

Министерство образования РФ.

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва»

Радиоприёмные устройства

Автоматические регулировки в радиоприёмных устройствах.

Методические указания.

Саранск. Издательство Мордовского университета.

2011

УДК 621.375: 621.396

Составители: В.М. Бардин, Д.А. Борисов.

Рецензент: Кандидат технических наук Беспалов Н.Н.

Радиоприёмные устройства. Автоматические регулировки в радиоприёмниках: методические указания / Сост. В.М. Бардин, Д.А. Борисов. – Саранск: изд-во Мордов. ун-та, 2011, 21 с.

Приведены сведения, поясняющие назначение, принципы работы систем автоматического регулирования усиления (АРУ) и автоподстройки частоты (АПЧ) в супергетеродинных радиоприёмниках.

Предназначено для студентов специальности «Радиотехника» очной и заочной форм обучения. Может быть полезно студентам других специальностей, связанных с электронной техникой.

Печатается по решению научно-методического совета Мордовского государственного университета им. Н.П. Огарёва.

Пояснительная записка

Уровень сигнала, поступающий на вход радиоприёмника по разным причинам может изменяться в сотни и тысячи раз, а средний уровень сигнала на выходе приёмника заметно изменяться не должен. Чтобы обеспечить выполнение этого требования в схему приёмника вводят систему автоматического регулирования усиления (АРУ). Кроме уровня входного сигнала может изменяться и его частота при настройке на одну станцию, а также частота внутреннего генератора (гетеродина) приёмника. И то, и другое может привести к «потере» принимаемой станции. Чтобы исключить такой эффект в приёмниках вводят систему автоподстройки частоты (АПЧ). В методических указаниях изложены принципы работы систем автоподстройки и их схемотехническое решение.

Автоматические регулировки в радиоприемных устройствах

1. Назначение и виды регулировок.

Поскольку передающие станции имеют разные мощности и расположены на разном расстоянии от приемника, то условия в месте приема могут сильно отличаться. Кроме того, на напряженность электромагнитного поля в месте приема существенное влияние оказывают условия прохождения радиоволн. Поэтому диапазон возможных уровней сигналов, поступающих на вход радиоприемника, очень широк и может достигать 100-120 дБ. При большом уровне усиления в приемнике сильные сигналы будут перегружать усилительный тракт, что сопровождается заметными нелинейными искажениями. Если снизить усиление, то становится невозможным прием слабых сигналов. Поэтому с целью обеспечения приема сигналов с широким динамическим диапазоном, а также для сохранения среднего уровня выходного сигнала приемника при приеме одной станции в нем предусматривается автоматическая регулировка усиления (АРУ).

Точность частотной настройки приемника на передающую станцию может под действием дестабилизирующих факторов сильно изменяться вплоть до потери нужной станции. Причинами могут быть отклонения промежуточной частоты от номинального значения из-за нестабильности частоты передатчика или гетеродина приемника, а также появления эффекта Доплера. Для поддержания точной настройки приемника в процессе его работы применяется система автоматической подстройки частоты (АПЧ), которая обеспечивает наилучшее расположение спектра принимаемого сигнала в полосе пропускания приемника.

При сильных помехах прием сообщений ухудшается или даже становится невозможным. Поэтому может потребоваться регулировка цепей приемника не только по критериям частоты или уровня сигнала, но и по более сложным критериям максимальной достоверности принимаемой информации. Эта проблема решается путем автоматической регулировки селективно-

сти, осуществляемой изменением полосы пропускания и формы АЧХ приемника. Автоматические регулировки особенно необходимы при приеме слабых сигналов в условиях сложной помеховой обстановки и быстро меняющихся условий распространения радиоволн, когда оператор не может действовать с достаточной быстротой и точностью.

2. Автоматическая регулировка усиления.

Задача АРУ состоит в изменении коэффициента усиления радиотракта в зависимости от уровня входного сигнала. При увеличении входного сигнала коэффициент усиления должен уменьшаться и наоборот. Обычно не требуется строгого постоянства выходного напряжения радиотракта и для упрощения конструкции регулятора допускают некоторые изменение напряжения при условии, что при этом не будет заметного искажения сигнала. Таковую зависимость отображает кривая 1 на рис.1.

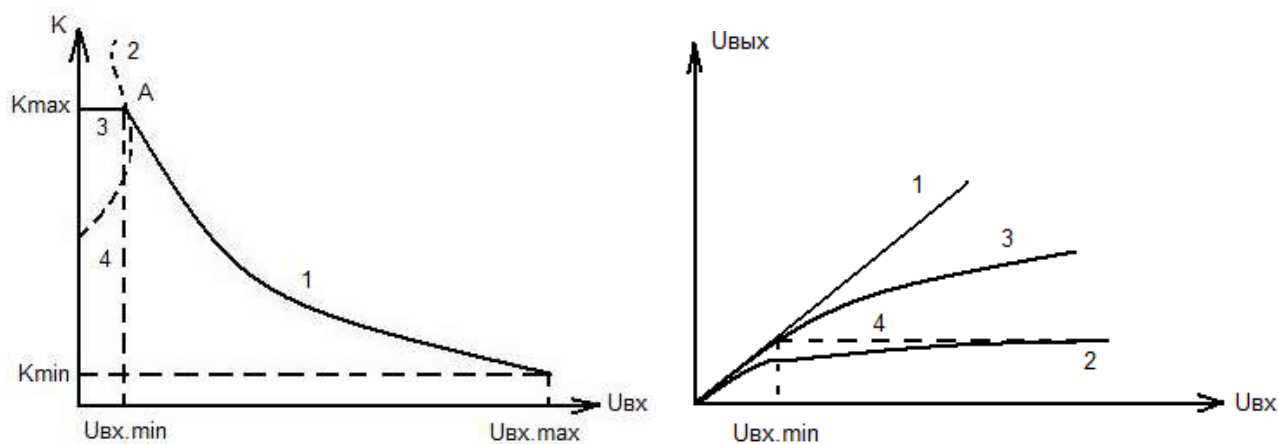


Рис. 1. Характеристики различных систем АРУ.

Сигналы, напряжение которых на выходе усилителя приемника менее $U_{вх.min}$, не могут быть нормально приняты, так как будут искажены шумами. Поэтому увеличение усиления левее точки «А» (участок 2) лишено смысла, т.к. чем меньше сигнал, тем хуже соотношение сигнал-шум. В связи с этим при входном сигнале меньшим $U_{вх.min}$ система АРУ обычно отключается. Коэффициент усиления левее точки «А» в этом случае будут оста-

ваться постоянным (участок 3). Другими словами, включение АРУ «задерживается» до достижения входным напряжением значения $U_{вх.min}$. Такая система называется «задержанной АРУ».

В процессе перестройки приемника с одной станции на другую, когда сигнал на входе приемника отсутствует, коэффициент усиления максимален и поэтому максимально усиливаются собственные шумы приёмника и внешние помехи. В связи с этим цепь АРУ изменяют так, чтобы коэффициент усиления, левее точки «А» понижался (участок 4). Такая АРУ называется «бесшумной».

Для изменения коэффициента усиления приемника в цепи АРУ должно быть получено регулирующее напряжение, которое будет воздействовать на регулируемый каскад. Поскольку действие АРУ зависит от напряжения сигнала, наиболее простой способ получения регулирующего сигнала состоит в использовании выпрямленного напряжения принимаемого сигнала. Если выпрямленное напряжение недостаточно велико в цепь регулирования вводят дополнительный усилитель.

В процессе приема амплитуда сигнала на входе приемника может изменяться по двум причинам:

- 1) при приеме амплитудно-модулированных сигналов;
- 2) из-за замираний в канале прохождения.

Цепь АРУ должна устранять влияние только второго фактора, но не должна реагировать на полезные изменения амплитуды АМ сигнала. Это обеспечивается путем правильного выбора постоянной времени фильтра АРУ. В качестве фильтра обычно используются простые RC цепи.

Итак, в общем случае цепь АРУ должна содержать следующие элементы:

- каскады УРЧ или УПЧ в радиотракте приемника, приспособленные для регулировки усиления;
- детектор для получения регулирующего напряжения;
- усилитель регулирующего напряжения;

- цепь, обеспечивающую пороговое напряжение для получения АРУ с задержкой;
- фильтр нижних частот для подавления переменных составляющих модулированного напряжения.

Существует несколько типов АРУ:

Прямая АРУ.

Регулирующее напряжение, полученное в результате усиления и выпрямления входного напряжения приёмника, действует в «прямом» направлении (рис. 2а). Эта АРУ не получила широкого распространения ввиду сложности ее реализации. Напряжение на входе регулируемого усилителя может изменяться в сотни и тысячи раз. Чтобы регулирующее напряжение могло воздействовать на регулируемый усилитель, начиная со слабых сигналов на входе, коэффициент усиления собственного усилителя АРУ должен быть значительным. Но при сильном входном сигнале в таком усилителе неизбежно возникает перегрузка, поэтому он должен иметь свою АРУ. А это серьезно усложняет схему. Наибольшее распространение получила схема «обратной АРУ» (рис. 2б), в которой напряжение АРУ действует со стороны выхода на предшествующие усилительные каскады. В ряде случаев применяется смешанная АРУ (рис. 2в).

Некоторые особенности имеют АРУ в приемниках импульсных сигналов. В таких приемниках сигнал может детектироваться дважды: вначале детектором радиоимпульсов, а затем пиковым детектором видеоимпульсов. В интервалах между полезными импульсами могут возникать различные помехи. В системах импульсной многоканальной связи между импульсами одного канала расположены импульсы других каналов. Для того чтобы АРУ реагировала на импульсы только «своего» канала и не

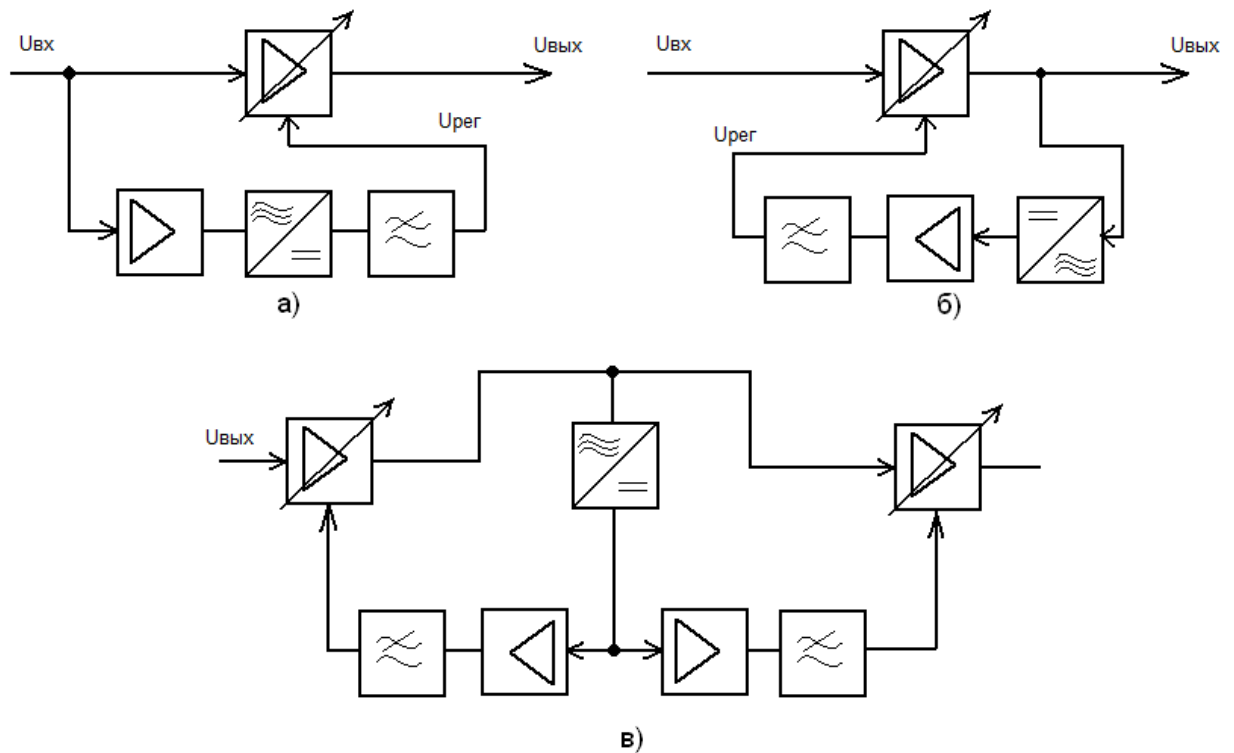


Рис. 2. Структурные схемы различных АРУ.

реагировала на другие АРУ открывают только на время прохождения полезных импульсов, т.е. вводят стробирование. В результате структура АРУ приобретает вид, отображенный на рис. 3.

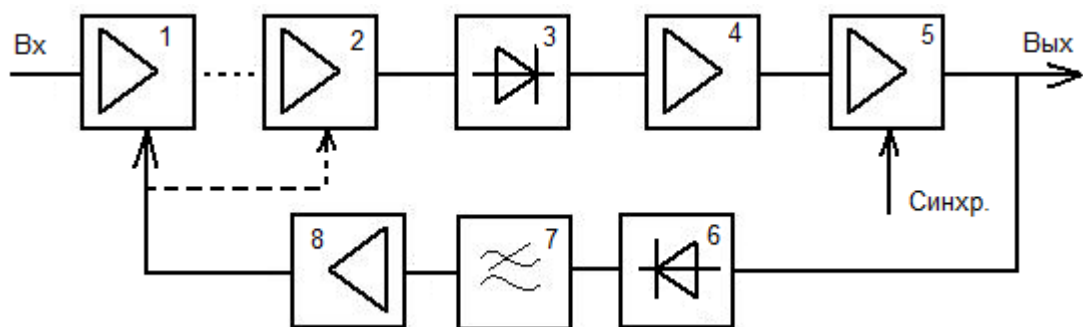


Рис. 3. Структурная схема АРУ приемника радиоимпульсов.

1, 2 – регулируемые УРЧ, 3 - детектор радиоимпульсов, 4, 5 – видеоусилители, 6 – пиковый детектор, 7 – фильтр нижних частот, 8 – усилитель постоянного тока.

Следует помнить, что выработка управляющего напряжения в цепи АРУ из-за наличия в ней инерционных звеньев (в частности ФНЧ) происходит с некоторой задержкой. Поэтому постоянная времени фильтра должна быть согласована с частотой следования импульсов. АРУ можно выполнить и по обычной схеме без стробирования. Но в этом случае от АРУ требуется высокое быстродействие, которое обеспечивается малой постоянной времени фильтра ($10^{-4} - 10^{-6}$) сек. Следствием этого может быть самовозбуждение приемника. Поэтому цепью АРУ нельзя охватывать более чем один каскад. Для получения достаточной эффективности регулировку приходится осуществлять в нескольких каскадах самостоятельными цепями (рис.4). Такие АРУ называются многопетлевыми.

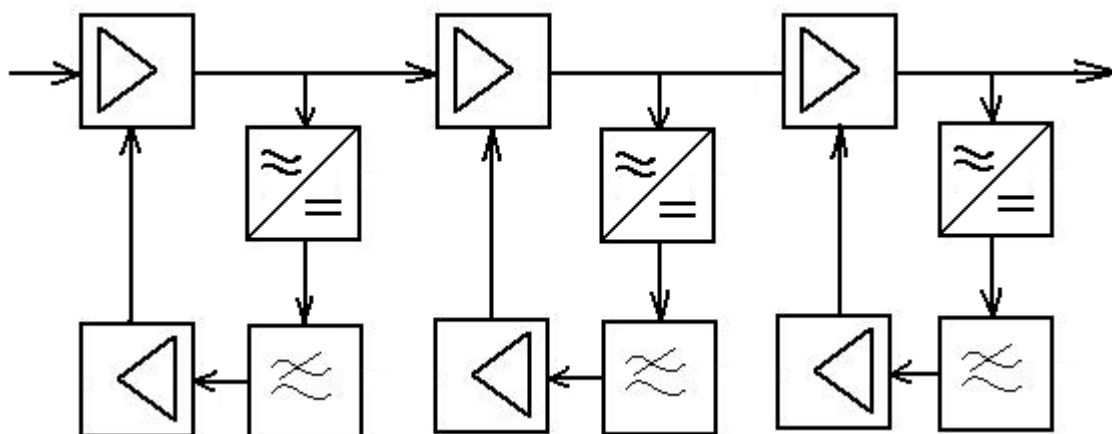


Рис. 4. Структура многопетлевой АРУ.

В ряде специальных приемников, например, радиолокационных, применяют программные АРУ (ПАРУ). После послыки зондирующего импульса на вход приемника может поступить несколько импульсов, отраженных от объектов, расположенных на разном расстоянии от локатора. Чем ближе объект, тем ближе к зондирующему расположен отраженный импульс и тем больше его амплитуда. Если усиление радиотракта выбирать исходя из обеспечения приема более слабых сигналов, то импульсы от близких объектов приведут к перегрузке каскадов приемника и система защиты закроет его вход. Приемник потеряет способность принимать сигналы. Чтобы этого не

было, необходимо изменять коэффициент усиления радиотракта по определенному закону (рис.5).

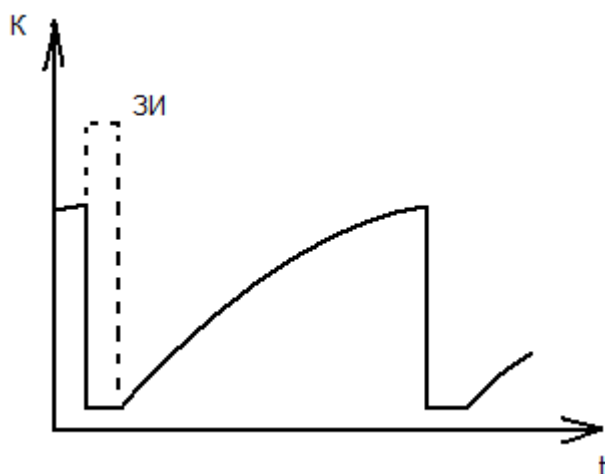


Рис. 5. Закон изменения коэффициента усиления приемника с ПАРУ.

Об эффективности АРУ можно судить по характеристике, изображающей зависимость выходного напряжения регулируемого усилителя от напряжения на входе приемника (рис.6)

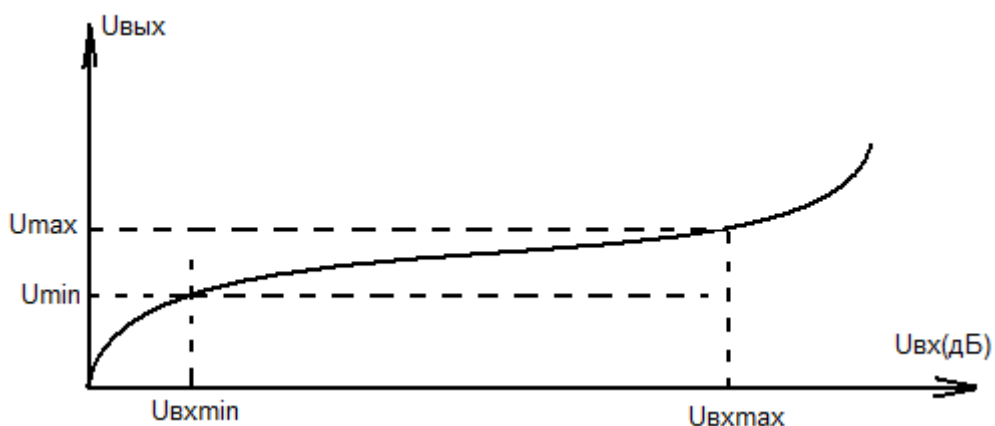


Рис. 6. Характеристика усилителя с АРУ.

Поскольку значения входного напряжения обычно изменяются в очень широких пределах на графике их наносят в логарифмическом масштабе. Как известно, коэффициент усиления резонансного усилителя описывается выражением

$$K_0 = n_1 n_2 S R_{\text{Э}},$$

где n_1, n_2 – коэффициенты подключения контура ($n \leq 1$), S – крутизна (коэффициент усиления) характеристики транзистора, $R_{\text{Э}}$ – эквивалентное сопротивление нагрузки.

Принципиально менять K_0 можно изменением любой величины, входящей в эту формулу. Наиболее распространенным способом является воздействие на крутизну S усилительных приборов. Но этот способ сопряжен с некоторым изменением резонансной частоты и формы частотной характеристики усилительного каскада, поскольку при изменении напряжения, например, на электродах транзистора, изменяются его входное и выходное сопротивления. Активная составляющая этих сопротивлений, вносимая в колебательный контур, влияет на его добротность, а реактивная – на резонансную частоту.

Основным показателем цепи с регулируемым коэффициентом усиления служит коэффициент регулирования γ , равный отношению максимального коэффициента усиления к минимальному:

$$\gamma = \frac{K_{\max}}{K_{\min}}$$

Если обозначить

$$\frac{U_{\text{ex max}}}{U_{\text{ex min}}} = \alpha \quad \text{и} \quad \frac{U_{\text{вых max}}}{U_{\text{вых min}}} = \beta$$

то с учетом того, что в приемнике с АРУ

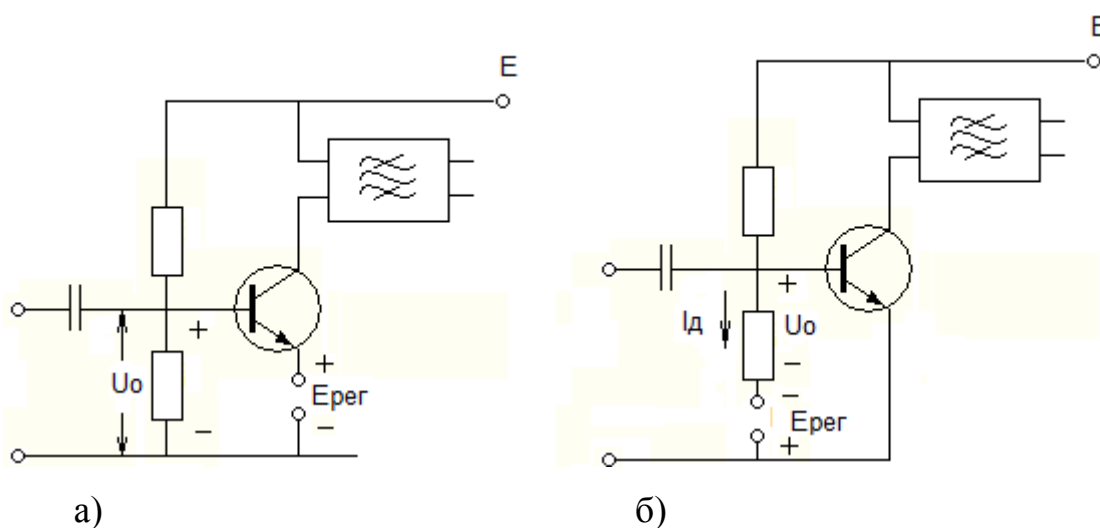
$$K_{\max} = \frac{U_{\text{вых min}}}{U_{\text{ex min}}}, \quad K_{\min} = \frac{U_{\text{вых max}}}{U_{\text{ex max}}}, \quad \gamma = \frac{\alpha}{\beta}$$

Какова должна быть величина коэффициента γ ? Если, например, приемник должен принимать слабые сигналы с $U_{\text{ex min}}=1\text{мкВ}$, а при настройке на ближайшую мощную станцию должен обеспечивать без искажений прием

сильных сигналов, например, $U_{\text{ex max}}=20\text{мВ}$, то получим $\alpha = \frac{20 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 10^{-6}} = 2 \cdot 10^4$

Пусть при этом допустимый коэффициент изменения напряжения на выходе $\beta = 2$. Тогда $\gamma = \frac{2 \cdot 10^4}{2} = 10^4$. В одном усилительном каскаде сложно получить изменение коэффициента усиления более чем в несколько десятков раз. При более значительных изменениях появляются заметные нелинейные искажения. Поэтому регулирование осуществляют в нескольких каскадах, расположенных ближе к входу усилительного тракта, где сигналы еще малы.

Как уже было сказано, проще всего менять коэффициент усиления можно путем изменения крутизны электронного прибора. Для этого надо менять напряжение смещения на управляющем электроде. Если усилитель транзисторный, то регулирующее напряжение подается в цепь эмиттера или базы (рис. 7). В схеме на рис. 7а напряжение смещения на транзисторе $U_{бэ} = U_0 - E_{рег}$. По мере увеличения $E_{рег}$ напряжение $U_{бэ}$ уменьшается, что влечет за собой уменьшения тока $I_{к0}$ и крутизны S . Регулирующая цепь должна обеспечивать ток примерно равный начальному току эмиттера $I_{э0}$. Если регулируется n каскадов, то ток регулировки $I_{рег} \approx nI_{э0}$, т.е. должен быть достаточно большим.



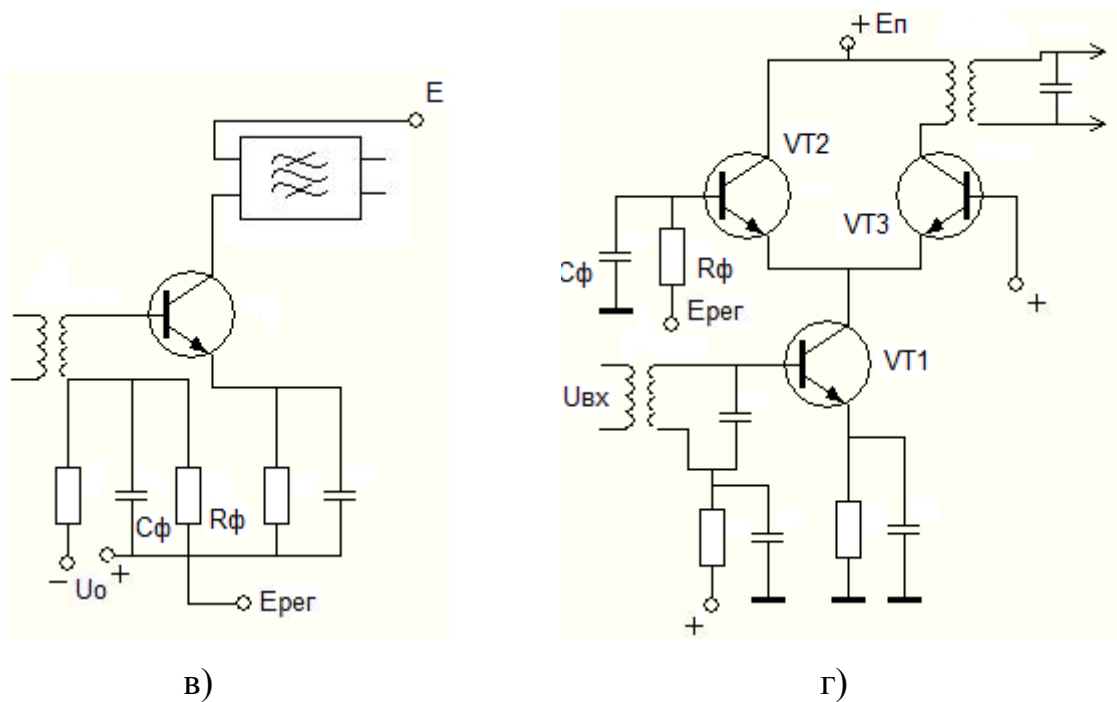


Рис. 7. Способы подачи $E_{рег}$ на транзисторные усилители

В схеме на рис. 7б напряжение $E_{рег}$ подается в цепь базы. При этом ток регулирования должен быть соизмерим с током базового делителя, который существенно меньше $I_{ЭО}$. Однако эта схема менее стабильна в работе, поскольку в ней отсутствует резистор в цепи эмиттера. Включение $Rэ$ приводит к уменьшению эффективности регулировки, так как он обеспечивает стабилизацию не только при изменении температуры, но и при изменении $E_{рег}$. В схеме 7в регулирующее напряжение подается в цепь базы через фильтр АРУ. В усилителе по схеме 7г регулирующее напряжение вызывает перераспределение тока транзистора $VT1$ между $VT2$ и $VT3$. С увеличением тока в $VT2$ ток в $VT3$ уменьшается и наоборот. С уменьшением части тока, ответвляющейся в $VT3$ уменьшается и переменная составляющая сигнала, что равносильно уменьшению крутизны S .

Регулирование коэффициента усиления каскада можно осуществлять и путем изменения $R_{ЭКВ}$. Делается это различными способами. Два возможных варианта приведены на рис. 8.

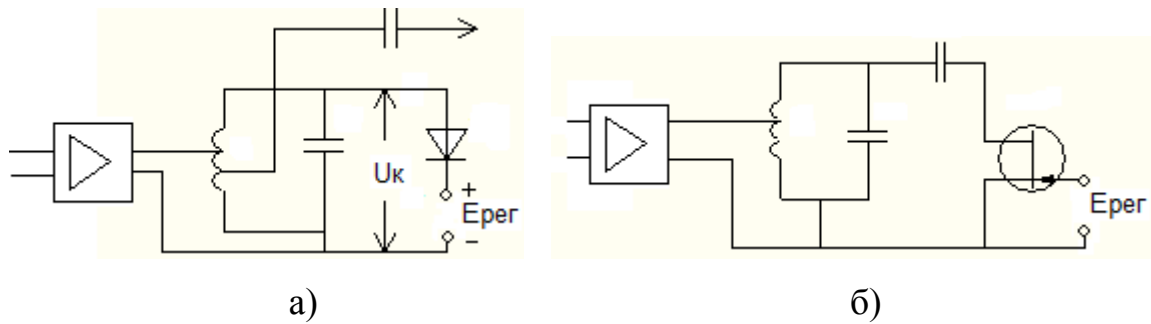


Рис. 8. Регулирование усиления путем изменения $R_{\text{экв}}$.

В схеме 8а при $E_{\text{рег}} > U_K$ диод закрыт и контур не шунтируется. При $E_{\text{рег}} < U_K$ диод открывается и начинает шунтировать контур, что приводит к уменьшению $R_{\text{экв}}$, а следовательно и K_0 . Однако при этом уменьшается и добротность контура, что приводит к изменению полосы пропускания усилителя. В схеме 8б в качестве регулирующего резистора используется полевой транзистор.

Коэффициент усиления можно изменять и путем изменения коэффициентов n_1, n_2 . Для этого между усилительными каскадами включается регулируемый аттенюатор. На рис. 9а приведена схема регулируемого делителя на диодах, а на рис. 9б роль делителя выполняет полевой транзистор.

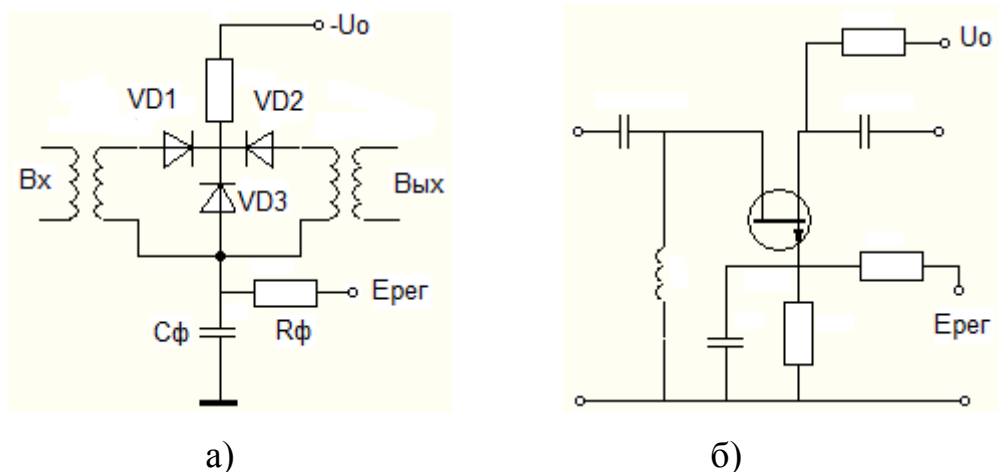


Рис. 9. Схема регулируемых аттенюаторов.

В схеме на рис.9а при $|E_{\text{рег}}| < |U_0|$ диоды $VD1$ и $VD2$ открыты. А диод $VD3$ закрыт и коэффициент передачи в этом случае максимален. По мере увеличения $|E_{\text{рег}}|$ динамическое сопротивление диода $VD3$ уменьшается, а

следовательно, уменьшается и коэффициент передачи аттенюатора. В схеме 9б под действием регулирующего напряжения меняется сопротивление канала транзистора и, соответственно, коэффициент передачи.

Регулировать коэффициент усиления каскада можно путем изменения величины отрицательной обратной связи в усилителе (рис. 10).

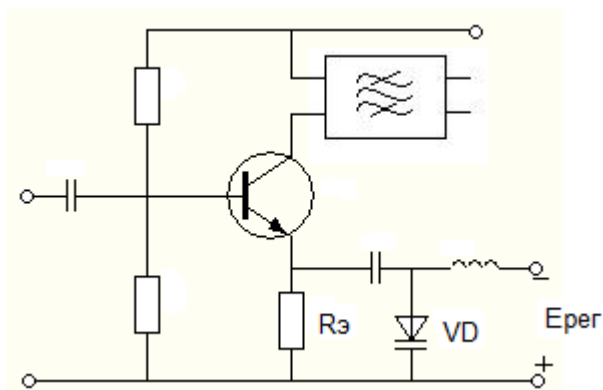


Рис. 10. Схема усилителя с регулируемой ООС.

В обычных усилительных каскадах параллельно $R_{э}$ обычно включают $C_{э}$ большей емкости для устранения ООС по переменному току. Если в качестве емкости включить варикап, то путем изменения $E_{рег}$ можно регулировать величину ООС и, следовательно, коэффициент усиления каскада.

3. Системы автоподстройки частоты

Системы АПЧ предназначены для решения целого ряда задач, в том числе:

1. Подстройки частоты гетеродина в супергетеродинных приемниках для уменьшения отклонения промежуточной частоты из-за нестабильности частоты передатчика или гетеродина приемника.
2. Обеспечения синхронизации гетеродина приемника при реализации когерентного приема сигналов (синхронное детектирование).
3. Формирования высокостабильных колебаний в синтезаторах частот.
4. Построения демодуляторов ФМ сигналов.

Системы АПЧ могут быть реализованы в аналоговой и цифровой форме.

Принцип действия системы АПЧ приемника состоит в измерении отклонения промежуточной частоты от номинального значения или частоты подстраиваемого гетеродина от некоторого заданного значения и последующей подстройки гетеродина таким образом, чтобы это отклонение было минимальным. На рис. 11 приведены две структурные схемы системы АПЧ. Схема *а)* предназначена для стабилизации промежуточной частоты,

б) – для стабилизации частоты гетеродина. Роль гетеродина в этих схемах выполняет генератор, управляемый напряжением (ГУН). В цепь обратной связи системы АПЧ входят: измерительный элемент (ИЭ), фильтр нижних частот (ФНЧ), усилитель постоянного тока (УПТ), управляющий элемент (УЭ) и ГУН. В ИЭ в зависимости от назначения АПЧ промежуточная частота (или частота ГУНа) сравнивается с частотой настройки образцового контура или с частотой опорного генератора (ОГ). Результатом сравнения становится сигнал ошибки на выходе ИЭ.

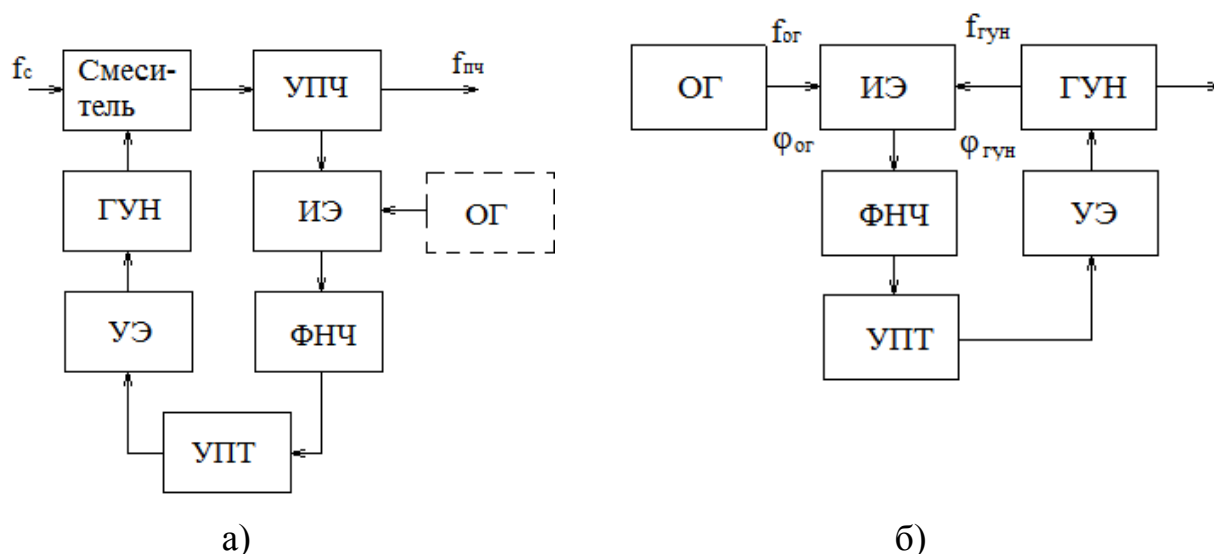


Рис. 11. Варианты построения систем АПЧ.

АПЧ приемника позволяет обеспечить постоянство промежуточной частоты независимо от чего она меняется – из-за нестабильности частоты сигнала передатчика или нестабильности гетеродина приемника. По принципу работы ИЭ системы АПЧ разделяют на два вида: системы частотной автоподстройки (АПЧ) и системы фазовой автоподстройки (ФАПЧ). В системах АПЧ в каче-

стве ИЭ применяется частотный детектор (ЧД), в системах ФАПЧ фазовый детектор (ФД). В зависимости от режима подстройки частоты гетеродина системы АПЧ разделяют на поисковые и беспойсковые. Первые кроме своей основной функции обеспечивают перестройку приемника в заданном диапазоне частот с целью поиска сигналов. Вторые реализуют только режим автоподстройки частоты.

Поскольку система АПЧ является статической системой, то она имеет остаточную ошибку (остаточную расстройку частоты). Величина этой ошибки существенно зависит от коэффициента петлевого усиления в цепи регулирования. Поэтому системы АПЧ, как правило, содержат усилитель постоянного тока. Система АПЧ характеризуется следующими параметрами: остаточной расстройкой, коэффициентом автоподстройки, полосой удержания, полосой захвата. Остаточная расстройка ($\Delta f_{осм}$) – это допустимое отклонение частоты от номинального значения. Коэффициент автоподстройки – это отношение расстройки частоты Δf при разомкнутой системе АПЧ, к остаточной расстройке $\Delta f_{осм}$.

$$K_{АПЧ} = \frac{\Delta f}{\Delta f_{осм}}$$

Полоса удержания – это полоса частот, в которой система АПЧ удерживает преобразованную частоту близкой к номинальному значению. Полоса захвата – полоса частот, в пределах которой происходит захват частоты принимаемой станции системой АПЧ, после чего настройка приемника сохраняется при отклонениях промежуточной частоты в пределах полосы удержания.

В отличие от системы АПЧ особенностью системы ФАПЧ (находящийся в состоянии синхронизации) является нулевая статическая ошибка по частоте, т.е. обеспечивается точное равенство частот эталонного и подстраиваемого генераторов. Однако система ФАПЧ имеет более узкую полосу захвата по сравнению с системой АПЧ.

С учетом входящих в систему АПЧ звеньев рассмотрим последовательность формирования характеристики системы АПЧ (рис. 12). Измери-

тельным элементом в системе АПЧ является частотный детектор. Его статическая характеристика имеет вид, приведённый на рис. 12а). Если под действием каких-либо факторов промежуточная частота $f_{nc} = f_2 - f_c$ измениться на частоту Δf_{nc} (например уменьшится частота передатчика), то это приведет к появлению на выходе ЧД напряжения $\Delta U'_d$. Это напряжение после усиления в УПЧ воздействует на управляющий элемент УЭ (например, варикап) так, что частота гетеродина изменяется на некоторую величину $\Delta f'_z$. В результате на некоторую величину (в сторону приближения к номиналу) изменится и промежуточная частота f_{nc} .

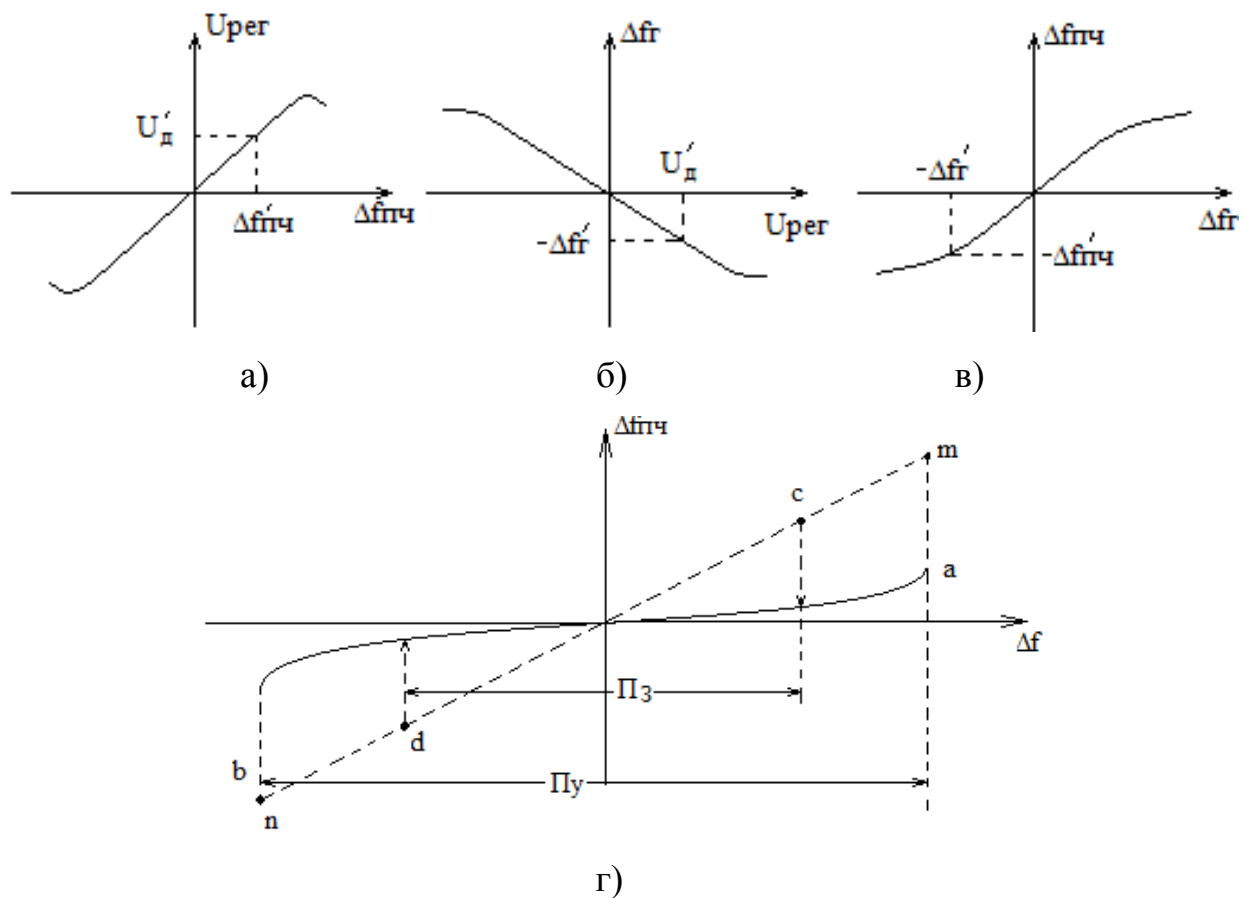


Рис. 12 Построение характеристики системы АПЧ.

Однако останется некоторая разница между номинальной промежуточной частотой и той частотой, которая получена в результате подстройки гетеродина. Причем это отклонение будет тем больше, чем больше было начальное рассогласование $\Delta f = f_2 - f_c$, т.е. чем больше был начальный уход промежуточной частоты. В результате этого в системе будет существовать какое-то отклонение промежуточной частоты Δf_{nc} , зависящее от исходного

рассогласования Δf . Эта разница будет тем меньше, чем больше в системе петлевое усиление. Однако чрезмерное усиление при достаточно большой инерционности ФНЧ может привести к неустойчивости работы АПЧ. Правильно спроектированная система АПЧ должна иметь характеристику, представленную на рис. 12з).

По мере увеличения начальной расстройки Δf увеличивается отклонение промежуточной частоты от номинального значения. При этом изменение $\Delta f_{нч}$ значительно меньше (в несколько и даже десятки раз), чем вызвавшее его изменение частоты гетеродина или принимаемого сигнала. Так продолжается до точки «а» в положительной области или точки «b» в отрицательной области. Дальнейшее увеличение Δf приводит к срыву работы АПЧ. Увеличение расстройки за пределы участков, определяемых точками «а» и «b» соответствует выходу $f_{нч}$ за пределы рабочего участка характеристики частотного детектора. Такое увеличение $f_{нч}$ вызывает уменьшение регулирующего напряжения $U_{рег}$, следовательно, приводит к уменьшению подстройки гетеродина Δf_2 . Из-за этого увеличивается отклонение частоты гетеродина от номинального значения, происходит дальнейшее увеличение отклонения промежуточной частоты, что ведет к более значительному уменьшению $U_{рег}$ и т.д. В результате частота $f_{нч}$ выходит за пределы полосы пропускания УПЧ и напряжение на выходе частотного детектора падает до нуля. Система скачкообразно переходит в новое состояние. Промежуточная частота принимает значение, которое она имела бы при отсутствии автоматической подстройки. Происходит скачок из точки «а» в точку «m» или из «b» в «n». Предположим теперь, что точка на характеристики находится правее точки «m», т.е. промежуточная частота находится далеко за пределами характеристики частотного детектора. Чаще всего это означает, что частота расположена вне полосы пропускания УПЧ, т.е. приемник полностью расстроен и напряжение сигнала на его входе отсутствует. Будем теперь уменьшать Δf , т.е. настраивать приемник на частоту нужного сигнала. Соответственно, частота на выходе преобразователя частоты будет приближаться к номинальному напряжению $f_{нч}$.

Так будет продолжаться до тех пор, пока эта частота не подойдет к краю полосы пропускания УПЧ и на выходе частотного детектора не появится какое-то малое напряжение. Этот момент соответствует точкам «с» и «d». Выходное напряжение детектора начнет подстраивать гетеродин, что приведет к приближению промежуточной частоты к номинальному значению. Это в свою очередь, вызовет увеличение $U_{рег}$, усилит подстройку гетеродина, т.е. продолжит “втягивание” промежуточной частоты в полосу пропускания преобразователя частоты. Следовательно, точки «с» и «d» неустойчивы и отсюда происходит перескок на устойчивый участок характеристики. Полоса между точками «а» и «b» называется полосой удержания, а между «с» и «d» – полосой захвата.

Действие электронной АПЧ может быть неустойчивым в условиях замирания или временного прекращения передачи сигнала. В этих случаях напряжение $U_{рег}$ уменьшается или пропадает. Одновременно изменяется и частота гетеродина поскольку она зависит от $U_{рег}$. При $U_{рег}=0$ она принимает значение, которое было бы при отсутствии АПЧ. Если при этом частота будет соответствовать какой-либо точке участка “cm” или “dn” характеристики регулирования, то после появления сигнала на входе приемника, настройка уже не восстановится. Для дальнейшего приема необходимо подстроить приемник вручную или автоматически с помощью специальной поисковой системы. Один из возможных вариантов построения поисковой системы приведен на рис. 13. Для формирования управляющего напряжения служит интегратор «И». Напряжение на вход интегратора поступает от суммирующей цепи «Σ» с тремя входами. На вход 1, через электронный ключ «К» подается постоянное напряжение от источника “ИН”, которое формирует на выходе интегратора сравнительно медленно нарастающее напряжение $U_{рег}$. В результате действия этого напряжения на управляющий элемент (например, варикап) частота подстраиваемого генератора (ГУН) плавно изменяется. Напряжение $U_{рег}$ одновременно поступает на пороговое устройство сброса «УС». При достижении напряжением $U_{рег}$ установленного порога на выходе «УС»

появляется сигнал, который переводит интегратор в начальное состояние, после чего процесс поиска повторяется.

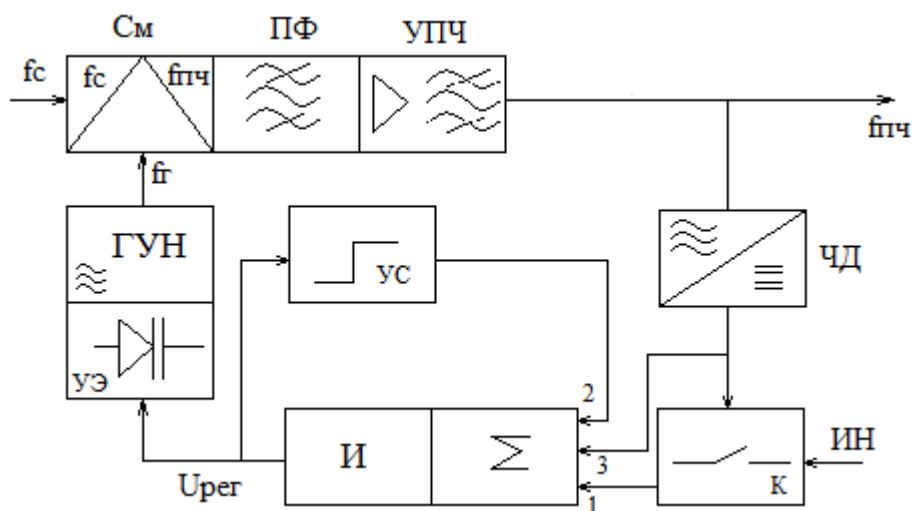


Рис. 13. Структура системы поисковой подстройки частоты.

Интегратор с цепью сброса образует генератор пилообразного напряжения. Предположим, что на смеситель «См» поступил достаточно сильный сигнал с частотой f_c . В момент времени, когда частота гетеродина окажется равной $f_c + f_{nc}$, промежуточная частота $f_{nc} = f_2 - f_c$ попадет в полосу пропускания УПЧ. На выходе усилителя появиться напряжение, которое поступает на частотный детектор «ЧД». Напряжение с выхода «ЧД» подается на вход 3 сумматора. Одновременно оно воздействует на ключ «К» и разрывает цепь подачи напряжения от источника «ИН». С этого момента нарастание напряжения $U_{рег}$, вызванное напряжением от «ИН» прекращается. Дальнейшее изменение напряжения $U_{рег}$ зависит только от величины напряжения на входе 3 сумматора. Интегрирование этого напряжения приводит к такому изменению $U_{рег}$ и частоты ГУН, при котором частота на выходе УПЧ поддерживается близкой к номинальному значению. В случае «замирания» сигнала напряжение на выходе интегратора будет некоторое время оставаться практически неизменным. Поэтому расстройка гетеродина за время «замирания» будет невелика и после появления сигнала на входе приемника прием восстано-

виться. Для перехода на прием другой станции необходимо замкнуть ключ «К».

4. Регулирование полосы пропускания.

Полоса пропускания УПЧ при отсутствии сильных помех выбирается достаточно широкой, чтобы было обеспечено прохождение основной части спектра радиосигнала, и передаваемая информация воспроизводилась без искажений. Но если имеются сильные помехи, то полосу необходимо сужать. Например, если со стороны соседнего канала действуют сильная помеха, спектр которой размещается в боковой части полосы пропускания, то ее можно ослабить, сузив полосу пропускания (рис. 14).

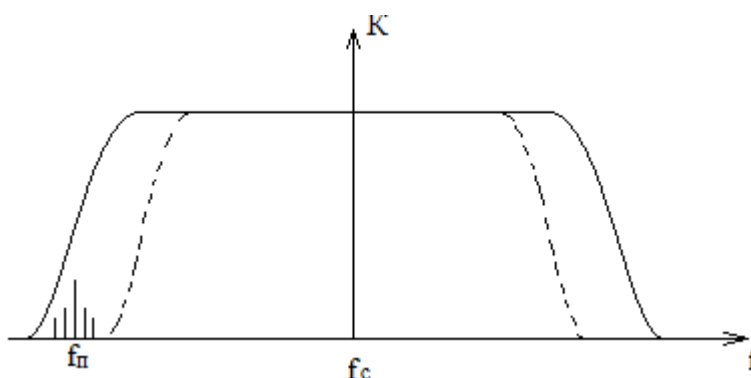


Рис. 14. Отстройка от помехи путем уменьшения полосы пропускания.

Полосу пропускания изменяют скачкообразно или плавно. Скачкообразная регулировка обычно осуществляется переключением полосовых фильтров. Плавная регулировка выполняется изменением затухания колебательных контуров, изменением связи между связанными контурами, взаимной расстройкой контуров. В первом случае контур шунтируется, например, транзистором. Чем меньше сопротивление транзистора, тем больше затухание контура и, следовательно, шире полоса пропускания. Однако при этом становятся более пологими скаты резонансной характеристики и хуже селективность. Регулируя связь между контурами (например, в двухконтурном полосовом фильтре), можно изменять полосу пропускания без уменьшения крутизны АЧХ. Регулировать полосу можно путем расстройки контуров.

Различные способы регулирования полосы пропускания иллюстрируются на рис. 15.

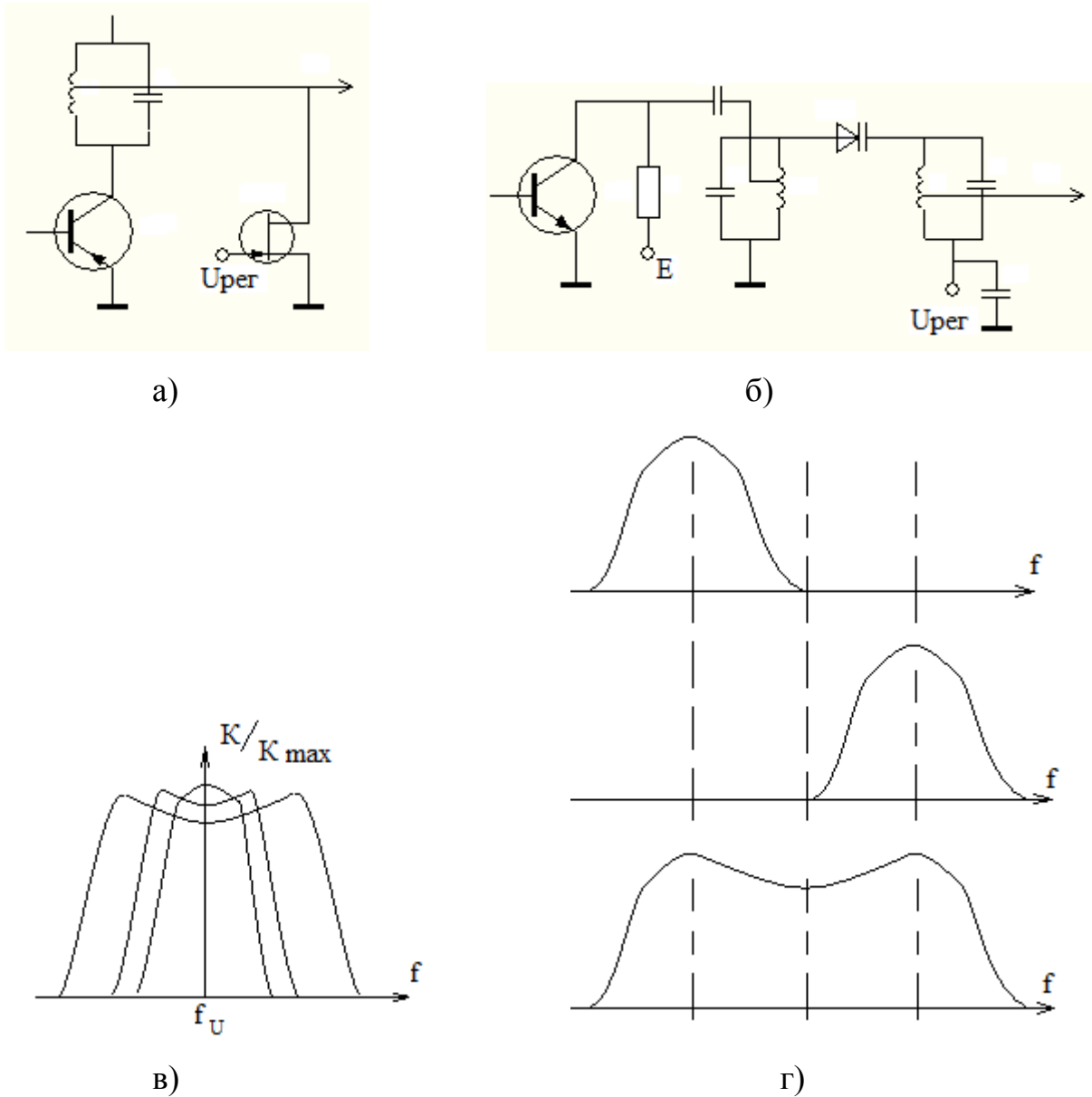


Рис. 15. Способы регулирования полосы пропускания:

- а) – шунтированием контура;
- б, в) – изменением связи между контурами;
- г) – взаимной расстройкой контуров.

Контрольные вопросы

1. Какие задачи в радиоприёмных устройствах решают системы АРУ и АПЧ?
2. Приведите и поясните характеристики систем АРУ и АПЧ/
3. Какие существуют варианты структурных схем АРУ?
4. Приведите структурную схему АПЧ и поясните принцип работы.
5. Каким образом в системе АРУ можно изменять коэффициент усиления усилителей?
6. Как в радиоприёмнике можно изменять полосу пропускания?

Рекомендуемая литература

1. Фомин, Н.Н. Радиоприёмные устройства / Н.Н. Фомин, Н.Н. Буга и др.; под ред. Н.Н. Фомина. – М: Горячая линия – Телеком, 2007. – С 233 – 243.
2. Головин, О.В. Радиоприёмные устройства. / О.В. Головин. – М: Горячая линия – Телеком, 2004. – С 210 – 242.

Содержание

Пояснительная записка.....	4
1. Назначение и виды регулировок.....	5
2. Автоматическая регулировка усиления.....	6
3. Автоматическая подстройка частоты.....	16
4. Регулирование полосы пропускания.....	23
Контрольные вопросы.....	25
Рекомендуемая литература.....	25