

Δ621.391.26 (075)

П 371

№1685-3

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ТАГАНРОГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

В.С. Плаксиенко

Н.Е. Плаксиенко

**УСТРОЙСТВА ПРИЕМА И
ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ**

Учебное пособие

Часть 3

ТАГАНРОГ 2001

УДК 621.391.262(075.8)+621.391.24(075.8)

Плаксиенко В.С., Плаксиенко Н.Е. Устройства приема и обработки сигналов: Учебное пособие. Ч. 3. Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2001. 52 с.

Учебное пособие написано на основе прочитанных курсов лекций "Устройства приема и обработки сигналов", "Радиоприемные устройства", "Методы и устройства приема и обработки сигналов" для радиотехнических специальностей ТРТУ и содержит материалы по теоретическим и практическим вопросам разработки и анализа узлов радиоприемных устройств. Описаны схемные решения отдельных узлов, структурные схемы, приемно-усилительная аппаратура, основные параметры, характеризующие приемные устройства в целом и их узлы.

В третьей части пособия рассмотрены ручные и автоматические регулировки в радиоприемниках. Описаны системы автоматической регулировки усиления и автоподстройки частоты, проведено рассмотрение особенностей регулировки полосы пропускания и настройки диапазонных приемников.

Ил 39. Библиогр.: 12 назв.

Рецензенты:

Кафедра радиоприемных устройств Московского технического университета связи и информатики (МТУСИ). Н.Н. Фомин, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой.

Гришков А.Ф. – кандидат технических наук, старший научный сотрудник ФГУП Таганрогский научно-исследовательский институт связи, главный инженер.

© Таганрогский государственный радиотехнический университет, 2001

© В.С. Плаксиенко, 2001

© Н.Е. Плаксиенко, 2001

11. ВИДЫ РЕГУЛИРОВОК В РАДИОПРИЁМНЫХ УСТРОЙСТВАХ

11.1. Общие сведения

Для получения наилучшего качества приёма осуществляют регулировку ряда показателей радиоприёмника в процессе его изготовления и эксплуатации. Регулировки, выполняемые при изготовлении и профилактике, называют производственно-техническими. К ним относятся: установка режимов питания, сопряжение контуров гетеродина и преселектора, наладка систем автоматического регулирования и т.д. Регулировки, осуществляемые с помощью ручек управления, расположенных на передней панели приёмника, называют эксплуатационными. К ним относятся: регулировка усиления, регулировка частоты настройки, регулировка полосы пропускания и т.д.

В зависимости от вида регулируемого параметра различают:

- регулировку усиления сигнала, которая осуществляется в трактах радиочастоты и промежуточной частоты (до детектора);
- регулировку усиления сообщения, которая производится в последетекторной части приёмника;
- настройку на станцию, т.е. регулировку частоты настройки, обеспечивающую приём сигналов в широком диапазоне частот;
- регулировку полосы пропускания сигнала, которая может производиться в трактах радиочастоты и промежуточной частоты;
- регулировку полосы пропускания сообщения, которая производится в последетекторной части приёмника (это регулировка тембра);
- подстройку гетеродина.

Регулировка бывает ручной и автоматической. Первая служит для установки исходных показателей РПрУ, с помощью второй поддерживают выбранные показатели на требуемом уровне. Некоторые виды регулировок можно отнести к смешанным. В современном РПрУ для регулировок, управления и контроля широко используют микропроцессоры. В ряде приёмников предусматривается дистанционное управление.

12. АВТОМАТИЧЕСКАЯ РЕГУЛИРОВКА УСИЛЕНИЯ

12.1. Общие сведения

Автоматическая регулировка усиления (АРУ) предназначена для поддержания постоянного напряжения на выходе УПЧ, необходимого для нормальной работы выходных устройств приёмника [2]. Уровень сигнала

на входе приёмника изменяется обычно в очень широких пределах; при максимальном напряжении на входе РПрУ система АРУ должна обеспечить минимальный коэффициент усиления усилительного тракта (УТ) приемника, и наоборот. Таким образом, задача АРУ – изменять усиление УТ РПрУ в зависимости от уровня входного сигнала. Система АРУ должна иметь устройство, напряжение $E_{рег}$ на выходе которого зависит от уровня сигнала в радиотракте. Таким устройством может служить, например, амплитудный детектор. Для АРУ в приёмнике создаётся цепь, состоящая из детектора АРУ и усилителя постоянного тока (необязательно) (рис. 12.1,а).

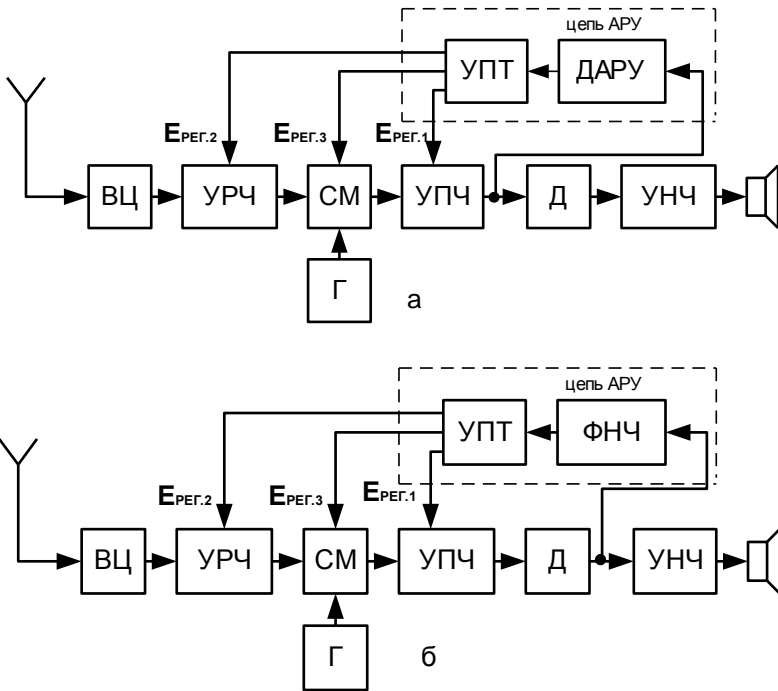


Рис. 12.1

Система АРУ может иметь общий с приёмником амплитудный детектор – совмещённый детектор АРУ (рис. 12.1,б). При этом, однако, труднее выполнить требования, предъявляемые к детекторам. Например, для устранения нелинейных искажений из-за различия нагрузок детекто-

ра по постоянному и переменному токам приходится повышать входное сопротивление как УНЧ, так и цепи АРУ. Поэтому предпочтительно иметь отдельный детектор АРУ (рис. 12.1,а).

За счёт АРУ в приёмнике диапазон изменения сигнала $U_{\text{вых}}/U_{\text{вых ном}}$ на его выходе меньше, чем диапазон изменения сигнала $U_{\text{вх}}/U_{\text{вх ном}}$ на входе, где $U_{\text{вых ном}}$ и $U_{\text{вх ном}}$ - требуемые номинальные напряжения соответственно на выходе и входе приёмника. Допустимо изменение выходного напряжения 4÷8дБ при значительном 40÷100дБ изменении входного сигнала. При этом нелинейные искажения не должны превышать заданного уровня. Цепь АРУ, которая состоит только из детектора и фильтра, называют простой АРУ. В цепь АРУ может включаться усилитель до или после детектора. Усилитель до детектора АРУ – это УПЧ, после детектора – УПТ. В высококачественных РПрУ усилитель иногда включают до и после детектора. При наличии в цепи АРУ усилителя её называют усиленной.

Система АРУ решает две задачи:

- обеспечение постоянного выходного напряжения $U_{\text{вых}}$ при изменении напряжения на входе в широких пределах ($E_{\text{рег1}}$ на рис. 12.1);
- предотвращение перегрузки системы приёмника ($E_{\text{рег2}}$ – применяется часто и $E_{\text{рег3}}$ – применяется, иногда – рис. 12.1).

12.2. Основные параметры

Динамический диапазон входных сигналов, при котором должен работать приёмник

$$\alpha = 20 \lg \frac{U_{\text{вх max}}}{U_{\text{вх min}}}$$

Динамический диапазон выходных сигналов усилителя с АРУ

$$\beta = 20 \lg \frac{U_{\text{вых max}}}{U_{\text{вых min}}}$$

где $U_{\text{вых max}}$ и $U_{\text{вых min}}$ - максимальное и минимальное значения амплитуд выходного сигнала, при которых оконечное устройство сохраняет работоспособность с заданным качеством.

Обычно α и β имеют значения

$$\alpha \approx 40 \div 100 \text{ дБ}; \quad \beta < 4 \div 8 \text{ дБ.}$$

Максимальный коэффициент усиления приёмника с АРУ

$$K_{\max} = \frac{U_{\text{ВЫХ min}}}{U_{\text{ВХ min}}},$$

где $U_{\text{ВХ min}}$ - чувствительность приёмника; K_{\max} - соответствует нулевому уровню управляющего сигнала.

Минимальный коэффициент усиления

$$K_{\min} = \frac{U_{\text{ВЫХ max}}}{U_{\text{ВХ max}}}$$

соответствует наибольшему входному сигналу и, значит, наибольшему уровню управляющего сигнала $E_{\text{рег}}$.

Коэффициент регулирования напряжения (глубина регулировки)

$$K_{\text{рег}} = \frac{\alpha}{\beta} = \frac{K_{\max}}{K_{\min}} = \left(\frac{U_{\text{ВЫХ min}}}{U_{\text{ВХ min}}} \right) / \left(\frac{U_{\text{ВЫХ max}}}{U_{\text{ВХ max}}} \right).$$

Часто $K_{\text{рег}}$ должен быть значителен. Однако в одном усилительном каскаде не удаётся реализовать изменение коэффициента усиления более чем в несколько десятков раз ($n10$). Для получения большого $K_{\text{рег}}$ цепь АРУ включают на несколько каскадов радиотракта приёмника. Поскольку коэффициенты передачи последовательных каскадов перемножаются, то и их коэффициенты регулирования перемножаются:

$$K_{\text{рег}} = K_{\text{рег 1}} \cdot K_{\text{рег 2}} \cdot K_{\text{рег 3}} \dots$$

Максимальная глубина регулировки (диапазон регулировки) коэффициента усиления

$$D_{\max} = \alpha - \beta.$$

12.3. Основные характеристики систем АРУ

Амплитудная характеристика. Работа регулируемого усилителя совместно с цепью АРУ описывается характеристикой АРУ (рис. 12,2), показывающей зависимость $U_{\text{вых}} = F(U_{\text{вх}})$. Если АРУ простая, то при увеличении $U_{\text{вх}}$ напряжение $U_{\text{вых}} = KU_{\text{вх}}$ из-за уменьшения за счёт АРУ резонансного коэффициента усиления K_0 . С повышением $U_{\text{вых}}$ увеличивается $E_{\text{рег}}$ и соответственно уменьшается K_0 . Недостаток простой АРУ состоит в том, что коэффициент усиления радиотракта уменьшается и при приёме слабых сигналов, когда этого не требуется.

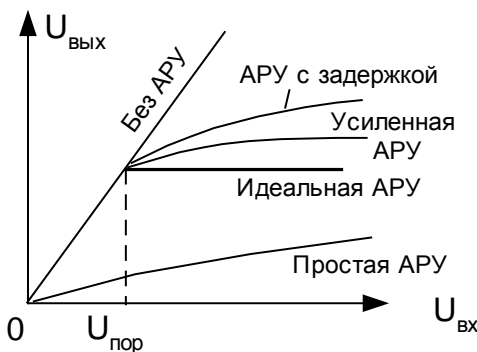


Рис. 12.2

Для устранения этого недостатка используют АРУ с задержкой, при которой цепь АРУ начинает действовать только в том случае, когда входное напряжение $U_{\text{вх}}$ превышает пороговое $U_{\text{пор}}$; при этом слабые сигналы цепью АРУ не ослабляются (см. рис. 12.2). При идеальной работе цепи АРУ с задержкой для $U_{\text{вх}} \geq U_{\text{пор}}$ напряжение на выходе усилителя постоянно. По мере увеличения коэффициента усиления усилителя в цепи регулировки характеристика АРУ реального усилителя все в большей степени приближается к идеальной.

Регулировочная характеристика представляет собой зависимость коэффициента усилителя регулируемой цепи от регулирующего напряжения: $K = F(E_{\text{рег}})$ (рис. 12.3).

Как уже отмечалось, задачей АРУ является изменение усиления радиотракта приёмника в зависимости от уровня входного сигнала

$$K = F(U_{\text{вх}}). \quad K = F(U_{\text{вх}}).$$

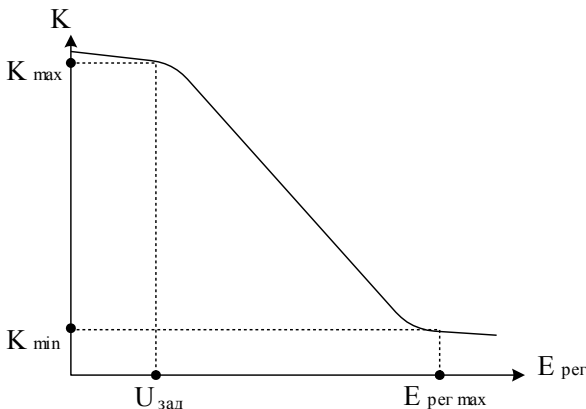


Рис. 12.3

Рассмотрим зависимость коэффициента передачи регулируемого усилителя, охваченного системой АРУ, от уровня напряжения входного напряжения. Когда напряжение на входе усилителя минимально $U_{\text{вх min}}$, коэффициент усиления должен быть наибольшим K_{max} для того, чтобы обеспечить достаточный уровень напряжения на выходе $U_{\text{вых min}}$. При увеличении входного напряжения коэффициент усиления под действием цепи АРУ уменьшается, при этом сохраняется уровень выходного напряжения.

Если $K = U_{\text{ВЫХ}}/U_{\text{ВХ}}$, где $U_{\text{ВЫХ}} = \text{const}$, то зависимость K от $U_{\text{ВХ}}$ представлена на рис. 12.4.

На практике выполнение требования $U_{\text{ВЫХ}} = \text{const}$ (кривая 1) усложняет схему АРУ, поэтому для упрощения конструкции регулятора допускается изменение $U_{\text{ВЫХ}}$ в таких пределах, чтобы не возникали заметные перегрузки цепей приёмника и искажения сигнала. Реальной схеме АРУ соответствует кривая 2.

Сигналы, амплитуда которых на входе усилителя менее $U_{\text{вх min}}$, не могут быть нормально приняты, так как будут искажены шумами приёмника. Тем не менее форма характеристики регулирования усиления левее точки А не безразлична. В простейшем случае это равномерное продолжение кривой 1. Эта часть изображена штриховой линией (кривая 3). Регулировка такого типа, т.е. без нарушения непрерывности закона регулирования при снижении входного сигнала ниже уровня чувствительности называют “простой” АРУ. Применение простой АРУ нежелательно по двум причинам:

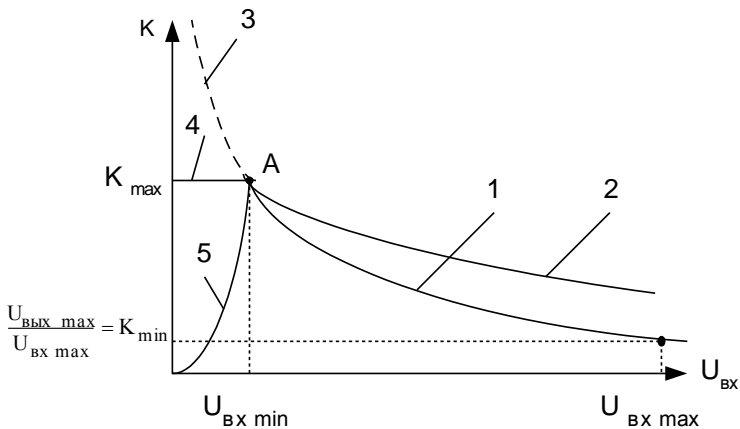


Рис. 12.4

- при $U_{\text{вх}} < U_{\text{вх min}}$ напряжение на выходе остаётся неизменным, но ухудшается соотношение сигнал/шум за счёт роста доли шумов;
- продолжение регулировочной характеристики левее точки А предполагает дополнительное усиление, которое является бесполезным и приводит только к увеличению собственных шумов.

При $U_{\text{вх}} < U_{\text{вх min}}$ часто значения K оставляют без изменения (кривая 4), т.е. коэффициент усиления оставляют постоянным и равным K_{max} . Это возможно путём выключения цепи АРУ в точке А при $U_{\text{вх}} < U_{\text{вх min}}$. В этом случае говорят, что АРУ является “задержанной” (или пороговой), так как включение АРУ задерживается до достижения входным напряжением значения $U_{\text{вх min}}$.

Типовая схема задержанной АРУ приведена на рис. 12.5. Она содержит регулируемый усилитель, как правило УПЧ или УВЧ, и цепь обратной связи.

Усилитель в общем случае содержит один или несколько регулируемых каскадов с коэффициентом передачи $K(U_p)$, а также нерегулируемые каскады с коэффициентом усиления K .

Задержка осуществляется путём подачи запирающего смещения на детектор АРУ, в УПТ или на любое другое место схемы цепи ОС АРУ. При введении задержки до ФНЧ на уровень управляющего сигнала влияет глубина модуляции сигнала. Если это явление нежелательно, то задержка

может быть получена за счёт нелинейности характеристики детектора АРУ.

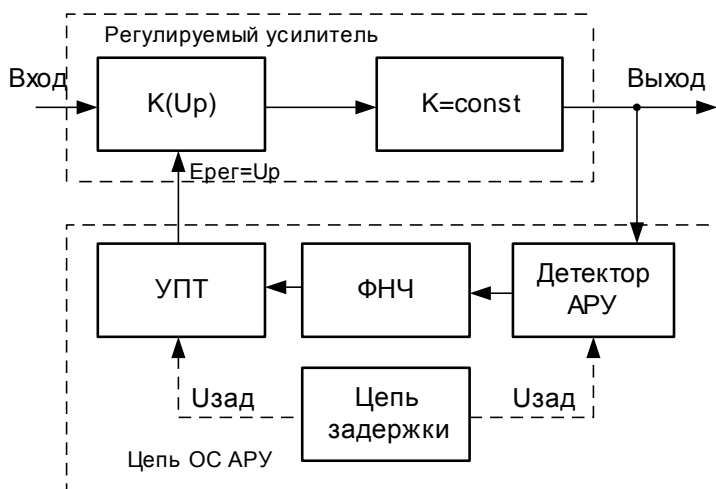


Рис. 12.5

В ряде схемных решений при наличии отдельного детектора АРУ можно не использовать отдельного ФНЧ, а выбирать соответствующую полосу среза АЧХ детектора. При использовании совмещенного детектора ФНЧ обязателен.

В процессе перестройки приёмника, имеющего АРУ, с одной станции на другую, когда сигнал на входе отсутствует, коэффициент усиления максимален, и поэтому максимально усиливаются собственные шумы и внешние помехи. Для устранения шумов при перестройке приёмника с одной станции на другую при малых сигналах ($U_{вх} < U_{вх \min}$) применяют бесшумную АРУ (кривая 5). Для реализации бесшумной АРУ создаётся специальная цепь бесшумной регулировки или настройки (БШН), управляемая $E_{рег}$. Если $E_{рег}$ становится ниже определённого уровня, то цепь БШН вырабатывает напряжение $E_з$, запирающие УНЧ. При превышении $E_{рег}$ этого порогового значения $E_з$ становится равным нулю, УНЧ отпирается и работа приёмника восстанавливается. Имеется ряд схемных реализаций цепи БШН.

12.4. Структурные схемы систем АРУ

В зависимости от способа подачи регулируемого напряжения схемы АРУ подразделяются на обратные, прямые и комбинированные.

Структурная схема обратной АРУ. В этой схеме напряжение регулировки $E_{\text{рег}}$ получают из напряжения $U_{\text{вых}}$ на выходе регулируемого усилителя (рис. 12.6).

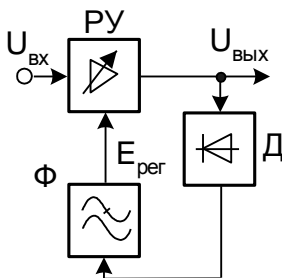


Рис. 12.6

Напряжение $E_{\text{рег}}$ подаётся со стороны выхода в направлении входа РУ, что и обусловило название этого вида АРУ. Детектор АРУ (Д) обеспечивает напряжение $E_{\text{рег}}$ на его выходе, пропорциональное амплитуде напряжения $U_{\text{вых}}$ $E_{\text{рег}} = K_{\text{д}} U_{\text{вых}}$. Фильтр АРУ (Ф) отфильтровывает составляющие спектра частот модуляции и пропускает медленно меняющиеся составляющие напряжения $E_{\text{рег}}$.

Особенностью обратной регулировки является то, что она не позволяет получить идеальную характеристику АРУ; можно лишь приблизиться к ней. Обратная АРУ не может быть идеальной, поскольку для её нормального функционирования принципиально необходимо приращение выходного напряжения $\Delta U_{\text{вых}}$. Если допустить, что АРУ идеальна, то $\Delta U_{\text{вых}} = 0$, при этом $E_{\text{рег}} = \text{const}$. $K_0 = \text{const}$, регулировка отсутствует, а $\Delta U_{\text{вых}}$, следовательно, должно возрастать.

Структурная схема прямой АРУ. Цепь АРУ (рис. 12.7) подключена ко входу регулируемого усилителя, напряжение регулировки $E_{\text{рег}}$ формируется в результате детектирования входного напряжения.

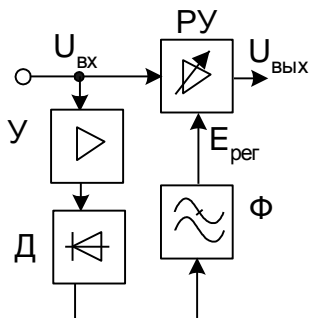


Рис. 12.7

При увеличении $U_{\text{ВХ}}$ напряжение на выходе детектора АРУ возрастает, при этом увеличивается $E_{\text{рег}}$, что вызывает уменьшение K_0 . Напряжение $U_{\text{ВЫХ}} = K_0 \cdot U_{\text{ВХ}}$. Если $U_{\text{ВХ}}$ увеличивается, то K_0 уменьшается; при этом их произведение может оставаться постоянным. Прямая АРУ в принципе позволяет получить идеальную характеристику регулирования, но практически добиться этого не удастся. Такой АРУ свойствен ряд недостатков, основной из которых состоит в необходимости включать перед детектором в цепи АРУ дополнительный усилитель с большим коэффициентом усиления. Прямая АРУ нестабильна, т.е. подвержена действию различных дестабилизирующих факторов. Если, например, из-за изменения температуры или напряжения источника питания коэффициент усиления K_0 регулируемого усилителя увеличится, то характеристика АРУ из идеальной превратится в характеристику с нарастающим $U_{\text{ВЫХ}}$.

Структурная схема комбинированной АРУ. В этом случае рационально используются преимущества обеих схем АРУ: стабильность обратной АРУ и возможность получения идеальной характеристики в прямой АРУ (рис. 12.8).

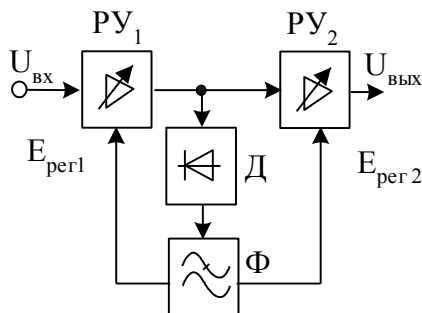


Рис. 12.8

Для первого усилителя – это обратная, а для второго – прямая АРУ. Основная регулировка происходит в РУ₁; он, как правило, содержит несколько регулируемых каскадов. Второй регулируемый усилитель обычно однокаскадный, его основная задача – несколько скомпенсировать возрастающее напряжение на выходе первого усилителя. То, что идеальной регулировки нельзя достигнуть на практике, не имеет большого значения, так как пределы изменения $U_{\text{вых}}$ невелики.

АРУ приёмников импульсного сигнала (рис. 12.9).

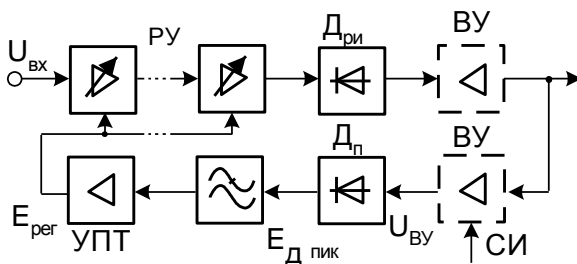


Рис. 12.9

Для АРУ таких приемников характерны две особенности.

1. Импульсный сигнал детектируется дважды: вначале детектором радиоимпульсов ($Д_{\text{ри}}$), а затем пиковым детектором ($Д_{\text{п}}$). Детекторы необходимы не только для нормальной работы АРУ, но и для детектирования сигнала в самом приемнике. Чтобы не ставить два детектора (в цепь сигнала и в цепь АРУ), детектор радиоимпульсов часто делают общим. Общим может быть и видеосуилитель (ВУ).

2. В интервалах между полезными импульсами могут возникать различные помехи; при импульсной многоканальной связи между импульсами данного канала действуют импульсы других каналов. В этом случае АРУ реагирует на все импульсы, а не только на те которые должны быть выделены. Для устранения этого недостатка цепь АРУ открывают только на время действия полезных импульсов, т. е. применяют стробирование. Для этого один из каскадов цепи АРУ (обычно видеосуилитель) делают

стробируемым, который открывается стробирующим импульсом (СИ) на время действия полезного импульса.

12.5. Назначение фильтра в цепи АРУ

Амплитуда сигнала в приёмнике изменяется по двум причинам:

1) при использовании амплитудной модуляции для передачи информации в системе связи или радиовещания; 2) из-за замираний, при которых уровень сигнала на входе приёмника изменяется по случайному закону в широких пределах. Цепь АРУ должна устранять только замириания сигнала, но не должна реагировать на полезные изменения амплитуды АМ-сигнала, что обеспечивается с помощью фильтра АРУ.

Скорость полезных и вредных изменений амплитуды сигнала различна. При АМ амплитуда сигнала подвержена быстрым изменениям, например, при телефонной связи и звуковом радиовещании частота модуляции составляет 50...5000 Гц. Замириания сигналов в основном медленные, обычно частота замираний 0,1...10 Гц. Напряжение E_d на выходе детектора АРУ содержит полезную и “вредную” (из-за замираний сигнала) составляющие (рис. 12.10).

Напряжение $E_{рег}$ на выходе фильтра АРУ определяется только вредной составляющей напряжения $E_{рег}$ (рис. 12.11).

Следовательно, постоянная времени фильтра цепи АРУ должна быть достаточно большой. Однако при очень большой τ_{ϕ} система АРУ будет очень инерционной и не сможет реагировать на быстрые замириания, быструю перестройку приёмника, т.е. будет не работоспособна.

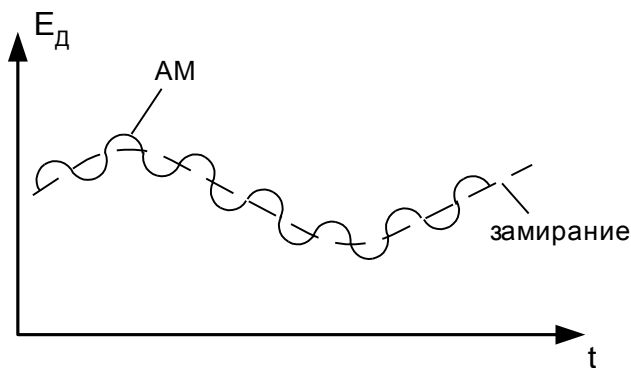


Рис. 12.10

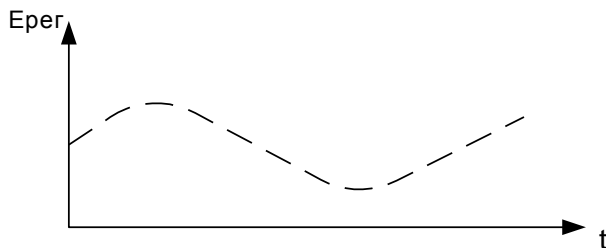


Рис. 12.11

В качестве фильтра используют обычно простую цепь $R_{\phi}C_{\phi}$. Если АРУ осуществляется в нескольких регулируемых каскадах усиления, то ставят не один, а несколько фильтров.

12.6. Переходный процесс в системе с обратной АРУ

Проанализируем работу во времени усилителя с обратной АРУ при изменении за счёт замираний амплитуды $U_{вх}$. Предположим, что $U_{вх}$ скачком возросло, при этом в первый момент (в случае безынерционности усилителя) $U_{вых}$ также скачком возрастет (рис. 12.12), что приведет к скачкообразному увеличению напряжения на входе цепи АРУ.

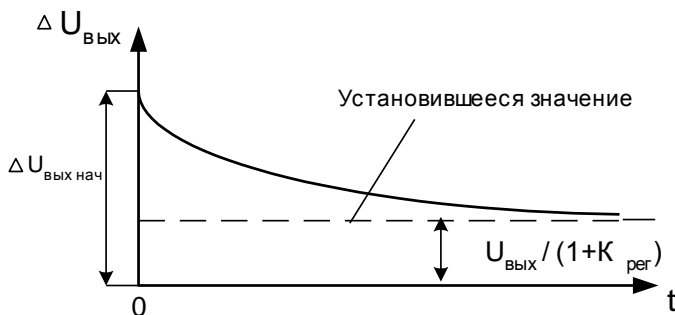


Рис. 12.12

Из-за наличия в цепи АРУ инерционных элементов (фильтра детектора АРУ) $E_{пер}$ не изменяется скачком, а начинает постепенно нарастать, что приводит к уменьшению K_0 . В усилителе с АРУ возникает переходный

процесс, и прежде, чем напряжение $U_{\text{вых}}$ на его выходе установится, проходит определенное время.

Закон изменения $U_{\text{вых}}$ в процессе его установления, который может быть аperiодическим либо колебательным, зависит от типа ФНЧ в цепи АРУ. Если ФНЧ – однозвенный $R_{\phi}C_{\phi}$ -фильтр, то $U_{\text{вых}}$ будет устанавливаться по экспоненциальному аperiодическому закону с

$$\tau = R_{\phi}C_{\phi}/(1 + K_{\text{рег}}), \quad \text{где } K_{\text{рег}} = (\Delta K_0/K_0)/(\Delta U_{\text{вх}}/U_{\text{вх}}),$$

$\Delta U_{\text{вх}}$ и ΔK_0 - соответственно приращение входного напряжения и вызываемое им приращение коэффициента усиления регулируемого усилителя. В этом случае говорят о системе АРУ первого порядка. Если ФНЧ двух или трехзвенный, то переходный процесс в системе АРУ носит колебательный характер, что нарушает нормальный приём сигнала. Если переходной процесс имеет колебательный характер, то изменения регулирующего напряжения $U_{\text{р}}$ могут затруднить нормальный радиоприем. Поэтому обычно в цепи АРУ применяют в качестве ФНЧ простые RC-звенья. Коэффициент передачи однозвенного фильтра равен

$$K_{\phi} = \frac{1}{1+pRC},$$

тогда переходной процесс можно считать аperiодическим. Если в приемнике применяется несколько регулируемых каскадов, то возникает необходимость их развязки (рис. 12.13).

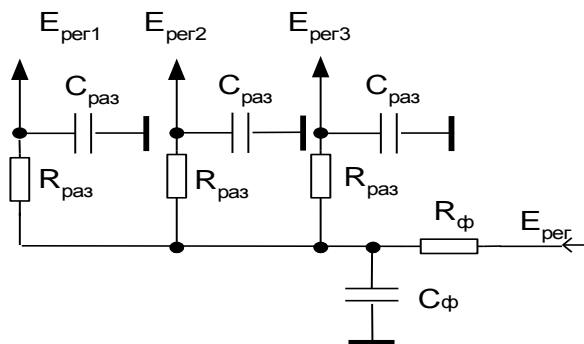


Рис. 12.13

Однако дополнительные звенья развязки $R_{\text{раз}} C_{\text{раз}}$ приводят к тому, что фильтр АРУ становится двухзвенным, т.к. звено $R_{\phi}C_{\phi}$ является общим

для всех других. Для исключения возможности возникновения колебаний переходного процесса постоянная времени одного из звеньев должна быть много больше постоянной времени другого звена. При этом устойчивость к самовозбуждению будет достигнута такая же, как и в системе с однозвонным фильтром.

Если задана длительность переходного процесса в системе АРУ $t_{\text{АРУ}}$ для данного перепада амплитуд, то максимально допустимое значение постоянной времени цепи АРУ можно выбрать из условия

$$\tau_{\phi} \leq 0,45 t_{\text{АРУ}} (1 + K_{\text{иОС}}),$$

где $K_{\text{иОС}} = U_{\text{ВХ}} S_{\text{РХ}} K_{\text{ОС}}$ – коэффициент интенсивности обратной связи;

$S_{\text{РХ}}$ – крутизна регулировочной характеристики;

$K_{\text{ОС}}$ – коэффициент передачи цепи обратной связи;

$U_{\text{ВХ}}$ – амплитуда входного сигнала.

При слишком малой постоянной времени возникают искажения принимаемого сигнала. Уровень этих искажений зависит от напряжения сигнала на входе.

Минимально допустимое значение постоянной времени ФНЧ определяется неравенством

$$\tau_{\phi} \geq \frac{K_{\text{иОС}}}{2\pi F_{\text{min}} \rho_n},$$

где ρ_n – представляет собой наименьшее из чисел

$$\rho_1 = \sqrt{1 - \left(\frac{m_{\text{ВЫХ}}}{m_{\text{ВХ}}}\right)^2}; \quad \rho_2 = k_{\Gamma}; \quad \rho_3 = \text{tg}\varphi.$$

Здесь $m_{\text{ВЫХ}}/m_{\text{ВХ}}$ – допустимое изменение глубины модуляции;

k_{Γ} – допустимое значение коэффициента гармоник;

φ – допустимое значение фазового сдвига.

Значения k_{Γ} , φ , $m_{\text{ВЫХ}}/m_{\text{ВХ}}$ задают на минимальной частоте модулирующего сигнала F_{min} .

12.7. Искажения АМ-сигнала в усилителе с АРУ

В реальных цепях АРУ фильтр не полностью подавляет составляющие частоты модуляции напряжения на выходе детектора АРУ. Это приводит к искажениям сигнала. Для пояснения процесса возникновения ис-

кажений положим вначале, что цепь АРУ идеальна, а на входе регулируемого усилителя действует АМ-колебание с модуляцией одним тоном частоты F ; тогда огибающая этого АМ-колебания

$$U_H = (1 + m \cos \Omega t),$$

где m — коэффициент модуляции; $\Omega = 2\pi F$ — угловая частота модулирующего колебания; U_H — амплитуда несущей. При идеальной АРУ цепь регулировки вырабатывает постоянное напряжение $E_{\text{рег0}}$, при котором коэффициент усиления усилителя $K_0 = S_{\text{рег}} E_{\text{рег}}$, где $S_{\text{рег}}$ — крутизна регулировочной характеристики. Тогда при идеальной цепи АРУ огибающая выходного напряжения

$$U_{\text{вых}} = K_0 U_{\text{вх}} = K_0 U_H (1 + m \cos \Omega t). \quad (12.1)$$

В реальной цепи АРУ фильтр не полностью подавляет составляющие частоты модуляции, к тому же он вносит определенный фазовый сдвиг φ , с учетом этого напряжение регулировки будет равно

$E_{\text{рег}} = E_{\text{рег0}} [1 + m' \cos(\Omega t + \varphi)]$, где $m'E_{\text{рег}}$ — амплитуда составляющей частоты F на выходе фильтра АРУ. Предположим, что зависимость коэффициента усиления усилителя от $E_{\text{рег}}$ линейная с крутизной регулировочной характеристики $S_{\text{рег}}$. При этом коэффициент усиления регулируемого усилителя будет меняться по закону $K = K_0 [1 + S_{\text{рег}} m' \cos(\Omega t + \varphi)]$ и огибающая напряжения на выходе регулируемого усилителя будет иметь вид

$$U_{\text{вых}} = KU_{\text{вх}} = U_H (1 + m \cos \Omega t) K_0 [1 + S_{\text{рег}} m' \cos(\Omega t + \varphi)].$$

Произведя преобразования, получим

$$U_{\text{вых}} = U_H K_0 (1 + m \cos \Omega t + U_H K_0 S_{\text{рег}} m' [\cos(\Omega t + \varphi) + 0,5m \cos \varphi + 0,5m \cos(2\Omega t + \varphi)]. \quad (12.2)$$

Сравнивая (12.1) и (12.2), отмечаем, что напряжение $U_{\text{вых}}$ при неидеальном фильтре АРУ отличается от $U_{\text{вых}}$ при идеальном, что обуславливает появление искажений сигнала. Эти искажения проявляются в следующем: 1) изменение коэффициента усиления с частотой модуляции приводит к изменению коэффициента модуляции сигнала, при $\varphi = 0$ и от-

рицательной $S_{\text{рег}}$ глубина модуляции сигнала уменьшается; 2) напряжение на выходе усилителя оказывается промодулированным не только тоном с частотой F , но и его второй гармоникой с частотой $2F$, что приводит к возникновению нелинейных искажений закона модуляции. Эти искажения тем больше, чем больше произведение $S_{\text{рег}} m'$, при $S_{\text{рег}} m' = 0$ искажения отсутствуют.

12.8 Схемы регуляторов систем АРУ

Регулируемыми каскадами обычно являются каскады УПЧ и УРЧ. Число регулируемых каскадов зависит от требуемой эффективности АРУ. При глубине регулировки более 40 дБ следует применять два каскада и более. Обычно считают, что один каскад позволяет получить глубину регулировки от 15 до 25 дБ, при этом чтобы избежать значительных нелинейных искажений, сигнал на входе регулируемых каскадов не должен превышать 10 мВ.

Допустимое входное напряжение для регулируемых каскадов на полевых транзисторах может быть несколько большим при прочих равных условиях.

Если используются транзисторы с удлиненной регулировочной характеристикой (ГТ328, ГТ346), то амплитуда входного сигнала может быть увеличена до 150 мВ, при этом максимальная глубина регулировки – 46 дБ.

Способы регулирования усиления активных каскадов можно разделить на две группы:

- путем изменения режима работы активного элемента по постоянному току (“режимная” регулировка);
- путем изменения глубины отрицательной обратной связи.

Режимная регулировка осуществляется наиболее просто и используется широко во всех диапазонах частот. Коэффициент усиления регулируют обычно изменяя крутизну активного элемента.

Регулировка путем изменения глубины ООС осуществляется при помощи дополнительных управляемых полупроводниковых приборов, которые работают как элементы с переменными параметрами. Этот способ позволяет получить низкий уровень нелинейных искажений, однако частотный диапазон, в котором схемы таких регуляторов эффективны ограничен в силу возможности самовозбуждения.

Резонансный коэффициент усиления одноконтурного усилителя радиосигналов определяется выражением

$$K_0 = mnSR_{\text{эКВ}}.$$

Регулировка K_0 может осуществляться при изменении любой величины, входящей в это выражение. Рассматриваемые способы изменения усиления применимы как для ручных, так и для автоматических регулировок.

Регулировка изменением крутизны. Такая регулировка осуществляется путем изменения режима усилительного элемента (УЭ), поэтому называется *режимной*. Для изменения крутизны $|Y_{210}|$ необходимо менять напряжение смещения на управляющем электроде УЭ: напряжение $U_{\text{БЭ0}}$ в БТ или $U_{\text{Зи0}}$ в ПТ. Известно, что изменение $U_{\text{БЭ0}}$ вызывает существенное изменение крутизны в рабочей точке. При изменении напряжения смещения в ПТ меняется практически только крутизна, а в БТ еще и такие параметры, как $G_{\text{вх}}$ и $G_{\text{вых}}$.

Регулирующее напряжение $E_{\text{рег}}$ подается в цепь эмиттера, либо в цепь базы транзистора. Схема регулировки первого вида показана на рис. 12.14. Напряжение смещения на транзисторе равно $U_{\text{БЭ0}} = U_0 - E_{\text{рег}}$.

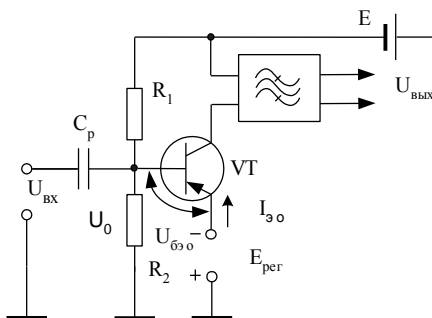


Рис. 12.14

По мере увеличения $E_{\text{рег}}$ напряжение $U_{\text{БЭ0}}$ уменьшается, что влечет за собой уменьшение тока $I_{\text{К0}}$ и крутизны, в результате чего коэффициент усиления K_0 снижается. Цепь регулировки должна обеспечить ток, примерно равный $I_{\text{Э0}}$. Если регулируются N каскадов, то ток регулировки $I_{\text{РЕГ}} \approx NI_{\text{Э0}}$, поэтому цепь регулировки должна вырабатывать сравнительно большой ток $I_{\text{РЕГ}}$, что является недостатком таких схем.

От этого недостатка свободны цепи регулировки второго типа, в которых, напряжение $E_{\text{рег}}$ вводится в цепь базы (рис. 12.15).

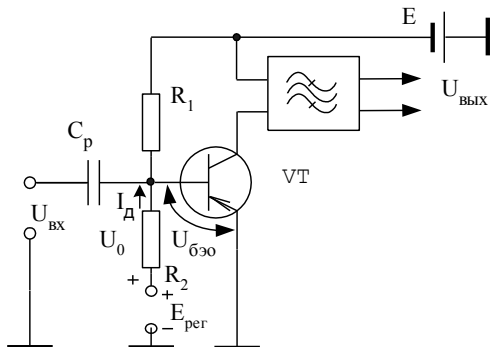


Рис. 12.15

Согласно рис. 12.15 $U_{БЭ0} = U_0 - E_{\text{рег}}$, поэтому принцип регулировки в обоих случаях одинаков. Достоинство регулировки по схеме рис. 12.15 состоит в том, что ток $I_{\text{РЕГ}}$, равный току делителя $I_{\text{Д}} = (5 \dots 10)I_{\text{Б0}}$, во много раз меньше тока $I_{\text{РЕГ}}$ при регулировке по схеме рис. 12.14. Включение в цепь эмиттера резистора приводит к уменьшению эффективности регулировки, так как он обеспечивает стабилизацию режима не только при изменении температуры, но и при изменении $E_{\text{рег}}$. При включении этого резистора для обеспечения той же глубины регулирования необходимо подавать большее значение напряжения $E_{\text{рег}}$. Аналогично осуществляется режимная регулировка в усилителе на ПТ.

Регулировка изменением эквивалентного сопротивления контура. Такая регулировка может осуществляться различными способами. На рис. 12.16 показана схема регулировки с подключенным параллельно контуру диодом VD.

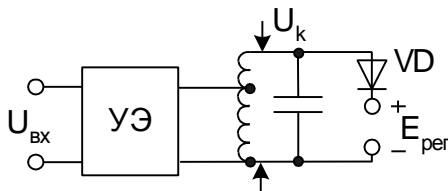


Рис. 12.16

При $E_{\text{пер}} > U_{\text{к}}$ диод закрыт и контур практически им не шунтируется; при этом эквивалентное сопротивление контура R_{Σ} и K_0 наибольшие. При $E_{\text{пер}} < U_{\text{к}}$ диод открывается и его входное сопротивление шунтирует контур. В этом случае R_{Σ} а следовательно, и K_0 уменьшаются. Основной недостаток такого способа регулировки состоит в том, что при изменении R_{Σ} меняется не только K_0 , но и эквивалентное затухание контура, а это вызывает изменение полосы пропускания усилителя. Тем не менее при большом сигнале допустимо некоторое ухудшение избирательности.

Аттенюаторная регулировка. При таком способе регулировки между усилительными каскадами включают аттенюатор с переменным коэффициентом передачи. Используются регулируемые делители, емкостные делители на варикапах, мостовые схемы. Так, на рис. 11.17 показана схема регулируемого аттенюатора на диодах VD_1 — VD_3 .

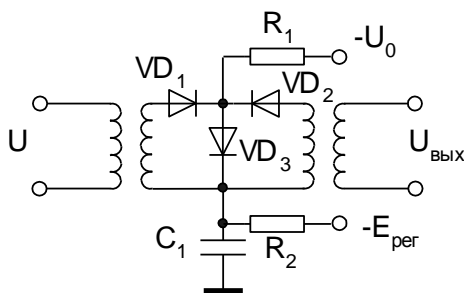


Рис. 12.17

При $|E_{\text{пер}}| < U_0$ диоды VD_1 , VD_2 открыты, а диод VD_3 закрыт; при этом коэффициент передачи максимален. По мере увеличения $E_{\text{пер}}$ динамические сопротивления диодов VD_1 и VD_2 увеличиваются, а динамическое сопротивление диода VD_3 уменьшается и, следовательно, уменьшается коэффициент передачи аттенюатора.

На рис. 12.18 представлена схема делителя, в которой в качестве управляемого сопротивления применен ПТ. Под действием $E_{\text{пер}}$ меняется сопротивление канала транзистора.

Широко используются аттенюаторы на $p-i-n$ -диодах, обладающих большим диапазоном изменения сопротивления и малой емкостью. На рис. 12.19 показана схема аттенюатора на $p-i-n$ -диодах; работой

которых управляют, изменяя смещение на базе транзистора VT_1 с помощью резистора $R_{пер}$.

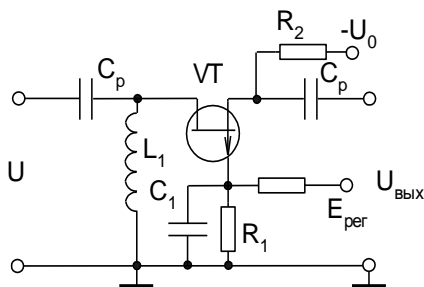


Рис. 12.18

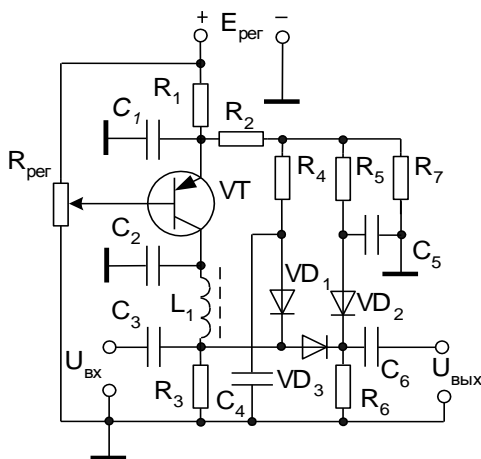


Рис. 12.19

При нулевом напряжении регулировки диоды VD_1 и VD_2 закрыты, а VD_3 открыт и затухание аттенюатора минимально. При максимальном напряжении регулировки диоды VD_1 и VD_2 открыты, а VD_3 закрыт и затухание аттенюатора максимально.

Регулировка с помощью регулируемой ООС. Этот способ, как и аттенюаторная регулировка, не вытекает непосредственно из выражения

для K_0 . Типовая схема изменения K_0 регулируемой ООС показана на рис. 12.20.

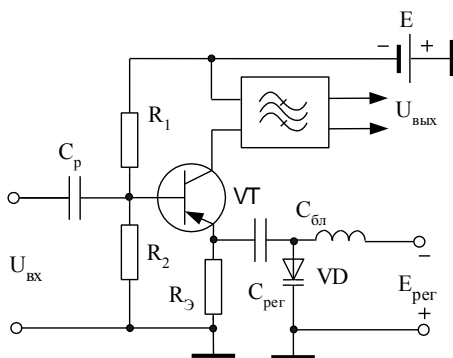


Рис. 12.20

В усилительных каскадах параллельно R_3 обычно включают конденсатор C_3 большой емкости для устранения ООС. В схеме, показанной на рис. 12.20, глубину ООС можно регулировать, изменяя емкость конденсатора $C_{\text{пер}}$.

Блокировочный конденсатор $C_{\text{бл}}$ служит для разделения по постоянному току цепей регулировки и питания транзистора. В качестве $C_{\text{пер}}$ обычно используется варикап VD . С увеличением $E_{\text{пер}}$ диод VD закрывается сильнее, его емкость $C_{\text{пер}}$ уменьшается, напряжение ООС увеличивается, коэффициент усиления K_0 уменьшается.

12.9. Системы АРУ специального назначения

При приеме импульсных сигналов с большим динамическим диапазоном в условиях глубоких замираний необходима быстродействующая АРУ (БАРУ). В этом случае постоянная времени фильтра АРУ мала, ухудшается фильтрация и возникает опасность самовозбуждения. Для исключения этого применяют многокольцевые АРУ, когда каждый регулятор (их несколько) охватывают отдельным кольцом АРУ (рис. 12.21).

Отличительная особенность БАРУ—высокая скорость ее срабатывания при мощной помехе; цепь БАРУ инерционна для сигнала и срабатывает только от помехи. Постоянная времени фильтра БАРУ во много раз меньше постоянной времени фильтра АРУ.

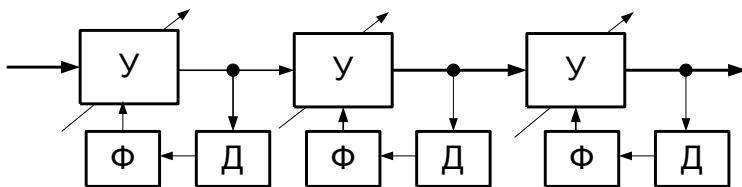


Рис. 12.21

Временная регулировка усиления (ВАРУ). Для повышения различимости цепей на фоне отражения от земли и моря в радиолокационных РПрУ применяют системы ВАРУ. Используют специально сформированный управляющий сигнал изменение величины которого по времени соответствует закону изменения амплитуд сигналов отраженных от земной поверхности (6 –12 дБ на октаву времени). Так в ближней зоне действие ВАРУ уменьшает усиление РПрУ и т.д.

Логарифмические усилители. Нередко в системах АРУ используют усилители с логарифмическим законом изменения коэффициента усиления от величины воздействующего сигнала, что позволяет в ряде специальных приемников значительно повысить эффективность регулирования.

Бесшумная АРУ. Создается специальная цепь бесшумной регулировки БШР, управляемая $E_{\text{РЕГ}}$. Если $E_{\text{РЕГ}}$ становится ниже определенного уровня, то цепь БШР вырабатывает напряжение E_z , запирающее усилитель звуковых частот.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каковы назначение и виды регулировок?
2. Какие способы регулировки усиления резонансного усилителя Вы знаете?
3. Каким образом осуществляется режимная регулировка коэффициента усиления усилителя и каковы ее преимущества и недостатки?
4. Какие схемы аттенуаторов для регулировки коэффициента усиления усилителя Вы знаете и каковы особенности их работы?
5. Нарисуйте структурные схемы обратной, прямой и комбинированной АРУ и проведите их сравнительный анализ.
6. Каковы структурная схема и назначение элементов цепи АРУ?

7. Почему в обратной АРУ принципиально нельзя получить идеальную характеристику регулирования?
8. Каковы назначение и схема фильтра в цепи АРУ?
9. Какие искажения АМ-сигнала возникают в усилителе с АРУ и каковы их причины?
10. Поясните сущность переходного процесса, возникающего в схеме с обратной АРУ.
11. Какие системы АРУ специального назначения Вы знаете?

13. СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ПОДСТРОЙКИ ЧАСТОТЫ (АПЧ)

13.1. Основные типы систем АПЧ

Система автоматической подстройки частоты (АПЧ) должна обеспечить требуемую точность настройки приемника при воздействии дестабилизирующих факторов.

Источником частотной нестабильности приемника является гетеродин. Случайные изменения частоты гетеродина приводят к изменениям промежуточной частоты $f_{пр}$.

В супергетеродинном приемнике должно выполняться равенство номинальных (расчетных) значений промежуточной частоты $f_{пр0}$ и частоты настройки фильтров УПЧ f_{00} . При соблюдении этого условия изменения спектра сигнала оказываются минимальными, так как все его составляющие располагаются внутри полосы пропускания П тракта УПЧ. В реальной ситуации текущие значения f_r , f_c и f_0 отличаются от расчетных, поскольку на аппаратуру воздействуют различные дестабилизирующие факторы (изменение температуры, влажности и т. д.), всегда имеются погрешности в регулировке отдельных каскадов, ошибки в измерениях и др. Кроме того, частота f_c может изменяться вследствие эффекта Доплера.

В результате между $f_{пр} = \pm f_r \pm f_c$ и $f_{пр0}$, а также между f_0 и f_{00} возникают расстройки: $\Delta f_{пр} = f_{пр} - f_{пр0}$. Как следствие, расходятся между собой и частоты $f_{пр}$ и $f_{пр0}$, так что $\Delta f_1 = f_{пр} - f_0 = \Delta f_{пр} - \Delta f_0$. Если расстройки настолько велики, что значительная часть боковой полосы спектра сигнала оказывается вне П, то это приводит к существенным линейным искажениям принятого сообщения.

Устранение расстройки Δf_1 может быть достигнуто воздействием на f_r , либо на f_0 , так как f_c от параметров приемника не зависит. На практике второй способ не применяется, так как в качестве фильтров в УПЧ используются сложные избирательные структуры на сосредоточенных или

распределенных реактивных элементах, перестройка которых возможна только в весьма небольших пределах. Поскольку вклад в результирующую нестабильность отклонений f_0 пренебрежимо мал, подстройка частоты гетеродина должна устранить влияние только его собственной нестабильности и нестабильности частоты принимаемого сигнала.

С развитием техники радиоприема, и в первую очередь с переходом на СВЧ и более высокочастотные диапазоны ($f_c > 30$ МГц), с повышением помехозащищенности, а также с улучшением эксплуатационных показателей аппаратуры возникла необходимость в автоматизации процесса подстройки частоты гетеродина. Были разработаны специальные радиотехнические устройства, получившие по своему первоначальному предназначению наименование систем автоматической подстройки частоты (АПЧ). Последние являются одной из разновидностей обширного класса систем автоматического регулирования (САР).

Для осуществления АПЧ в приемник вводится специальная цепь, упрощенная структурная схема которой приведена на рис. 13.1.

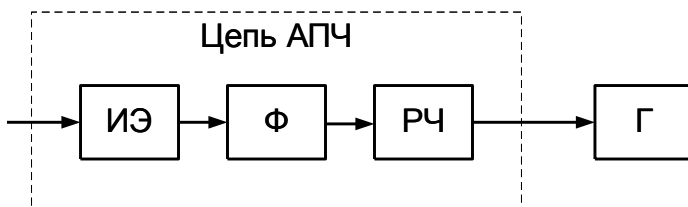


Рис. 13.1

На рис. 13.1 ИЭ – измерительный элемент; Ф – фильтр; РЧ – регулятор частоты; Г – гетеродин.

Различают следующие виды АПЧ в зависимости от вида измерительного элемента (ИЭ):

- частотной автоматической подстройкой частоты (ЧАПЧ), где в качестве ИЭ используется частотный детектор (дискриминатор) ЧД, который оценивает отклонение частоты напряжения на входе цепи АПЧ от эталонного значения;

- фазовой автоматической подстройкой частоты (ФАПЧ), где в качестве ИЭ используется фазовый детектор ФД, оценивающий отклонение фазы напряжения на входе цепи АПЧ от фазы эталонного (опорного) напряжения.

В зависимости от типа цепи или узла РПРУ, дающего опорное значение частоты, с которым сравнивается частота подстраиваемого гетеро-

дина, различают системы, в которых частота колебаний в РПрУ сравнивается:

- с частотой, при которой пассивная цепь приобретает какие-либо характерные свойства (резонанс, либо баланс мостовой цепи и т. д.);
- с частотой стабильного гетеродина;
- с опорными частотами обоих видов (смешанные системы).

Схема, в которой за опорную частоту принимается резонансная частота цепи ЧД, имеет вид, представленный на рис. 13.2.

Обычно частота, при которой характеристика ЧД проходит через 0, соответствует настройке УПЧ. При уходе частоты гетеродина f_r изменяется значение f_{np} , на выходе ЧД вырабатывается напряжение соответствующего знака и величины. Задача ФНЧ (как и в системе с АРУ) подавить “продукты” частоты модуляции. Схема, в которой сравниваются частоты подстраиваемого гетеродина (Γ) и опорного генератора (ОГ), имеет вид, представленный на рис. 13.3.

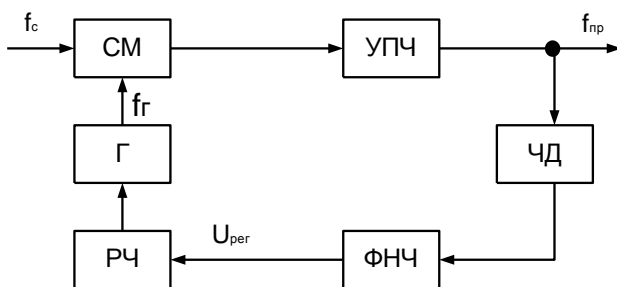


Рис. 13.2

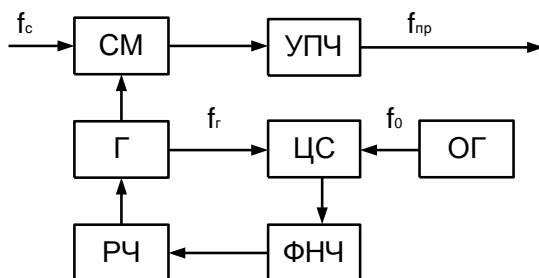


Рис. 13.3

На рис. 13.3 ЦС - цепь сравнения. При расхождении частот f_0 и f_r на выходе цепи сравнения появляется напряжение, с помощью которого подстраивается через РЧ генератор Г.

На рис. 13.4 представлена смешанная схема, в которой колебания подстраиваемого генератора Г и опорного генератора ОГ с частотами f_r и f_0 действуют на смеситель СМ и получаемое напряжение разностной частоты $f_r - f_0 = f_{np}$ подается на вход опорного ЧД с частотой ‘нуля’, равной f_{np0} . При отклонении f_{np} от f_{np0} на выходе ЧД вырабатывается напряжение, действующее на управляющую цепь гетеродина и подстраивающее его.

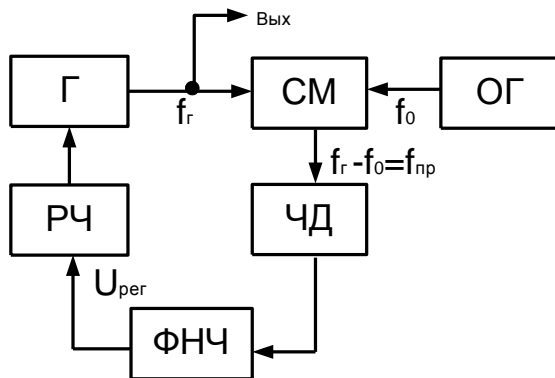


Рис. 13.4

14. СИСТЕМА ЧАПЧ

В системах ЧАПЧ в качестве измерительного элемента используется частотный детектор (дискриминатор), а в качестве РЧ используются варикапы (электронный РЧ) или чувствительный электродвигатель (электромеханический РЧ), который с помощью редуктора связан с конденсатором гетеродина. Для того чтобы управляющее напряжение, подводимое от ЧД, подстраивало, а не расстраивало частоту, – характеристики РЧ и ЧД (управляющей цепи) должны быть согласованы (рис. 14.1).

Абсолютный уход преобразованной частоты должен быть равен остаточной расстройке гетеродина. Т. е. для осуществления АПЧ крутизна ЧД и крутизна РЧ должны иметь противоположный знак.

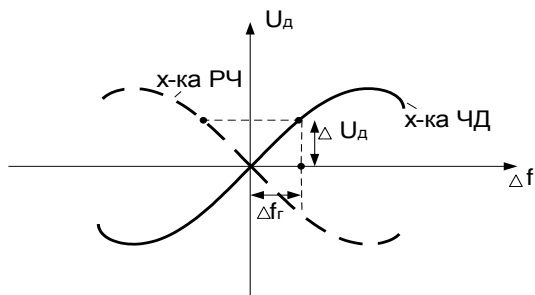


Рис. 14.1

Функциональная схема системы ЧАПЧ приведена на рис. 14.2.

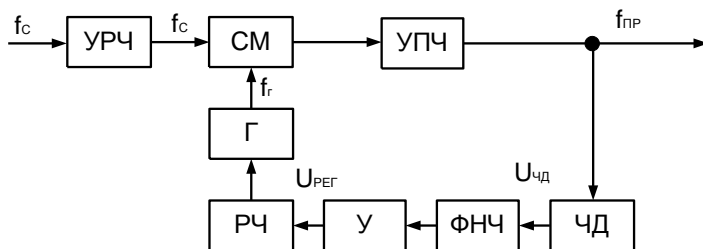


Рис. 14.2

Схема состоит из смесителя и усилителя промежуточной частоты, входящих в линейный тракт приемника. Изменения частоты принимаемого сигнала $f_c(t)$ (задающего воздействия) должны отслеживаться регулируемой (выходной) величиной $f_r(t)$ с тем, чтобы разность между ними в любой момент была возможно более близкой к f_0 . Этот эффект достигается благодаря сравнению в ЧД мгновенного значения частоты $f_{пр}(t)$ с внутренним параметром частотного детектора – переходной частотой f_d . Сигнал ошибки $U_{чд}(t)$ после прохождения через ФНЧ и усиления в У преобразуется в управляющее напряжение $U_{рег}$, приложенное к РЧ. Под воздействием $U_{рег}$ частота $f_r(t)$ изменяется на $\Delta f_{под}$ в сторону уменьшения рассогласо-

вания между $f_c(t)$ и $f_r(t)$ РЧ обычно входит в колебательный контур автогенератора – гетеродина (Γ), поэтому часто РЧ и Γ объединены в одно звено.

Пусть из-за дестабилизирующих факторов частота Γ , равная f_r , изменилась на величину, равную $\Delta f_{\text{нач}}$. После срабатывания системы ЧАПЧ происходит подстройка гетеродина, в результате чего его расстройка уменьшается на $\Delta f_{\text{под}}$.

В установившемся режиме

$$\Delta f_{\text{ост}} = \Delta f_{\text{нач}} - \Delta f_{\text{под}}, \quad (14.1)$$

где $\Delta f_{\text{ост}}$ – остаточная расстройка гетеродина после установления процессов в системе ЧАПЧ.

Расстройка $\Delta f_{\text{ост}}$ на выходе УПЧ вызывает появление напряжения $U_{\text{чд}}$ на выходе ЧД. Если характеристика ЧД линейна и имеет крутизну $S_{\text{чд}}$, то

$$U_{\text{чд}} = S_{\text{чд}} \Delta f_{\text{ост}}. \quad (14.2)$$

После фильтрации с коэффициентом передачи по постоянному току $K_{\text{ф}}$

$$U_{\text{рег}} = K_{\text{ф}} U_{\text{чд}} = K_{\text{ф}} S_{\text{чд}} \Delta f_{\text{ост}}. \quad (14.3)$$

С помощью напряжения $U_{\text{рег}}$ производится подстройка частоты гетеродина. Если характеристика РЧ линейна и крутизна равна $S_{\text{рег}}$, тогда

$$\Delta f_{\text{под}} = S_{\text{рег}} \cdot U_{\text{рег}} = S_{\text{рег}} S_{\text{чд}} K_{\text{ф}} \Delta f_{\text{ост}}. \quad (14.4)$$

Учитывая, что $\Delta f_{\text{ост}} = \Delta f_{\text{нач}} - \Delta f_{\text{под}}$, получаем

$$\Delta f_{\text{ост}} = \Delta f_{\text{нач}} - S_{\text{рег}} S_{\text{чд}} K_{\text{ф}} \Delta f_{\text{ост}} \quad (14.5)$$

или

$$\Delta f_{\text{ост}} = \frac{\Delta f_{\text{нач}}}{1 + S_{\text{рег}} S_{\text{чд}} K_{\text{ф}}}. \quad (14.6)$$

Таким образом, выражение (14.6) показывает, что цепь АПЧ уменьшает $\Delta f_{\text{нач}}$ в несколько раз. Отношение расстройки преобразованной частоты при разомкнутом кольце АПЧ $\Delta f_{\text{нач}}$ к той же расстройке при замкнутом $\Delta f_{\text{ост}}$ называют коэффициентом подстройки АПЧ:

$$K_{\text{АПЧ}} = \frac{\Delta f_{\text{нач}}}{\Delta f_{\text{ост}}} = 1 + S_{\text{чд}} S_{\text{рег}} K_{\text{ф}}.$$

В реальных цепях ЧАПЧ $K_{АПЧ} \approx 20 \div 50$.

Если $K_{АПЧ} < 1$ расстройка при замыкании кольца АПЧ возрастает, т. е. система неустойчива. Исследование знака произведения $S_{ЧД} S_{рег}$ в широкой области расстроек позволяет выяснить область устойчивой и эффективной работы системы.

Важной характеристикой системы АПЧ является зависимость $\Delta f_{ост}$ от $\Delta f_{нач}$. Зависимость $\Delta f_{ост} = F(\Delta f_{нач})$ называют характеристикой регулирования (рис. 14.3).

Если система АПЧ отсутствует, то $K_{АПЧ} = 1$, $\Delta f_{ост} = \Delta f_{нач}$.

Если АПЧ работает, то при отклонении частоты f_r от номинального значения, растет $\Delta f_{нач}$, следом увеличивается $\Delta f_{ост}$, однако на начальном участке характеристики oa (oa') отклонение $\Delta f_{ост}$ невелико по сравнению с вызывающим его изменением частоты $\Delta f_{нач}$. Цепь АПЧ работает, пока отклонение частоты $\Delta f_{ост}$ не превышает значение $\Delta f_{ЧД}$, определяемое рабочим участком характеристики ЧД: $\Delta f_{ост} \leq \Delta f_{ЧД}$.

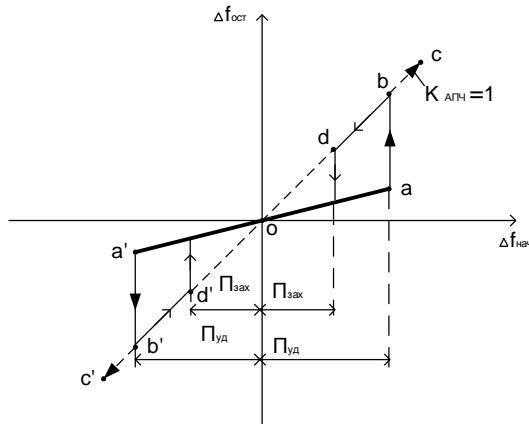


Рис. 14.3

При увеличении расстройки система выходит за рамки рабочего участка ЧД, напряжение на выходе ЧД падает до нуля. Система скачкообразно переходит в режим отсутствия АПЧ ($K_{АПЧ} = 1$). На рис. 14.3 этому состоянию системы соответствует скачок характеристики из точки a (a') в точку b (b'), далее она пойдет по участку bc ($b'c'$).

При обратном ходе процесса вначале частота $\Delta f_{нач}$ находится далеко за пределами характеристики ЧД и нет воздействия на РЧ, так как $U_{ЧД} = 0$.

В точке d (d') на выходе ЧД появится заметное напряжение, которое уменьшит частоту гетеродина, вызовет напряжение $U_{\text{рег}}$ и т. д. Точка d (d') неустойчива и происходит перескок на участок oa (oa').

Характеристика имеет аналогичный вид при расстройке в другую сторону от точки O .

На рис. 14.3 можно выделить две характерные области частот для приемника с АПЧ:

- полоса удержания $\Pi_{\text{уд}}$ (от a до a'), это полоса расстроек в которых система АПЧ удерживает преобразованную частоту близкой к правильно-му значению, при выходе за которую АПЧ перестает работать;

- полоса захвата (схватывания)

$\Pi_{\text{зах}}$ (от d до d'), это полоса расстроек частот, при которой происходит восстановление АПЧ. Эта полоса расстроек близка к полосе пропускания приемника. При введении преобразованной частоты сигнала в эту полосу происходит захват настройки приемника системой АПЧ. Для цепи АПЧ выполняется условием $\Pi_{\text{уд}} > \Pi_{\text{зах}}$.

Работа АПЧ может нарушаться при замираниях сигнала, поэтому для повышения ее устойчивости применяют специальные меры:

- меняют постоянную времени фильтра;

- используют автоматический поиск сигнала при его пропадании;

- применяют системы АПЧ, у которых полосы захвата и удержания мало отличаются друг от друга.

В системах ЧАПЧ требования к фильтрам аналогичны случаю АРУ. Т. е. в системах ЧАПЧ, как правило, во избежание самовозбуждения, не применяют фильтры с числом звеньев более двух.

15. СИСТЕМА ФАПЧ

15.1. Принцип действия

Структурная схема системы ФАПЧ представлена на рис. 15.1

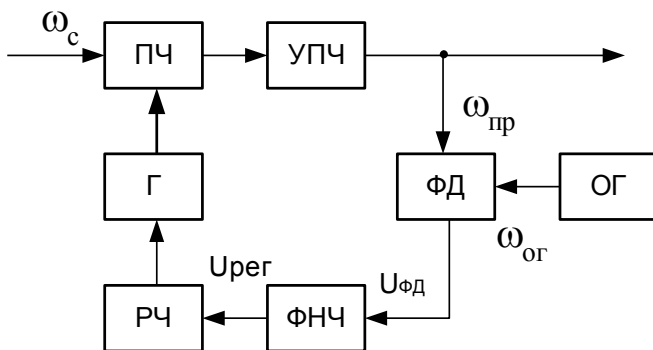


Рис. 15.1

В системах ФАПЧ в качестве ИЭ используется фазовый детектор, статическая дискриминационная характеристика которого имеет вид, изображенный на рис. 15.2.

Сигнал ошибки $U_{\text{ФД}}$ зависит от разности фаз сравниваемых в ФД колебаний с частотой $\omega_{\text{пр}}$ и опорной частотой $\omega_{\text{оп}}$, формируемой в опорном (эталонном) генераторе ОГ. Стабильность частоты $\omega_{\text{оп}}$ обеспечивается кварцевым резонатором. При отклонении $\omega_{\text{пр}}$ от $\omega_{\text{оп}}$ напряжение $U_{\text{рег}}$ будет стремиться устранить это расхождение, изменяя частоту колебаний гетеродина.

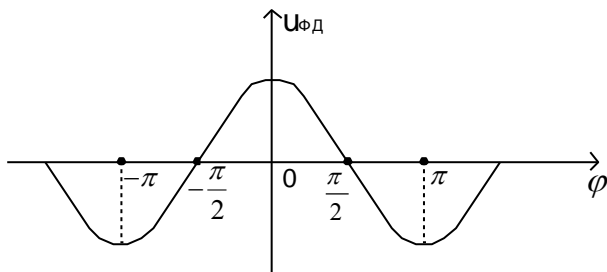


Рис. 15.2

При отличии частот, подводимых к ФД, разность фаз равна текущей фазе $\varphi(t)$ напряжения разностной частоты $\Delta\omega$:

$$\varphi(t) = \int_0^t \Delta\omega dt + \varphi_0,$$

где $\Delta\omega = \omega_{ог} - \omega_{пр}$ φ_0 – постоянная величина.

На выходе ФД получается переменное напряжение разностной частоты $\Omega_{фд} = \Delta\omega$.

Если частоты равны ($\omega_{пр} = \omega_{ог}$), то разность фаз колебаний генераторов будет неизменной, и равной φ_0 , т.е. постоянство разности фаз свидетельствует о равенстве частот ($\Delta\omega = 0$). Это установившийся режим.

Установившийся режим в замкнутом кольце ФАПЧ возможен только при $\Omega_{фд} = 0$, т.е. возможна автоподстройка с точностью до постоянной разности фаз φ_0 .

Характеристика регулирования системы ФАПЧ, приведенная на рис. 15.3, представляет собой зависимость средней разности частот $\omega_{пр} - \omega_{ог} = \Omega_{фд}$ (частота биений) от начальной расстройки.

Прямая наклонная линия отображает зависимость в разомкнутой системе ФАПЧ.

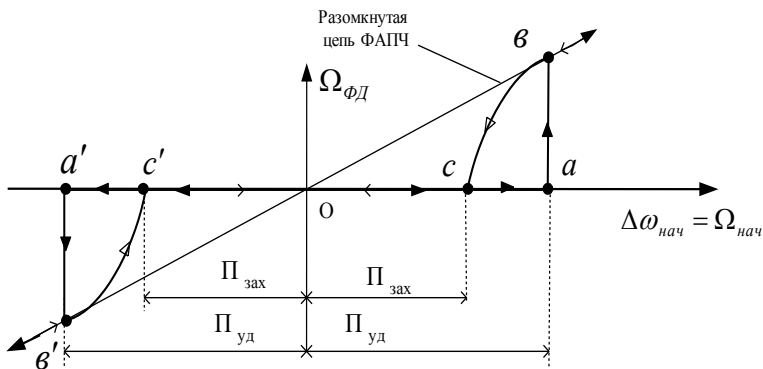


Рис. 15.3

При малых значениях начальной расстройки $\Delta\omega_{нач}$ частота $\omega_{пр}$ равна частоте ОГ $\omega_{ог}$. При некотором значении начальной расстройки (точка a или a') система ФАПЧ переходит в режим биений (точка b или b'), при котором среднее значение частоты Γ отличается от частоты ОГ.

Область начальных расстроек между точками aa' называют полосой удержания. Величина $\Pi_{уд}$ определяется разностью граничных значений

частоты Γ , соответствующих наибольшему и наименьшему напряжениям на РЧ. Область начальных расстроек между точками c и c' , в которой при любых начальных условиях устанавливается режим удержания, называют полосой захвата.

Переходной процесс в системе ФАПЧ. В момент включения системы наблюдается режим биений, так как частоты Γ и ОГ не равны. В зависимости от знака напряжения биений разность частот то повышается, то снижается, так как напряжение генератора Γ модулируется по частоте напряжением биений. Длительности положительных и отрицательных полуволн напряжения биений получаются разными и на выходе ФД образуется постоянная составляющая напряжения, которая вызывает изменение частоты биений относительно начальной расстройки. Если начальная расстройка не выходит за пределы полосы захвата, то постоянная составляющая снижает частоту биений до нуля и возникает режим удержания. Переходной процесс будет аperiodическим, если

$$K_{\text{ФАПЧ}} \cdot \tau_{\text{Ф}} < 0,25,$$

где $K_{\text{ФАПЧ}} = S_{\text{ФД}} S_{\text{РЧ}} K_{\text{Ф}}$;

$\tau_{\text{Ф}}$ – постоянная времени ФНЧ.

В противном случае переходный процесс будет колебательным.

15.2. Основное уравнения автономной системы ФАПЧ

Для однопетлевой системы ФАПЧ (рис. 15.4) положим, что в начальный момент напряжение на входе РЧ равно нулю ($U_{\text{per}} = 0$).

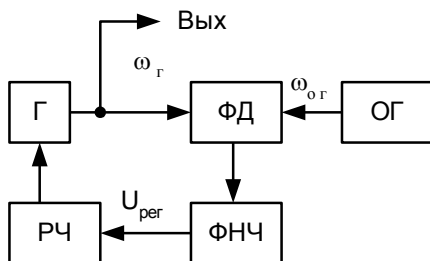


Рис. 15.4

Тогда начальная расстройка Γ относительно ОГ равна

$$\Omega_{\text{НАЧ}} = \omega_{\text{ОГ}} + \omega_{\text{ГО}}, \quad (15.1)$$

где $\omega_{\text{ГО}}$ – угловая частота Г при разомкнутой цепи управления.

При замыкании цепи управления угловая частота примет значение

$$\omega_{\text{Г}} = \omega_{\text{ГО}} + \omega_{\text{РЧ}} \quad (15.2)$$

где $\omega_{\text{РЧ}}$ – мгновенная расстройка, создаваемая регулятором частоты.

Пренебрегая переходным процессом в Г и полагая, что характеристика РЧ линейная, можно записать

$$\omega_{\text{РЧ}} = S_{\text{РЧ}} U_{\text{рег}}, \quad (15.3)$$

где $S_{\text{РЧ}}$ – крутизна характеристики регулятора частоты (рад/сек);

$U_{\text{рег}}$ – мгновенное напряжение на входе РУ (на выходе ФНЧ).

Напряжение на выходе ФНЧ связано с напряжением

$$U_{\text{рег}} = K(p)U_{\text{ФД}}, \quad (15.4)$$

где K_p – коэффициент передачи ФНЧ в операторной форме;

(p) – символ, указывающий дифференцирование по времени $\partial/\partial t$.

Обозначим наибольшее значение модуля напряжения на выходе ФД как $U_{\text{ФДmax}}$, тогда получим

$$U_{\text{ФД}} = F(\varphi) U_{\text{ФДmax}}, \quad (15.5)$$

где $F(\varphi)$ – нормированная характеристика ФД, которая определяется как отношение мгновенного значения напряжения к наибольшему по модулю;

φ – мгновенная разность фаз напряжений Г и ОГ.

Подставляя (15.4) и (15.5) в (15.3), получаем значение расстройки, вносимой управляющей цепью:

$$\omega_{\text{РЧ}} = S_{\text{РЧ}} U_{\text{ФДmax}} K(p)F(\varphi), \quad (15.6)$$

Величина $S_{\text{РЧ}}U_{\text{ФДmax}}$ определяет максимально возможную расстройку, которую может компенсировать РЧ, т.е. полосу удержания $\Omega_{\text{уд}}$. Тогда (15.6) запишем в виде

$$\omega_{p\varphi} = \Omega_{yд} K(p)F(\varphi). \quad (15.7)$$

Подставив (15.7) в (15.2), получим

$$\omega_{\Gamma} = \omega_{\Gamma_0} + \Omega_{yд} K(p)F(\varphi). \quad (15.8)$$

Мгновенное значение разности фаз связано с мгновенным значением разности частот выражением

$$\varphi(t) = \varphi_0 + \int_0^t (\omega_{0\Gamma} - \omega_{\Gamma}) dt, \quad (15.9)$$

где φ_0 – разность фаз при $t = 0$.

В операторной форме (15.9) запишем

$$p\varphi = \omega_{0\Gamma} - \omega_{\Gamma}.$$

Заменяем ω_{Γ} выражением (15.8):

$$p\varphi = \omega_{0\Gamma} - \omega_{\Gamma} - \Omega_{yд} K(p)F(\varphi). \quad (15.10)$$

Преобразовав (15.10), получим

$$p\varphi + \Omega_{yд} K(p)F(\varphi) = \omega_{0\Gamma} - \omega_{\Gamma}. \quad (15.11)$$

Учитывая (15.1) запишем

$$p\varphi + \Omega_{yд} K(p)F(\varphi) = \Omega_{нач}. \quad (15.12)$$

Это основное дифференциальное уравнение системы ФАПЧ. Оно показывает, что в любой момент времени в замкнутой системе ФАПЧ алгебраическая сумма мгновенной разности частот $p\varphi$ и расстройки, вносимой управляющей цепью, равна постоянной величине (начальной расстройке).

Точное решение нелинейного дифференциального уравнения (15.12) возможно, только если оно имеет первый порядок $K(p) = 1$. Во всех остальных случаях используют приближенные способы решения.

В результате сравнения ФАПЧ с системой ЧАПЧ можно сделать следующие выводы:

- система ФАПЧ не требует согласования характеристик дискриминатора и регулятора частоты;
- система ФАПЧ обеспечивает более высокую точность подстройки частоты и применяется там, где этот параметр особенно важен;
- схема системы ФАПЧ более сложна, а также более сложны ее настройка и регулировка.

15.3. Области применения систем ФАПЧ

На практике часто, даже при высокой относительной нестабильности гетеродина РПрУ, отклонение преобразованной частоты может выйти за пределы полосы захвата или удержания. Для точной настройки РПрУ система ФАПЧ дополняется устройством автопоиска положения точной настройки. Пример поисковой схемы имеет вид; представленный на рис.15.5.

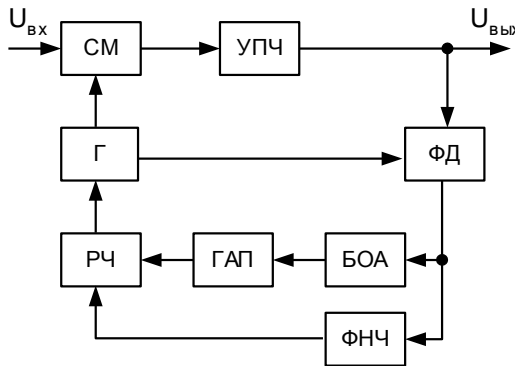


Рис. 15.5

Система дополняется генератором автопоиска (ГАП) и блоком остановки автопоиска (БОА). Частотная модуляция Г должна быть столь глубокой, чтобы превзойти полосу удержания. При появлении сигнала в трактах ПЧ срабатывает БОА и система работает как обычная ФАПЧ. Автопоиск применяют и в устройствах с ЧАП.

Системы ФАПЧ широко используют для построения следящих фильтров, которые автоматически перестраиваются при изменении частоты.

ты сигналов. Схема построения такого фильтра имеет вид, представленный на рис.15.6.

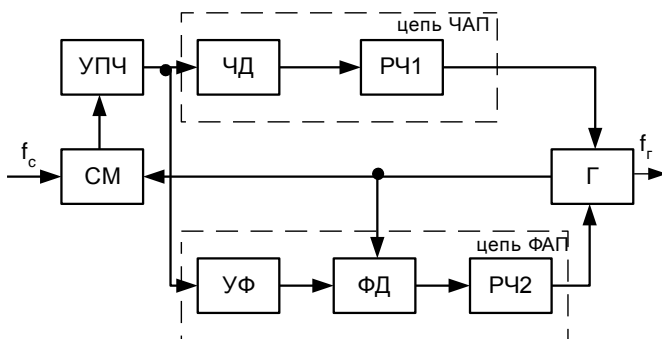


Рис. 15.6

Слежение за частотой сигнала осуществляется гетеродином, управляемым системой ФАПЧ. Малая шумовая полоса кольца ФАПЧ обеспечивается узкополосным фильтром УФ. Для расширения полос захвата и удержания при узкополосном фильтре используют дополнительное кольцо ЧАП, причём максимальная ошибка системы ЧАП должна быть меньше полосы удержания ФАП.

Такие фильтры (рис. 15.6) позволяют выделить сигнал в узкой полосе частот порядка десятков и даже единиц герц.

Выше при изучении принципа работы АПЧ считалось, что в системах обрабатываются непрерывные (аналоговые) сигналы. Такой подход, облегчающий понимание сути явлений, не может считаться исчерпывающим, поскольку в настоящее время широчайшее распространение получили цифровые методы передачи и приёма информации. Эти тенденции, чётко прослеживаемые и в методах построения АПЧ, превращают последние в импульсные или (в более общем случае) в цифровые САР. Функциональное назначение и конечный эффект работы такого рода систем остаются теми же, что и в рассмотренных аналоговых АПЧ, несмотря на более сложные физические процессы, происходящие в них, и процедуры математического анализа. Переход на цифровую элементную базу позволяет добиться резкого улучшения электрических, массогабаритных, энергетических и других характеристик устройств, органической частью которых являются АПЧ.

16. НАСТРОЙКА ДИАПАЗОННЫХ РАДИОПРИЕМНИКОВ НА СТАНЦИЮ

Для приема сигнала от требуемой станции необходимо выполнить ряд операций управления: включить аппаратуру, настроить ее на частоту сигнала, подключить необходимые выходные устройства, скоммутировать соответствующие фильтры, переключить антенны и т. д. Среди названных важной операцией является настройка РПрУ на требуемую рабочую частоту, включающая в себя установку необходимых частот гетеродинов (в профессиональных РПрУ их может быть несколько) и настройку резонансных цепей преселектора приемника на частоту сигнала. Синтезаторы частот позволяют сравнительно легко автоматизировать в приемнике установку частот гетеродинов с очень малым временем срабатывания. Наибольшие трудности вызывает быстрая автоматическая перестройка преселектора приемника, при которой происходит включение нужного поддиапазона и перестройка резонансных цепей.

Настройка резонансных цепей преселектора РПрУ. При построении РПрУ важную роль играет вид элемента, изменяющего частоту настройки его избирательных цепей. Возможные элементы настройки частоты таких цепей РПрУ показаны на рис. 16.1. На практике используют также сочетания перестраиваемых элементов.

Коммутирующие элементы должны иметь большое сопротивление контакта для коммутируемого тока в разомкнутом состоянии и малое сопротивление – в замкнутом состоянии, а также малой проходной емкостью между контактами в разомкнутом состоянии на рабочей частоте.

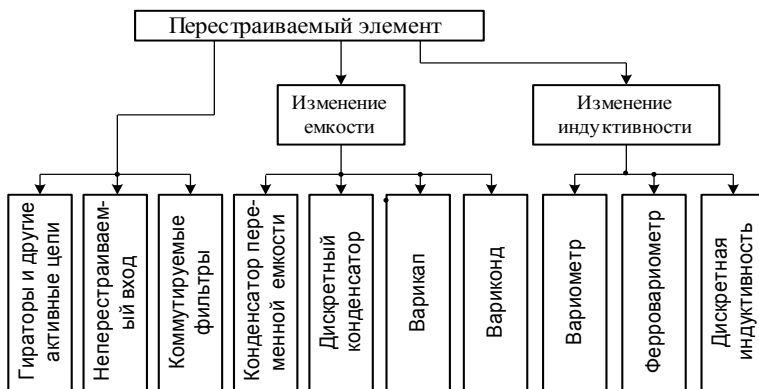


Рис. 16.1

Для коммутации в избирательных цепях применяются механические либо электронные коммутирующие элементы.

Механические контакты, используемые для коммутации в высокочастотных цепях РПРУ, обладают невысокой надежностью из-за окисления, загрязнения и механического износа; большой паразитной емкостью контактных пар; громоздкостью, а также требуют больших усилий при переключении. Устройство управления механическими контактами достаточно сложно, особенно в автоматизированных приемниках. При этом не удастся обеспечить малое время настройки. Все это ограничивает использование механических контактов в современных РПРУ.

Все большее применение для коммутации в высокочастотных цепях приемников находят герконы и полупроводниковые коммутационные диоды. Геркон представляет собой герметизированный магнитоуправляемый контакт – два плоских лепестка из магнитомягкого сплава, сваренные в противоположные концы стеклянной капсулы. Свободные концы лепестков перекрывают друг друга, контактирующие поверхности лепестков покрыты благородным металлом (золотом, родием), стеклянная капсула заполнена защитным газом или вакуумирована. Если капсулу ввести в магнитное поле, то лепестки намагничиваются и притягиваются друг к другу, при этом контакт замыкается. При ослаблении магнитного поля ниже определенного уровня лепестки размыкаются под действием сил упругости. Магнитное поле создается от помещенной вокруг капсулы электромагнитной катушки управления. Полупроводниковые коммутационные диоды с электронным управлением имеют большое сопротивление, малую емкость при напряжении обратного смещения и малое дифференциальное сопротивление при токе прямого смещения.

Неперестраиваемый вход и коммутируемые фильтры. При неперестраиваемом широкополосном преселекторе антенна, УРЧ и ПЧ приемника согласуются между собой с помощью широкополосных трансформаторов. Настройка приемника обеспечивается установкой частот гетеродина, при этом время настройки минимально.

В профессиональных РПрУ ДКМ-диапазона широко используется фильтровой способ настройки приемников, при котором весь диапазон перекрывается рядом неперестраиваемых фильтров с запасом по взаимному перекрытию. Коммутируются фильтры цепью управления; число фильтров зависит в основном от требований к избирательности и ограничивается сложностью цепи управления.

Настройка изменением емкости. При емкостной настройке резонансных цепей используются конденсатор переменной емкости (КПЕ) с воздушным или пленочным диэлектриком, дискретный конденсатор, варикап. Широкое применение КПЕ обусловлено рядом его достоинств, таких как большое перекрытие по емкости, высокая добротность и линейность контура с КПЕ. К недостаткам КПЕ можно отнести большие габариты узла настройки и ограниченное из-за сложности конструкции число синхронно перестраиваемых на высокой частоте контуров, невысокую надежность и, что существенно, значительное время настройки.

Дискретный конденсатор представляет собой магазин конденсаторов постоянной емкости с последовательно-параллельным включением групп. Используя дискретные конденсаторы вместо КПЕ, можно значительно снизить время настройки, которое определяется в основном временем срабатывания схемы управления и коммутирующих элементов. Применяют также дискретные конденсаторы в сочетании с дискретными катушками индуктивности. К недостаткам дискретных конденсаторов можно отнести ограниченность числа настроек, а также усложнение коммутирующих цепей. На практике стремятся применять элементы с малыми активными потерями и малой проходной емкостью. Обычно переключение отдельных конденсаторов проводится с помощью герконов или коммутационных полупроводниковых диодов, что позволяет использовать для настройки РПрУ компьютерную технику.

К достоинствам электронной настройки с помощью варикапа можно отнести: его малые габариты и массу; малую инерционность изменения емкости варикапа, сводящую к минимуму время настройки; малую мощность источника управляющего напряжения, определяющую экономичность такого способа настройки; сравнительно высокую стабильность параметров варикапа при изменении температуры окружающей среды, а также нечувствительность к вибрациям: большой реализуемый коэффици-

ент перекрытия емкости. При варикапной настройке сравнительно просто осуществляется увеличение числа одновременно перестраиваемых колебательных контуров.

Одним из основных недостатков данной настройки является значительная нелинейность варикапа, особенно заметная при больших сигналах и малых смещениях, что приводит к ухудшению избирательности приемника. Уменьшение нелинейных эффектов достигают за счет увеличения минимального смещения на варикапе и включения в емкостную ветвь контура дополнительного линейного конденсатора, что, однако, снижает коэффициент перекрытия диапазона. От последнего недостатка можно избавиться при встречно-последовательном включении двух варикапов (рис. 16.2): благодаря взаимной компенсации четных гармоник тока существенно снижаются нелинейные эффекты. При этом требуется строгая идентичность варикапов. При варикапной настройке необходимо обеспечить высокую стабильность источника управляющего напряжения.

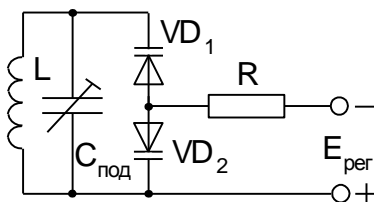


Рис. 16.2

Настройка при изменении индуктивности. Такая настройка осуществляется вариометром или дискретной катушкой индуктивности. При использовании вариометра в конструкции предусматривается механическое перемещение сердечника внутри каркаса катушки либо замыкание части витков с помощью токосъемника. Переменная индуктивность обеспечивает достаточно большой коэффициент перекрытия (до 5). Однако при перестройке изменяется добротность катушки, низка температурная стабильность параметров, настроечный механизм конструктивно сложен и имеет большие габариты, ограничено число синхронно перестраиваемых контуров, невысока устойчивость к механическим воздействиям. Использование дискретной катушки индуктивности позволяет применять электронный способ настройки. По свойствам такая настройка аналогична настройке дискретным конденсатором, однако при прочих равных условиях эта система настройки более громоздка.

Переключение фильтров ВЦ и поддиапазонов. В приемниках используется в основном два вида настройки резонансных цепей преселектора: фильтровая и фиксированная (в некоторых РПрУ сочетают эти виды настройки). При фильтровой настройке преселектора все сводится к коммутации фильтра, в полосе пропускания которого находится частота принимаемого сигнала. При фиксированной настройке диапазон частот, как правило, разбивается на ряд поддиапазонов и процесс настройки начинается с включения требуемого поддиапазона с последующей настройкой в его пределах избирательных цепей преселектора на частоту сигнала. При этом возможна плавная или дискретная перестройка цепей.

Переключение фильтров ВЦ и поддиапазонов в РПрУ с автоматической настройкой состоит из двух операций: 1) выработка блоком управления сигнала управления для цепи переключения после набора на передней панели приемника значения требуемой частоты принимаемого сигнала, что осуществляют с помощью клавишного поля (тастатуры), либо специальных переключателей; 2) коммутация избирательных цепей или их реактивных элементов. При ручной настройке требуемый поддиапазон коммутируется нажатием (переключением) соответствующего контакта на передней панели приемника.

Автоматическая настройка РПрУ. Для РПрУ характерна автоматизация процессов настройки; при этом предусматривается возможность как местного, так и дистанционного управления. Во многих приёмниках реализуется программное управление. Цепь автоматической настройки приёмника на рабочую частоту должна обеспечить переключение всех необходимых элементов при переходе с одной частоты на другую, а также подстройку этих элементов при воздействии дестабилизирующих факторов для обеспечения требуемой точности. После набора нужного значения частоты на тастатуре в ПК подаётся специальный управляющий сигнал, свидетельствующий о начале настройки. В процессе настройки выбирается поддиапазон, устанавливаются необходимые частоты гетеродина и осуществляется перестройка резонансных цепей в пределах выбранного поддиапазона. После окончания настройки вырабатывается специальный сигнал, свидетельствующий о готовности РПрУ к приёму.

Широкое применение нашли системы с одновременной перестройкой резонансных цепей преселектора и гетеродина. Предположим, что в приемнике применено двойное преобразование частоты (рис. 16.3), что обуславливает наличие в его радиотракте двух преобразователей частоты (ПЧ1 и ПЧ2). При смене частоты приема цепь управления (ЦУ) включает цепь настройки (ЦН), обеспечивающую возвратно-поступательную сопряженную перестройку резонансных цепей преселектора и гетеродина

(Г). Сопряженность перестройки отражена на рис. 16.3 штриховой линией. Напряжение с частотой $f_{Г1}$ поступает на ПЧ приемника и на блок преобразования частоты (БПЧ) гетеродина, на который одновременно поступают частоты от СЧ, изменяющиеся в зависимости от значения частоты сигнала. Перестройка гетеродина ведется до тех пор, пока частота напряжения на выходе БПЧ не попадет в полосу пропускания фильтра компенсации (ФК), настроенного на вторую гетеродинную частоту $f_{Г2}$; при перестройке приемника частота $f_{Г2}$ постоянна. Начиная с этого момента происходит переключение РПрУ из режима поиска в режим частотной автоподстройки (цепь ЧАПЧ), которая заканчивается, как только уровень сигнала управления с выхода дискриминатора ЧД станет меньше зоны нечувствительности.

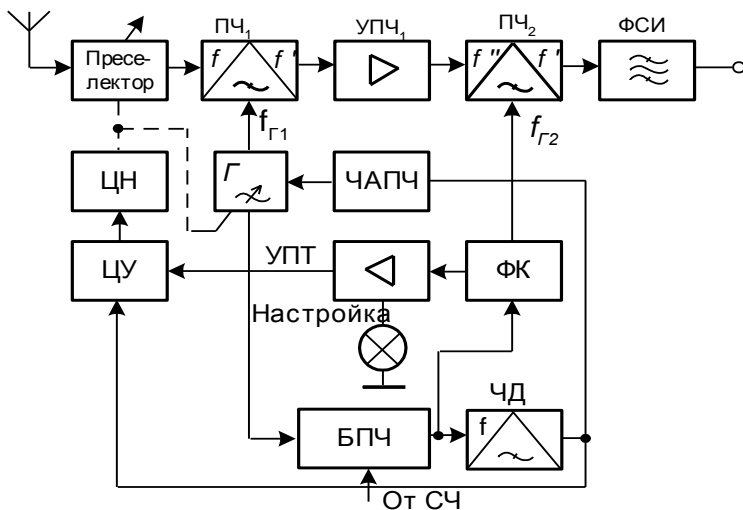


Рис. 16.3

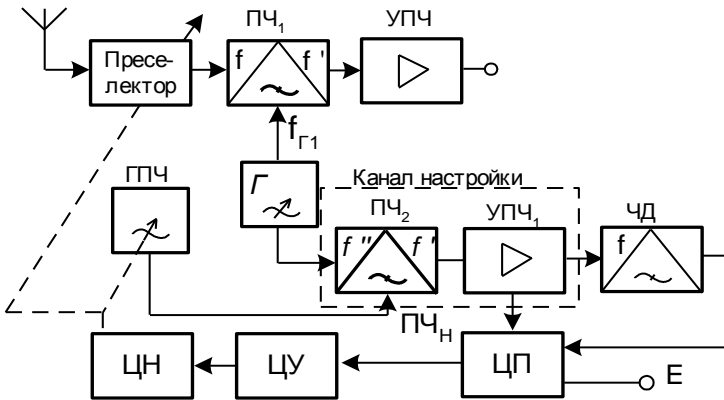


Рис. 16.4

В системе со вспомогательным каналом настройки (рис. 16.4) предусматривается плавно перестраиваемый вспомогательный генератор переменной частоты (ГПЧ), имитирующий принимаемый сигнал. Напряжение с выхода ГПЧ, контуры которого сопряжены с резонансными контурами преселектора, подается на преобразователь ПЧ_н канала настройки. Точная настройка обеспечивается при совпадении частоты напряжения с выхода ГПЧ после преобразования в ПЧ_н с номинальным значением промежуточной частоты. Напряжение последней с выхода УПЧ канала настройки подается на цепь переключения (ЦП), которая с помощью цепи управления (ЦУ) и цепи настройки (ЦН) переводит приемник из режима поиска в режим подстройки. Напряжение подстройки снимается с выхода частотного детектора (ЧД), настроенного на промежуточную частоту канала настройки приемника, на выходе ЧД создается напряжение ошибки, обуславливающее дальнейшую работу цепи до точной настройки, при которой ошибка устраняется.

При точной настройке снимается питание с ГПЧ и включается основной канал приема. Наличие вспомогательного канала настройки обязательно, поскольку напряжение от ГПЧ вводится совместно с напряжением первого гетеродина в ПЧ радиотракта приемника, а в качестве канала настройки может использоваться радиотракт. Недостатками такого метода являются сопровождающий настройку сдвиг резонанса из-за погрешности сопряжения между резонансными контурами преселектора и регулируемого генератора, а также ограничения, накладываемые на скорость перестройки контуров генератора и преселектора промежуточной частоты.

Устройство со вспомогательным каналом настройки можно реализовать электронным способом.

Некоторые недостатки устройства со вспомогательным каналом устраняются при введении в усилительный тракт пилот-сигнала. Однако это может привести к появлению дополнительных помех в настраиваемом приемнике. Устранить данный недостаток можно, используя кратковременное периодическое включение пилот-сигнала, снизив его энергию ниже уровня собственных шумов усилительного тракта (УТ), выделяя сигнал на выходе статистическими методами. При методе настройки с использованием пилот-сигнала на вход приемника подается напряжение с частотой принимаемого сигнала, получаемое преобразованием частоты первого гетеродина. Резонансные контуры преселектора перестраиваются до тех пор, пока напряжение на выходе тракта промежуточной частоты радиотракта РПрУ не станет максимальным. Возможная структурная схема настройки с использованием пилот-сигнала показана на рис. 16.5.

Колебания гетеродина с частотой f_r преобразуются в преобразователе канала настройки ПЧ_н в пилот-сигнал с частотой принимаемого сигнала. Команда на перестройку подается в цепь переключения (ЦП), которая обеспечивает подачу пилот-сигнала на вход приемника и включение цепи настройки (ЦН), перестраивающей резонансные цепи преселектора. При точной настройке преселектора на принимаемую частоту на выходе тракта промежуточной частоты появляется сигнал, который через ЦП включает ЦН. Одновременно с входа приемника снимается пилот-сигнал; цепи автоматической настройки блокируются до поступления новой команды на перестройку. Цепь ЦН обеспечивает перестройку преселектора в сторону повышения частоты, что предотвращает его настройку на зеркальную частоту. Однако в таком устройстве отсутствует непрерывное слежение за точностью настройки.

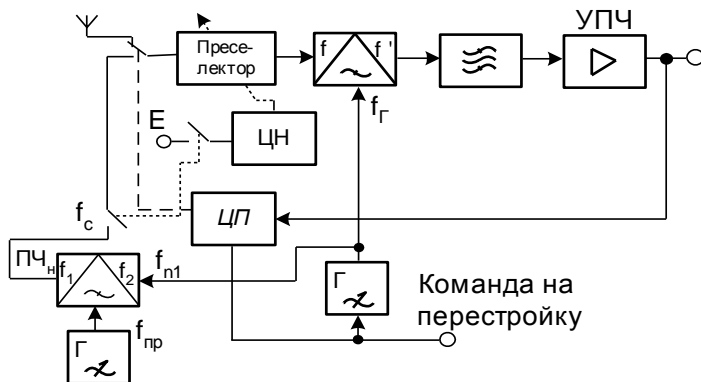


Рис. 16.5

17. РЕГУЛИРОВКА ПОЛОСЫ ПРОПУСКАНИЯ

Регулировку полосы пропускания чаще всего применяют в профессиональных РПрУ, предназначенных для приема непрерывных и дискретных сигналов. Требуемая полоса РПрУ определяется видом модуляции (спектром) сигнала. Даже при приеме одного и того же сигнала иногда целесообразно менять полосу РПрУ для реализации необходимой помехоустойчивости и избирательности. При больших сигналах помехи менее опасны и полосу можно расширять, достигая повышения качества воспроизведения (верхних воспроизводимых частот). При слабых сигналах (малой напряженности поля) для снижения влияния помех полосу уменьшают. Различают плавное и ступенчатое регулирование, с механическим или электронным, ручным или автоматическим управлением. Обычно регулируют полосу УПЧ. Например, для УПЧ с двухконтурным фильтром полосу можно менять, изменяя обобщенный коэффициент связи $\eta = kQ_3$. Можно получить выражение для полосы пропускания на любом относительном уровне отсчета γ . Так, при $\eta \geq 1$

$$2\Delta f_{\eta \geq 1} = f_0 \sqrt{k^2 - \frac{1}{Q_3^2} + 2\frac{k}{Q_3} \sqrt{\frac{1}{\gamma^2} - 1}}, \quad (17.1)$$

где k – коэффициент связи;

Q_{Σ} – эквивалентная добротность контура.

Для обеспечения слабой зависимости усиления при изменении полосы значения k и Q_{Σ} изменяют вблизи $\eta = kQ_{\Sigma} \approx 1$. Обычно изменяют положение катушек или емкость конденсатора внешнеемкостной связи.

Автоматическую регулировку полосы (АРП) применяют редко, так как это обычно дорого и сложно. Упрощение и удешевление схем АРП идет по пути применения варикапов и электронно управляемых сопротивлений. Регулировка полосы УПЧ приемников применялась уже в ряде старых бытовых отечественных РПрУ, например Нева.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что общего между ЧАПЧ и ФАПЧ и чем отличаются эти системы друг от друга?

2. Объясните работу следящих ФАПЧ и ЧАПЧ, используемых для стабилизации частоты гетеродина.

3. Изобразите статические характеристики ЧД, ФД, и УЭ и объясните, каким образом они снимаются.

4. Назовите режимы работы ЧАПЧ и ФАПЧ и показатели, которыми эти режимы характеризуются.

5. Какие характеристики ЧАПЧ и ФАПЧ и каким образом можно найти с помощью СХ ЧД, ФД и ЦЭ?

6. Почему полоса захвата ЧАПЧ не зависит от параметров ФНЧ, а в ФАПЧ указанная полоса жестко связана с инерционностью ФНЧ?

7. Каковы структурные схемы автоматической аналоговой электронной настройки приёмника?

8. Какова структурная схема автоматической настройки приёмника?

Заключение

В третьей части пособия рассмотрены особенности ручных и автоматических регулировок в устройствах приема и обработки сигналов. Показано, что в современном приемнике при производстве выполняются технологические регулировки, обеспечивающие реализацию заданных параметров. При эксплуатации приемника выполняются эксплуатационные регулировки, обеспечивающие как настройку на конкретную станцию, так и обеспечение максимальной чувствительности, наилучших качественных параметров звучания и т.д. Важнейшими в любом радиоприемнике являются автоматические регулировки к которым в первую очередь относятся автоматическая регулировка усиления и автоматическая подстройка частоты, которая в сочетании с современными цифровыми методами настройки приемников обеспечивает не только быструю и точную, но и автоматическую настройку приемника по заданной временной программе.

Проанализированы особенности реализации систем АРУ в приемниках непрерывных и импульсных сигналов, сформулированы требования к параметрам фильтров систем АРУ, описаны варианты схемной реализации регуляторов систем АРУ. Описаны системы АРУ специального назначения, логарифмические усилители.

Современные приемники содержат, как правило, несколько систем АПЧ в своем составе, так телевизионный приемник по системе NTSC содержит кольцо ЧАПЧ в блоке синтеза и выбора телевизионных каналов, две и системы ФАПЧ: в цепях строчной и цветовой синхронизации. В пособии проведено рассмотрение систем АПЧ, также области их применения.

В пособии описаны применяемые на практике способы настройки диапазонных приемников, проанализированы особенности ручной и автоматической настройки.

Описаны особенности регулировки полосы пропускания, применение которой обычно оправдано в профессиональных радиоприемниках и в высококачественных радиовещательных радиоприемниках. Перспективно применение автоматической регулировки полосы приема (АРП), которую обычно выполняют в УПЧ.

Литература

1. Плаксиенко В.С. Устройства приема и обработки сигналов. Учебное пособие. Таганрог: Изд-во ТРТУ 1999. 108 с.
2. Плаксиенко В.С. Устройства приема и обработки сигналов. Учебное пособие. Часть 2. Таганрог: Изд-во ТРТУ 2000. 1128 с.
3. Радиоприемные устройства: Учебник для вузов/ Н.Н. Фомин, Н.Н. Буга, О.В. Головин и др.; Под ред. Н.Н. Фомина. М.: Радио и связь, 1996. 512 с.
4. Буга Н.Н., Фалько А.И., Чистяков Н.Н. Радиоприемные устройства. М.: Радио и связь, 1986. 320 с.
5. Радиоприемные устройства / Под. ред. А.П. Жуковского. М.: Высшая школа, 1989. 342 с.
6. Радиоприемные устройства / Под. ред. Л.Г. Барулина. М.: Радио и связь, 1984. 271 с.
7. Радиоприемные устройства / Под. ред. А.Г. Зюко. М.: Связь, 1975. 400 с.
8. Сборник задач и упражнений по курсу “Радиоприемные устройства”/ Под ред. В.И. Сифорова. М.: Радио и связь, 1984. 224 с.
9. Белкин М.К. и др. Справочник по учебному проектированию приемно-усилительных устройств. Киев: Высшая школа, 1988. 472 с.
10. Палшков В.В. Радиоприемные устройства. М.: Радио и связь, 1984. 392 с.
11. Поляков В.Т. Радиовещательные ЧМ приемники с фазовой автоподстройкой. М.: Радио и связь, 1983. 96 с.
12. Первачев С.В., Валуев А.А., Чиликин В.М. Статистическая динамика радиотехнических следящих систем. М.: Сов. радио, 1973. 488 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

11. ВИДЫ РЕГУЛИРОВОК В РАДИОПРИЁМНЫХ УСТРОЙСТВАХ	3
11.1. Общие сведения	3
12. АВТОМАТИЧЕСКАЯ РЕГУЛИРОВКА УСИЛЕНИЯ.....	3
12.1. Общие сведения	3
12.2. Основные параметры.....	5
12.3. Основные характеристики систем АРУ	7
12.4. Структурные схемы систем АРУ.....	10
12.5. Назначение фильтра в цепи АРУ.....	14
12.6. Переходный процесс в системе с обратной АРУ	15
12.7. Искажения АМ-сигнала в усилителе с АРУ	17
12.8. Схемы регуляторов систем АРУ	19
12.9. Системы АРУ специального назначения.....	24
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.....	25
13. СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ПОДСТРОЙКИ ЧАСТОТЫ (АПЧ).....	26
13.1. Основные типы систем АПЧ.....	26
14. СИСТЕМА ЧАПЧ.....	29
15. СИСТЕМА ФАПЧ	33
15.1. Принцип действия.....	33
15.2. Основное уравнения автономной системы ФАПЧ	36
15.3. Области применения систем ФАПЧ.....	39
16. НАСТРОЙКА ДИАПАЗОННЫХ РАДИОПРИЕМНИКОВ НА СТАНЦИЮ	41
17. РЕГУЛИРОВКА ПОЛОСЫ ПРОПУСКАНИЯ	49
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.....	50
Заключение.....	51
Литература.....	52

Плаксиенко Владимир Сергеевич
Плаксиенко Нина Евгеньевна

УСТРОЙСТВА ПРИЕМА И ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ

Учебное пособие

Часть 3

Ответственный за выпуск Плаксиенко В.С.

Редактор Маныч Э.И.

Корректор Проценко И.А.

ЛР №020565 от 23 июня 1997 г. Подписано к печати 11. 2001 г.
Формат 60x80 1/16 Бумага офсетная
Офсетная печать. Усл. п. л. 3,2. Уч.-изд. л. 3,1.
Заказ № Тираж 150 экз.
“С”

Издательство Таганрогского радиотехнического университета
ГСП 17А, Таганрог, 28, Некрасовский, 44
Типография Таганрогского радиотехнического университета
ГСП 17А, Таганрог, 28, Энгельса, 1