

Раздел 2. Элементная база радиосистем и устройств

2.1 Принципы функционирования радиосистем и устройств

Радиосвязь – вид связи, осуществляемой посредством радиоволн, т.е. это обмен сообщениями между двумя и более абонентами с помощью электрических сигналов, переносимых через пространство радиоволнами. В основе радиосвязи лежит преобразование электрической энергии высокой частоты в электромагнитные колебания радиопередатчиком, распространение их (радиоволн) в пространстве и обратное преобразование радиоприемником электромагнитных колебаний (радиоволн) в электрические колебания.

Электромагнитные волны — это взаимно связанные переменные электрические и магнитные поля, распространяющиеся в воздушном пространстве со скоростью $c \approx 300000$ км/с. Электромагнитное поле характеризуется напряженностью E электрического поля и индукцией B магнитного поля. В электромагнитной волне векторы E и B взаимно перпендикулярны и перпендикулярны к направлению ее распространения.

Длина электромагнитной волны λ — это расстояние между ближайшими друг к другу точками, в которых фазы колебаний напряженности электрического поля или магнитной индукции одинаковы. За один период колебаний электромагнитная волна распространяется на расстояние, равное длине волны. Длина волны связана со скоростью распространения и периодом колебаний или частотой колебаний соотношением $\lambda = cT = c/f$. На рисунке 2.1.1 представлена структурная схема системы передачи информации.

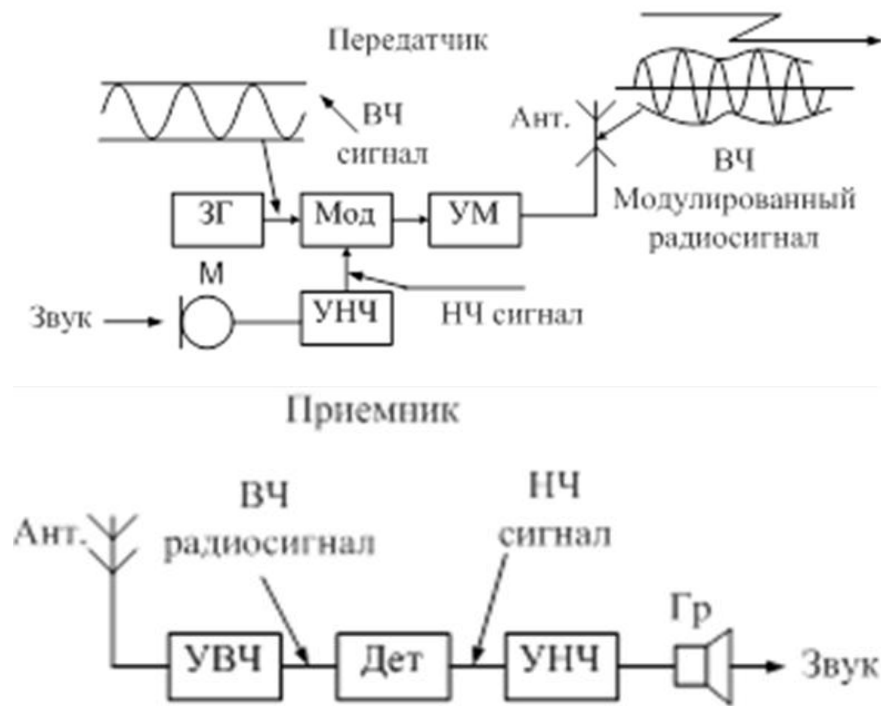


Рис. 2.1.1

Избирательность обеспечивается резонансным контуром, чаще всего состоящим из параллельно включенных катушки индуктивности и конденсатора, образующих параллельный колебательный контур, имеющий резонанс тока на частоте электромагнитных колебаний, передаваемых передатчиком. К передатчикам радиостанций, работающих на других частотах, данный радиоприемник практически нечувствителен. На рисунке 2.1.2 представлены различные виды сигналов.

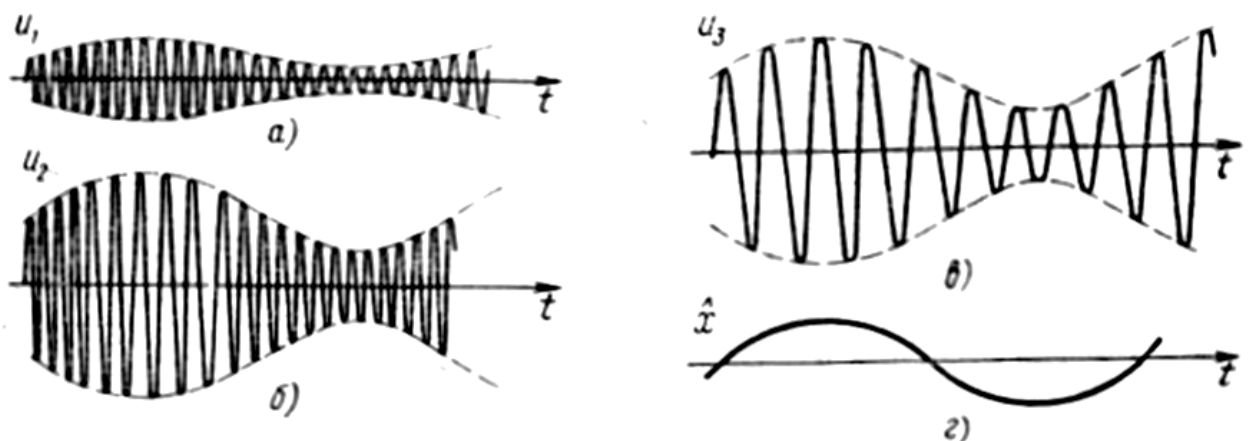


Рис. 2.1.2

Радиосвязь бывает одно- и двухсторонней.

При **односторонней радиосвязи** одна из радиостанций осуществляет только передачу, а другая (или другие) только прием.

При **двухсторонней радиосвязи** радиостанции осуществляют одновременно передачу и прием.

Симплексная радиосвязь – это двухсторонняя радиосвязь, при которой **каждый абонент ведет только передачу или только прием поочередно**, выключая свой передатчик на время приема. Для симплексной связи достаточно одной радиочастоты (**одночастотная симплексная радиосвязь**). Каждая радиостанция имеет одну антенну, которая при приеме и передаче переключается соответственно на вход радиоприемника или на выход радиопередатчика. Симплексная радиосвязь **используется, как правило, при наличии относительно небольших информационных потоков**.

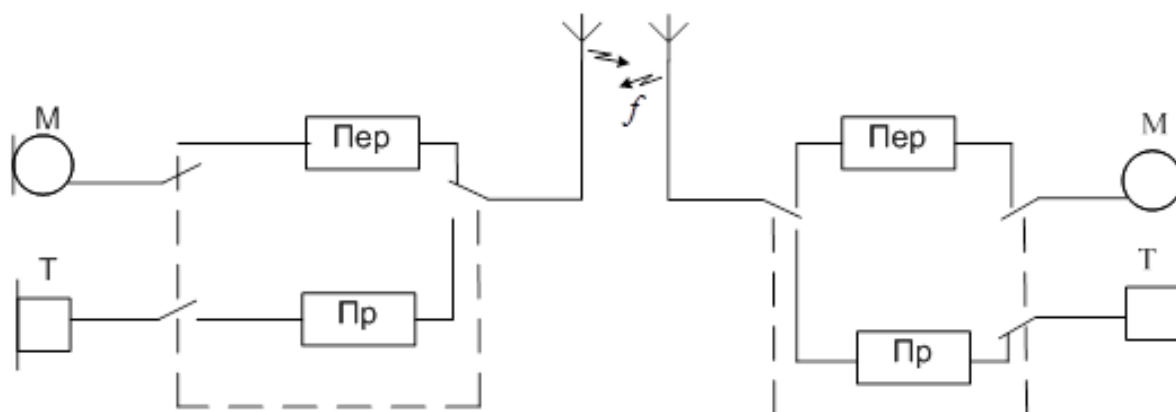


Рис. 2.1.3

Для радиосетей с большой нагрузкой характерна дуплексная радиосвязь.

Дуплексная радиосвязь – это двухсторонняя радиосвязь, при которой прием и передача ведутся одновременно.

Для дуплексной радиосвязи **требуется две разные несущие частоты, а передатчики и приемники должны иметь свои антенны**.

Кроме того, на входе каждого приемника устанавливают специальный фильтр (дуплексер), не пропускающий колебаний радиочастоты собственного передатчика. Достоинствами дуплексной радиосвязи являются ее высокая оперативность и пропускная способность радиосети.

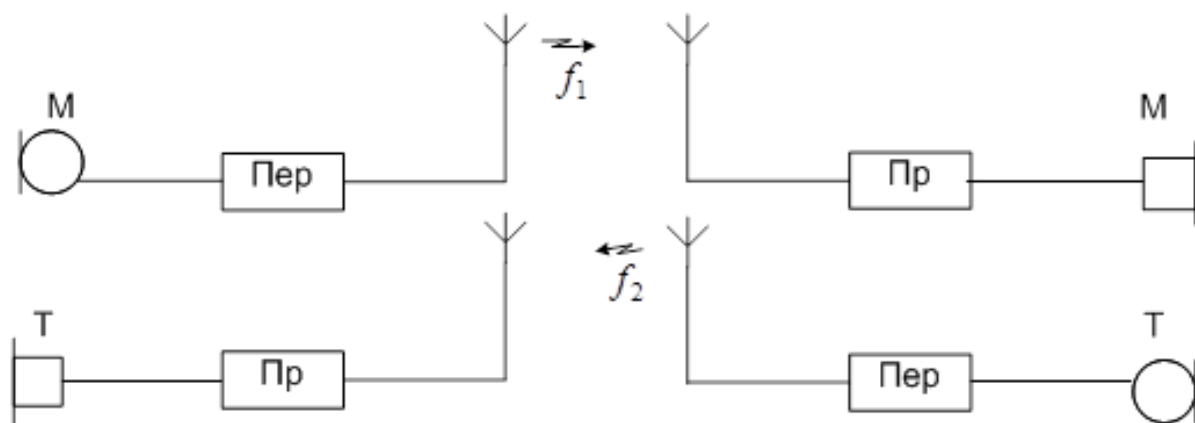


Рис. 2.1.4

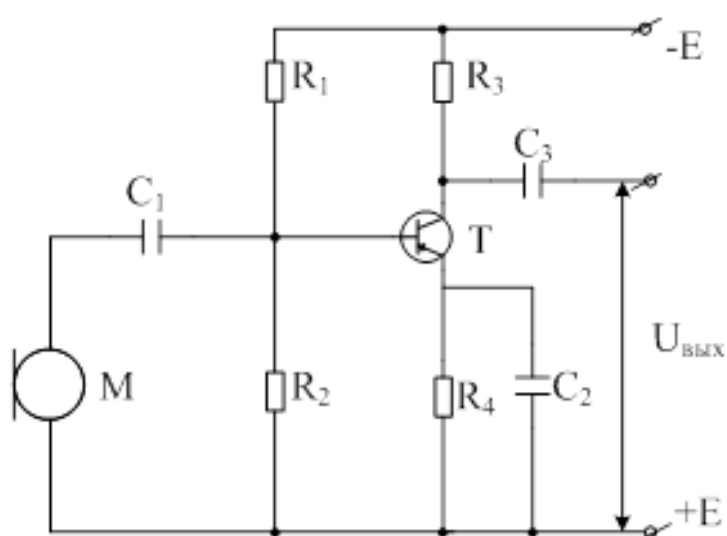


Рис. 2.1.5 – Однокаскадный микрофонный усилитель звуковой частоты (УЗЧ)

Переменный сигнал от микрофона М через разделительный конденсатор C_1 подается на базу транзистора Т, в результате чего величина его сопротивления между эмиттером и коллектором будет уменьшаться при отрицательной полуволне и увеличиваться при положительной полуволне входного сигнала на базе транзистора. Соответственно будет изменяться и ток, протекающий от плюса $+E$ через резистор R_4 , транзистор Т, резистор R_3 . На резисторе R_3 будет выделяться переменное напряжение, получаемое за счет напряжения источника постоянного тока $-E$. Причем полученное таким образом переменное напряжение соответствует частоте колебаний сигнала на входе транзистора. Усиленное напряжение снимается через разделительный конденсатор C_3 для последующего его использования в модуляторе.

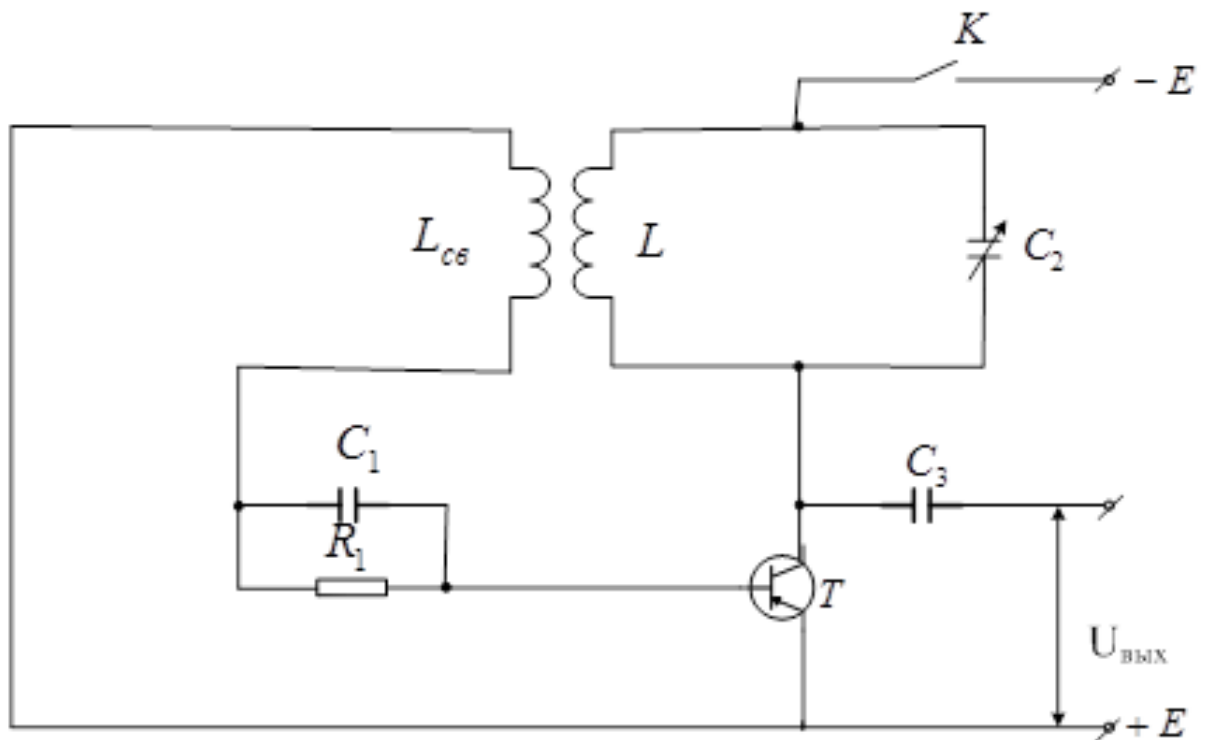


Рис. 2.1.6 – Схема задающего генератора радиочастоты

Генератор с самовозбуждением колебаний является усилителем с глубокой обратной связью, т.е. усилителем собственных колебаний. **Условием самовозбуждения колебаний является сдвиг фаз переменных напряжений на коллекторе и базе на 180° и наличие достаточной величины обратной связи по напряжению, обеспечиваемой соответствующим соотношением витков катушек L и $L_{св}$.**

Частота собственных колебаний колебательного контура, а следовательно, и частота генератора определяется выражением:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{C_2 L} \left(1 - \frac{1}{4Q^2}\right)} \quad (2.1.1)$$

Где Q – добротность колебательного контура, определяемая по формуле:

$$Q = \omega L / r \quad (2.1.2)$$

Где r – активное сопротивление катушки;

ω – угловая частота колебаний.

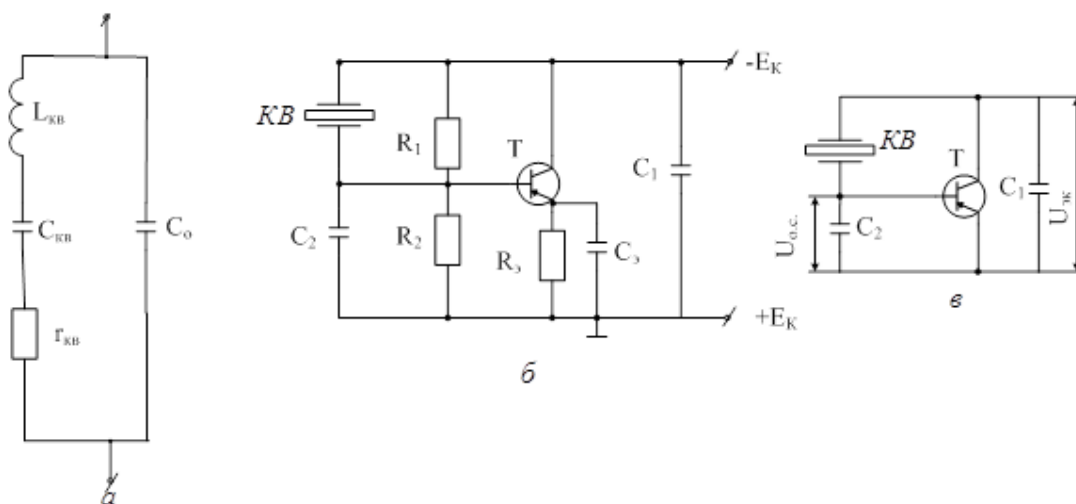
Чем меньше затухание колебаний в контуре, тем выше его качество. Хорошими контурами считаются контуры с добротностью $Q > 150$.

Важным параметром для задающих генераторов является стабильность частоты вырабатываемого напряжения. Существуют параметрическая и кварцевая стабилизации частоты высокочастотных генераторов.

Параметрическая стабилизация осуществляется соответствующим подбором параметров и элементов схемы.

В радиостанциях КВ и УКВ применяется, как правило, кварцевая стабилизация, обеспечивающая достаточно простой технической реализацией высокую стабильность частоты колебаний.

Эквивалентная схема кварцевого резонатора представлена на рис. где $L_{кв}$, $C_{кв}$, $r_{кв}$ – соответственно индуктивность, емкость и сопротивление кварцевой пластины; C_0 – емкость кварцедержателя. Характерно, что добротность кварцевого резонатора достигает значений $Q = 10^6-10^7$, что на 4-5 порядков больше, чем у обычного LC-контура.



а – эквивалентная схема кварцевого резонатора;

б – эквивалентная схема кварцевого резонатора в генераторе;

в – эквивалентная схема автогенератора.

Рис. 2.1.7

Для рассматриваемой эквивалентной схемы характерны две резонансные частоты: частота, соответствующая резонансу левой последовательной цепи, состоящей из $L_{кв}$, $C_{кв}$, $r_{кв}$:

$$f_{кв} = (2\pi\sqrt{L_{кв}C_{кв}})^{-1} \quad (2.1.3)$$

и частота, соответствующая резонансу в параллельном контуре, состоящем из $L_{кв}$, $C_{кв}$, C_0 :

$$f_0 = (2\pi \sqrt{\frac{L_{кв} C_{кв} C_0}{C_{кв} - C_0}})^{-1} \quad (2.1.4)$$

Использование кварцевого резонатора для стабилизации частоты возможно в интервале частот $f_{кв} - f_0$. В этом случае эквивалентное сопротивление кварцевого резонатора носит индуктивный характер.

При высокой добротности и малых значениях коэффициентов линейного и объемного расширения кварца его эквивалентные параметры ($L_{кв}$, $C_{кв}$, $r_{кв}$) остаются практически неизменными при значительных изменениях температуры окружающей среды, что позволяет обеспечить высокую стабильность частоты задающего генератора.

Из эквивалентной схемы того же автогенератора (в) видно, что контур подключается к усилительному элементу тремя точками, и эта схема называется емкостной трехточкой. В колебательный контур входят две емкости (C_1 , C_2), а кварцевый резонатор КВ выполняет роль индуктивности. Обратная связь в схеме осуществляется при помощи емкостного делителя контурного напряжения, состоящего из конденсаторов C_1 и C_2 . Такое включение кварца (кв) обеспечивает (по сравнению с другими известными схемами) меньшую стабильность частоты при изменении окружающей температуры в широком интервале.

В рассматриваемой схеме выполняется условие баланса фаз, так как напряжение $U_{o.c.}$ на конденсаторе обратной связи C_2 находится в противофазе с напряжением $U_{эК}$ относительно общей заземленной точки, подключенной к эмиттеру транзистора.

Для ёмкостной трехточки коэффициент обратной связи:

$$k_{o.c} = \frac{U_{o.c}}{U_{эК}} = \frac{I_e(\omega_0 C_2)^{-1}}{I_e(\omega_0 C_1)^{-1}} = \frac{C_1}{C_2} \quad (2.1.5)$$

где I_e – ток, проходящий через емкостную цепь контура;

ω_0 – генерируемая частота.

Частичное подключение колебательного контура к усилительному элементу снижает влияние нестабильных емкостей р-п перехода транзистора. Смещение на базу транзистора, предназначенное для выбора его рабочего режима, выполняется комбинированным способом. Оно осуществляется в

рассматриваемой схеме (см. рис. 2.1.7, б) за счет подачи фиксированного напряжения с помощью делителей сопротивлений R_1 и R_2 , а также автоматического смещения, образованного за счет R_3C_3 цепочки при протекании постоянной составляющей эмиттерного тока через резистор R_3 .

Известно, что резонансная частота механических колебаний кварцевой пластинки зависит от ее толщины. При работе на частотах свыше 15 МГц толщина этой пластинки должна быть менее 0,3мм, а механическая прочность становится ниже допустимой. Поэтому для обеспечения работы радиостанций, используемых в пожарной охране в диапазоне 140–174 МГц, задающие генераторы радиопередатчиков выполняют на более низкие частоты, а повышение рабочей частоты осуществляют с помощью специальных каскадов, называемых умножителями частоты.

В практических схемах транзисторных радиопередатчиков процесс, в частности, амплитудной модуляции осуществляется чаще всего не в схеме самого задающего генератора, а в последующей ступени усиления этих колебаний. Это позволяет снизить паразитные эффекты модуляции и повысить качество радиопередатчика в целом.

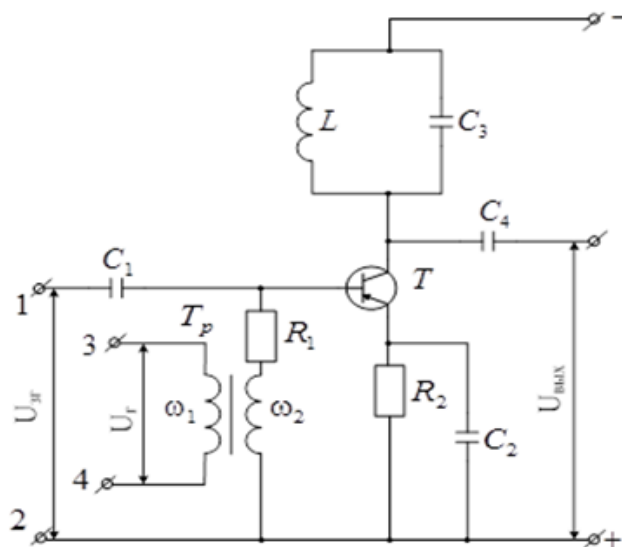
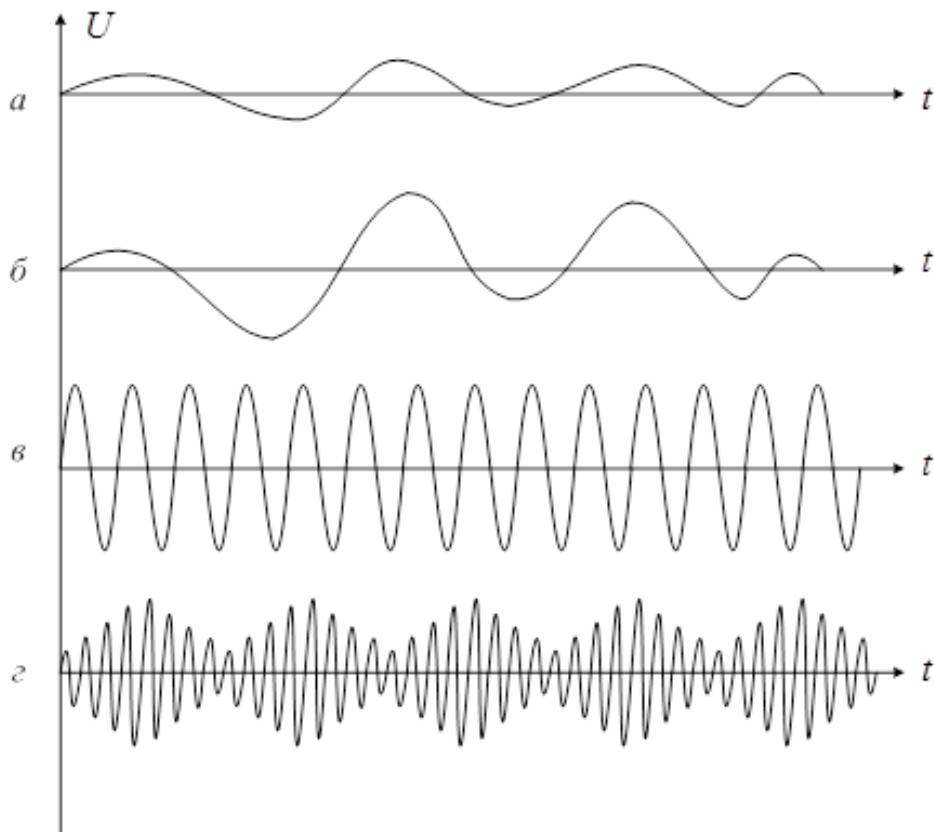


Рис. 2.1.8 – Схема амплитудной модуляции на усилительной ступени высокочастотных колебаний



Графики процесса амплитудной модуляции
 а – звуковые колебания у микрофона;
 б – усвоенные электрические колебания после микрофонного усилителя;
 в – радиочастотные колебания задающего генератора;
 г – промодулированные по амплитуде радиочастотные колебания

Рис. 2.1.9 – Графики процесса амплитудной модуляции

а – звуковые колебания у микрофона;

б – усиленные электрические колебания после микрофонного усилителя;

в – радиочастотные колебания задающего генератора;

г – промодулированные по амплитуде радиочастотные колебания

Резисторы R_1 , R_2 и емкость C_2 предназначены для обеспечения соответствующего режима работы каскада как усилителя, на вход которого (клеммы 1,2) от задающего генератора через C_1 подаются высокочастотные колебания. Колебательный контур LC_3 настроен на частоты задающего генератора. На этой частоте контур обладает максимальным сопротивлением для переменной, составляющей коллекторного тока, создающего соответствующее падение переменного напряжения, которое снимается с коллектора транзистора и через конденсатор C_4 подается в последующие узлы передатчика.

Модуляция осуществляется благодаря применению трансформатора, на первичную обмотку 1 которого (клеммы 3, 4) подаются сигналы звуковой частоты (НЧ) от микрофонного усилителя, а со вторичной обмотки 2 снимаются для управления транзистором T . Отрицательные полуволны модулирующих сигналов открывают транзистор, положительные полуволны закрывают, в результате увеличивается (или уменьшается) усиливаемый транзистором высокочастотный ток.

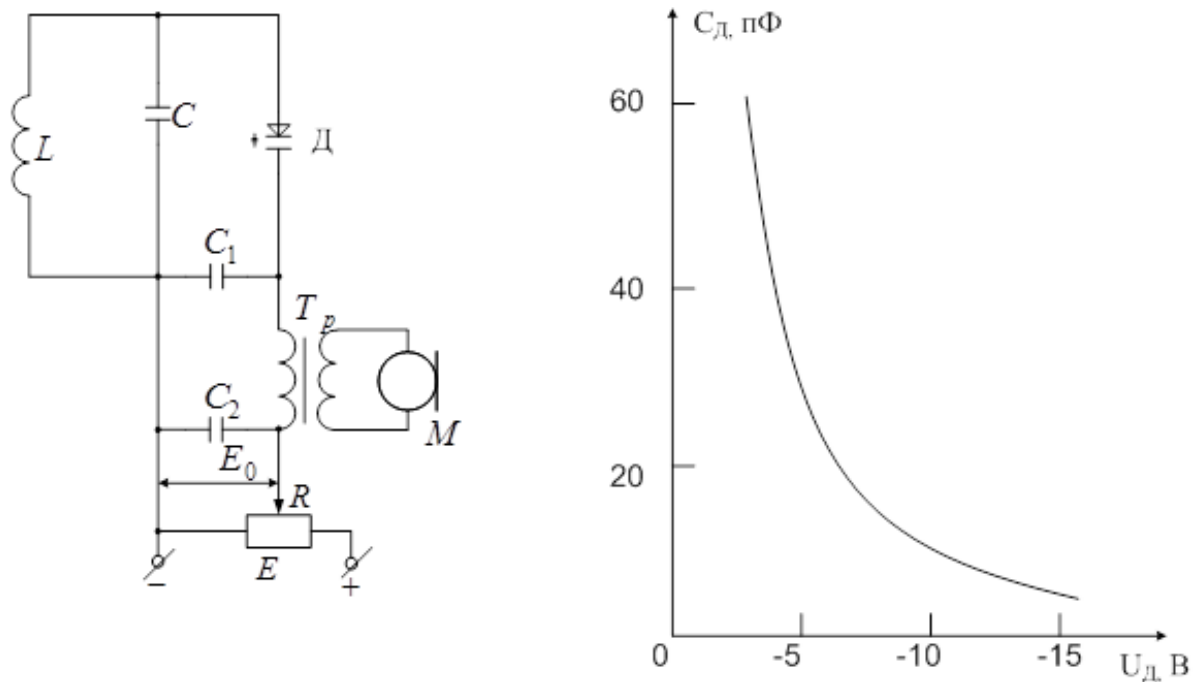


Рис. 2.1.10 – Упрощенная схема частотного модулятора, состоящего из колебательного контура LC, диода D и блокировочных конденсаторов C_1, C_2 .

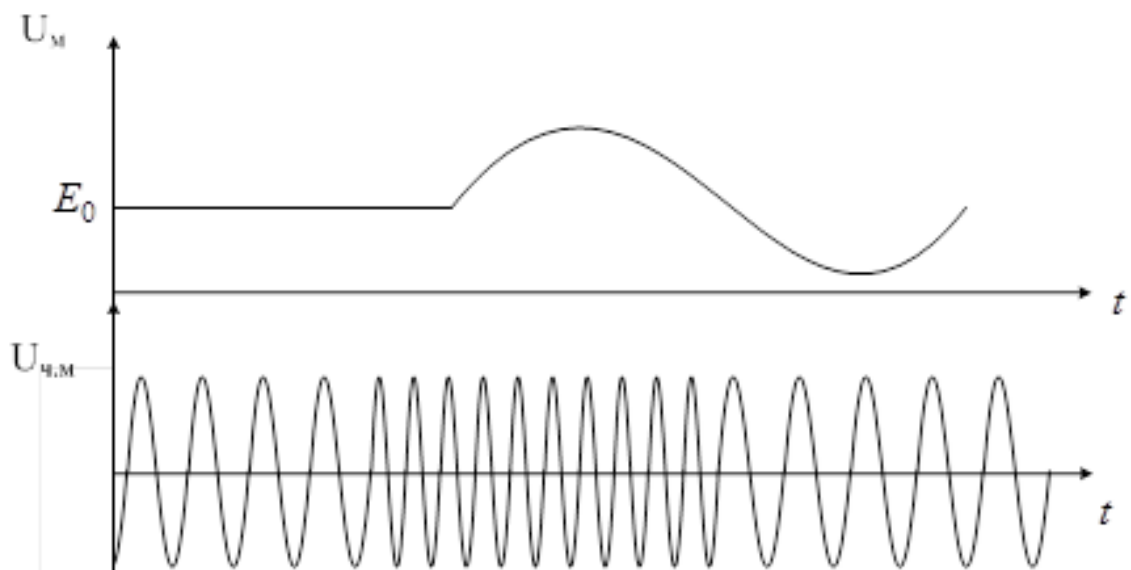


Рис. 2.1.11 – Графики частотной модуляции

К кабельному контуру задающего генератора LC через конденсатор C1 параллельно емкости контура подключается варикап Д. Под действием звуковых колебаний внутреннее сопротивление, например, угольного микрофона изменяется и на нем создается изменяющееся падение напряжения, которое складывается или вычитается из напряжения E₀. Изменения напряжения смещения на управляемом диоде вызывают изменения положения его рабочей точки на характеристике, что приводит к изменению емкости, приложенной параллельно к колебательному контуру. В отрицательный полупериод переменного напряжения, поступающего с микрофона, емкость варикапа уменьшается, а собственная частота контура, определяющего частоту задающего генератора, увеличивается в соответствии с формулой:

$$f = (2\pi\sqrt{LC_э})^{-1} \quad (2.1.6)$$

где L – индуктивность колебательного контура;

C_э – эквивалентная емкость колебательного контура.

В положительный полупериод напряжения управляющего сигнала емкость варикапа увеличивается, что приводит к уменьшению частоты задающего генератора. В результате в модуляторе происходит процесс частотной модуляции.

Как частотная, так и фазовая модуляции могут быть осуществлены в одном и том же типе модулятора при использовании соответствующих корректирующих цепей. Так, фазовую модуляцию можно получить в схеме с частотной модуляцией, если пропускать модулирующие сигналы через RC-цепь, которая дает линейное увеличение амплитуды с увеличением частоты модулирующих сигналов.

Учитывая, что чем выше частота колебаний задающего генератора, тем труднее его создать, для увеличения частоты в радиопередатчиках применяют схемы умножения частоты. Сущность умножения частоты заключается в том, что колебательный контур, например, предпоследнего усилителя передатчика, настраивается не на основную частоту задающего генератора (не на первую гармонику), а на вторую или третью гармонику. Тогда колебательный контур для частоты третьей гармоники будет обладать большим сопротивлением, а для других частот – малым. В этом случае на контуре будет выделяться сигнал только той частоты, на которую настроен

контур. Если контур настроен на вторую гармонику, каскад называют удвоителем, если на третью – утроителем частоты.

Умножение в большее число раз в одном каскаде, как правило, не используют, так как чем выше номер гармоники, тем меньше ее амплитуда. Для умножения частоты в большее число раз применяют несколько каскадов умножения.

На выходе передатчика стоит усилитель мощности, с которого через соответствующее согласующее устройство высокочастотные сигналы подаются в антенну. В антенне происходит преобразование высокочастотных электрических колебаний в электромагнитные радиоволны.

Излучаемые передающей антенной радиоволны, достигнув приемной антенны, наводят в ней ЭДС, частота которой равна частоте тока передающей антенны. Мощность электромагнитных колебаний в приемной антенне обычно ничтожно мала. Поэтому принимаемые радиоволны усиливаются усилителем высокой частоты (УВЧ). К наиболее важным характеристикам радиоприемников относятся следующие параметры.

Чувствительность приемника – это способность принимать слабые сигналы, развивая при этом необходимую выходную мощность. Гостовское толкование чувствительности приемника – это минимальная величина высокочастотного сигнала на входе приемника, при котором на выходе НЧ тракта приемника обеспечивается соотношение сигнал/шум, равное 12 дБ. При приеме высокочастотного, модулированного сигнала чувствительность приемника выражается величиной ЭДС несущей частоты на его входе, которая обеспечивает на выходе НЧ тракта развитие нормальной мощности (громкости звучания). Чем меньше величина указанной ЭДС на входе приемника, тем выше его чувствительность.

Избирательность (селективность) приемника характеризует его способность выделять полезный сигнал из совокупности сигналов других радиостанций, работающих на частотах, близких к частоте этого сигнала, т.е. работающих на частотах соседних каналов. Количественно селективность оценивают параметрами двух- и трехсигнальной избирательности приемника.

Диапазон принимаемых частот представляет собой область частот, на которые может настраиваться приемник. При работе на любой частоте в этом диапазоне чувствительность, избирательность и другие параметры

приемника не выходят за пределы норм, установленных для приемников данного класса.

Приемники с преобразованием несущей частоты называются супергетеродинными. На входе приемника устанавливают входное устройство, выделяющее сигналы определенной радиостанции. Эти сигналы поступают на усилитель радиочастоты. Если усилитель резонансный, его настраивают на частоту принимаемой радиостанции одновременно с настройкой входного устройства. Усиленный сигнал высокой частоты подается на вход смесителя. Смеситель представляет собой каскад, подобный рассмотренному ранее избирательному усилителю. Транзистор работает с отсечкой коллекторного тока, подобно транзистору устройства амплитудной модуляции. Кроме модулированного сигнала, на смеситель воздействует также синусоидальное напряжение маломощного генератора приемника, называемого гетеродином. Возникают сложные изменения тока транзистора смесителя. Появляется модулированный сигнал промежуточной частоты, равной разности частот сигнала гетеродина и сигнала принятой радиостанции. Промежуточная частота остается одной и той же независимо от частоты принимаемого сигнала, так как при перестройке входного устройства с одной частоты на другую одновременно перестраивается гетеродин. Разность частот гетеродина и принимаемого сигнала не меняется. Этот сигнал выделяется сложным фильтром в цепи коллектора смесителя обычно в виде двух или большего числа связанных колебательных контуров.

В радиоприемнике прямого усиления ВЧ сигнал обрабатывается и усиливается на одной и той же принимаемой высокой частоте. Поэтому чувствительность и избирательность таких приемников очень низкая. По этой причине приемники прямого усиления практически не используются.

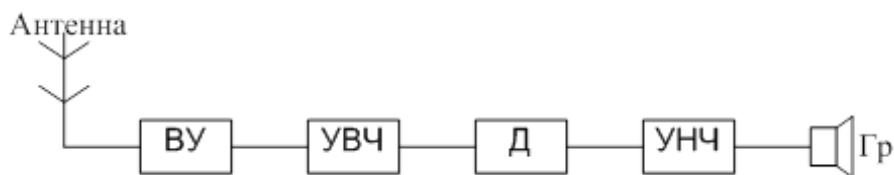


Рис. 2.1.12 – Структурная схема приёмника прямого усиления

Входным устройством приемника называют электрические цепи, связывающие вход первого каскада приемника (усилителя высокой частоты) с антенной. Входное устройство должно передавать напряжение принимаемого радиосигнала от антенны на вход первого каскада приемника, отфильтровывая при этом все прочие сигналы другой частоты. Для этого

используют колебательные контуры, настраиваемые только на частоту принимаемого сигнала.

Соединение антенны с приемником в радиостанциях, как правило, осуществляется с помощью фидеров и согласующих устройств. Максимальная передача электромагнитной энергии на вход приемника получается при критической связи между контуром входной цепи и фидером антенны. В этом случае активное сопротивление, вносимое одним контуром в другой, равно его собственному активному сопротивлению.

Для установления в фидере режима бегущей волны, соответствующего полному поглощению приемником энергии, приходящей из фидера антенны, необходимо, чтобы фидер был нагружен на сопротивление, равное его волновому сопротивлению. Это условие выполняется при критической связи между контуром и фидером, так как активное сопротивление, вносимое контуром в цепь фидера, равно при критической связи собственному сопротивлению этой цепи, т.е. волновому сопротивлению фидера r_{ϕ} .

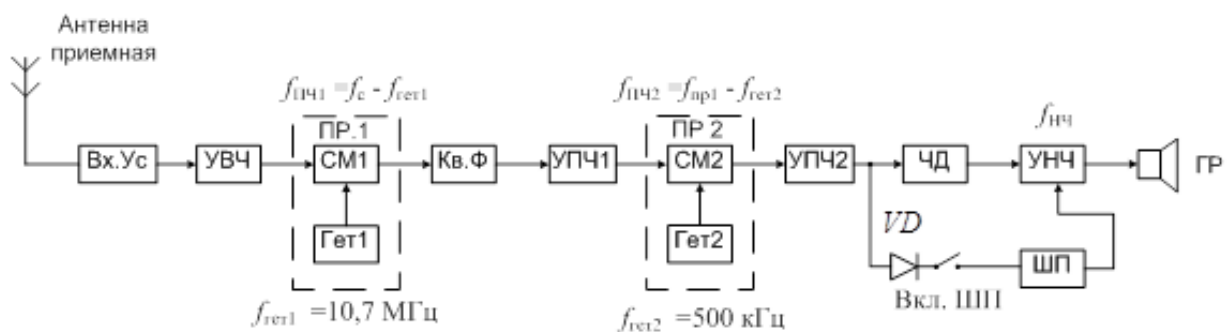


Рис. 2.1.13 – Структурная схема супергетеродинного приёмника

Все радиочастотные каскады приемника, в том числе и входные цепи, должны по возможности равномерно усиливать напряжение принимаемого сигнала во всей полосе принимаемых частот. Идеальной частотной характеристикой является прямоугольная характеристика.

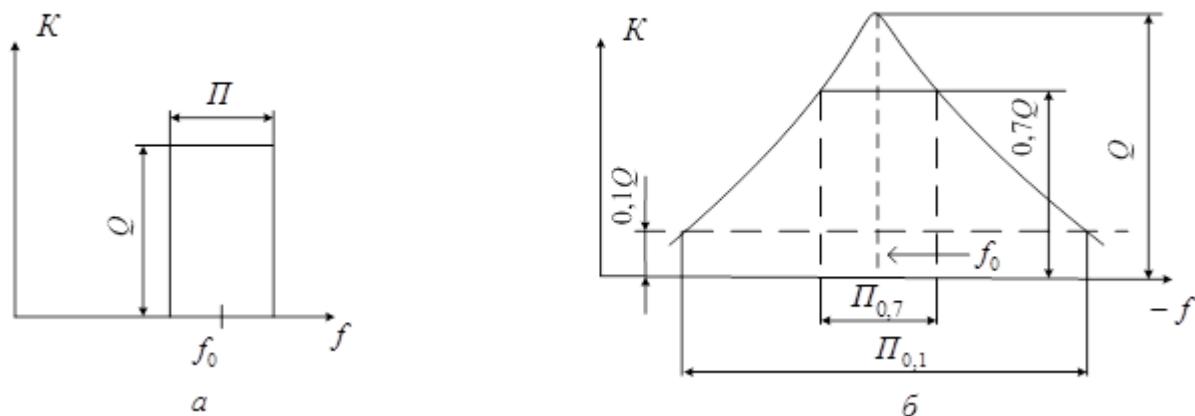


Рис. 2.1.14 – Идеальная (а) и реальная (б) частотные характеристики контуров

Чтобы одновременно характеризовать частотные искажения в пределах полосы принимаемых частот и избирательность за пределами этой полосы, вводят коэффициент прямоугольности K_{Π} , показывающий отношение полос частот, отсчитанный на определенном уровне (на уровне $\Pi_{0,7}$). Так, для уровня 0,1 коэффициент прямоугольности рассчитывается как:

$$K_{\Pi} = \Pi_{0,7} / \Pi_{0,1} \quad (2.1.7)$$

Для идеальной характеристики $K_{\Pi} = 1$, так как $\Pi_{0,7} = \Pi_{0,1}$, а для реальной коэффициент прямоугольности всегда меньше единицы, т.е. $K_{\Pi} < 1$.

Важным элементом в приемнике является усилитель высокой частоты, обладающий избирательными свойствами. Избирательность в УВЧ достигается применением LC-контуров, служащих в качестве нагрузки усилителя. При резонансной частоте:

$$f_{\text{рез}} = 1 / 2\pi\sqrt{LC} \quad (2.1.8)$$

(для идеального контура, когда $R = 0$) сопротивление контура максимально, а потому максимален и коэффициент усиления. Крутизна спада коэффициента усиления при отклонении частоты входного сигнала от резонансной определяется добротностью контура:

$$Q = \frac{\omega L}{R} = \frac{\sqrt{L/C}}{R} C \quad (2.1.9)$$

Супергетеродинный прием заключается в преобразовании принятых колебаний радиочастоты в колебания промежуточной частоты. Промежуточная частота, как правило, ниже частоты проходящих сигналов, что облегчает построение схем усиления.

Для преобразования частоты сигнала f_c в промежуточную $f_{пр}$ в приемнике используется специальный гетеродин (маломощный генератор опорных колебаний, частота которого может быть ниже или выше частоты принимаемого высокочастотного сигнала). При этом генерируются вспомогательные колебания с частотой f_r , которые в смесителе складываются с принимаемыми электромагнитными колебаниями f_c .

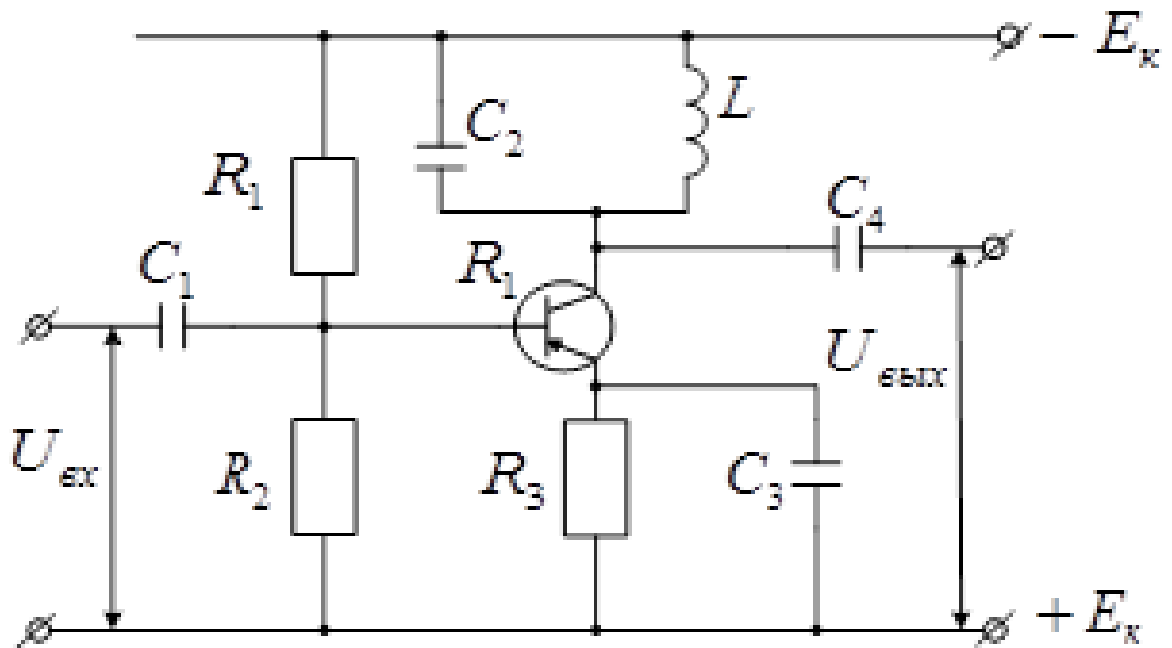


Рис. 2.1.15 – Схема высокочастотного усилителя радиочастоты

Так как частоты этих двух электромагнитных колебаний неодинаковы, то при сложении получаются биения, у которых амплитуда меняется с частотой, равной разности частот складываемых электромагнитных колебаний. Биения не содержат составляющего колебания с какой-либо новой частотой, но если биения подвергнуть детектированию, то вследствие нелинейности этого процесса возникает составляющая с частотой биения, т.е. с разностной частотой $f_{пр} = f_c - f_r$, которая является промежуточной частотой. Следовательно, для преобразования частоты принципиально необходимо иметь нелинейный элемент, например транзистор.

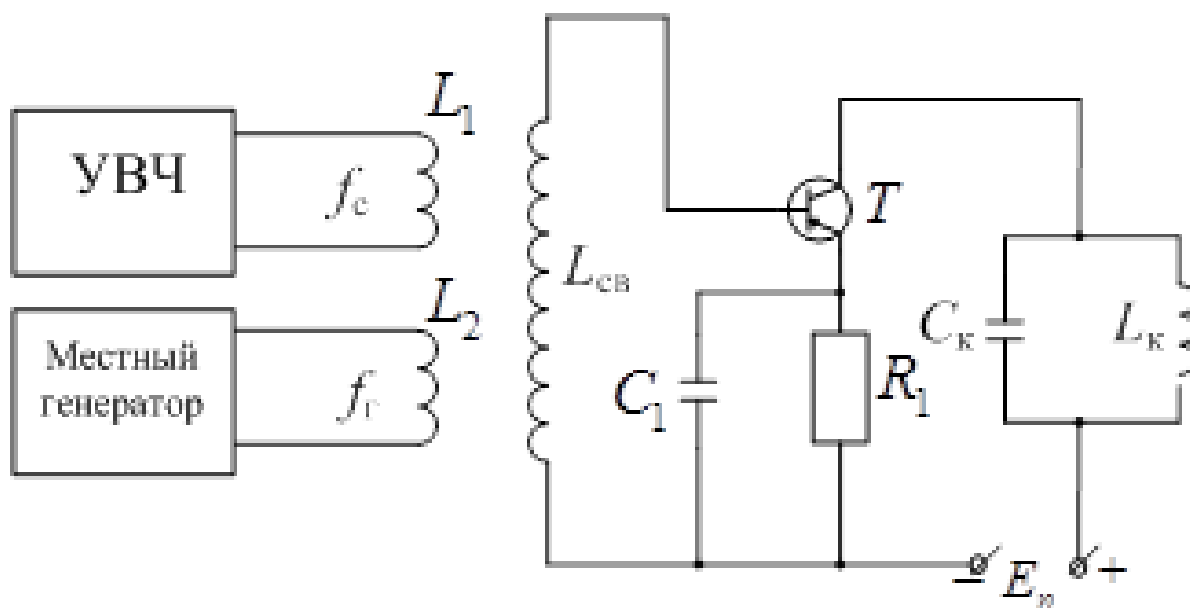


Рис. 2.1.16 – Схема преобразователя частоты

Колебания промежуточной частоты подаются на усилитель напряжения промежуточной частоты (УПЧ), обладающий избирательными свойствами усиливать колебания именно промежуточной частоты. От УПЧ колебания поступают на детектор (частотный дискриминатор ЧД), где выделяются колебания низкой частоты, а затем они усиливаются в УНЧ и подаются на громкоговоритель или телефон.

Преобразование модулированного ВЧ напряжения радиочастоты (или промежуточной частоты) в напряжения и токи, изменяющиеся с частотой первоначального сообщения (несущего информацию), называется детектированием. В соответствии с видами модуляции в радиосвязи различают амплитудное, частотное, фазовое и некоторые другие виды детектирования. Детектирование осуществляется при помощи нелинейных элементов, активное сопротивление которых зависит от напряжения, а величины их индуктивности и емкости при этом незначительны.

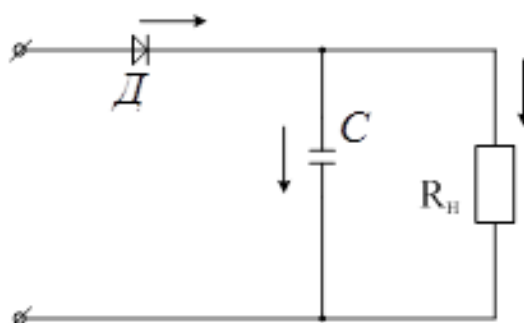
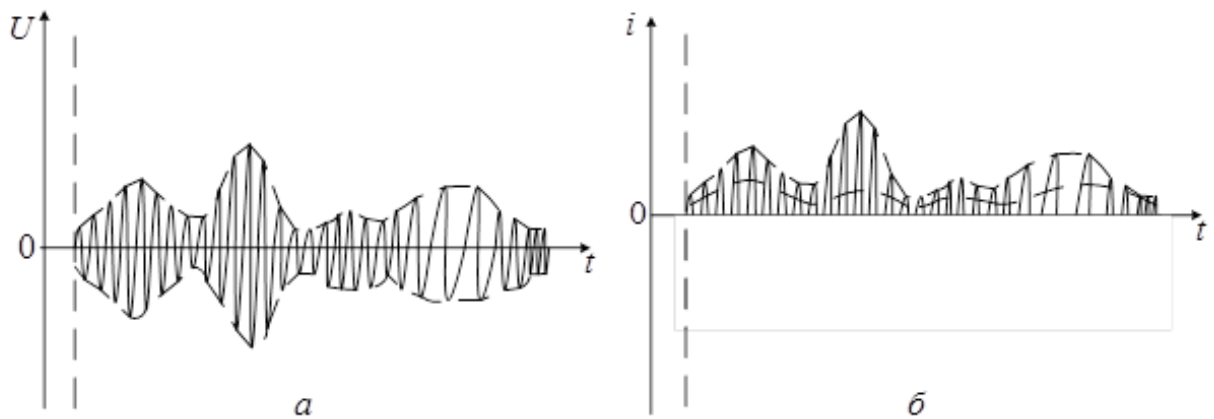


Рис. 2.1.17 – Схема детектирования с помощью полупроводникового диода



Графики процесса детектирования:
 а - сигнал на входе детектора;
 б - сигнал на выходе детектора

Рис. 2.1.18 – Графики процесса детектирования:

а – сигнал на входе детектора;

б – сигнал на выходе детектора

В результате на выходе диода получают несимметричный переменный (пульсирующий) модулированный ток. Ток детектора представляет собой сумму модулированного тока высокой частоты, постоянного и переменного тока звуковой частоты. Сумма постоянного тока и тока звуковой частоты составляет ток, пульсирующий по закону изменения звуковой частоты (на рис. 2.1.18, б показан штриховой линией). Таким образом, в результате детектирования появились постоянная составляющая и составляющая звуковой частоты, которых не было в ВЧ модулированном колебании. На выходе радиоприемника используется только низкочастотная составляющая.

Сущность частотного детектирования состоит в преобразовании вначале частотно-модулированных колебаний в колебания, модулированные по амплитуде, а затем их детектирования в обычном амплитудном детекторе. Простейшим преобразователем вида модуляции может быть расстроенный колебательный контур. При уменьшении частоты принимаемого сигнала (приближение к резонансной частоте контура) возрастает коэффициент передачи контура, а следовательно, и амплитуда колебаний в нем. Увеличение частоты сигнала приводит к уменьшению амплитуды. Снимаемый с контура сигнал радиочастоты, модулированный по амплитуде, подается на диодный детектор. **Однако практического применения такой детектор не находит из-за больших нелинейных искажений.**

Схема частотного детектора (дискриминатора), использующая три колебательных контура, обладает более высокими показателями. Однако трудности в настройке такой схемы ограничивают ее применение.

Схема с двумя контурами, настроенными на одну и ту же частоту, равную промежуточной частоте. Ее работа основана на фазовых соотношениях, за это ее часто называют фазовым детектором. Между контурами детектора существует индуктивная и емкостная связь. К диодам подводятся два напряжения: с контура L_1C_1 – в фазе, а с контура L_2C_2 – в противофазе. Напряжения на резисторах R_1 , R_2 направлены встречно. Так как диоды также включены встречно, то результирующая падений напряжений при постоянной частоте будет равна нулю.

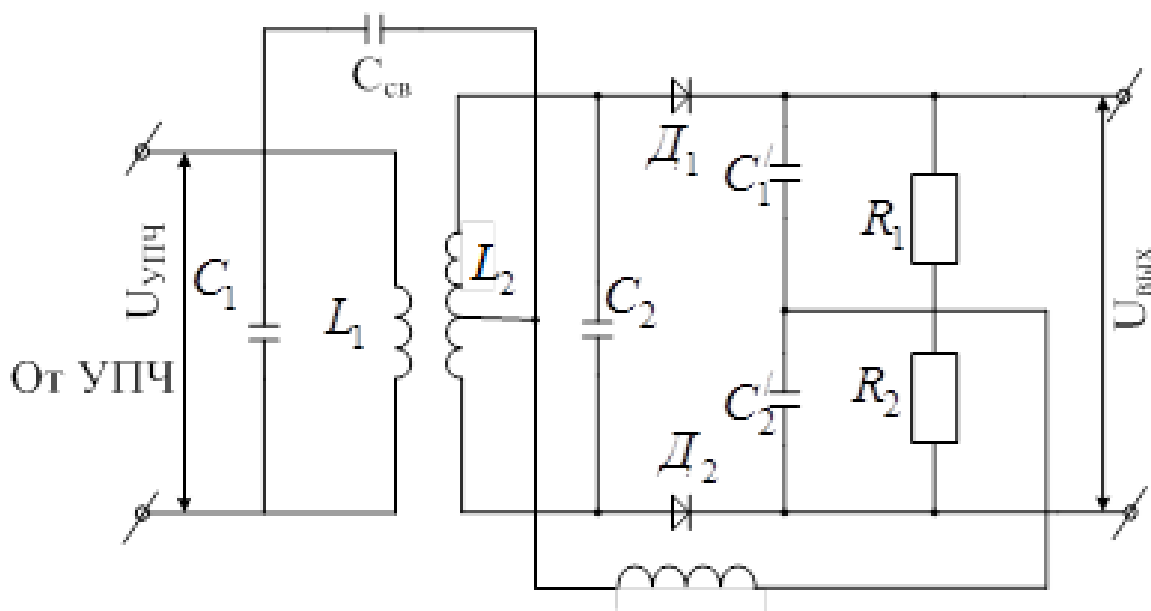


Рис. 2.1.19 – Схема частотного детектора

Если частота детектируемых сигналов изменится, то напряжение, поступающее в контур через емкость $C_{св}$, будет сдвинуто по фазе относительно тока контура, наведенного за счет взаимоиндукции. Величина и знак фазового сдвига пропорциональны изменениям частоты, а следовательно, результирующее напряжение на резисторах R_1 и R_2 будет отличаться от нуля и повторять форму управляющего сигнала радиопередатчика.

Вредное влияние паразитной амплитудной модуляции обычно устраняется амплитудным ограничителем, устанавливаемым перед частотным детектором. Он “срезает” все отклонения амплитуды высокочастотного напряжения помех. Схема по существу реагирует на

отклонения фазового угла принимаемого сигнала, выделяет сигналы, модулированные по фазе и несущие полезную информацию.

$$U_A \cong El \quad (2.1.10)$$

$$\omega_0 = 2\pi f_0 \quad (2.1.11)$$

$$f_p = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_K C_K}} \quad (2.1.12)$$

$$K = U_{\text{вых}}/U_A \quad (2.1.13)$$

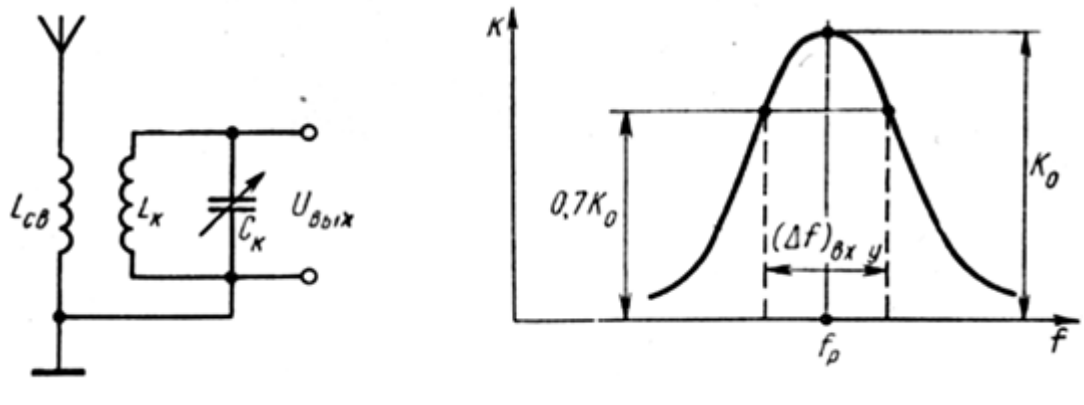
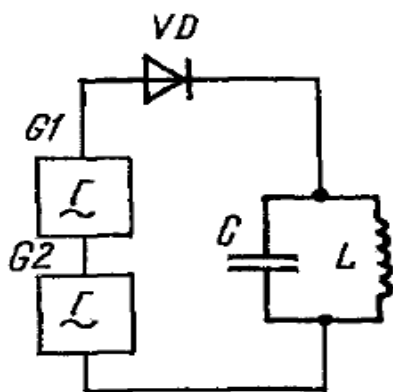


Рис. 2.1.20

В качестве сигнала управления амплитудой несущих колебаний может выступать гармоническое напряжение низкой частоты $u_\Omega = U_{\Omega m} \sin \Omega t$. В результате воздействия его имеют место приращения амплитуды колебаний, описываемые соотношением $\Delta U'_m = \Delta U_m \sin \Omega t$ где ΔU_m — наибольшее приращение амплитуды. Амплитуда модулированных колебаний изменяется в этом случае по закону $U'_m = (U_m + \Delta U_m \sin \Omega t)$.



источник напряжения высокой (генератор G1) и низкой (генератор G2) частоты, диод и параллельный контур LC, резонансная частота которого равна частоте несущих колебаний. Диод пропускает ток только в одном направлении, колебательный контур выделяет колебания несущей частоты.

Рис. 2.1.21 – Устройство модуляции с полупроводниковым диодом

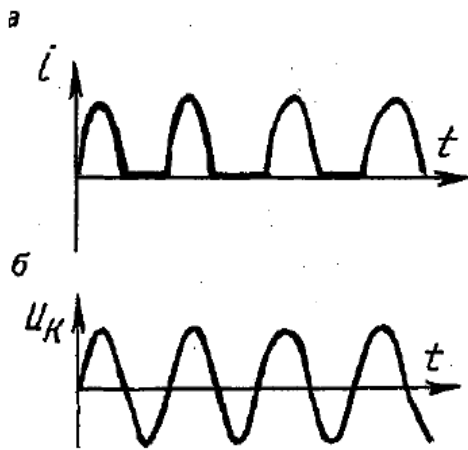


Рис. 2.1.22 – Токи и напряжения в устройстве модуляции при отсутствии модулирующего напряжения: а – ток диода; б – напряжение на контуре

Предположим, что на вход модуляционного устройства поступают только высокочастотные гармонические колебания. Текущий через диод ток представляет собой импульсы в форме половин синусоиды. Амплитуда импульсов тока зависит от амплитуды входного напряжения. При появлении первого импульса тока конденсатор заряжается и в контуре возникают свободные колебания. Поскольку частота повторения импульсов совпадает с частотой свободных колебаний в контуре, последующие импульсы тока вызывают подзарядку конденсатора контура. Амплитуда колебаний в контуре остается все время одной и той же.

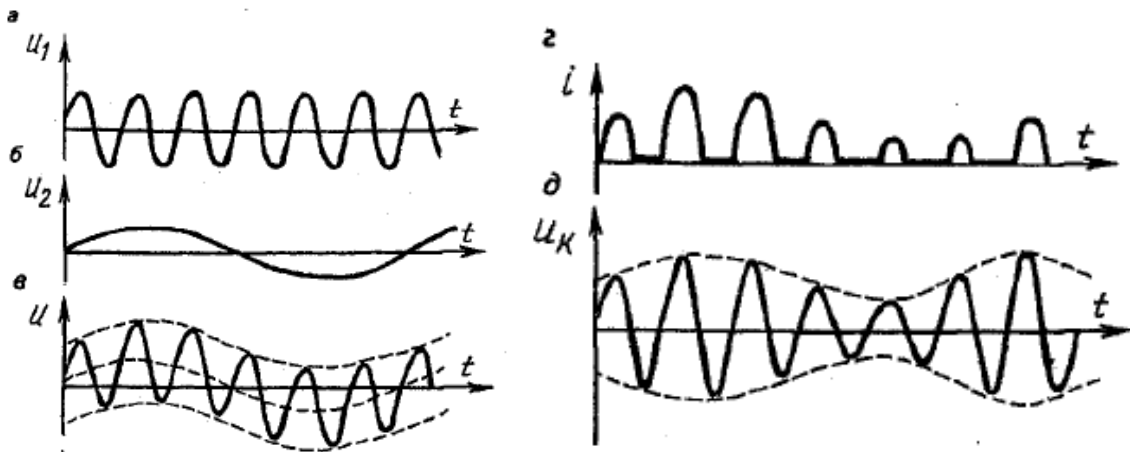


Рис. 2.1.23 – Токи и напряжения в устройстве модуляции: а – напряжение высокой частоты; б – напряжение низкой частоты; в – суммарное входное напряжение; з – ток диода; д – напряжение на контуре

Если амплитуду высокочастотных колебаний увеличить, то произойдет увеличение амплитуды импульсов тока и амплитуды колебаний в контуре, и наоборот.

При подведении к устройству модуляции двух напряжений высокочастотного и низкочастотного на вход модуляционного устройства подается напряжение, равное сумме поданных напряжений. В результате амплитуда импульсов тока в цепи диода будет периодически изменяться

Будет изменяться и амплитуда напряжения на контуре. Высокочастотные колебания в контуре станут амплитудно-модулированными.

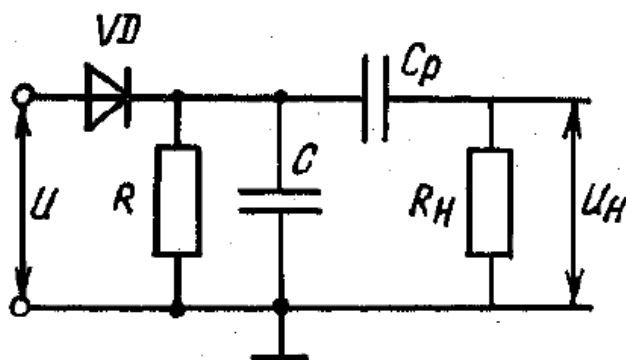


Рис. 2.1.24 – Диодный детектор

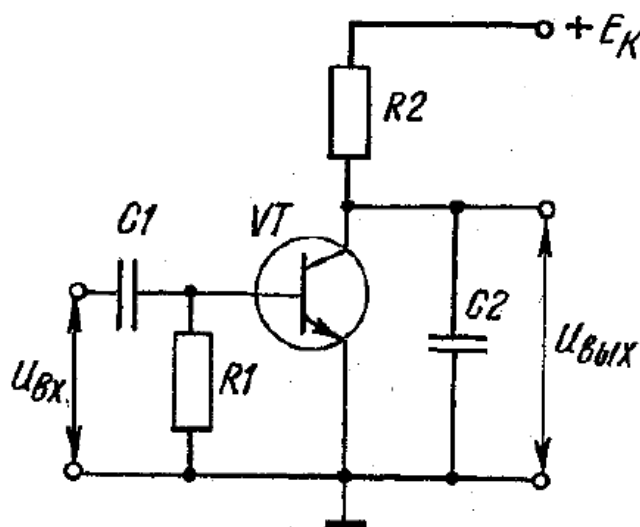


Рис. 2.1.25 – Транзисторный детектор

Широко распространен диодный детектор амплитудно-модулированных колебаний. Он состоит из диода VD , резистора R и

присоединенного параллельно резистору конденсатора C . Через разделительный конденсатор C_p к детектору присоединяют сопротивление нагрузки R_H . Им является обычно вход усилителя звуковой частоты, который усиливает поступающее с выхода детектора напряжение. Ко входу детектора подводят амплитудно-модулированное напряжение высокой частоты.

Если конденсатор и цепь нагрузки отсутствуют, по резистору R проходит пульсирующий ток. При неизменяющейся амплитуде входного сигнала амплитуда импульсов тока остается одной и той же.

Подключение конденсатора существенно влияет на процессы в цепи. Когда через диод проходит ток, конденсатор заряжается, напряжение на нем достигает практически амплитудного значения входного напряжения. При отсутствии тока диода конденсатор разряжается через резистор R . Процесс разрядки идет медленно, поэтому к моменту появления следующего импульса тока напряжение на конденсаторе уменьшается лишь на небольшую величину. При появлении второго импульса тока конденсатор подзаряжается и напряжение на нем опять достигает амплитудного значения входного напряжения. Изменения напряжения на резисторе небольшие. Поэтому можно считать, что напряжение на резисторе постоянно. Ток через диод идет лишь в те короткие промежутки времени, когда напряжение на входе детектора превосходит напряжение на конденсаторе.

При модулированном входном напряжении амплитуды импульсов тока диода изменяются. Напряжение на резисторе R с течением времени изменяется по тому же закону, что и амплитуда входного напряжения.

Детектирование амплитудно-модулированных сигналов можно осуществить также в детекторах на транзисторах.

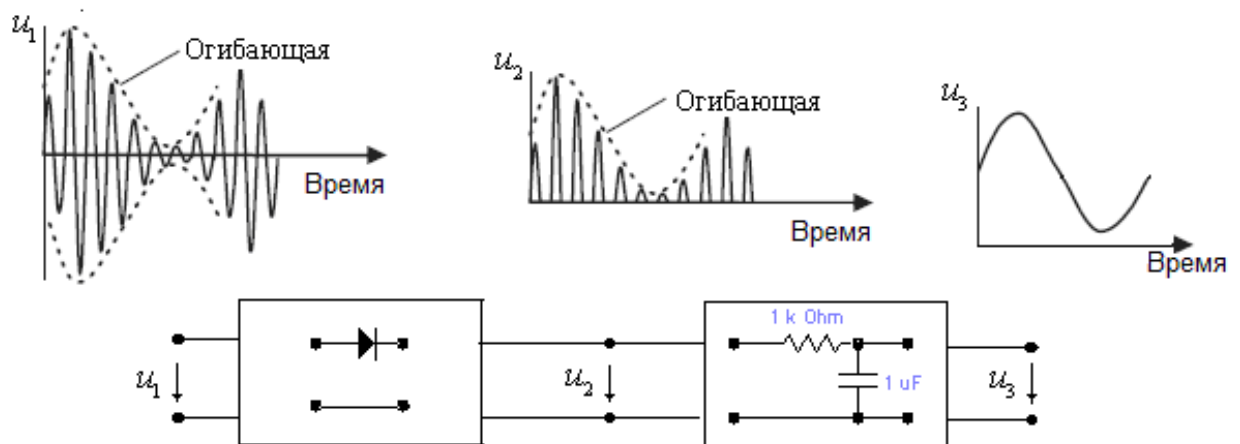


Рис. 2.1.26 – Временные диаграммы и схема демодулятора

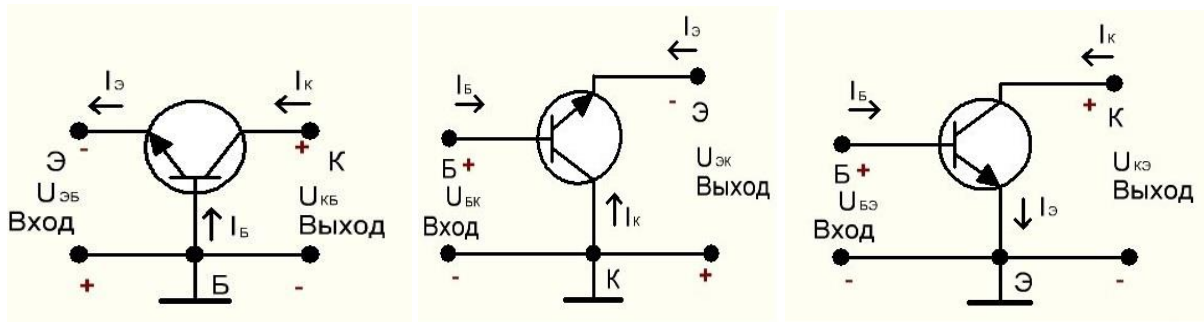
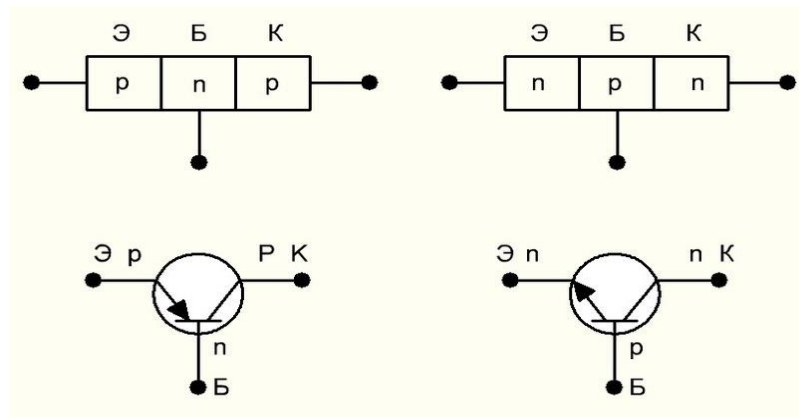


Рис. 2.1.27

В соответствии со своей физической структурой, полевой транзистор с изолированным затвором носит название МОП-транзистор (Металл-Оксид-Полупроводник), или МДП-транзистор (Металл-Диэлектрик-Полупроводник). Международное название прибора - MOSFET (Metal-Oxide-Semiconductor-Field-Effect-Transistor).

МДП-транзисторы делятся на два типа - со встроенным каналом и с индуцированным каналом. В каждом из типов есть транзисторы с N-каналом и P-каналом.

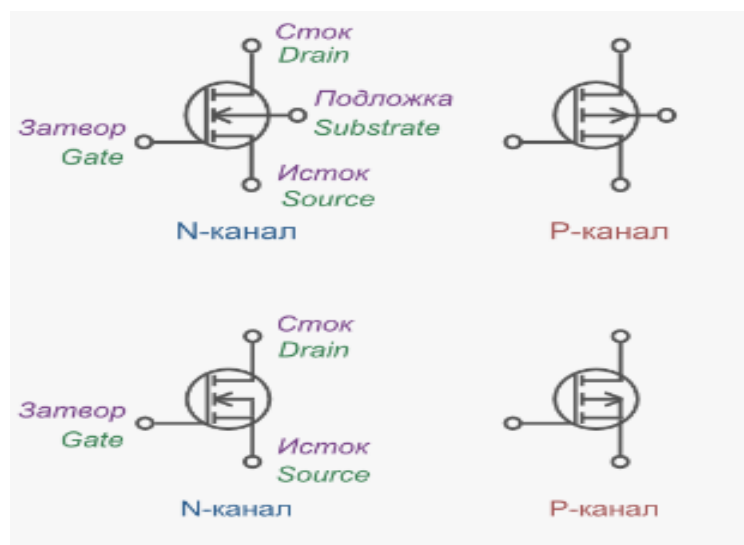


Рис. 2.1.28 – Обозначение на схеме MOSFET с индуцированным каналом

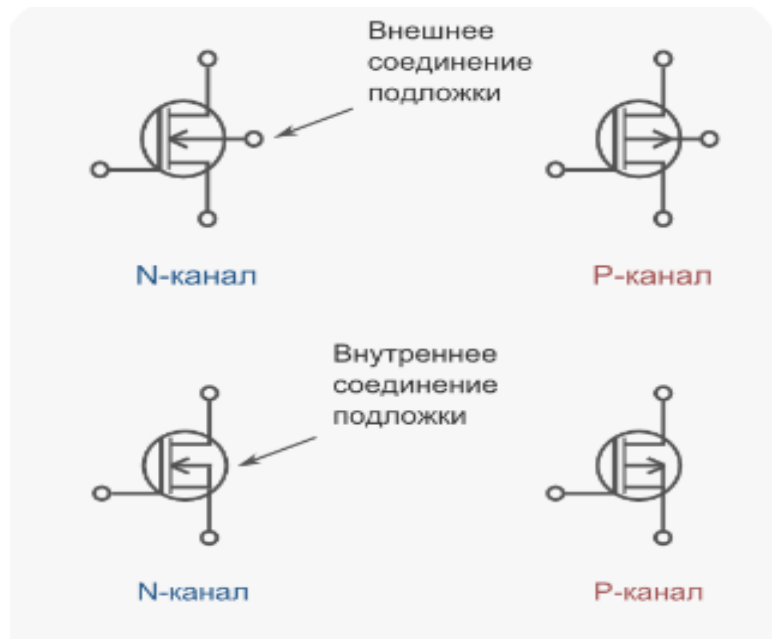


Рис. 2.1.29 – Обозначение на схеме MOSFET со встроенным каналом

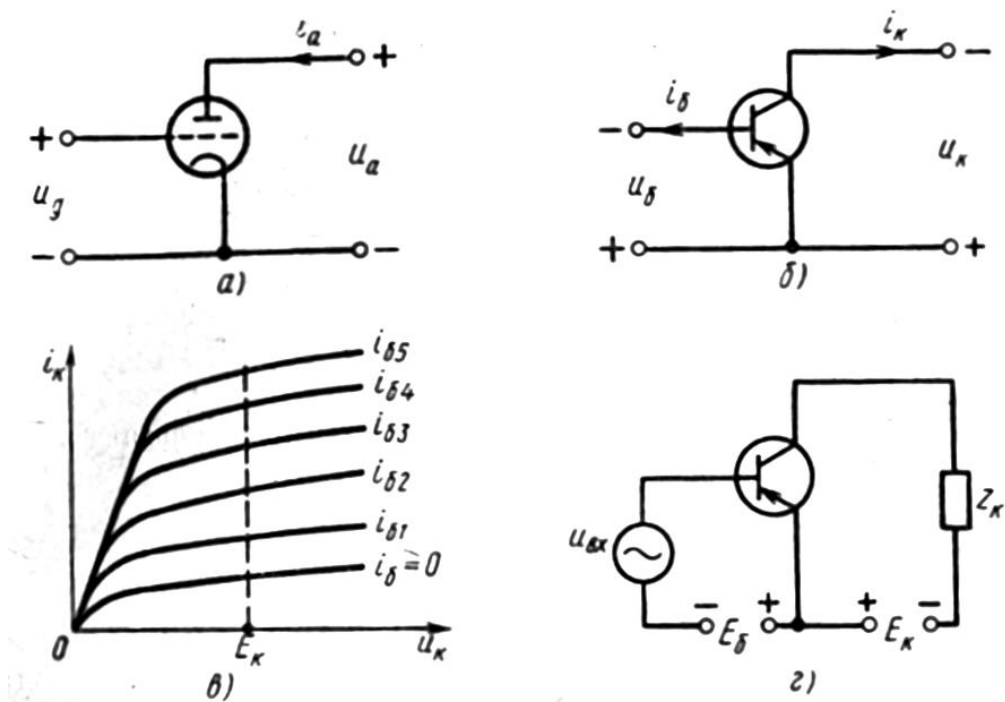


Рис. 2.1.30

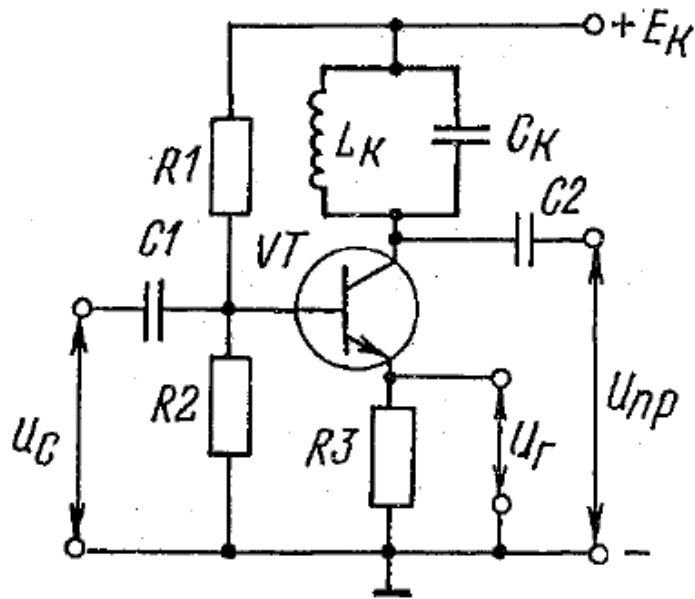


Рис. 2.1.31 – Устройство преобразования частоты

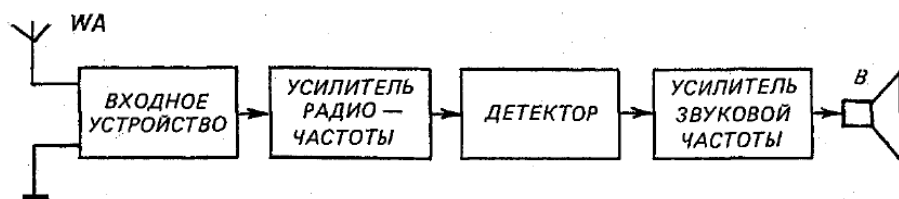


Рис. 2.1.32 – Структурная схема прямого усиления

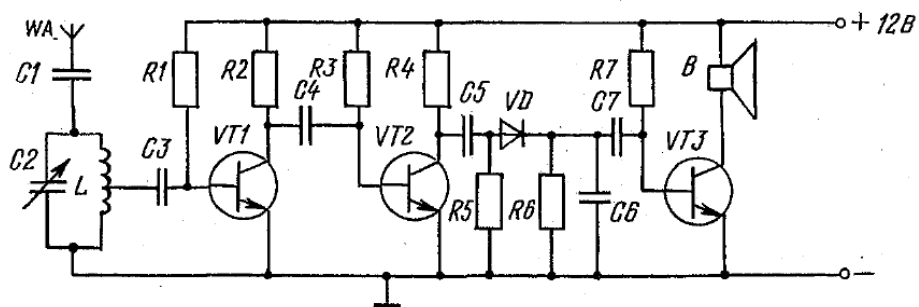


Рис. 2.1.33 – Схема приёмника прямого усиления



Рис. 2.1.34 – Структурная схема супергетеродинного приёмника

Сигнал промежуточной частоты усиливается в усилителе, содержащем обычно два или больше каскада. Усиление в нем получается значительным, амплитуда сигнала возрастает в сотни раз. Усиленный сигнал промежуточной частоты детектируется, а выделенный сигнал звуковой частоты усиливается.

Супергетеродинные приемники более сложные, чем приемники прямого усиления. Они обладают более высокой избирательностью и чувствительностью. Высокая избирательность достигается в результате преобразования частоты, а высокая чувствительность — усилением сигнала промежуточной частоты в смесителе и весьма значительным его усилением в усилителе промежуточной частоты.

Для изменения параметров приемника и создания наиболее благоприятных условий приема передач приемник регулируют вручную или автоматически. Основной вид регулировки — настройка приемника на заданную станцию, чаще всего вручную, переключая катушку контуров и плавно изменяя емкости конденсаторов контуров. В приемниках, выпускаемых в последние годы, применяется электронная настройка контуров — регулировка напряжения на варикапах.

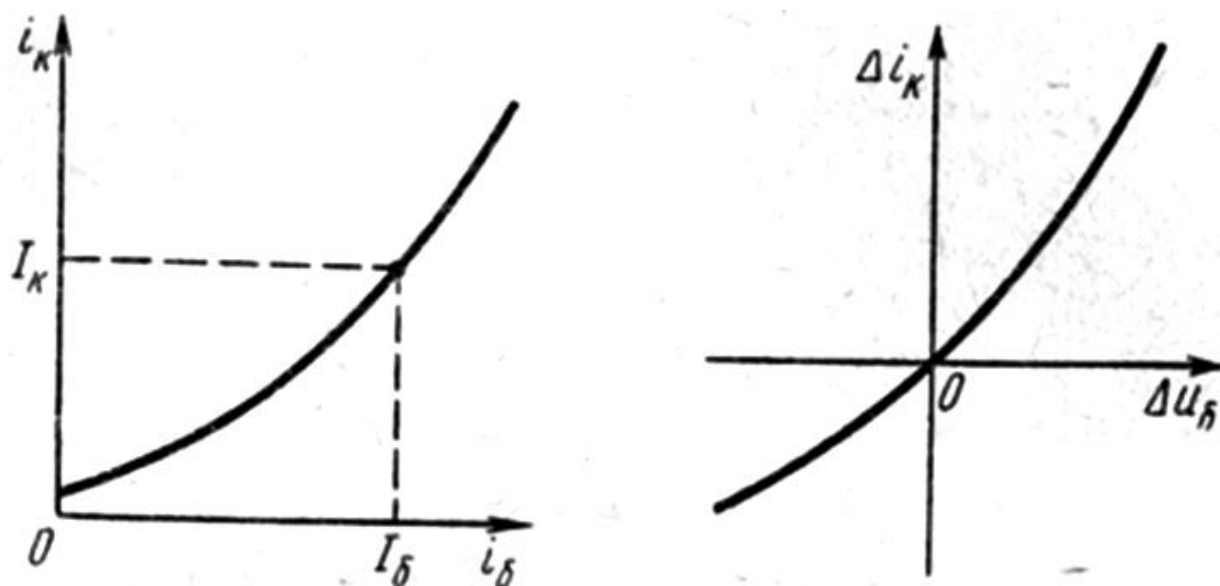


Рис. 2.1.35

$$\Delta i_k = a_1(\Delta u_1) + a_2(\Delta u_2)^2 + \dots + a_n(\Delta u_n)^n \quad (2.1.14)$$

$$u_{\text{вх}}(t) = x(t) = U_\Omega \cos \Omega t \quad (2.1.15)$$

$$\Delta i_K = a_1 U_\Omega \cos \Omega t + a_2 U_\Omega^2 \cos^2 \Omega t + \dots = \quad (2.1.16)$$

$$= a_1 U_\Omega \cos \Omega t + \frac{1}{2} a_2 U_\Omega^2 + \frac{1}{2} a_2 U_\Omega^2 \cos 2\Omega t + \dots$$

$$u_{\text{BX}}(t) = u_{\text{AM}}(t) = U(t) \cos \omega_0 t \quad (2.1.17)$$

$$\Delta i_K = a_1 U(t) \cos \omega_0 t + a_2 U_\Omega^2(t) + a_2 U_\Omega^2(t) \cos 2\omega_0 t \quad (2.1.18)$$

$$u_{\text{BbIX}}(t) \cong -a_1 U(t) R_p \cos \omega_0 t = -U_{\text{BbIX}}(t) \cos \omega_0 t \quad (2.1.19)$$

$$U_{\text{BbIX}}(t) \gg U(t) \quad (2.1.20)$$

$$\Delta i_K = a_1 (\Delta u_6) + a_2 (\Delta u_6)^2 + \dots + a_n (\Delta u_6)^n \quad (2.1.21)$$

$$\Delta i_K = f(\Delta u_6) \quad (2.1.22)$$

$$u_{\text{BX}}(t) = x(t) = U_\Omega \cos \Omega t \quad (2.1.23)$$

$$\Delta u_K = -\Delta i_K R_K = -(a_1 R_K U_\Omega \cos \Omega t + \frac{1}{2} a_2 R_K U_\Omega^2 \cos 2\Omega t) \quad (2.1.24)$$

$$K = -\frac{a_1 R_K U_\Omega}{U_\Omega} = -a_1 R_K \quad (2.1.25)$$

$$1/\omega C_p \ll R_p \quad (2.1.26)$$

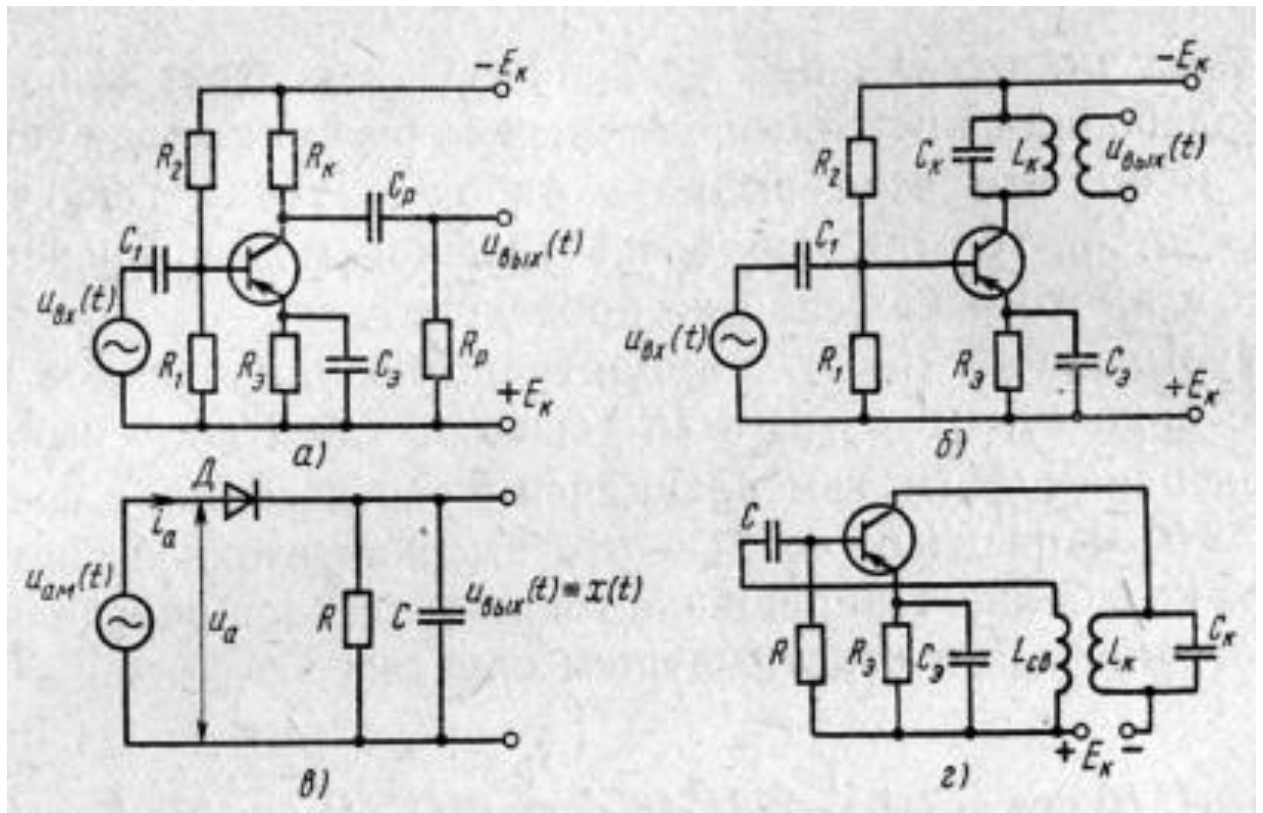


Рис. 2.1.36

$$\frac{1}{2}a_2U^2(t) = \frac{1}{2}a_2U_{cp}^2[1 + M\cos\Omega t]^2 = \quad (2.1.27)$$

$$= \frac{1}{2}a_2U_{cp}^2[1 + 2M\cos\Omega t + \frac{M^2}{2} + \frac{M^2}{2}\cos 2\Omega t]$$

$$u_{BX}(t) = u_c(t) + u_r(t) = U_c(t)\cos\omega_0 t + U_r\cos\omega_r t \quad (2.1.28)$$

$$\Delta i_K = 2a_2U_cU_r\cos\omega_0 t\cos\omega_r t \quad (2.1.29)$$

$$\Delta i_K = a_2U_c(t)U_r\cos(\omega_0 - \omega_r)t + a_2U_c(t)U_r\cos(\omega_0 + \omega_r)t = \quad (2.1.30)$$

$$= a_2U_c(t)U_r\cos\omega_{p3H}t + a_2U_c(t)U_r\cos\omega_{cym}(t)$$

$$u_{BX}(t) = u_6(t) = U\cos\omega_0 t + U_\Omega\cos\Omega t \quad (2.1.31)$$

$$\Delta i_K = a_1U\cos\omega_0 t + 2a_2UU_\Omega\cos\Omega t \cdot \cos\omega_0 t = \quad (2.1.32)$$

$$= a_1U[1 + \frac{2a_2U_\Omega}{a_1U}\cos\Omega t]\cos\omega_0 t$$

Если обозначить $M=2a_2U_\Omega/(a_1U)$

При $a_2 = 0$; $M = 0$, $i_K = f(u_6)$

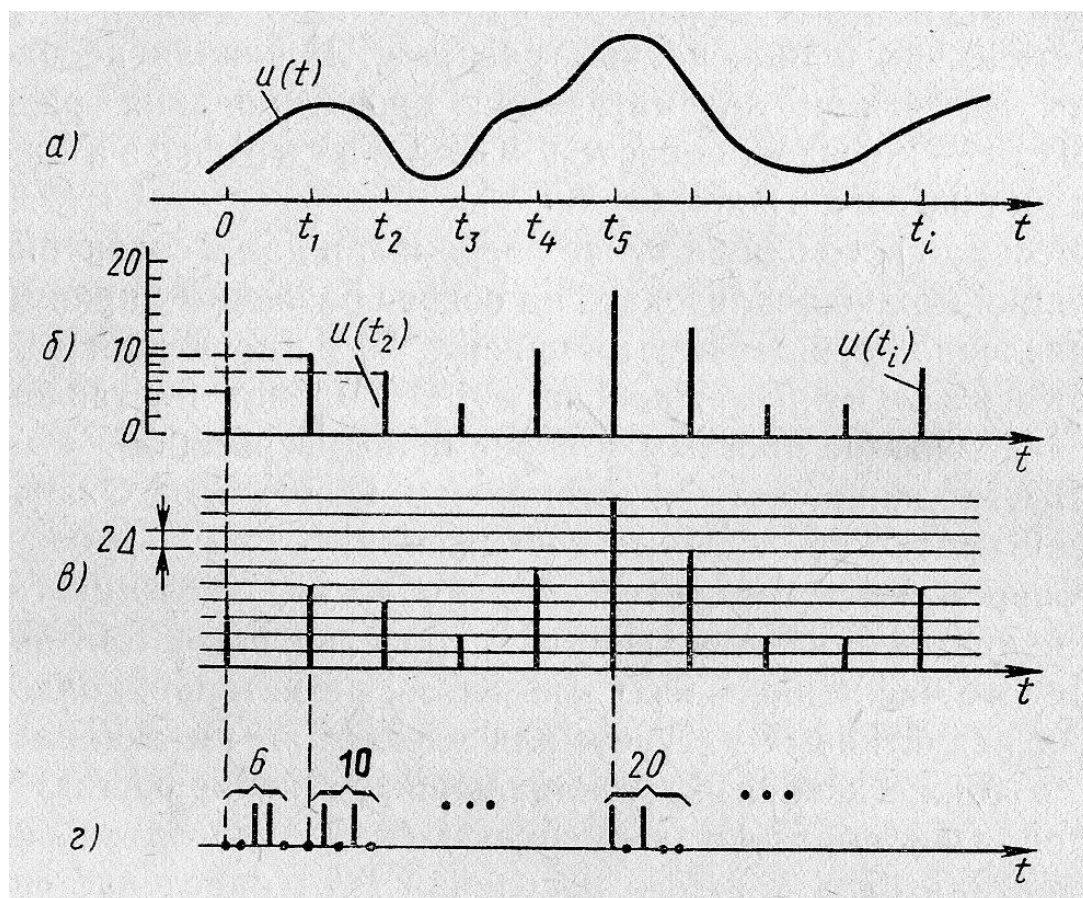


Рис. 2.1.37