы на входе детектора после УПЧ достаточно большие. Искажения из-за инерционности возникают в том случае, когда скорость разряда емкости меньше скорости изменения огибающей модулирующего напряжения. Искажения эти будут отсутствовать, если в любой момент будет выполняться условие:

$$\left| \frac{dU_c}{dt} \right| \geq \frac{dU_{\text{мод}}}{dt}$$

Амплитудные детекторы

- Условие отсутствия искажений из-за инерционности нагрузки детектора можно записать следующим образом:

$$C_H R_H \leq \sqrt{(1 - m^2) / (m\Omega)}$$

- Это неравенство называется условием **безынерционности детектора**,
- которое должно выполняться при максимальной частоте модуляции Ω и при максимальном коэффициенте модуляции $m = 0,6 - 0,8$.

- В практических расчетах следует полагать:

$$(0.7 \div 1.5) / (\Omega R_H) \geq C_H$$

- Но емкость C_H нельзя брать слишком малой, это ухудшает фильтрацию высокочастотной составляющей детектированного напряжения, что может привести к самовозбуждению приемника.
- Детектор через C_p оказывается
- дополнительно нагруженным на входное сопротивление УЗЧ. По переменному току звуковой частоты детектор оказывается нагруженным на параллельное сопротивление
- резисторов R_H и R_{BX} и его
- эквивалентная
- нагрузка равна:

$$R_{H \text{ эк}} = \frac{R_H R_{BX}}{R_H + R_{BX}}$$

Амплитудные детекторы

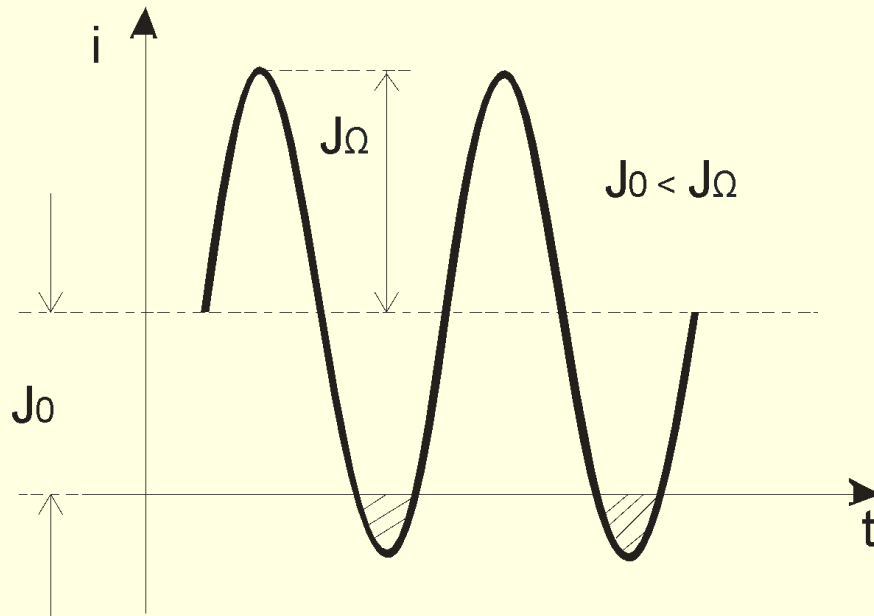


Рис. 38. Искажения в детекторе при малом входном сопротивлении УЗЧ (отсечка тока в детекторе)

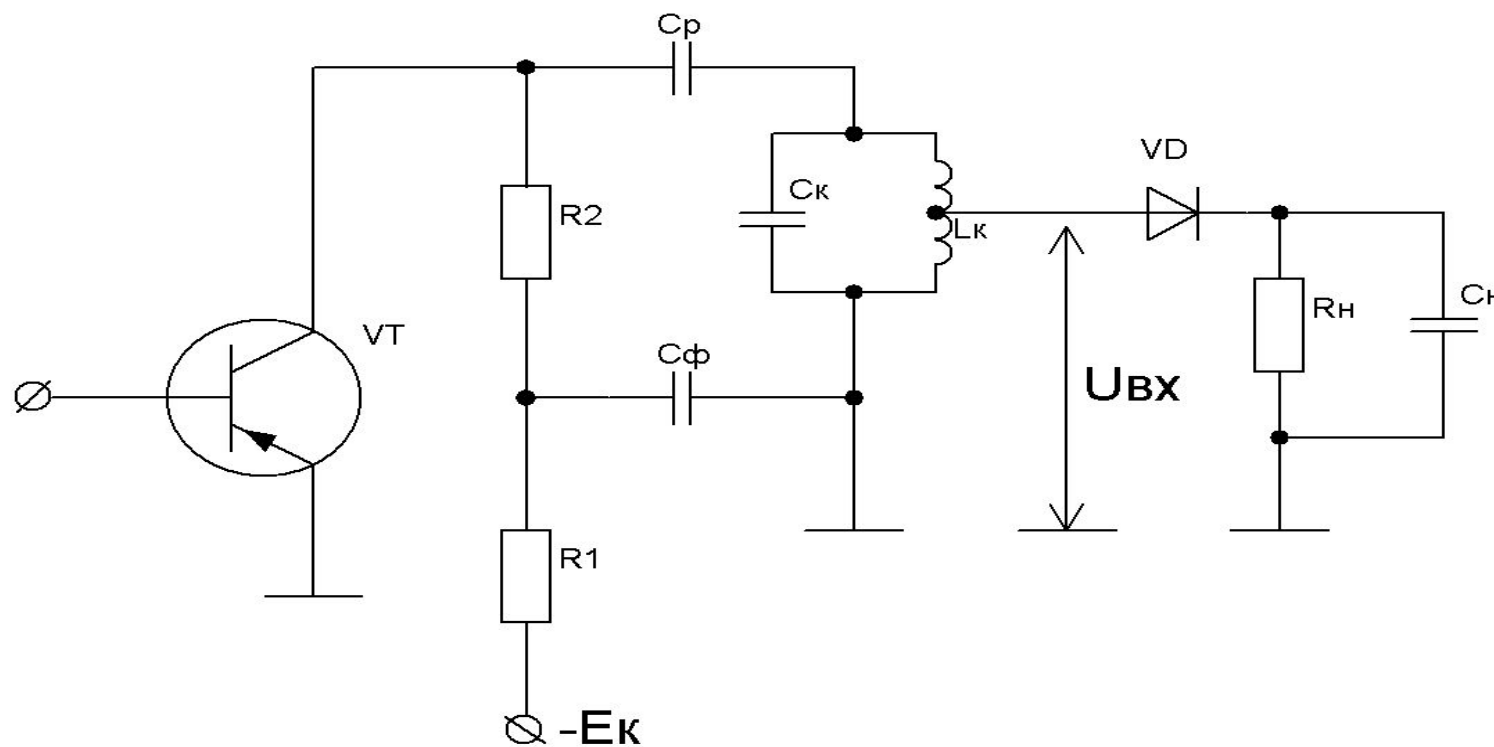
- По постоянному току нагрузка детектора R_H – прежняя. При малых $R_{ВХ}$ может оказаться $R_{НЭК} \ll R_H$, в этом случае амплитуда переменной составляющей тока звуковой частоты может быть больше постоянной составляющей. При этом возникает искажение в виде отсечки нижней части полувольты тока (рис. 38): $I_0 < I_\Omega$.

Импульсные детекторы

1. **В приемниках импульсных сигналов различают виды модуляции:**
2. АИМ – амплитудно-импульсная модуляция;
3. ЧИМ – частотно-импульсная модуляция;
4. ФИМ – фазоимпульсная модуляция;
5. ШИМ – широтно-импульсная модуляция.

- Обычно они преобразуются в АИМ, что упрощает их детектирование. При этом входным сигналом для детектирования является последовательность АМ-импульсов. Детектирование АМ-радиоимпульсов может быть одно- и двухкратным. Однократное детектирование производится с помощью пиковых детекторов. Пиковыми называют детекторы радио- и видеоимпульсов, напряжение на выходе которых пропорционально амплитуде или пиковому значению импульса. На первой стадии двукратного детектирования радиоимпульсы преобразуются в видеоимпульсы, форма которых повторяет огибающую отдельных радиоимпульсов. Такое преобразование осуществляется с помощью детекторов, называемых импульсными (рис. 39). Вторая стадия двукратного детектирования состоит в пиковом детектировании полученных видеоимпульсов (рис. 40).

Импульсные детекторы



■ Рис. 39. Схема импульсного детектора

Импульсные детекторы

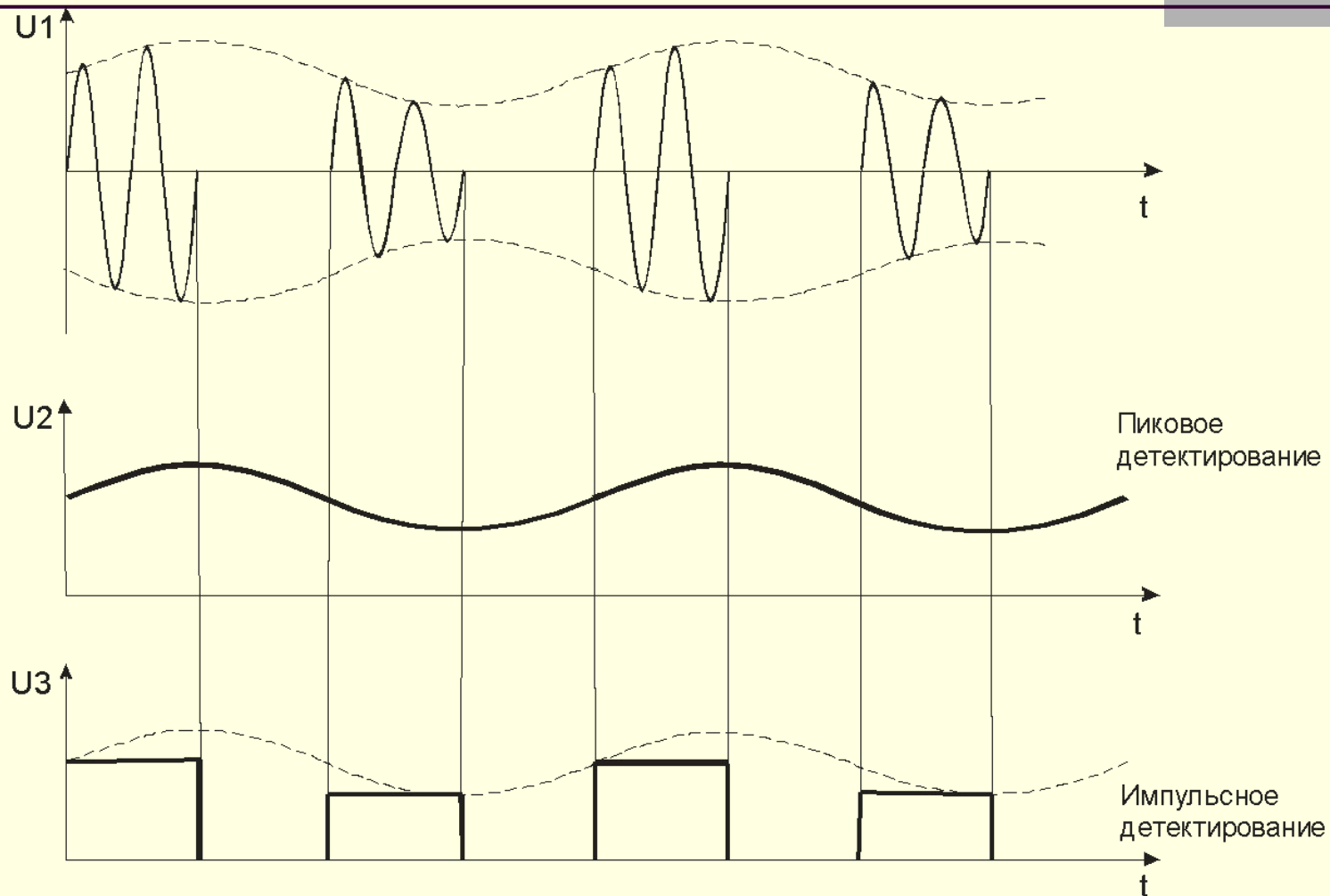


Рис. 40. Детектирование радиоимпульсов

Импульсные детекторы

- В импульсном детекторе из-за влияния инерционности цепи нагрузки выходное напряжение будет повторять форму огибающей с искажениями (рис. 41). Задача для импульсного детектора – выбор параметров схемы, обеспечивающих минимальное искажение формы огибающей. Для этого необходимо выбрать минимальные емкость и сопротивление нагрузки, то есть уменьшить инерционность нагрузки

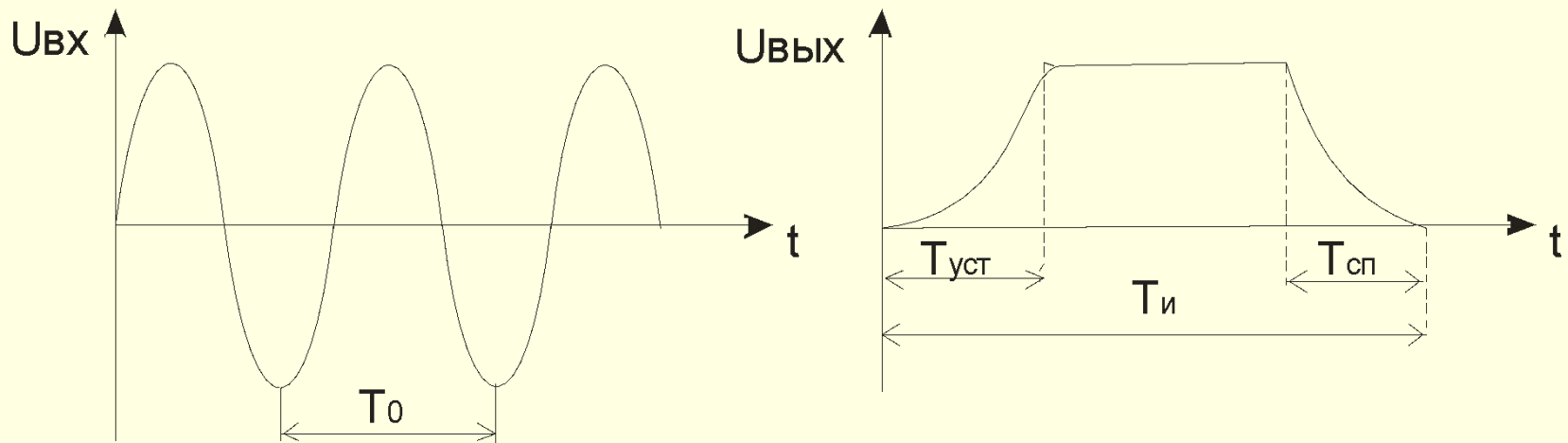


Рис. 41. Искажение огибающей радиоимпульса при детектировании

Импульсные детекторы

- Но выбор емкости C ограничен снизу требованием фильтрации напряжения промежуточной частоты, так как, при уменьшении емкости увеличивается ее реактивное сопротивление ($R_{\text{реак}} = 1/\omega C$) и снижается фильтрация промежуточной частоты, то есть выбор емкости ограничен и сверху и снизу. На практике выбирают $C R_{\text{н}} \geq (1-3)T_0$, где T_0 – период колебаний промежуточной частоты. При пиковом детектировании радиоимпульсов выделяется огибающая последовательности радиоимпульсов, т.е. необходимо, чтобы конденсатор $C_{\text{н}}$ не успевал заметно разрядиться за время между импульсами.

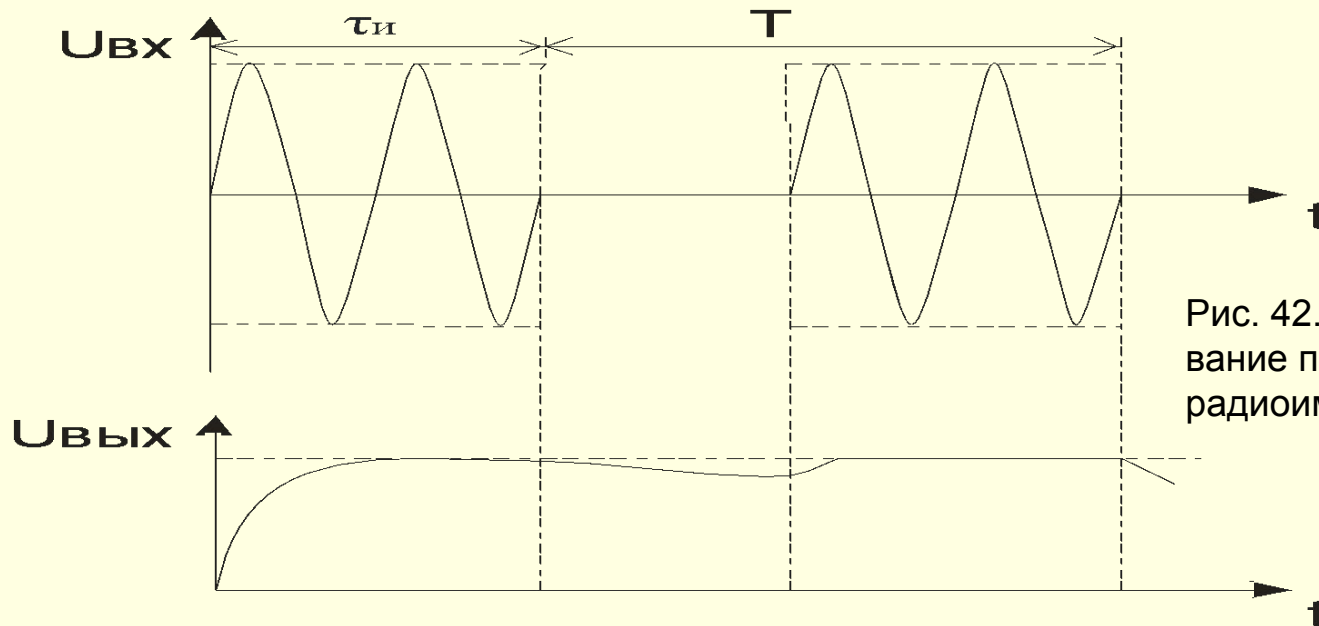


Рис. 42. Пиковое детектирование последовательности радиоимпульсов

Импульсные детекторы

- Для этого должно выполняться условие:
- $C_n R_n \gg T - \tau_{ин}$, при $T \gg \tau_{ин}$, где T – период следования радиоимпульсов
- или $C_n R_n \gg T$ (Рис. 42). $C_n R_n \gg T - \tau_{ин}$; или $\tau_{ин} \ll T$, $R_n C_n \gg \tau_{ин}$.
- При невыполнении этого условия наступает (сказывается) инерционность детектора.
- Схема пикового детектора (рис. 43) работает на второй стадии двукратного детектирования.

Импульсные детекторы

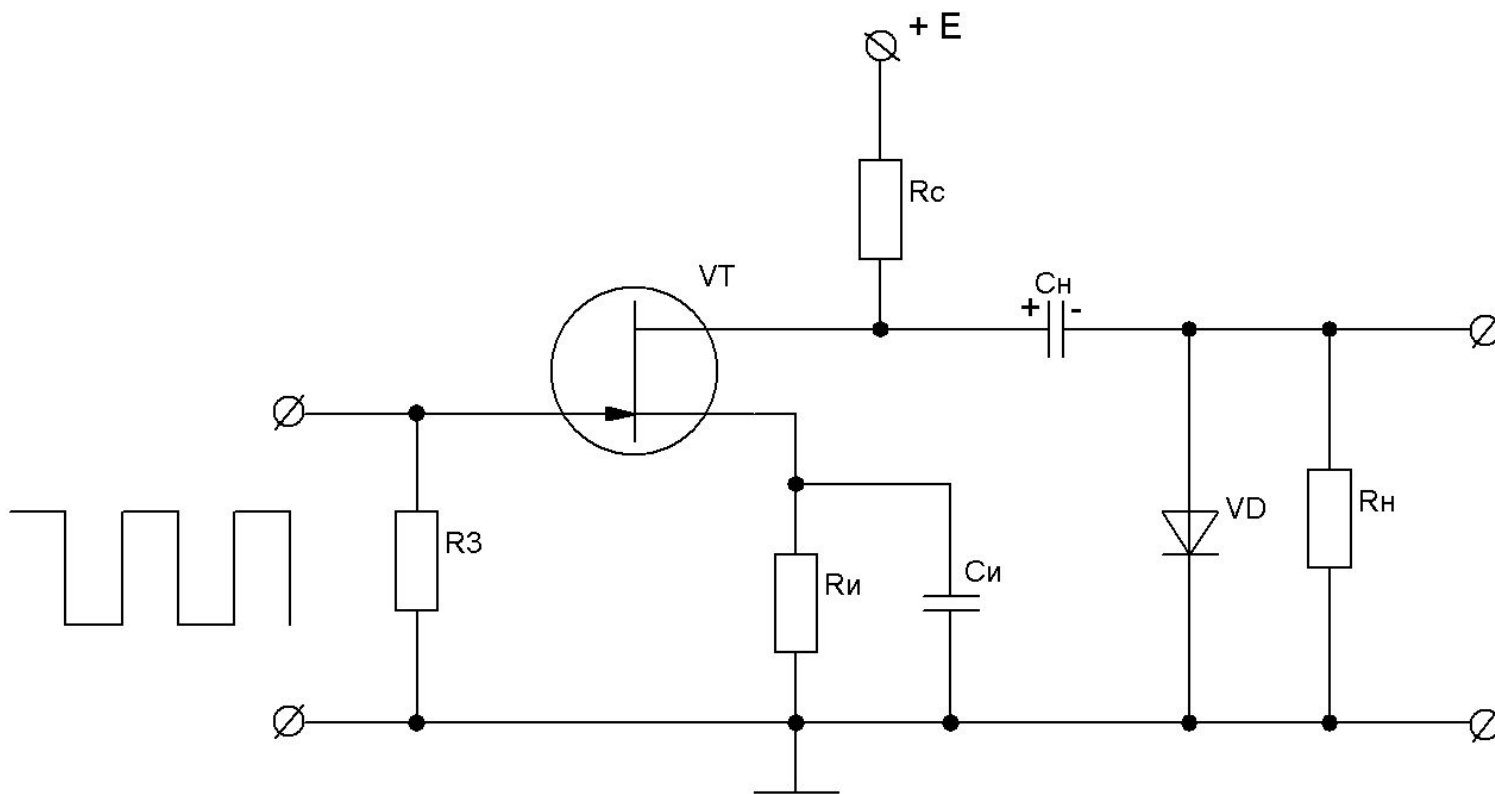


Рис. 43. Схема пикового детектора

Импульсные детекторы

- На ее вход подается последовательность отрицательных модулированных видеоимпульсов. Применяется параллельный детектор, т.к. он не шунтирует УПЧ и включен параллельно нагрузке широкополосного усилителя. Заряд емкости C_H происходит через сопротивление стока и малое сопротивление диода, когда транзистор закрыт. Транзистор закрыт при поступлении отрицательных импульсов на затвор. При отсутствии отрицательных импульсов транзистор открыт, и емкость C_H медленно разряжается через транзистор и сопротивление нагрузки и повторяет форму огибающей (при условии правильного выбора параметров схемы).

Частотные детекторы

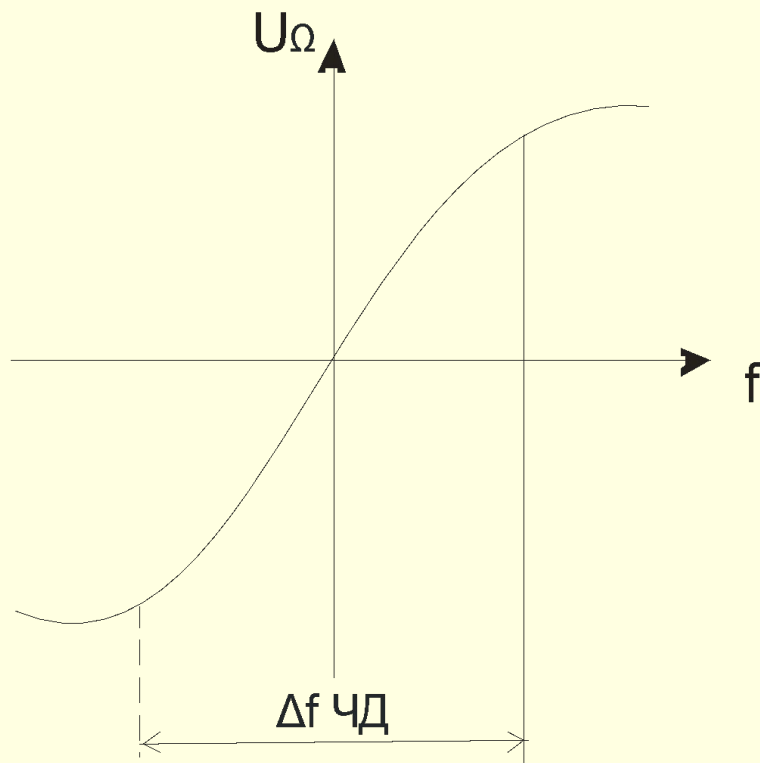


Рис. 44. Детекторная характеристика ЧД

- Частотные детекторы (ЧД) применяются в приемниках ЧМ-колебаний для преобразования ВЧ-колебания, модулированного по частоте, в напряжение, изменяющееся по закону низкочастотного модулирующего сигнала. Кроме того, ЧД широко применяются в системах АПЧ (автоматической подстройки частоты).
- Различают следующие детекторы: частотно-амплитудные; частотно-фазовые; частотно-импульсные.
- Детекторная характеристика ЧД (рис. 44) — это зависимость НЧ-напряжения в нагрузке от частоты входного сигнала. Диапазон частот, в пределах которого детекторная характеристика линейна, соответствует полосе пропускания ЧД.

Частотные детекторы

- В частотно-амплитудных детекторах ЧМ-колебание преобразуется в частотно-амплитудно модулированное (ЧАМ), а затем детектируется обычным амплитудным детектором. Наиболее просто ЧМ-колебания преобразуются в ЧАМ с помощью одиночного контура, расстроенного относительно средней частоты ЧМ-колебаний, которая обычно в приемнике является промежуточной, но ЧД с одиночным расстроенным контуром практически не находит применения, так как полоса пропускания такого детектора очень мала и детектирование сигналов с широким спектром сопровождается большими искажениями.

Частотные детекторы

- Повысить линейность детекторной характеристики, расширить полосу пропускания и уменьшить искажения позволяет ЧД с двумя взаимно расстроенными контурами (рис. 45). Такой детектор называется балансным.

Частотные детекторы

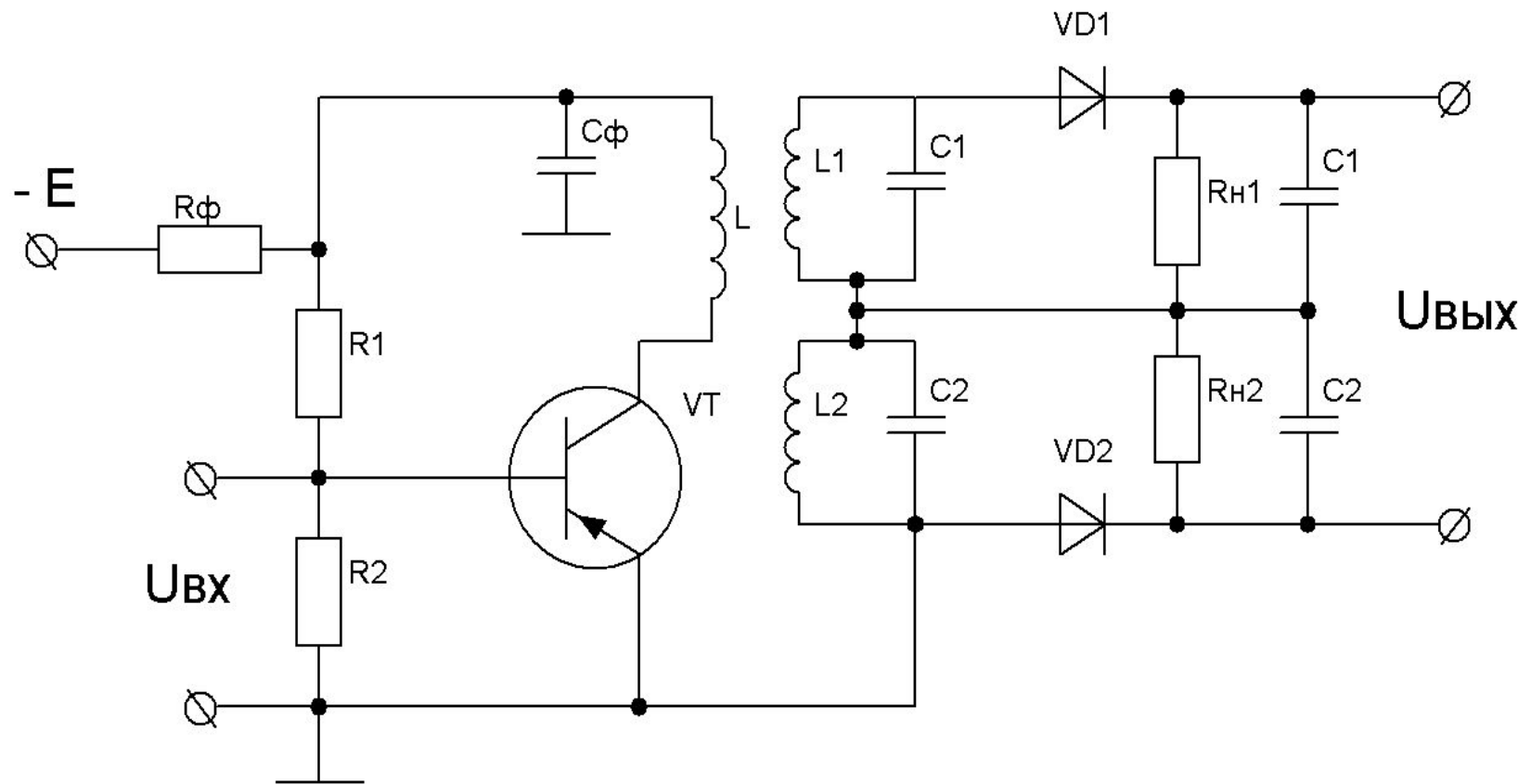
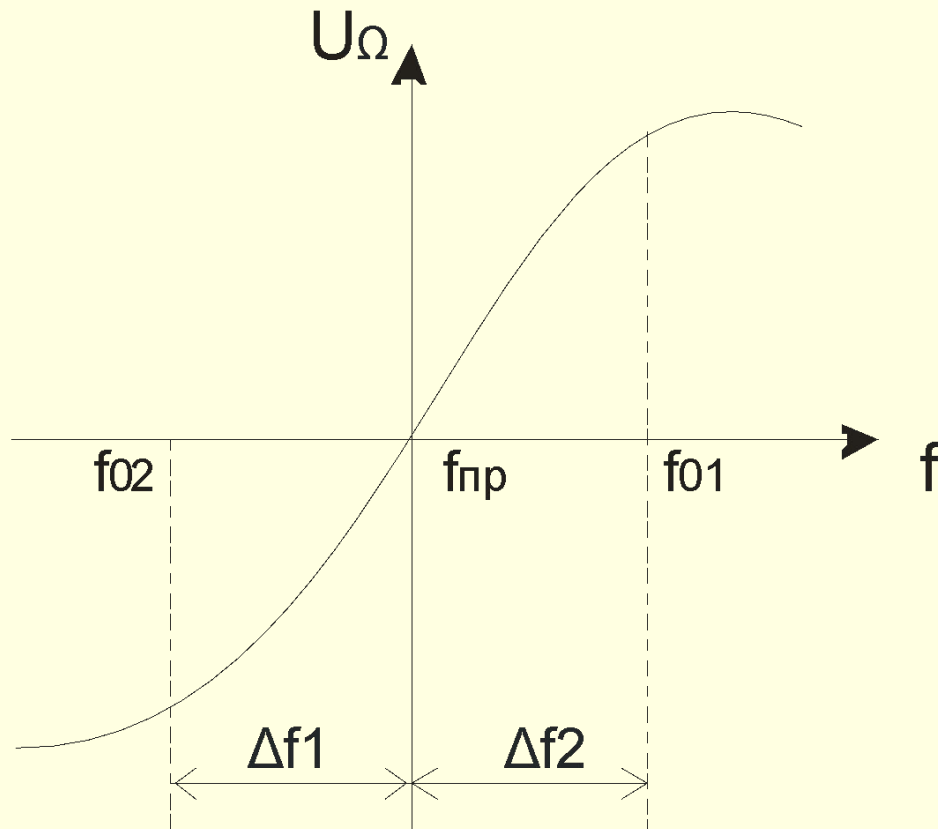


Рис. 45. Балансный частотный детектор

Частотные детекторы



Детекторная характеристика балансного частотного детектора

Частотные детекторы

- Резонансный контур $L1C1$ имеет резонансную частоту выше промежуточной на Δf , а контур $L2C2$ – ниже промежуточной на Δf . Нагрузки детекторов включены встречно. Входные напряжения на диодах $VD1$ и $VD2$ противоположны по знаку. В результате суммирования выходных напряжений отдельных детекторов формируется детекторная характеристика, которая проходит через нуль при частоте, равной промежуточной. Увеличение протяженности детекторной характеристики и повышение ее линейности при встречном включении нагрузок двух отдельных детекторов, составляющих общий детектор, применяется и в других видах детекторов, например, фазовых.

Фазовые детекторы (ФД)

- В устройствах для приема сигналов с фазовой модуляцией, в системах с фазовой автоподстройкой частоты и в других автоматических устройствах необходимо получать напряжение, амплитуда которого определяется сдвигом фаз между двумя колебаниями. Получить такое напряжение можно с помощью фазовых детекторов (ФД). Важнейшей характеристикой ФД является детекторная. Это зависимость амплитуды выходного напряжения от разности фаз между напряжением сигнала и опорным напряжением ($U_{оп}$). Опорное напряжение имеет постоянную фазу, относительно которой считывается фаза сигнала.

Фазовые детекторы (ФД)

- В простейшем ФД (рис. 46) напряжение сигнала и опорное напряжение последовательно складываются, и сумма напряжений подается в амплитудный детектор. Суммарное напряжение оказывается промодулированным по амплитуде по закону фазовой модуляции сигнала:

$$U_{\Sigma} = \sqrt{U_{\text{оп}}^2 + U_c^2 + 2U_c U_{\text{оп}} \cos \varphi}$$

- Амплитудно-модулированное напряжение детектируется амплитудным детектором. Детекторная характеристика описывается выражением

- $$U_{\text{вых}} = K_{\text{д}} U_{\Sigma} = K_{\text{д}} \sqrt{U_{\text{оп}}^2 + U_c^2 + 2U_c U_{\text{оп}} \cos \varphi},$$

- где $K_{\text{д}}$ – коэффициент передачи амплитудного детектора.

Фазовые детекторы (ФД)

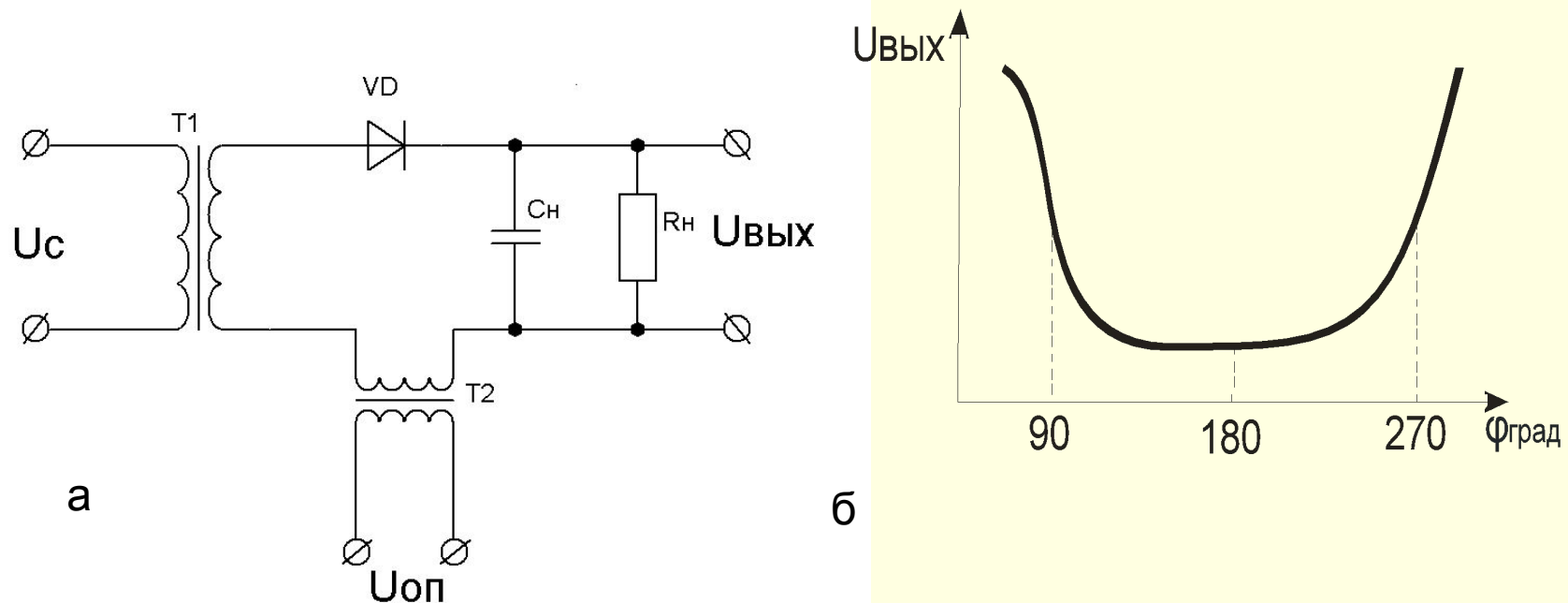


Рис. 46 Простейший фазовый детектор (а) и его детекторная характеристика (б)

Недостатки простейшего ФД:

линейный участок детекторной характеристики – только вблизи 90° и 270° (рис. 46, б); характеристика не проходит через 0 при изменении фазы, что не дает возможности применять такой ФД в системах АПЧ.

Фазовые детекторы (ФД)

- Для того чтобы расширить линейный участок детекторной характеристики и сделать его симметричным относительно отклонения фазы применяют балансный ФД (рис. 47). Его характеристика:

$$U_{\text{ВЫХ}} = K_{\text{Д}} \left[\sqrt{U_{\text{ОП}}^2 + U_{\text{с}}^2 + 2U_{\text{с}}U_{\text{ОП}} \cos \varphi} - \sqrt{U_{\text{ОП}}^2 + U_{\text{с}}^2 - 2U_{\text{с}}U_{\text{ОП}} \cos \varphi} \right]$$

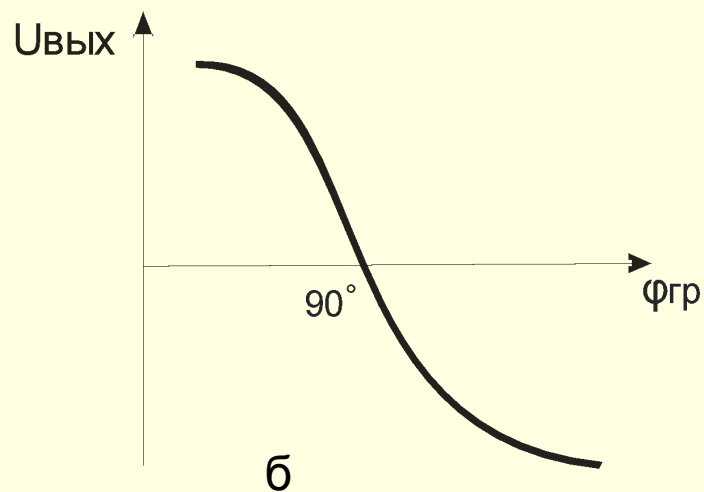
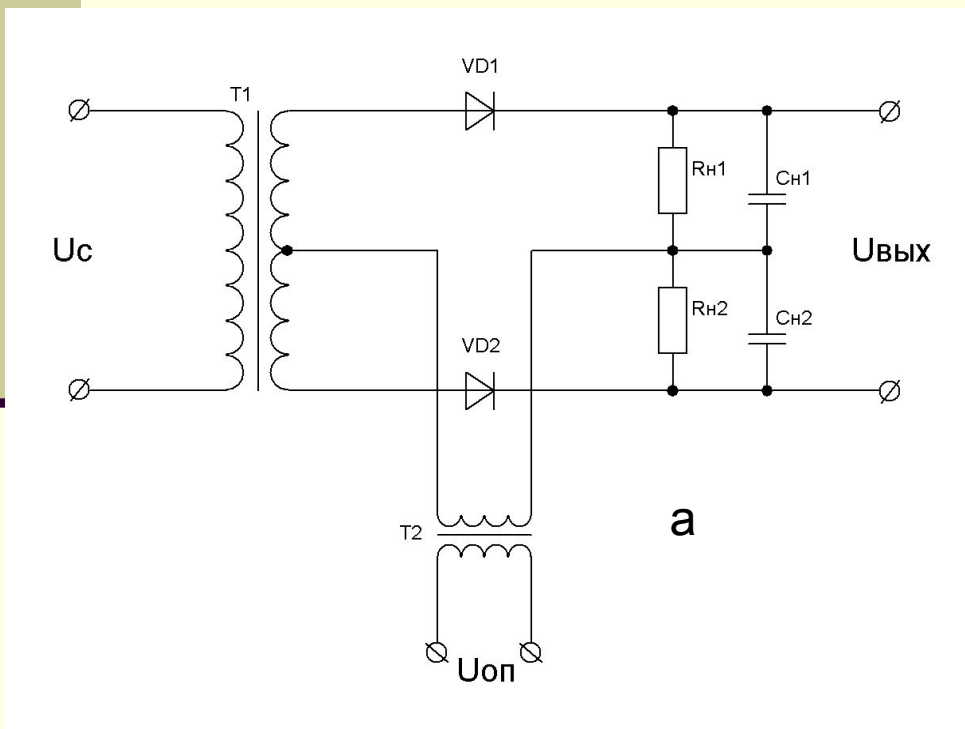


Рис. 47 Балансный ФД (а) и его детекторная характеристика (б)

Фазовые детекторы (ФД)

- Напряжение сигнала U_c подводится к диодам $VD1$ и $VD2$ в противофазе, а
- опорное напряжение $U_{оп}$ подводится к диодам синфазно. Детекторная
- характеристика проходит через 0 при $\varphi = 90^\circ$ и $\varphi = 270^\circ$ (см. рис. 47 б).
- Полярность выходного напряжения зависит от знака отклонения фазы φ (рис. 48 а, б, в):

$$а) \varphi = \frac{\pi}{2}; U_{д1} - U_{д2} = U_{вых} = 0 ;$$

$$б) \varphi > \frac{\pi}{2}; U_{д1} < U_{д2} = U_{вых} < 0 ;$$

$$в) \varphi < \frac{\pi}{2}; U_{д1} > U_{д2} = U_{вых} > 0 .$$

- Фазовые детекторы могут быть еще и кольцевыми.

Фазовые детекторы (ФД)

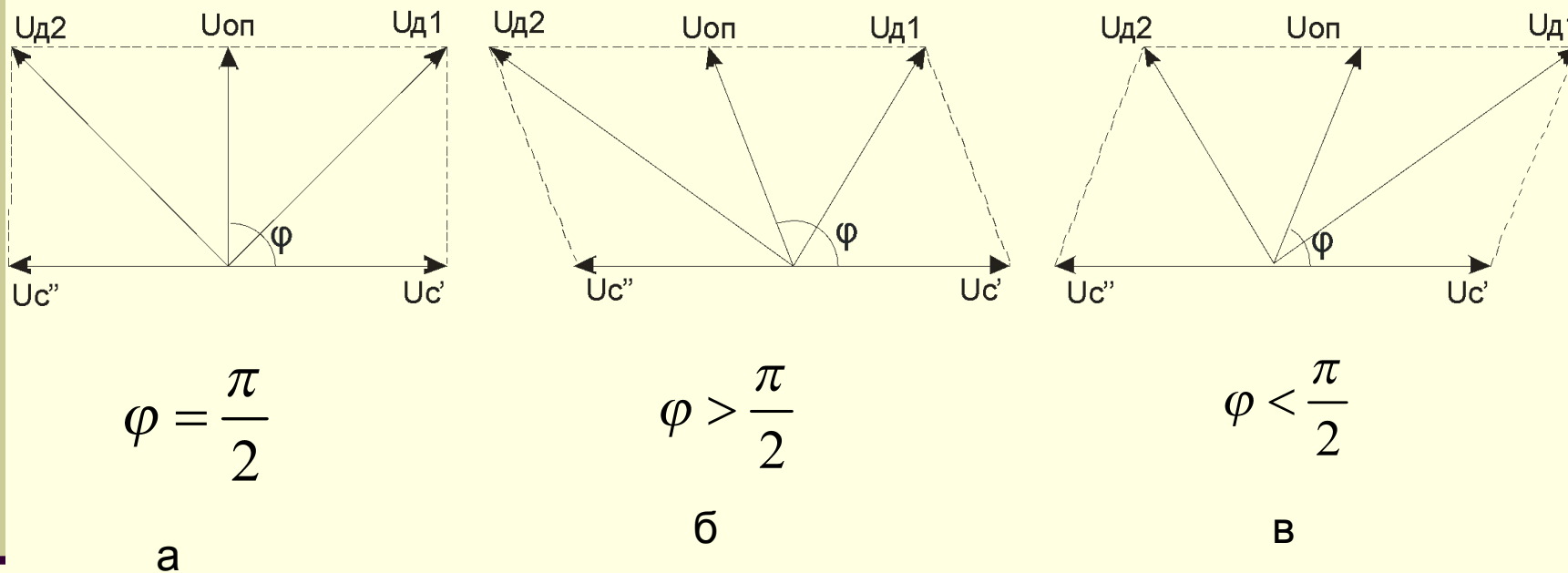


Рис. 48. Фазовая характеристика балансного ФД

Автоматические системы регулирования в РПУ.

- В РПУ различают три основных вида регулировок (в ручном режиме) и три вида систем автоматического регулирования:
- 1. Системы автоматического регулирования усиления – АРУ (или РРУ – ручная регулировка усиления).
- 2. Системы автоматической подстройки частоты – АПЧ(и системы автоматической настройки приемника – АНП).
- 3. Системы регулирования полосы пропускания(в автоматическом режиме применяются крайне редко).

Автоматические системы регулирования в РПУ. Системы АРУ (автоматической регулировки усиления)

- Для обеспечения приема сигналов с широким динамическим диапазоном, а также для сохранения постоянства уровня выходного сигнала одной станции в приемнике необходимо предусмотреть регулировку усиления, которая может быть ручной (РРУ) и автоматической (АРУ). РРУ целесообразна лишь при медленных изменениях уровня сигнала, АРУ – при быстрых изменениях уровня сигнала.

Системы АРУ (автоматической регулировки усиления)

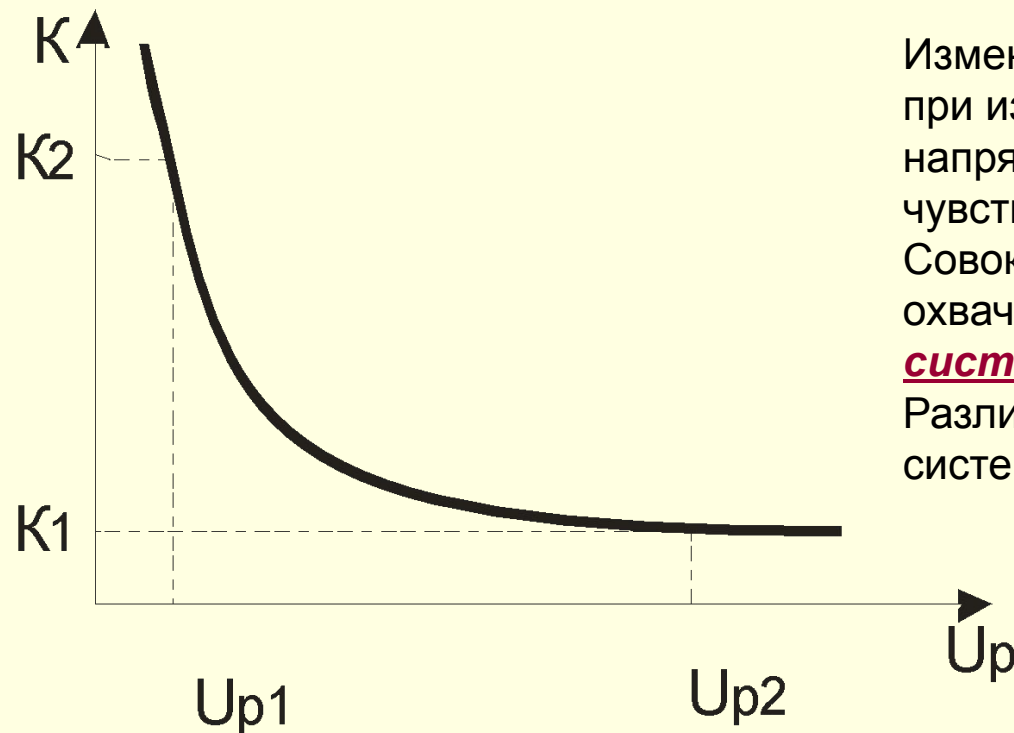
- В приемниках применяют одновременно обе регулировки (и РРУ и АРУ). Чем ближе расположен регулятор усиления ко входу приемника, тем больше каскадов работает без перегрузок, в линейном режиме с минимальным коэффициентом шума. Поэтому регулятор усиления, в первую очередь АРУ, отрабатывающий как медленное, так и быстрое изменение уровня сигнала, стараются расположить в ВЧ-тракте, как можно ближе ко входу приемника. РРУ осуществляется как в ВЧ-тракте, так и в НЧ-тракте.

Системы АРУ (автоматической регулировки усиления)

- Способы регулировки усиления при РРУ и АРУ следующие:
- 1) изменение крутизны усилительных приборов;
- 2) изменение коэффициента передачи специальных делителей напряжения и глубины отрицательной обратной связи.
- Эти регулировки в неменьшей степени влияют на другие параметры приемника. С целью поддержания выходного сигнала на заданном уровне при быстрых и больших изменениях входного сигнала применяется АРУ, которая осуществляется путем автоматического изменения коэффициента усиления.

Автоматические системы регулирования в РПУ. Системы АРУ (автоматической регулировки усиления)

- Зависимость коэффициента усиления каскада, охваченного АРУ, от регулировочного напряжения называется регулирующей характеристикой (рис. 49).



Изменение коэффициента усиления при изменении регулировочного напряжения на 1 В называется чувствительностью регулировки. Совокупность каскадов приемника, охваченных АРУ, называется системой АРУ.
Различают три основных типа систем АРУ:

Рис. 49. Регулирующая характеристика АРУ

Системы АРУ (автоматической регулировки усиления)

- 1. Система обратного регулирования (рис. 50). В ней напряжение сигнала, подлежащее регулировке, снимается с выхода УПЧ и через выпрямитель АРУ (детектор и фильтр АРУ) воздействует на УРЧ, смеситель (См) и УПЧ, изменяя их коэффициент усиления. Все элементы системы АРУ образуют замкнутое кольцо обратной связи

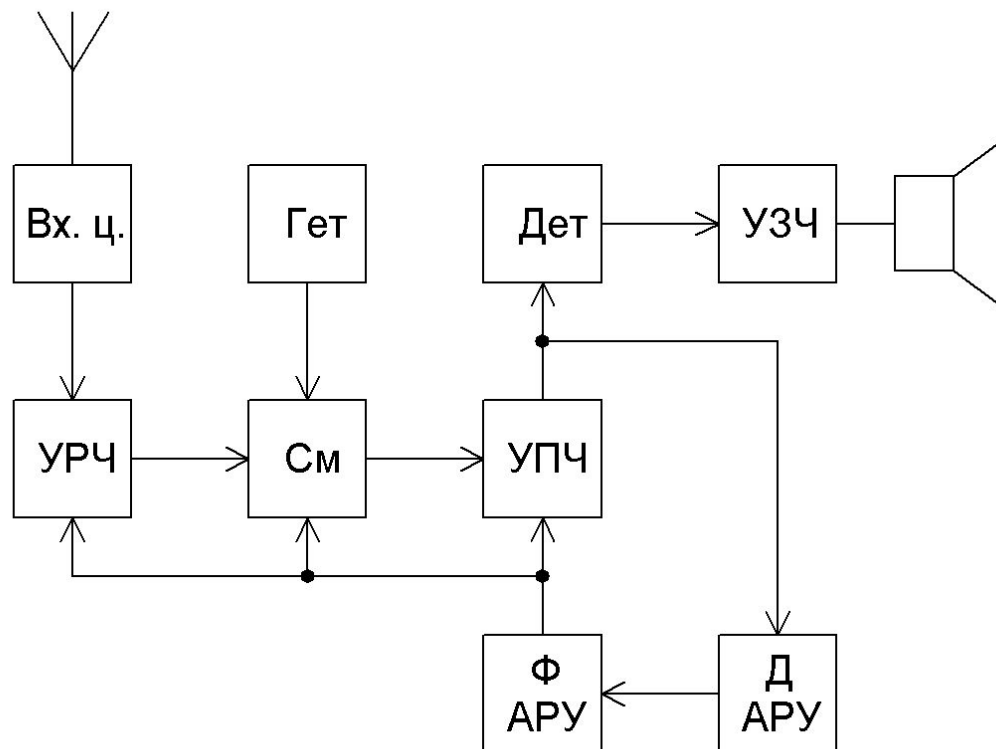


Рис. 50. Система обратного регулирования

Системы АРУ (автоматической регулировки усиления)

- 2. Система прямого регулирования (без рисунка). Регулирующее напряжение формируется выпрямителем АРУ и воздействует на УРЧ, См и УПЧ приемника, изменяя их коэффициент усиления. Замкнутого кольца обратной связи здесь не образуется. Такая система содержит усилитель АРУ. При малых сигналах он нужен, а при больших – перегружается, и возникают искажения. Поэтому такая система применяется редко.
- 3. Комбинированная система АРУ (рис. 51). Она содержит как систему прямого, так и обратного регулирования.

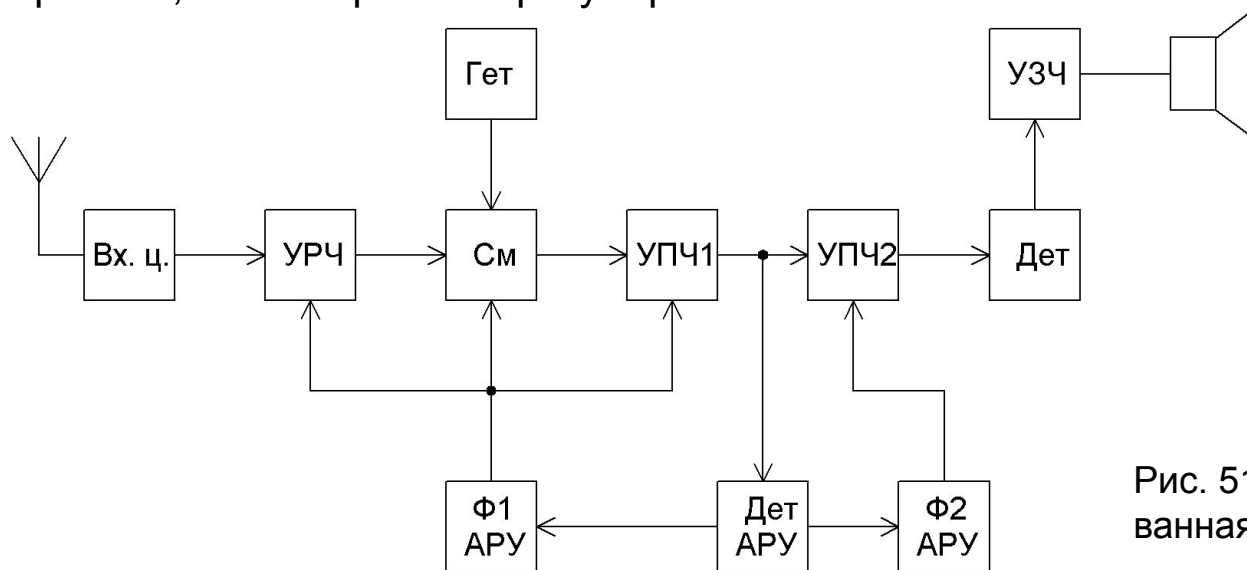


Рис. 51. Комбинированная система АРУ

Системы АРУ (автоматической регулировки усиления)

- В зависимости от уровня сигнала, при котором начинается регулированное усиление, различают системы АРУ без задержки, с задержкой и бесшумное АРУ (рис. 52).

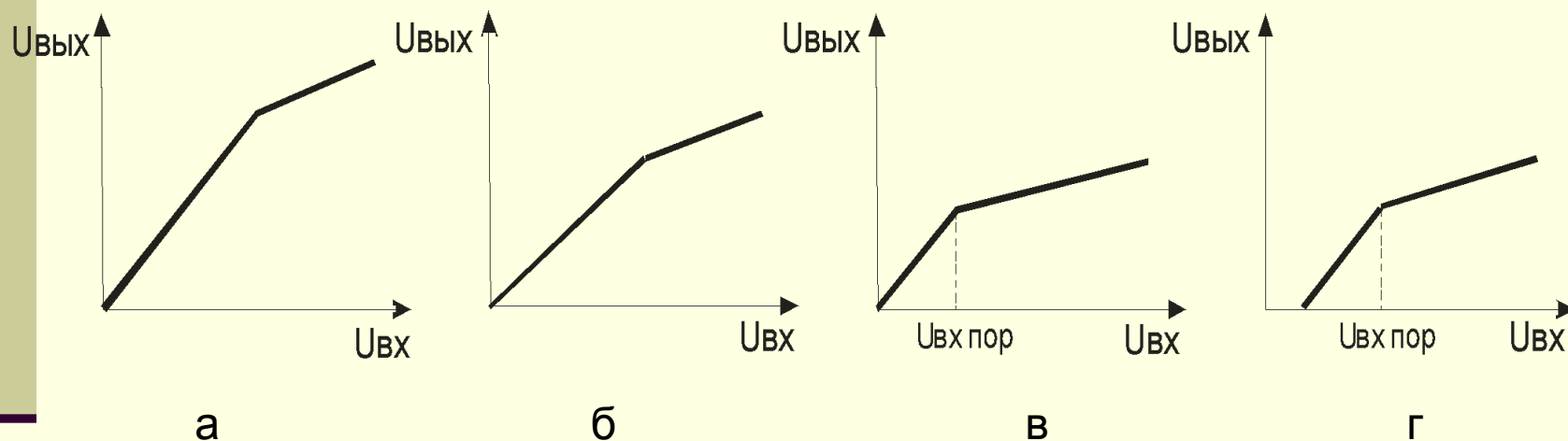


Рис. 52. Амплитудные характеристики приемников:
а – без АРУ; б – с простой АРУ; в – АРУ с задержкой; г – АРУ с бесшумной задержкой

Системы АРУ (автоматической регулировки усиления)

- В системах АРУ без задержки (простая АРУ) регулирование усиления происходит во всем динамическом диапазоне принимаемых сигналов. При малых сигналах ограничивать усиление, а значит снижать уровень выходного сигнала нецелесообразно. В этом случае применяют АРУ с задержкой, в которой регулирование усиления начинается лишь с некоторого уровня входного сигнала, называемого порогом срабатывания АРУ (на рис. 52, в).
- До достижения порога срабатывания усиление происходит без регулирования. В процессе перестройки РПУ с одной станции на другую, когда полезный сигнал на входе отсутствует, приемник усиливает собственные шумы и помехи.

Системы АРУ (автоматической регулировки усиления)

- Поэтому систему АРУ модернизируют так, что при сигнале, меньшем, чем чувствительность приемника, усилительный тракт запирается системой АРУ (бесшумная АРУ).
- В этом случае настройка РПУ будет бесшумной, и АРУ в этом случае называют бесшумной. Для исключения опасности самовозбуждения система АРУ использует однозвенные RC-фильтры. Переходный процесс в них носит апериодический характер. В случае использования детектора АРУ основного детектора приемника возникает противоречие между требованиями к фильтру основного детектора и к фильтру детектора АРУ. Поэтому постоянная времени фильтра детектора АРУ ($\tau = RC$) выбирается значительно больше максимального периода модуляции сигнала.

Системы АРУ (автоматической регулировки усиления)

- При совмещении функций основного детектора с функциями детектора АРУ предусматривают отдельные фильтрующие цепи для основного сигнала и для системы АРУ (рис. 53).

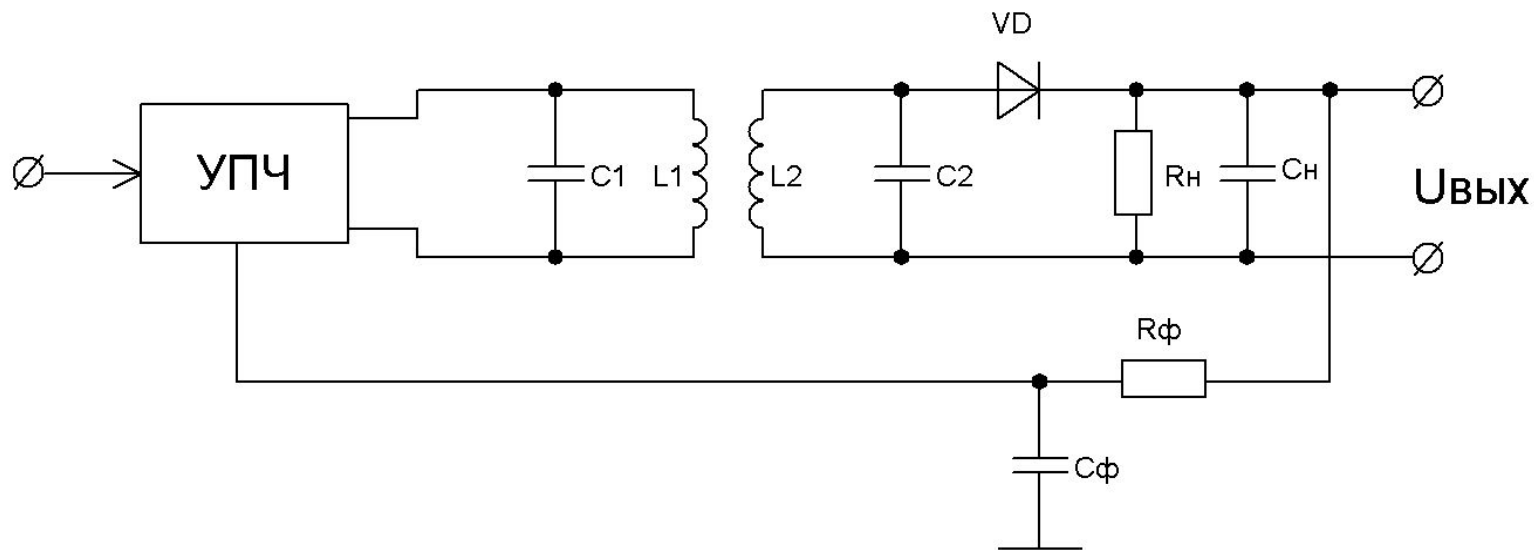


Рис. 53. Пример схемы с совмещенными детекторами сигнала и АРУ

Системы АРУ (автоматической регулировки усиления)

- Параметры элементов R_H, C_H выбираются в соответствии
- с условием безынерционности амплитудных детекторов. Постоянная времени фильтра АРУ должна соответствовать условию:

$$R_{\phi} \cdot C_{\phi} \gg T_{\max} = \frac{2\pi}{\Omega_{\min}}$$

- Но постоянная времени АРУ ограничена сверху максимальным периодом затухания сигнала, это значит, что

$$R_{\phi} \cdot C_{\phi} < T_{\text{зат мин}}$$

- Практически постоянную времени фильтра АРУ выбирают для радиовещательных РПУ в пределах $0.02 \div 0.2$

Системы АРУ (автоматической регулировки усиления)

- В схеме АРУ с задержкой (рис. 54) регулирование коэффициента усиления УПЧ будет происходить лишь после того, как регулировочное напряжение превысит напряжение стабилизации стабилитрона $VD2$. До этого момента регулировочное напряжение равно 0.

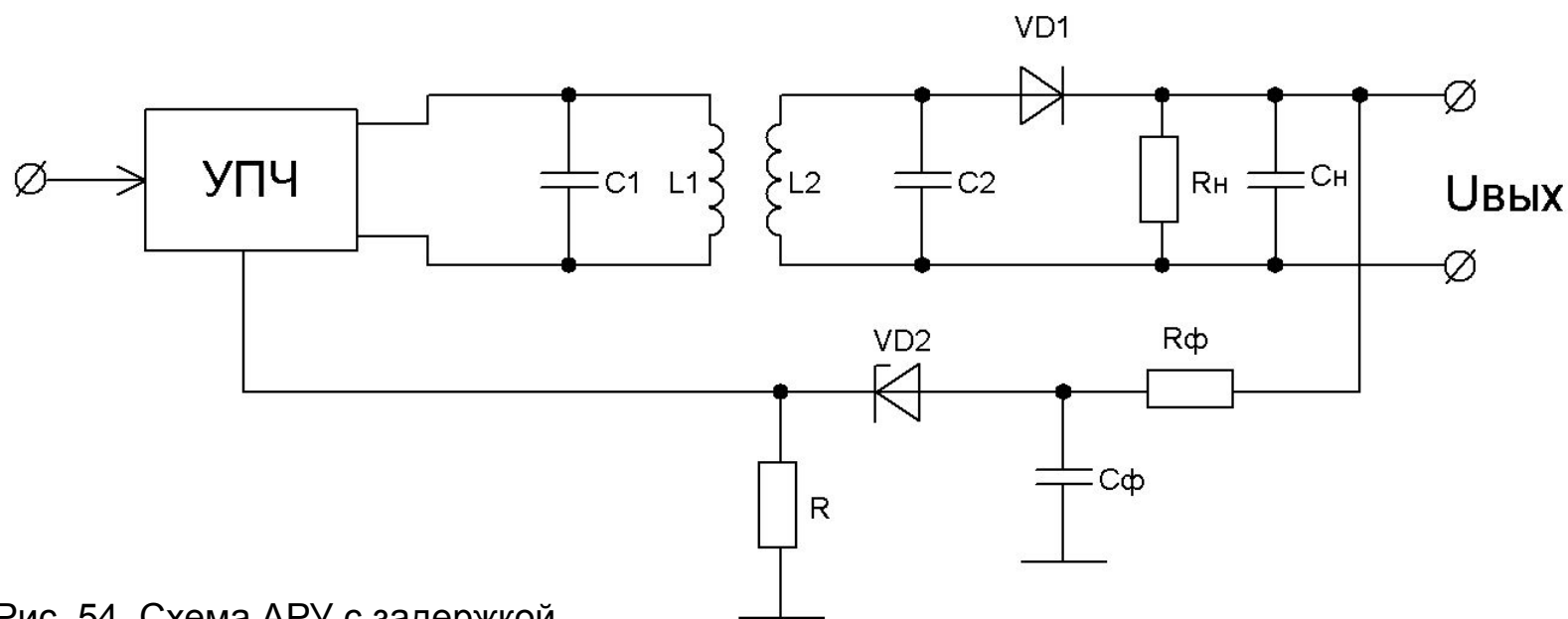


Рис. 54. Схема АРУ с задержкой

Системы АРУ (автоматической регулировки усиления)

- После открытия стабилитрона регулировочное напряжение будет равно разности напряжений на выходе фильтра АРУ ($U_{\text{ВЫХ}}$) и
- напряжения стабилизации стабилитрона ($U_{\text{СТ}}$)

$$U_{\text{Р}} = U_{\text{ВЫХ}} - U_{\text{СТ}}$$

- Напряжение стабилизации стабилитрона должно соответствовать требуемому напряжению задержки. В рассмотренной схеме резистор R необходим для обеспечения режима работы стабилитрона VD2. Остальные элементы выполняют свои обычные функции. В простых схемах АРУ, где не предъявляются жесткие требования к напряжению задержки и его стабильности вместо стабилитрона можно использовать кремниевый диод, поскольку он открывается лишь после того, как напряжение на нем превысит 0.05 – 0.15 В. Это напряжение и будет напряжением задержки.

Системы АРУ (автоматической регулировки усиления)

- Регулировка коэффициента усиления усилителей часто осуществляется изменением крутизны усиления усилительных приборов. Один из вариантов такой АРУ в транзисторном приёмнике показан на рис. 55. Регулировка усиления в таких схемах достигается изменением крутизны усиления транзисторов $VT1$ и $VT2$, на которых собраны два каскада УПЧ, и изменением режимов работы этих транзисторов. На транзисторе $VT3$ собран коллекторный детектор АРУ, нагрузкой которого является цепочка $R10C10$, а элементы $R13C11$ выполняют функции фильтра АРУ.

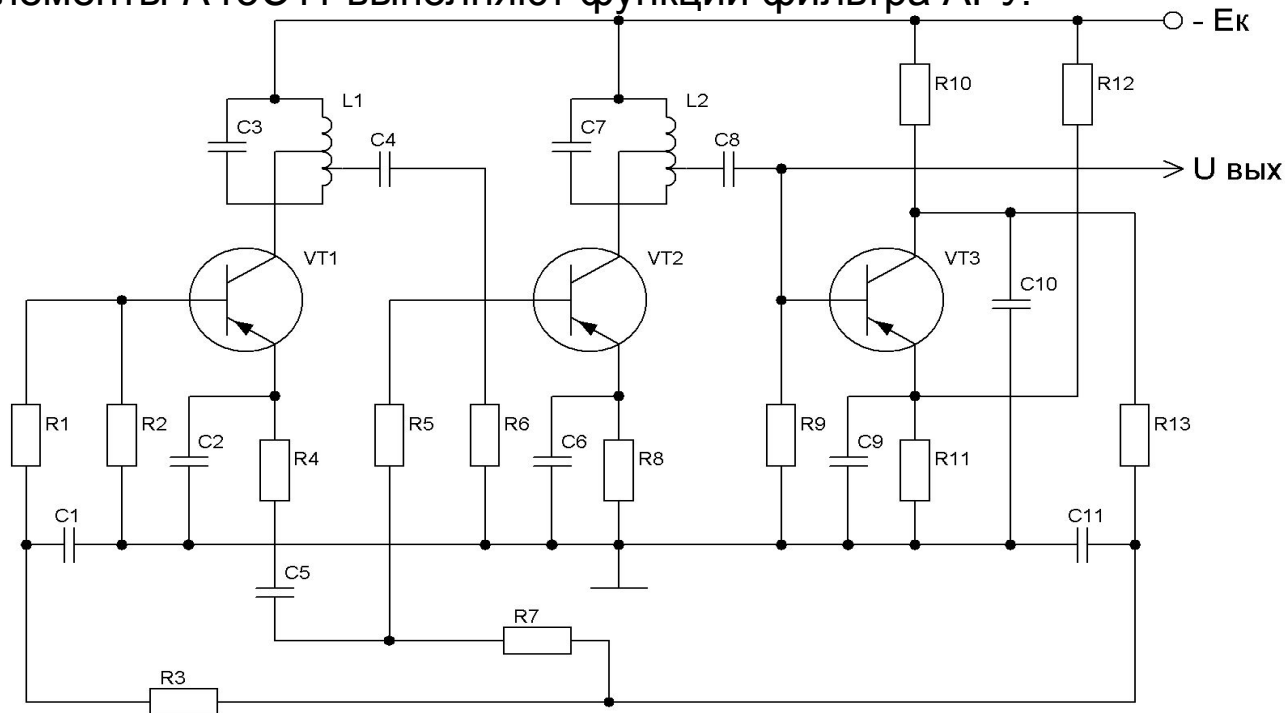


Рис.55.
Схема АРУ
с изменением
крутизны
усиления
транзисторов

Системы АРУ (автоматической регулировки усиления)

Исходное напряжение смещения и термостабилизации транзисторов $VT1$ и $VT2$ обеспечивается делителями напряжения соответственно $R10R13R3R1R2R4$ и $R10R13R7R5R6R8$. Подачей отрицательного напряжения смещения на эмиттер транзистора $VT3$ обеспечивается режим работы АРУ с задержкой. Это объясняется тем, что детектор АРУ будет закрыт, пока напряжение на базе транзистора $VT3$ не превысит порога срабатывания, определяемого напряжением на резисторе в цепи эмиттера $R11$. Как только напряжение $U_{\text{вых}}$ превысит порог срабатывания системы АРУ, транзистор $VT3$ откроется и напряжение на его коллекторе снизится. Это приведёт к уменьшению токов в делителях $R13R3R1R2$ и $R13R7R5R6$, которые задают базовые токи транзисторов $VT1$ и $VT2$, что, в свою очередь, снизится их коэффициент усиления. Чем больше выходное напряжение $U_{\text{вых}}$, тем в большей степени открывается транзистор $VT3$, тем больше уменьшаются токи делителей и

коэффициенты усиления транзисторов $VT1$ и $VT2$. Изменение базовых токов транзисторов $VT1$ и $VT2$ при действии системы АРУ приводит к изменению токов эмиттеров этих транзисторов и соответственно к изменению падения напряжения на резисторах $R4$ и $R8$. Характер этих изменений напряжения таков, что они противодействуют причине, их вызывающей, то есть снижают эффективность действия АРУ. Резисторы в цепи эмиттера $R4$ и $R8$ являются элементами термостабилизации транзисторов $VT1$ и $VT2$. Поэтому, там, где это возможно, с целью подавления снижения эффективности действия АРУ в каскадах УПЧ, охваченных АРУ, термостабилизация не применяется.

Резистор $R3$ и конденсатор $C1$, а также резистор $R7$ и конденсатор $C5$ образуют фильтры, предотвращающие взаимное влияние каскадов УПЧ. Остальные элементы схемы выполняют свои обычные функции.

Системы АРУ (автоматической регулировки усиления)

На схеме (рис. 56) представлена схема АРУ с управляемым делителем напряжения, образованный сопротивлением диода $VD1$ и входным сопротивлением второго каскада УПЧ на транзисторе $VT2$ (первый каскад УПЧ собран на транзисторе $VT1$).

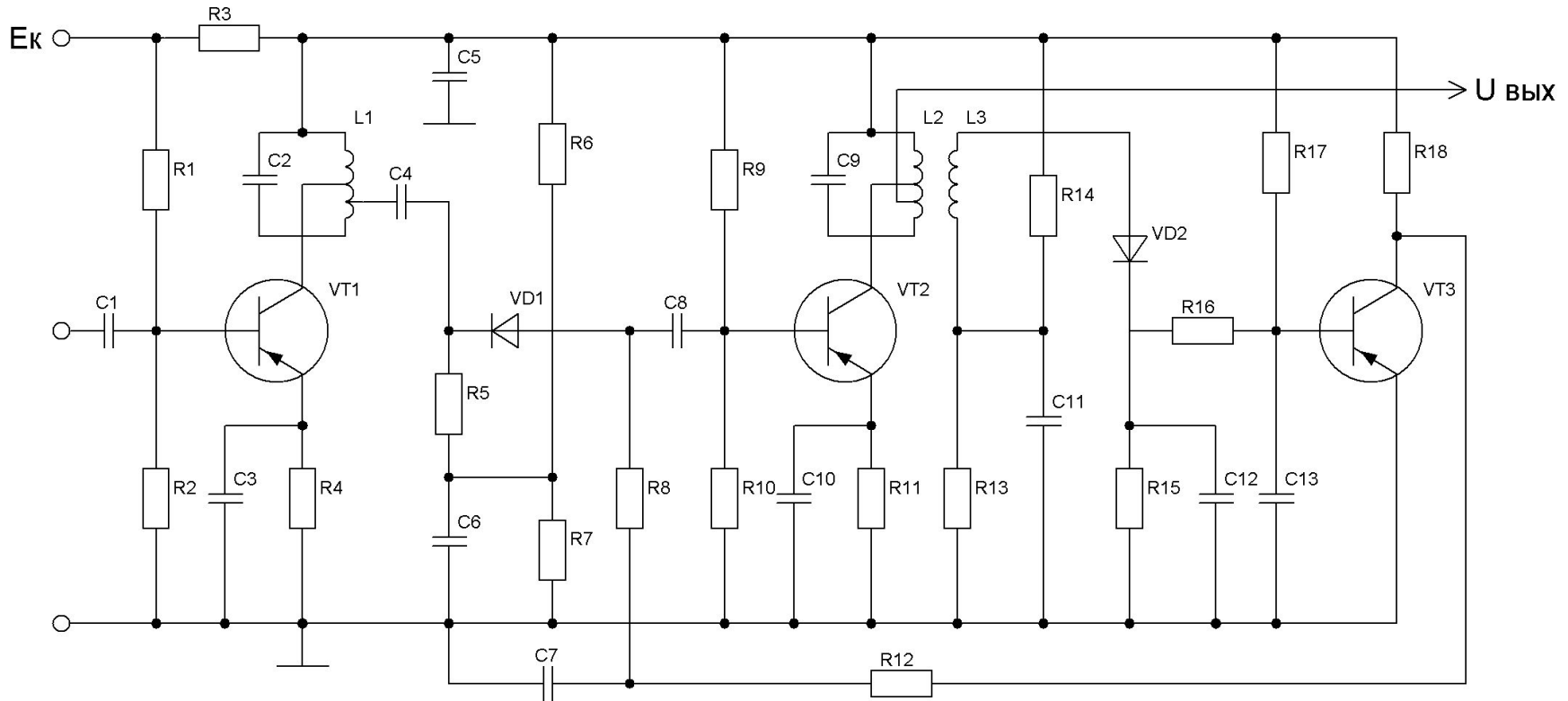


Рис. 56. Схема АРУ с управляемыми делителями напряжения

Системы АРУ (автоматической регулировки усиления)

- Регулирующее напряжение снимается с детектора АРУ на диоде $VD2$ и усиливается усилителем постоянного тока на транзисторе $VT3$. Детектор АРУ является последовательным диодным детектором с нагрузкой.
- В исходном состоянии диод $VD1$ полностью открыт напряжением, формируемым делителем $R18R12R8R7R6R5$ и коэффициент передачи управляемого делителя максимален. Как только выходное напряжение превысит порог срабатывания системы АРУ, диод $VD2$ откроется и напряжение нагрузки с детектора АРУ через резистор $R16$ поступит на базу транзистора $VT3$, закрывая его. Это приведёт к росту отрицательного напряжения на коллекторе транзистора $VT3$, которое, будучи поданным через резисторы $R12$ и $R8$ на анод диода $VD1$, закроет диод, увеличив его сопротивление и тем самым уменьшив коэффициент передачи управляемого делителя. Фильтр АРУ в этой схеме состоит из цепочек $R15R16C11C12$ и $R12C7$. Остальные элементы схемы выполняют свои обычные функции.

Автоматическая подстройка частоты (АПЧ)

АПЧ должна обеспечивать требуемую точность настройки РПУ при воздействии дестабилизирующих факторов. Случайные изменения частоты гетеродина приводят к изменению промежуточной частоты

$$f_{\text{пр}} = f_{\text{г}} - f_{\text{с}}$$

Поэтому задача АПЧ сводится к подстройке частоты гетеродина для точного соответствия промежуточной частоты частоте, на которую настроен тракт ПЧ. Для АПЧ вводится специальная цепь АПЧ (рис. 57), состоящая из измерительного элемента (ИЭ), фильтра (Ф) и регулятора частоты (РЧ).

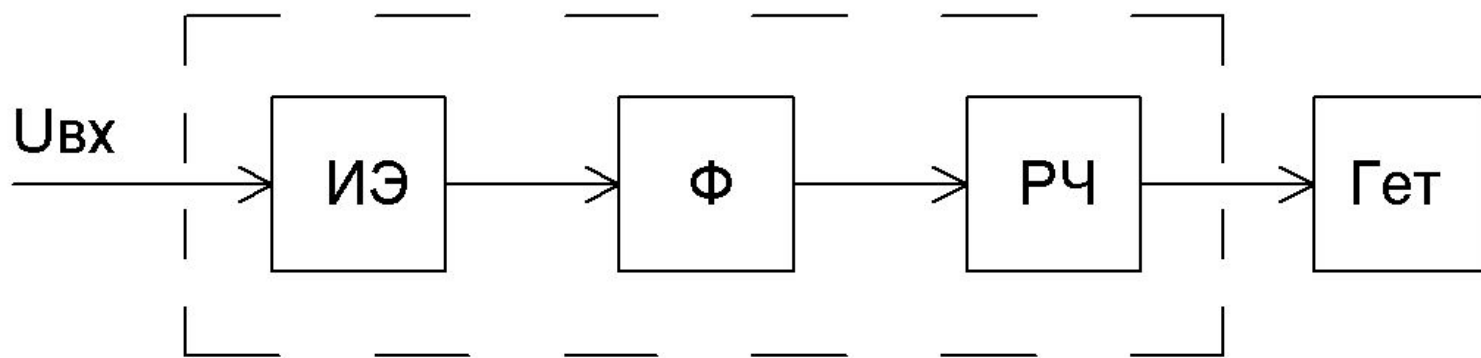


Рис. 57. Цепь АПЧ

Автоматическая подстройка частоты (АПЧ)

- Измерительный элемент вырабатывает напряжение регулировки. В зависимости от вида ИЭ различают частотные и фазовые системы АПЧ. В системах с частотной АПЧ измерительный элемент оценивает отклонение частоты напряжения на входе цепи АПЧ от эталонного значения. В качестве ИЭ используется частотный детектор.
- В системах фазовой АПЧ в качестве ИЭ используется фазовый детектор, оценивающий отклонение фазы напряжения на входе цепи АПЧ от фазы эталонного (опорного) напряжения. Фильтр в цепи АПЧ по аналогии с фильтром АРУ не пропускает быстрых изменений напряжения, а пропускает лишь медленное изменение напряжения, связанное с уходом частоты гетеродина. Регулятор частоты (РЧ) обеспечивает подстройку частоты гетеродина.

Автоматическая подстройка частоты (АПЧ)

- В зависимости от точки, к которой в цепях приемника подключена цепь АПЧ, различают два вида устройств АПЧ. Устройство, поддерживающее постоянной промежуточную частоту, приведено на рис. 58.

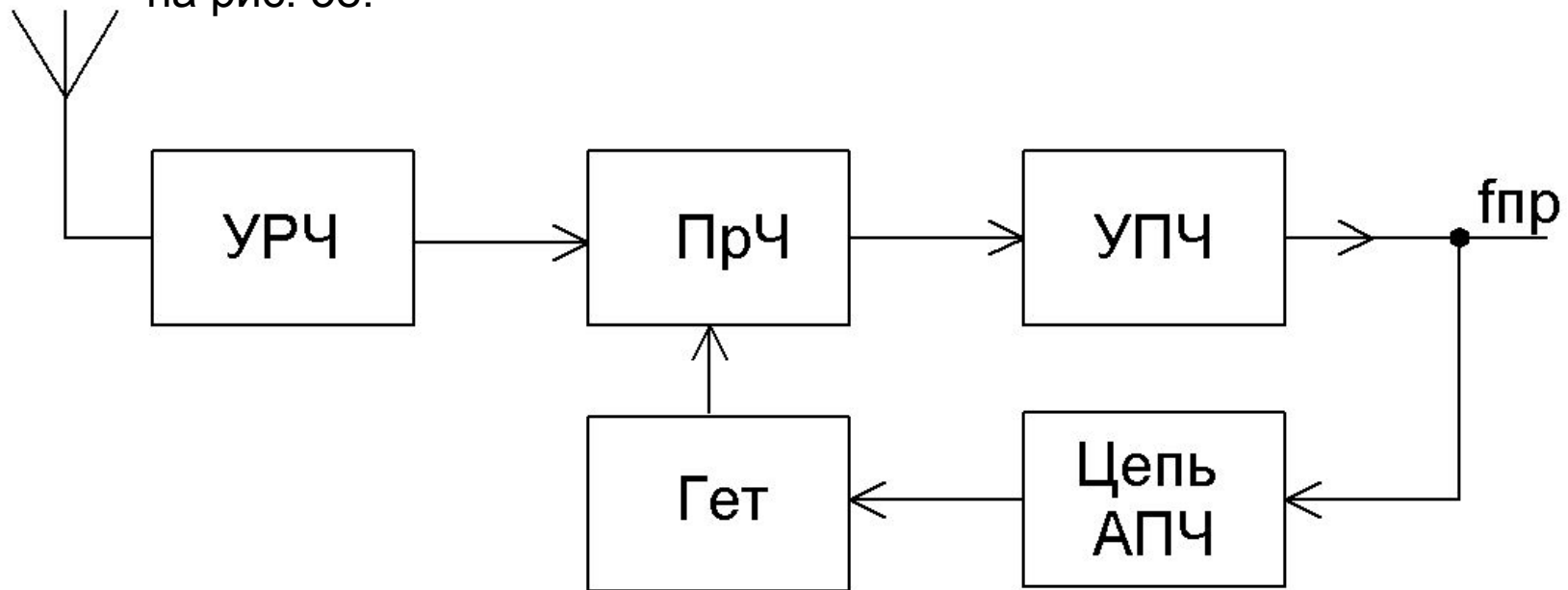


Рис. 58. Разностная АПЧ

Автоматическая подстройка частоты (АПЧ)

- Поскольку ПЧ равна разности частот гетеродина и сигнала такие устройства АПЧ называют разностными. В этом устройстве цепь АПЧ подключается к выходу УПЧ приемника (см. рис. 58).
- При появлении отклонения ПЧ от номинального значения вырабатывается напряжение, которое подстраивает частоту гетеродина. Устройство разностной АПЧ работоспособно только при наличии на входе приемника сигнала.
- В этом случае АПЧ обеспечивает подстройку приемника как при изменении частоты гетеродина, так и при изменении частоты сигнала в передатчике.

Автоматическая подстройка частоты (АПЧ)

Двухканальная система АПЧ (рис. 59) применима при расположении передатчика рядом с приемником, что характерно, например, для РЛС.

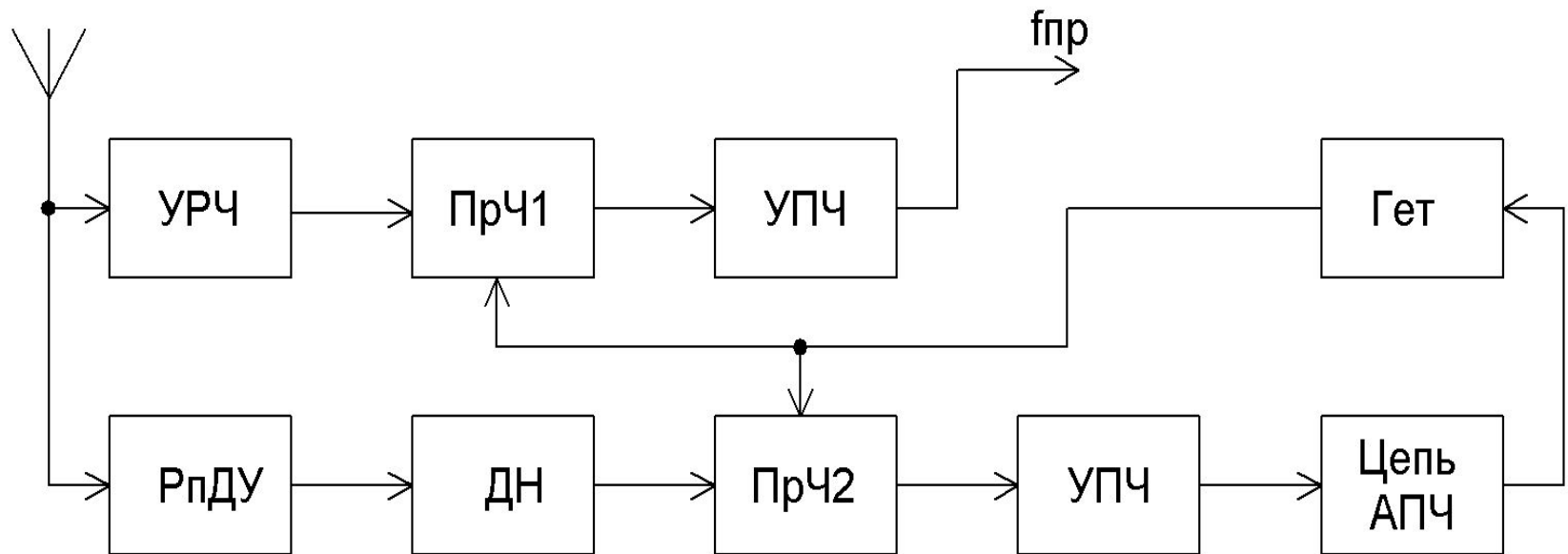
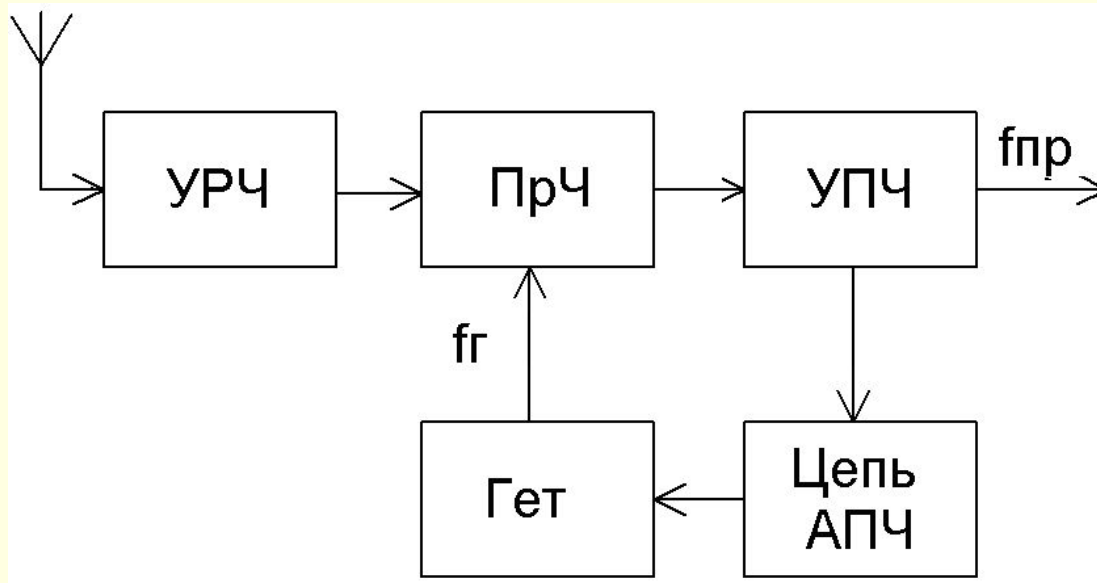


Рис. 59. Двухканальная система АПЧ

Автоматическая подстройка частоты (АПЧ)

- Для подстройки создается второй канал, и поскольку от передатчика поступает сильный сигнал, его необходимо ослабить делителем напряжения (ДН). На выходе преобразователя частоты (ПрЧ2) второго каскада образуется напряжение частоты $f_{пр}$, которое после усиления в УПЧ поступает в цепь АПЧ. Данное устройство работоспособно при отсутствии сигнала на входе приемника. Структурные схемы АПЧ, работоспособные при отсутствии сигнала (рис. 60) не устраняют изменений промежуточной частоты из-за изменений частоты сигнала.

Автоматическая подстройка частоты (АПЧ)



- Рис. 60 а. Частотная (а) система АПЧ.

Автоматическая подстройка частоты (АПЧ)

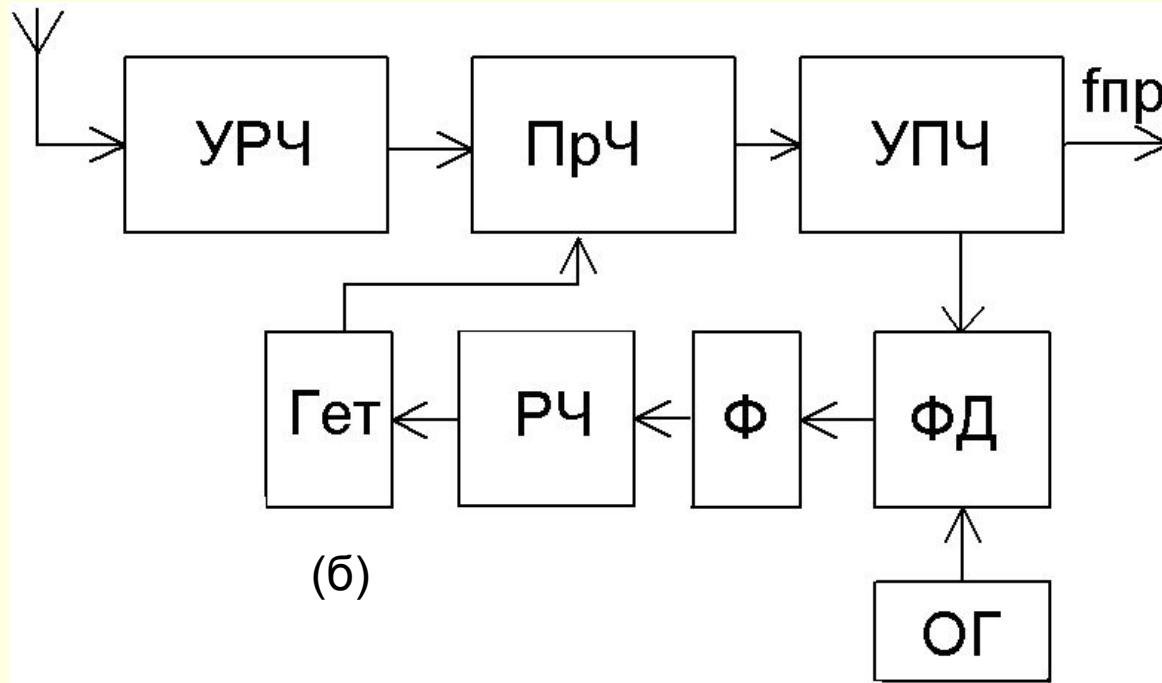


Рис 60. Фазовая (б) система АПЧ

- Цепь частотной АПЧ (рис. 60, а) включает в себя частотный детектор, фильтр и регулятор частоты. Фазовая АПЧ (рис. 60, б) позволяет сравнивать фазы колебаний гетеродина и опорного генератора (ОГ). В качестве измерительного элемента в фазовой АПЧ используется фазовый детектор (ФД). Напряжение регулировки в фазовой АПЧ зависит от сдвига фаз между колебаниями подстраиваемого и опорного генераторов. По сравнению с частотной АПЧ фазовая АПЧ более чувствительна, так как реагирует даже на самое малое расхождение частот.

Автоматическая подстройка частоты (АПЧ)

- В зависимости от вида регулятора частоты различают электронные и электромеханические системы АПЧ. В электронных системах АПЧ в качестве регулятора частоты используется варикап, в электромеханических – электродвигатель. Наибольшее распространение на практике нашли электронная частотная и фазовая АПЧ. Для оценки качества работы электронных частотных АПЧ приемников непрерывных сигналов (рис. 58) используются следующие параметры:
- 1. **Остаточная расстройка** – это допустимое отклонение частоты от номинального значения.
- 2. **Коэффициент автоподстройки** – это отношение расстройки частоты Δf при разомкнутой системе АПЧ к остаточной расстройке
- $$\Delta f_{\text{ост}} \quad ; \quad K_{\text{АПЧ}} = \frac{\Delta f}{\Delta f_{\text{ост}}}$$
- 3. **Полоса удержания** – это полоса промежуточных частот в пределах которой система АПЧ удерживает промежуточную частоту близкой к номинальному значению.
- 4. **Полоса захвата** - это полоса частот, в пределах которой происходит захват частоты принимаемой станции системой АПЧ и после чего настройка приемника сохраняется при отклонении промежуточной частоты в пределах полосы удержания.

Автоматическая подстройка частоты (АПЧ)

- Характеристики измерительного элемента (ИЭ) и регулятора частоты (РЧ) приведены на рис. 61. При изменении промежуточной частоты на Δf изменяется напряжение на выходе частотного детектора на ΔU (рис. 61,а). Это изменение напряжения ΔU , подаваемое на варикап, изменяет частоту гетеродина так, чтобы свести расстройку $\Delta f_{пр}$ к нулю, то есть
- характеристики регулятора частоты и измерительного элемента должны быть зеркальными. Чем больше крутизна частотного детектора и регулятора частоты (тангенс угла наклона соответствующей характеристики), тем больше коэффициент автоподстройки:

$$K_{АПЧ} = \frac{\Delta f}{\Delta f_{ост}} = 1 + (S_{ИЭ} S_{РЧ})$$

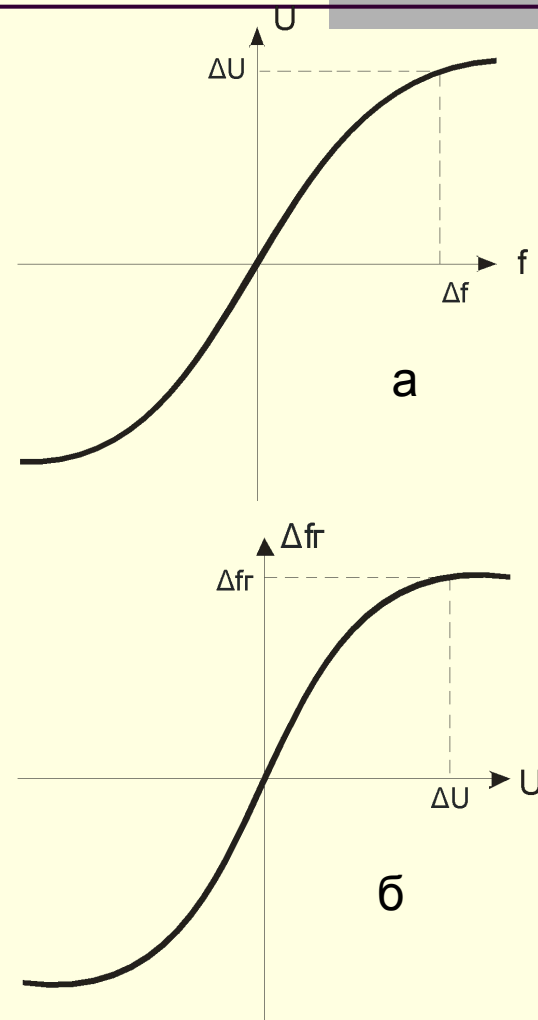


Рис. 61. Характеристики ИЭ (а) и РЧ (б)

Автоматическая подстройка частоты (АПЧ)

- В реальных цепях электронной частотной АПЧ это выражение принимает значение $K_{АПЧ} = 20 \div 50$.
- Электронная частотная АПЧ приемников импульсных сигналов приведена на рис. 62.
- В инерционных цепях АПЧ приемников импульсных сигналов постоянная времени выбирается много больше периода повторения импульсов.

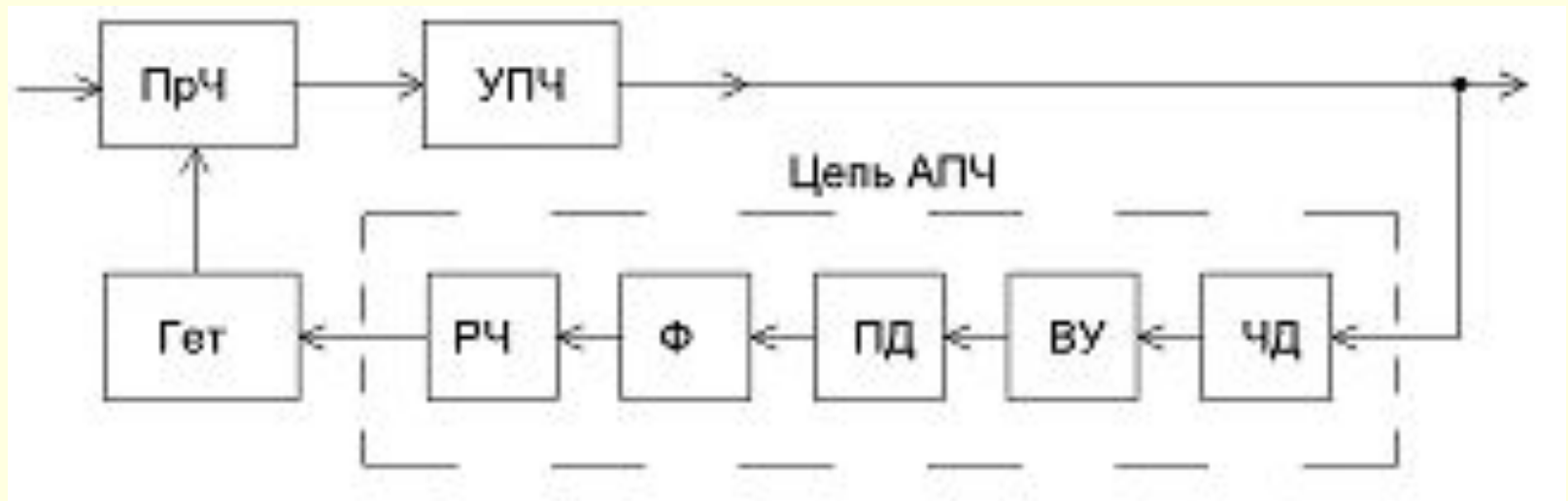


Рис. 62. Схема АПЧ приемников импульсных сигналов

Автоматическая подстройка частоты (АПЧ)

- Цепь АПЧ состоит из:

1. частотного детектора – ЧД,
2. усилителя видеоимпульсов – ВУ,
3. пикового детектора – ПД,
4. фильтра – Ф,
5. регулятора частоты – РЧ.

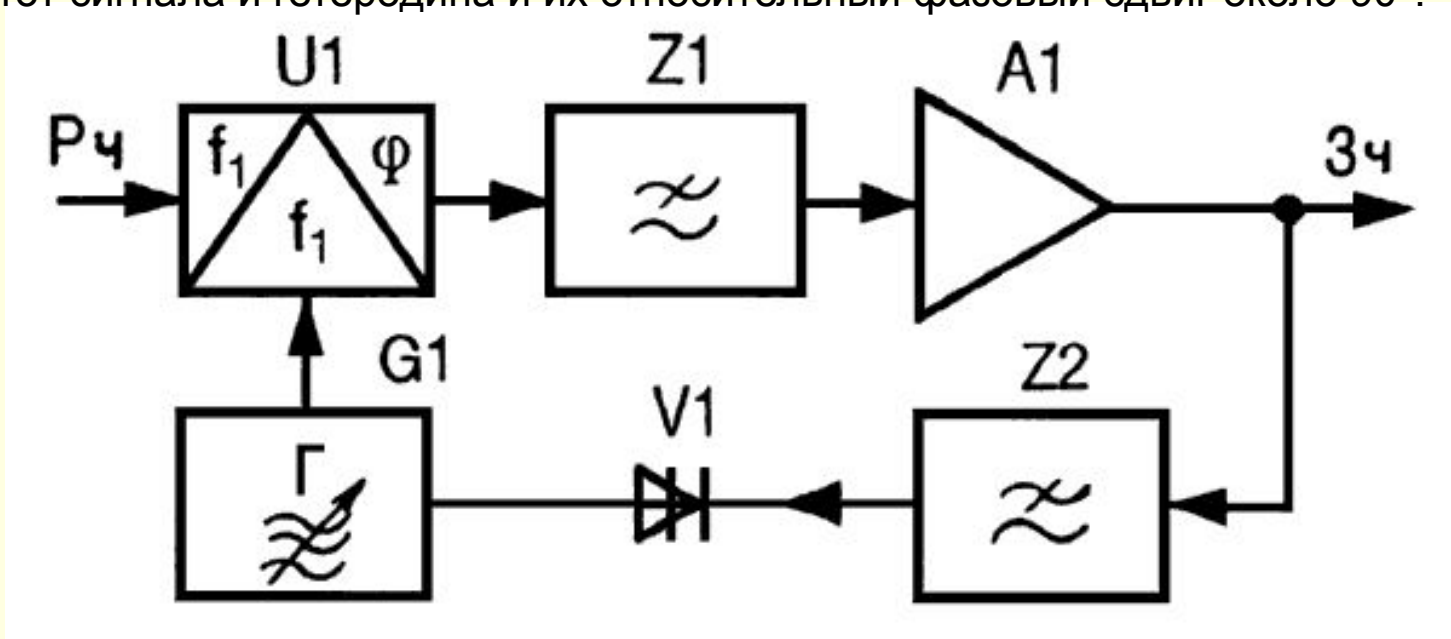
$$\Delta f_{\text{ост}} = \Delta f_{\text{нач}} / (1 + S_{\text{ЧД}} S_{\text{РЧ}} K_{\text{ВУ}} K_{\text{ПД}})$$

-

- где $K_{\text{ВУ}}$ и $K_{\text{ПД}}$
 - – коэффициенты передачи видеоусилителя и пикового детектора.
 - В быстродействующих цепях импульсных АПЧ подстройка производится в пределах действия одного импульса.

Система фазовой автоподстройки частоты

Использование прямого захвата неэффективно, да к тому же открывает путь для помех со стороны других станций. Наилучшей из известных систем синхронизации является система фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ). В ней колебания сигнала и гетеродина (*рис. 16*) поступают на смеситель (фазовый детектор) **U1**, его выходной сигнал фильтруется (**Z1**), усиливается (**A1**) усилителем постоянного тока (УПТ) и подается на варикап **V1**, управляющий частотой гетеродина **G1**. При захвате сигнала устанавливается точное равенство частот сигнала и гетеродина и их относительный фазовый сдвиг около 90° .



Система фазовой автоподстройки частоты

Библиографический список

1. Головин О.В. «Радиоприемные устройства», 2004 год.
2. Зайзлер, Ежи «Системы передачи дискретной информации», 1970 год.
3. Левин Л.С., Плоткин М.А. «Цифровые системы передачи информации», М. 1982г.
4. Игнатов В.А. «Теория передачи сигналов и информации», М. 1979г.
5. Качанов В. И. Радиотехнические цепи и сигналы. Компьютеризированный курс. Учебное пособие. – М.: ФОРУМ: ИНФРА – М, 2005. – 432 с. (Высшее образование).
6. Дьяконов В. MATLAB. Обработка сигналов и изображений. Специальный справочник – СПб.: Питер, 2002. – 608 с.: ил.
7. Кирьянов Д. В. Самоучитель MathCAD. 2001. – СПб.: БХВ – Петербург, 2002. – 544 с.: ил.