

Тема №1. Теоретические основы построения систем вооружения зенитных ракетных войск

Занятие № 14. Принципы построения систем автоматического регулирования, используемых в системах вооружения ЗРВ.

Учебные вопросы

1. Системы автоматического регулирования радиопередающих устройств.
2. Системы автоматического регулирования радиоприемных устройств.

1. Системы автоматического регулирования радиопередающих устройств.

Система, в которой все рабочие и управленческие операции выполняются без непосредственного участия человека, называется *системой автоматического управления* (САУ). Если же часть операций выполняется людьми, то говорят об *автоматизированной системе управления* (АСУ).

Прикладная инженерная дисциплина, изучающая принципы построения и методы расчета систем автоматического управления, называется теорией автоматического управления.

Как любая отрасль науки и техники она имеет свои специфические определения, термины и законы. Рассмотрим некоторые из них, необходимые для понимания учебного материала.

В основу построения САУ положены общие принципы управления, реализация которых позволяет увязать заданный алгоритм функционирования с фактическим состоянием системы. К ним относятся:

- принцип управления по задающему воздействию;
- принцип управления путем компенсации возмущения (помехи);
- принцип управления с учетом обратной связи;
- принцип комбинированного управления.

Суть первого из них, называемого также принципом *разомкнутого управления*, состоит в том, что управляющий сигнал  $U(t)$  формируется путем функционального преобразования входного сигнала  $X(t)$  без учета значения сигнала на выходе системы:

$$U(t) = F[X(t)].$$

САУ, реализующая подобный принцип, называется *разомкнутой*.

При использовании второго принципа управляющий сигнал  $U(t)$  формируется с учетом возмущающего воздействия  $f(t)$ , то есть помехи. Этот принцип обеспечивает более гибкое управление, но применим лишь в том случае, когда помеху можно измерить. Специальное устройство, воспринимающее помеху, не только определяет ее параметры, но и формирует дополнительный сигнал, подаваемый на объект управления. Алгоритм управления в данном случае содержит информацию как о задающем, так и о возмущающем воздействии:

$$U(t) = F[X(t), f(t)].$$

Принцип управления по обратной связи обеспечивает формирование управляющего воздействия  $U(t)$  с учетом фактического значения выходного сигнала  $Y(t)$ , часть которого в виде контрольного сигнала  $Z(t)$  возвращается на вход системы. Его называют также принципом *замкнутого управления* или принципом *управления по замкнутому контуру*. Его алгоритм может быть представлен в следующем виде:

$$U(t) = F[X(t), Y(t)].$$

В САУ, реализующих подобный принцип, автоматическое управляющее устройство стремится ликвидировать все отклонения выходного сигнала  $Y(t)$  от желаемого значения независимо от причин, вызвавших эти отклонения, включая любые внешние помехи  $f(t)$ , а также изменения параметров самой системы.

Поэтому такие системы нашли широкое распространение в технике, а понятие об обратной связи является одним из основных в автоматике и кибернетике.

*Комбинированное управление* представляет собой сочетание принципов управления по разомкнутому и замкнутому циклам одновременно.

Классификация САУ осуществляется по наиболее важным их свойствам. Так, в зависимости от цели управления различают стабилизирующие, программные и следящие системы.

*Стабилизирующей* называется автоматическая система, алгоритм которой обеспечивает поддержание управляемой величины на постоянном уровне. Примерами могут служить регуляторы скорости, напряжения, температуры, самолетные автопилоты, системы автоматического управления частотой автогенераторов, автоматической регулировки усиления и др.

*Программной* называется автоматическая система, алгоритм которой изменяет управляемую величину в соответствии с заранее заданной функцией. Примерами являются различные тренажеры, станки с числовым программным управлением, системы слепой посадки самолетов, автономного управления полетом ракеты на начальном участке траектории и др.

*Следящей* называется автоматическая система, алгоритм которой изменяет выходной сигнал в зависимости от значения неизвестного заранее переменного сигнала на входе. На этом принципе построены системы автосопровождения целей по дальности, скорости и направлению, силовые следящие системы управления положением антенн и пусковых установок ракет, радиотехнические системы телеуправления и самонаведения ракет и т.д.

САУ, в которой управляющий сигнал  $U(t)$  вырабатывается только на основе внешних сигналов, называется системой с *разомкнутой цепью управления*.

Если же сигнал  $U(t)$  формируется с учетом как внешних, так и внутренних сигналов, то система называется *замкнутой*. В подобных системах управляющий сигнал чаще всего вырабатывается в результате сравнения выходной величины  $Y(t)$  с задающим сигналом  $X(t)$ :

$$U(t) = \varepsilon(t) = F[X(t) - Y(t)].$$

Такой способ управления называется *управлением по отклонению* (по ошибке, рассогласованию). Сами же системы называются системами автоматического регулирования (САР).

В зависимости от наличия или отсутствия ошибки в установившемся (статическом) режиме работы САУ подразделяются на *статические* и *астатические*.

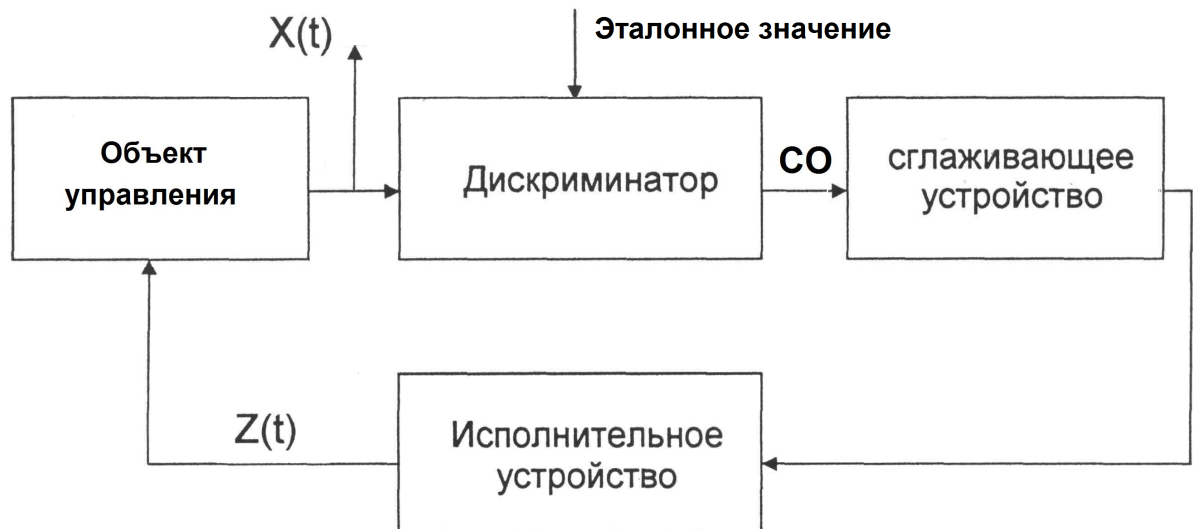


Рис. 1. Функциональная схема САР

Системы автоматического регулирования, используемые в РЛС, представляют собой замкнутые САР. Их основная задача обеспечить стабилизацию значения заданного параметра объекта управления: частоты генератора, коэффициента усиления усилителя, фазового сдвига в корреляционно-фильтровом канале.

В состав таких САР входят (рис.1):

- объект управления;
- дискриминатор, (измеряет ошибку между текущим значением контролируемого параметра и эталонным значением и формирует сигнал ошибки (СО));
- сглаживающее устройство (на основании измеренного значения СО формирует управляющее воздействие, для минимизации ошибки);

- исполнительное устройство (на основании управляющего воздействия осуществляет корректировку параметров объекта управления, до тех пор, пока сигнал ошибки не станет равен нулю).

В радиопередающих устройствах (РПУ) РЛС САР, как правило, предназначены для стабилизации частоты.

Рассмотрим САР РПУ на примере системы стабилизации частоты возбудителя доплеровской РЛС.

Объектом управления служит задающий генератор возбудителя, как правило, это отражательный клистрон малой мощности. Во всех доплеровских РЛС для повышения стабильности частоты возбудителя применяются термостаты. Термостатирование (поддержание стабильной температуры генераторного прибора и объемного резонатора) обеспечивает уменьшение уходов частоты, но не устраняет их полностью. Поэтому и строится отдельная система автоматической подстройки частоты (АПЧ).

Дискриминатором АПЧ служит частотный дискриминатор, сигнал ошибки которого прямо пропорционален разности между эталонной частотой и частотой возбудителя. Эталонная частота формируется, как правило, высокостабильным кварцевым генератором и цепочкой умножителей частоты. СО представляет собой уровень напряжения знак которого определяет направление отклонения частоты от номинала, а значение пропорционально величине отклонения.

Для перестройки частоты клистрона может использоваться, например, механическое изменение объема объемного резонатора, который служит узкополосным фильтром в возбудителе. В таком случае исполнительным устройством служит шаговый двигатель (т.е. электродвигатель который вместо постоянного кругового вращения ротора обеспечивает поворот ротора на строго определенный угол – шаг) механически связанный с поршнем в объемном резонаторе.

Роль сглаживающего устройства в такой системе очевидна – по значению СО оно должно сформировать управляющий сигнал для шагового двигателя, и формировать его до тех пор, пока СО не обратится в ноль.

Система АПЧ передатчика доплеровской РЛС полностью автоматическая, ее настройка проверяется в процессе планового технического обслуживания (например 1 раз в месяц).

## 2. Системы автоматического регулирования радиоприемных устройств.

Системы автоматического регулирования приемника позволяют обеспечить требуемую точность определения координат целей в пространстве.

Кроме того, системы автоматического регулирования позволяют в автоматическом режиме (без участия человека) поддерживать требуемые значения коэффициентов усиления и фазовых сдвигов в каналах.

Рассмотрим необходимость внедрения в радиоприемное устройство (РПрУ) РЛС САР. Для этого следует учесть, что точность измерения сигналов ошибок по всем измеряемым РЛС координатам напрямую зависит от настройки приемника. Количественно эту зависимость позволяет оценить пеленгационная характеристика.

Для малых угловых рассогласований ( $\varphi\Delta$ ) пеленгационная характеристика ССф выражается соотношением:

$$U_{CO\varphi\Delta} \approx K_{\varphi} \approx \varphi\Delta \cdot K_{ФД} \cdot (K_{\varphi}/K_{\Sigma}) \cdot U_0 \cdot \cos(\gamma_{\varphi} - \gamma_{\Sigma}) \varphi\Delta \cdot \mu.$$

где:  $K_{ФД}$  – коэффициент передачи ФД по напряжению;

$K_{\varphi}, K_{\Sigma}$  - коэффициент передачи по напряжению разностного и суммарного каналов;

$U_0$  – амплитуда сигнала опорного канала;

$\gamma_{\varphi} - \gamma_{\Sigma}$  - фазовые сдвиги в разностном и суммарном каналах;

$\mu$  - коэффициент, характеризующий суммарную диаграмму направленности антенны;

$\varphi\Delta$  - угол между направлением на цель и равносигнальным.

Точность измерения угловых координат существенно зависит от соотношения  $K_\varphi$  и  $K_\Sigma$ , стабильности амплитуды  $U_0$ , и разности электрических длин приемных каналов  $(\gamma_\varphi - \gamma_\Sigma)$ , которые в процессе функционирования могут меняться по случайному закону.

Для повышения точности измерения необходимо обеспечить:

равенство во времени коэффициентов передачи  $K_\varphi$  и  $K_\Sigma$ ,

стабильность  $U_0$ ,

равный фазовый сдвиг в каналах.

Аналогичные задачи возникают при обеспечении точности измерения Д. Дискриминационная характеристика ССД имеет вид

$$U_{\text{СОД}} \approx K_{\text{ФД}} \cdot (K_{\text{Д}}/K_{\Sigma}) \cdot U_0 \cdot \cos(\gamma_{\text{Д}} - \gamma_{\Sigma}) \Delta \cdot \text{Д}.$$

Для стабилизации указанных параметров в состав РПрУ введены системы автоматического регулирования:

АРУ – автоматической регулировки усиления ( $U_0$ );

АВУ – автоматического выравнивания усиления ( $K_\varphi = K_{\text{Д}} = K_\Sigma$ );

АРФ – автоматического регулирования фазы опорного сигнала ( $\gamma_{\text{Д}} = \gamma_\varphi = \gamma_\Sigma$ ).

АРУ, АВУ и АРФ построены по однотипным схемам, поэтому рассмотрим принцип их построения на примере АРУ.

Система АРУ предназначена представляет собой цифровую САР с астатизмом 1-го порядка.

Задача системы АРУ – стабилизировать выходной сигнал главного усилителя приемника точно на значении  $U_0$ .

Дискриминатором в АРУ служат: фазовый детектор (ФД), работающий в режиме амплитудного детектора, преобразователь напряжения в цифровой код (ПНК) и логарифмический преобразователь. ФД позволяет измерить

напряжение на выходе главного усилителя, подать измеренное значение на ПНК а полученный код на логарифмический преобразователь (рис.2).

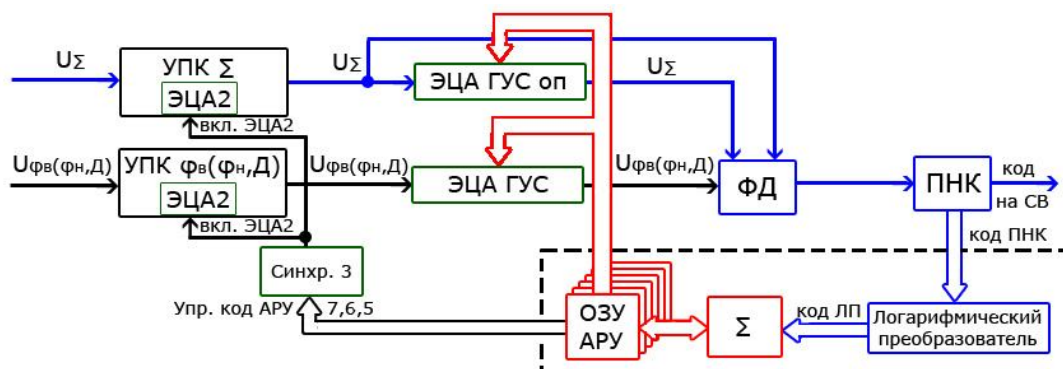


Рис. 2. Упрощенная структурная схема АРУ

Характеристика логарифмического преобразователя (ЛП) подобрана таким образом (рис. 3), что номинальному значению  $U_0$  соответствует входной код ЛП – 21, которому соответствует выходной код «0».

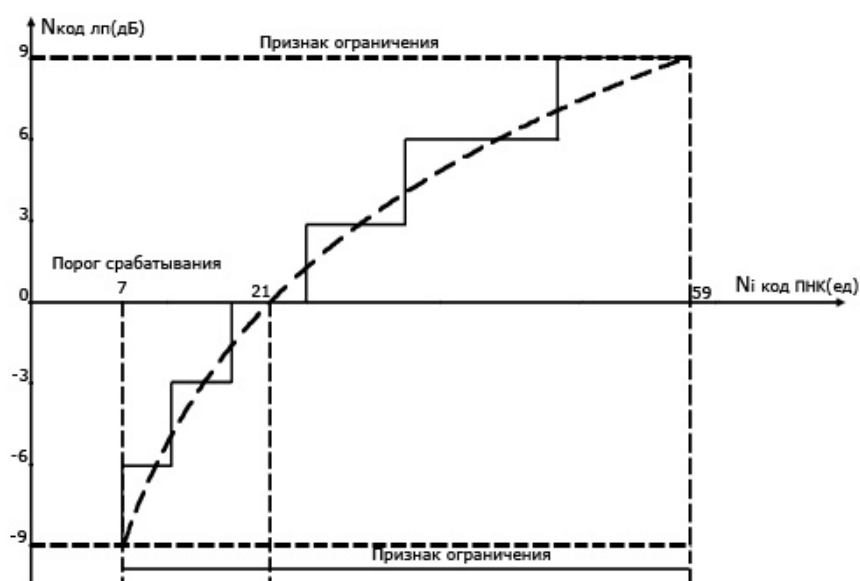


Рис. 2. Характеристика ЛП АРУ

Если же значение  $U_0$  не соответствует номиналу, выходной код ЛП отличается от нуля и поступает на сглаживающее устройство – сумматор и набор ячеек ОЗУ.

В ОЗУ хранятся управляющие коды АРУ для объекта управления – главного усилителя. Количество ячеек определяется максимальным



возможным числом целей, которые одновременно может обрабатывать приемник.

В случае получения ненулевого кода ошибки с выхода ЛП, этот код в сумматоре складывается с управляющим кодом АРУ из ячейки ОЗУ и полученная сумма записывается в ОЗУ. Новое значение управляющего кода поступает на объект управления – главный усилитель (ГУС). Особенностью ГУС является возможность оперативно менять коэффициент усиления под действием управляющего цифрового кода за что его называли электронным цифровым аттенюатором (ЭЦА ГУС). Изменение коэффициента усиления приводит значение  $U_0$  к номиналу.

#### ЗАДАНИЕ НА САМОСТОЯТЕЛЬНУЮ РАБОТУ:

Повторить материал лекции.