

УДК 621.396.66

**ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ РЕГУЛИРОВКИ  
УСИЛЕНИЯ, И БЛАГОДАря ЧЕМу ОНА ТАК РАБОТАЕТ  
FEATURES OF AUTOMATIC GAIN CONTROL AND WHY IT WORKS SO**

М.С. Сергеев, А.В. Ротько

Научный руководитель – Г.А. Михальцевич, старший преподаватель  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

M. Sergeev, A. Ratsko

Supervisor – G. Mikhaltsevich, Senior Lecturer  
Belarusian national technical university, Minsk

**Аннотация:** В данной работе рассматривается принцип работы автоматической регулировки усиления, назначение автоматической подстройки частоты, даны описания основных систем автоматической регулировки усиления.

**Abstract:** This work discusses the operating principle of automatic gain control, the purpose of automatic frequency control, and describes the main systems of automatic gain control systems.

**Ключевые слова:** автоматическая регулировка усиления (APУ), система APУ обратным регулированием, система APУ с прямым регулированием, система APУ со смешанным регулированием, инерционные системы APУ, автоматическая подстройка частоты (АПЧ), автоматическая подстройка частоты гетеродина (АПЧГ).

**Key words:** automatic gain control (AGC), reverse control AGC system, direct control AGC system, mixed control AGC system, inertial AGC systems, automatic frequency control (AFC), automatic local oscillator frequency control (AFC).

**Введение**

Автоматическая регулировка усиления (APУ) используется для поддержания определённого уровня сигнала на выходе усилителя промежуточной частоты (ПЧ). Уровень сигнала должен быть достаточно высок и стабилен, чтобы иметь сигнал ПЧ от радиостанций передаваемый при разной излучаемой мощности, на разных расстояниях и в меняющихся условиях распространения радиосигнала.

**Основная часть**

Принцип работы системы APУ заключается в автоматическом изменении коэффициентов усиления (коэффициентов передачи) отдельных каскадов приемника в ответ на изменения уровня принимаемого сигнала. Системы APУ должны включать в себя регулируемые блоки усиления и цепи управления. Схема управления формирует управляющее напряжение, воздействующее на регулируемый элемент тракта усиления. Обычно он включает в себя выпрямитель, амплитудный детектор (АД) и фильтр нижних частот (ФНЧ).

При минимальном входном напряжении в тракте усиления коэффициент усиления должен быть максимальным, чтобы обеспечить на входе детектора напряжение, необходимое для нормальной его работы. По мере увеличения

входного напряжения в тракте усиления коэффициент усиления должен уменьшаться до значения, обеспечивающего величину сигнала, не превышающего линейный динамический диапазон каскада усиления.

В зависимости от типа функционального назначения регулируемого каскада приемника и источника управляющего напряжения различают три основные системы АРУ:

- с обратным регулированием;
- с прямым регулированием;
- со смешанным регулированием.

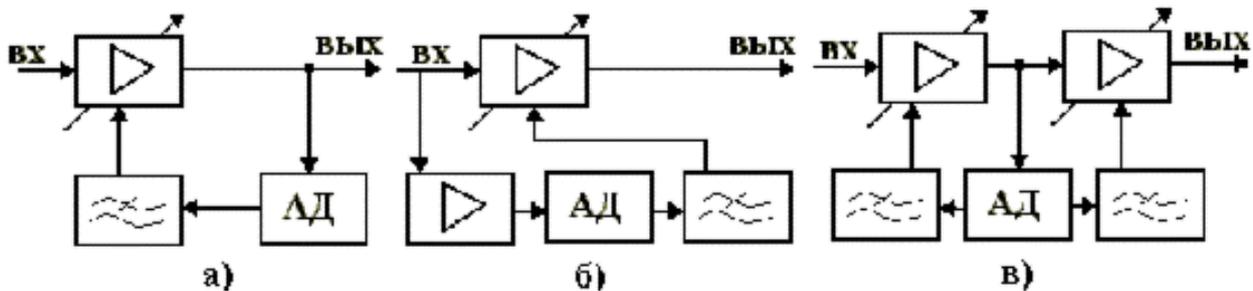


Рисунок 1 – Структурные схемы систем АРУ

В системе управления с обратной связью управляющее напряжение определяется уровнем напряжения сигнала на выходе. Эта система АРУ является самой простой и способна обеспечить почти идеальную амплитудную характеристику приемника.

В системах АРУ с прямым управлением управляющее напряжение определяется напряжением входного сигнала и может быть относительно большим. Перерегулирование происходит по мере увеличения сигнала на входе. То есть по мере дальнейшего увеличения напряжения сигнала на входе выходное напряжение уменьшается. Такая система АРУ требует дополнительного усилителя с достаточно высоким коэффициентом усиления.

Прямое управление также может использоваться в смешанных системах управления, где основным компонентом является обратное управление. Системы АРУ могут быть с усилением выходного сигнала или без него.

Фактически наиболее распространенными на практике являются инерционные системы АРУ с обратной связью, которые включают в себя следующие основные функциональные узлы:

- детектор, выпрямляющий выходной сигнал тракта ПЧ и обеспечивающий возможность формирования управляющего напряжения;
- дополнительные усилители для увеличения управляющего напряжения и повышения эффективности АРУ по мере необходимости;
- цепи, обеспечивающие пороговое напряжение для регулирования задержки;
- фильтры нижних частот, подавляющие высокочастотные составляющие сигналов, в цепях формирования регулирующих напряжений.

Изучив и сравнив структурные схемы систем АРУ с обратной связью, мы обнаружили следующее.

Простейшей схемой является система АРУ без усиления с совмещенным детектированием, содержащая только цепи передачи управляющего напряжения на регулирующий усилитель (РУ) (тракт промежуточной частоты супергетеродинного приемника).

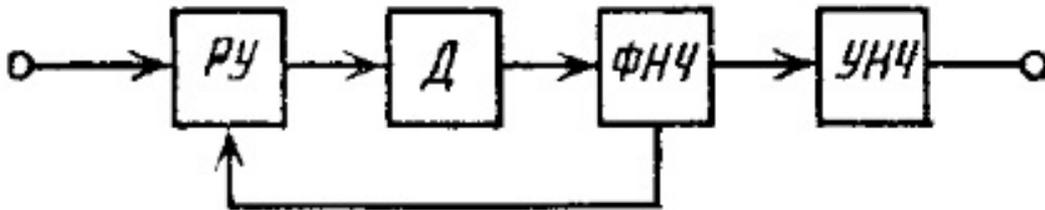


Рисунок 2 – Структурная схема систем АРУ без усиления с совмещенным детектированием

Управление в этом случае осуществляется модулированными колебаниями несущей частоты, которые выделяются и фильтруются ФНЧ в детекторе (Д) радиоприемника.

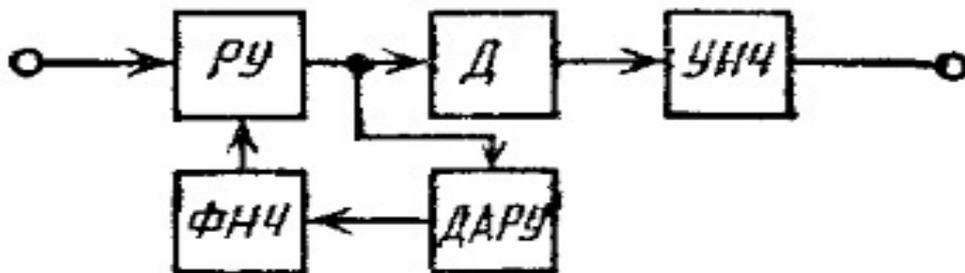


Рисунок 3 – Структурная схема систем АРУ без усиления с отдельным детектированием

Чтобы повысить точность работы и расширить динамический диапазон, системы АРУ могут включать в себя каскады усиления переменного или постоянного тока.

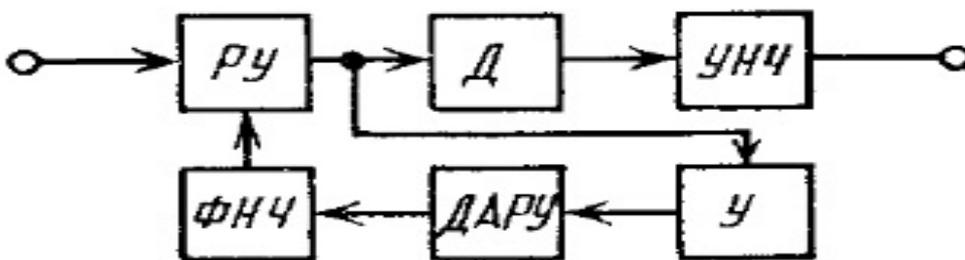


Рисунок 4 – Структурная схема систем АРУ с усилением и отдельным детектированием и усилением по переменному току

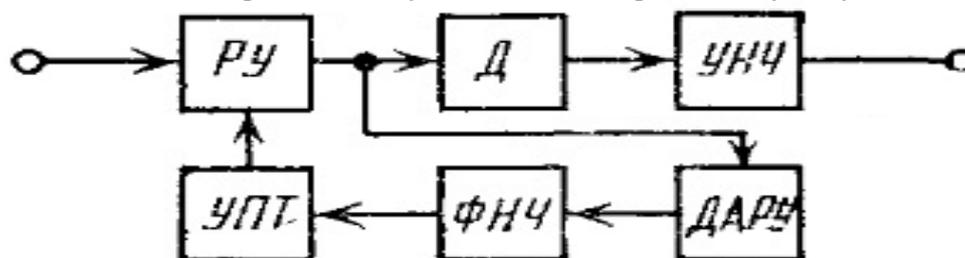
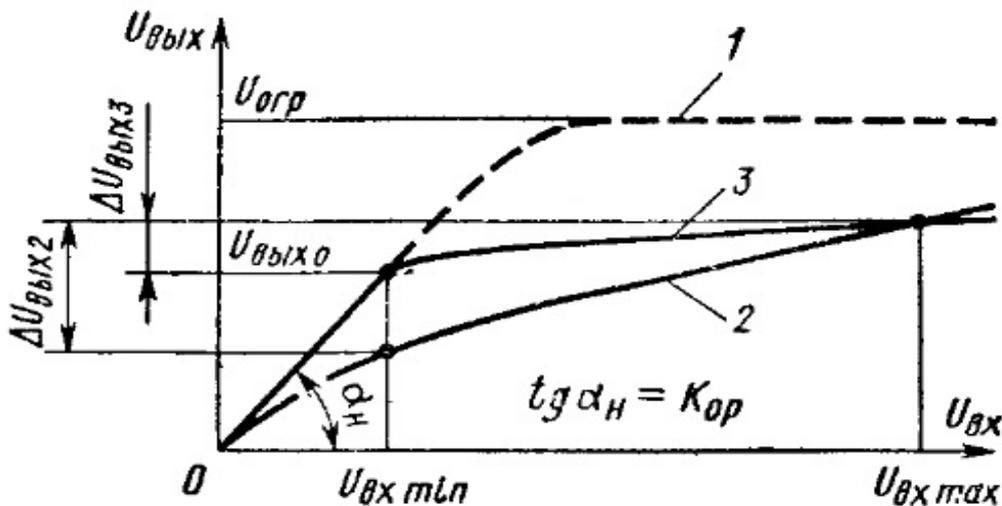


Рисунок 5 – Структурная схема систем АРУ с усилением и отдельным детектированием и усилением по постоянному току

Системы АРУ бывают АРУ с задержкой и АРУ без задержки. В системе АРУ с задержкой регулировки усиления срабатывает только при определенном уровне входного сигнала, так называемом пороге срабатывания системы АРУ, тогда как слабые сигналы не ослабляются схемой АРУ и проходят дальше в УНЧ. В идеальном режиме работы схемы АРУ с задержкой напряжение на входе усилителя постоянно (пунктирная линия). Без АРУ система усиления приёмника линейна. Чтобы принимать амплитудно-модулированные сигналы (АМ) без искажений и сократить время установления, при быстром изменении входного сигнала, следует выбрать более низкое напряжение задержки, чем обычно.



1 – приемников без АРУ, 2 – приемников с АРУ без задержки, 3 – приемников с АРУ с задержкой

Рисунок 6 – Амплитудные характеристики

Управляющей характеристикой системы АРУ является зависимость коэффициента усиления настроенного приемника от управляющего напряжения:

$$K_p = f(U_{рег}) \tag{1}$$

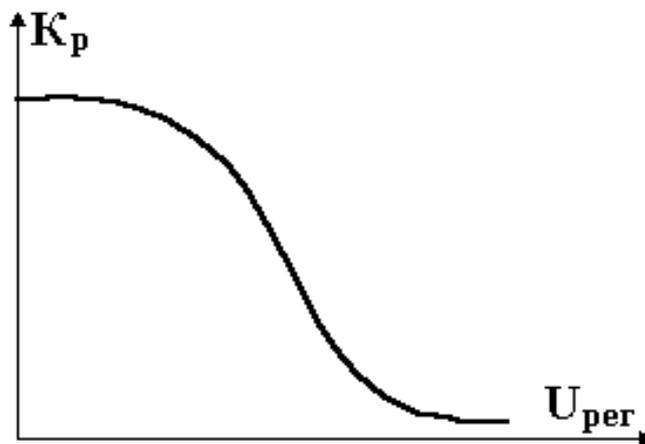


Рисунок 7 – Регулировочная характеристика АРУ

Системы АРУ с задержкой чаще всего используются в современных приемниках. При использовании АРУ с задержкой регулировка усиления начинается только тогда, когда сигнал превышает определенное минимальное

значение, называемое напряжением задержки, которое соответствует выбранному порогу срабатывания.

АРУ без задержек не вводит порог срабатывания и обеспечивает контроль при наличии сигналов любой величины.

В транзисторных радиоприемниках используются различные методы регулирования усиления.

Наиболее распространенным на практике методом управления является изменение режима работы путем подачи управляющего напряжения (УН) на базу биполярного транзистора постоянного тока. По мере уменьшения управляющего напряжения наклон и коэффициент усиления каскада уменьшаются. Однако при большом значении управляющего напряжения влияние нелинейности транзистора возрастает и вносит нелинейные искажения в регулируемый каскад.

В каскаде полевого транзистора управляющее напряжение может быть подано на второй затвор двух затворного транзистора. Потенциал второго затвора управляет величиной крутизны (аналогично каскаду электровакуумных устройств).

Можно использовать дифференциальные усилители для создания управляющих токов.

Также можно управлять коэффициентом усиления каскада усилителя, используя метод «регулируемого аттенюатора».

В таком каскаде органом управления является полевой транзистор (цепь сток-исток), работающий в режиме переменного управляемого сопротивления. В пределах десятков милливольт изменение сопротивления линейно.

#### Автоматическая подстройка частоты (АПЧ)

В современных супергетеродинных радиоприемных устройствах различного назначения предусматривается автоматическая регулировка (подстройка) частоты гетеродина.

Системы АПЧ приемного гетеродина чаще всего используются для уменьшения отклонений ПЧ от номинальных значений из-за нестабильности частоты передатчика и гетеродина. Использование таких систем означает, что существуют некоторые нестабильности частот передатчика и гетеродина. Выбранная полоса пропускания приемника учитывает эти нестабильности. Применение таких систем целесообразно лишь при значительных различиях частот передатчика и гетеродина. АПЧ также используется для синхронизации фильтров, отслеживающих сигналы с медленно меняющейся частотой или фазой, демодуляторов для сигналов ЧМ и ФМ, а также специальных гетеродинов в приемниках, использующих методы когерентного приема.

Принцип работы системы АПЧ заключается в автоматическом измерении отклонения ПЧ приемника от ее номинального значения. Это отклонение обычно вызвано нестабильностью частоты гетеродина или частоты подстроенного гетеродина (ПГ) так, чтобы указанное отклонение не превышало определенного заданного значения.

В зависимости от цели изменения частоты подстраиваемого гетеродина системы АПЧГ делятся на две группы:

- система АПЧГ для стабилизации частоты гетеродина;
- система АПЧГ для стабилизации промежуточной частоты приемника.

В системе АПЧГ первого типа, стабилизирующей частоту гетеродина супергетеродинного приемника, осуществляется подстройка частоты гетеродина под эталонную частоту.

Обычно в качестве источника опорной частоты используется генератор эталонной частоты (ГЭЧ) с кварцевой стабилизацией частоты. В измерительном элементе (ИЕ) сравниваются колебания регулируемого гетеродина  $\Gamma$  и генератора эталонной частоты ГЭЧ. Измерительный элемент (ИЭ) представляет собой фазовый детектор. При наличии отклонения частоты между  $\Gamma$  и ГЭЧ схема измерительного элемента формирует управляющее напряжение. После фильтрации нижних частот это напряжение усиливается усилителем постоянного тока (УПТ). УПТ воздействует на ВЧ-регулятор частоты гетеродина  $\Gamma$ . Эту задачу решает фильтр нижних частот, а также схема автоматической регулировки усиления, которая заключается в подавлении изменений напряжения, вызванных модуляцией несущей частоты передаваемого сигнала данных.

Этот метод регулировки частоты основан на регулировке фазы двух колебаний с помощью фазового детектора, поэтому этот метод называется «фазовой автоподстройкой частоты» (ФАПЧ). Во втором типе системы АПЧГ промежуточная частота тракта промежуточной частоты приемника стабилизируется. Частоты сигнала (передатчика)  $f_c$  и гетеродина  $f_r$  могут изменяться независимо друг от друга по разным причинам. Такая система УПЧ компенсирует подобные изменения и обеспечивает оптимальный режим работы усилителя, за счет стабилизации значения промежуточной частоты тракта ПЧ.

В системе ЧАПЧ опорной частотой считается промежуточная рабочая частота усилителя и (также) резонансная частота цепи, входящей в состав частного детектора ЧД. В этом случае он становится измерительным элементом. При отклонении частоты  $f_c$  сигнала (передатчика) и гетеродина  $f_r$  от значений, соответствующих точной настройке на промежуточную частоту, изменяется значение частоты сигнала, формируемого смесителем. Это приводит к тому, что на выходе частотного детектора ЧД появляется напряжение, соответствующее величине отклонения частоты от опорного значения.

Напряжение с выхода фильтра нижних частот, назначение которого описано выше, поступает в усилитель постоянного тока УПТ и далее на управляющую цепь регулятора частоты (РЧ). Под воздействием управляющего сигнала РЧ частота гетеродина изменяется в направлении, при котором отклонение частоты уменьшается.

Данный метод подстройки частоты основан на сопоставлении двух частот в частотном детекторе. Поэтому такой метод носит название «частотной автоподстройки частоты (ЧАПЧ)».

### **Заключение**

АРУ используется для расширения динамического диапазона радиоприемника и удержания изменений уровня выходного напряжения ПЧ в

определенных пределах. Это исключает перегрузку каскада при приеме сильных сигналов, предотвращает возникновение недопустимых нелинейных искажений и в то же время обеспечивает нормальную работу оконечного оборудования приемника и позволяет оператору освободиться от ручной регулировки усиления.

Благодаря простоте АРУ используется практически во всех радиоприемниках. Автоматическая регулировка частоты (АРЧ) используется для обеспечения того, чтобы спектр принимаемого сигнала расположен в полосе пропускания приемника, когда частота передачи или настройки схемы приемника изменяются по различным причинам. АРЧ используется практически во всех типах профессионального и вещательного приемного оборудования.

### Литература

1. Буга, Н.Н. Радиоприемные устройства. Учеб. для высших учебных заведений / Н.Н Буга, А.И. Фалько, Н.И. Чистяков – М.: Радио и связь, 1986. – С. 170-198.
2. Белкин, М.К. Справочник по учебному проектированию приемно-усилительных устройств / М.К. Белкин – Киев: Выща школа, 1988. – С. 14-19.