

# Дисциплина

## Основы радиолокации и построения ЗРК (ЗРС)



Радиолокатор обнаружения (РЛО) 64Н6Е

# **Тема №9**

## **Автоматические системы РЛС**

### **Занятие №1**

**Общие сведения об  
автоматических системах.  
Элементы автоматических  
систем.**

# Учебные и воспитательные цели:

1. Изучить структурную схему САУ и принцип работы ее основных систем.
2. Воспитывать у студентов дисциплинированность и организованность в ходе занятия.

# Список литературы:

- Карпекин В.Е. «Автоматические системы радиолокационных станций», стр. 4-9, 39-64,109-111
- Галлямов А.Р., Ромашкин А.А., Сагула А.И. «Электронные приборы и импульсные устройства РЛС».

# Учебные вопросы:

1. Структурная схема САУ, принцип работы ее основных систем.
2. Элементы автоматических систем.



Радиолокационные станции (РЛС) используются в качестве технических средств получения информации.

Они предназначены для непрерывного, точного определения координат летательных аппаратов, наземных и надводных объектов.

***Для реализации данной цели РЛС должны обеспечивать решение следующих частных задач:***



- поиск и обнаружение объекта;
- взятие его на сопровождение;
- сопровождение объекта по угловым координатам и дальности;
- выдачу необходимой информации об объекте с требуемым качеством

Управление может быть ручным или автоматическим.

**При ручном управлении** на ход процессов, происходящих в отдельных устройствах и в целом РЛС, воздействует непосредственно человек – оператор из состава обслуживающего персонала станции.

**При автоматическом управлении** воздействие на управляемые системы осуществляют специальные управляющие устройства, получившие наименование автоматических систем.

**Автоматические системы используются для выполнения следующих функций:**

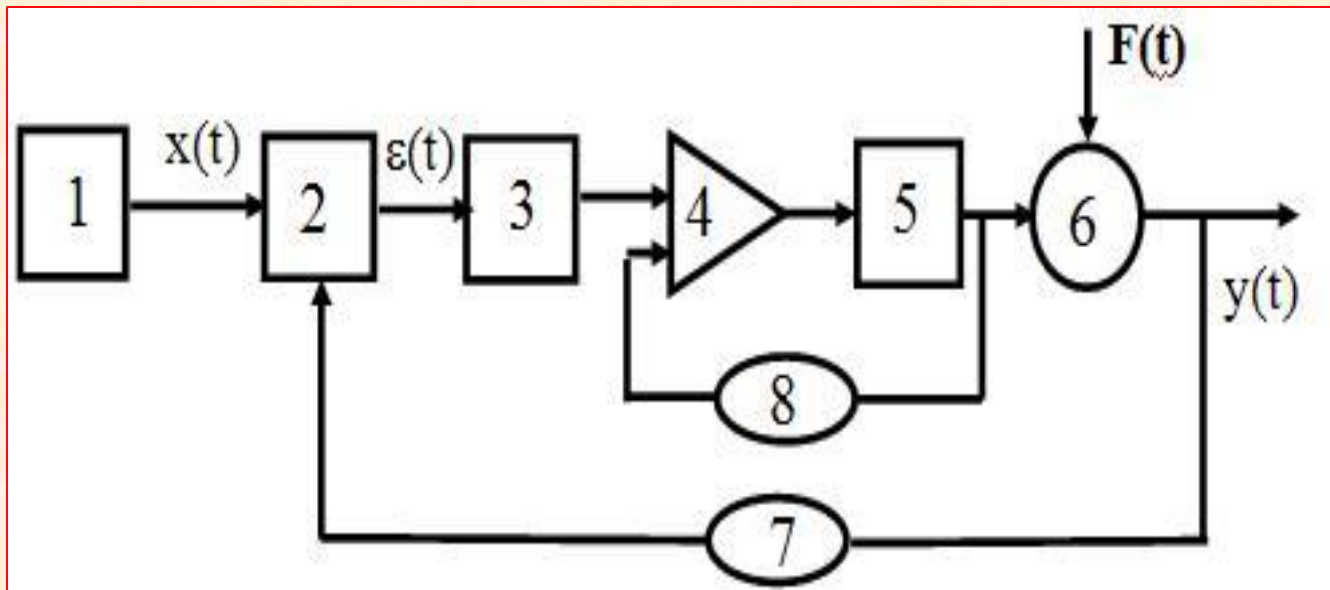


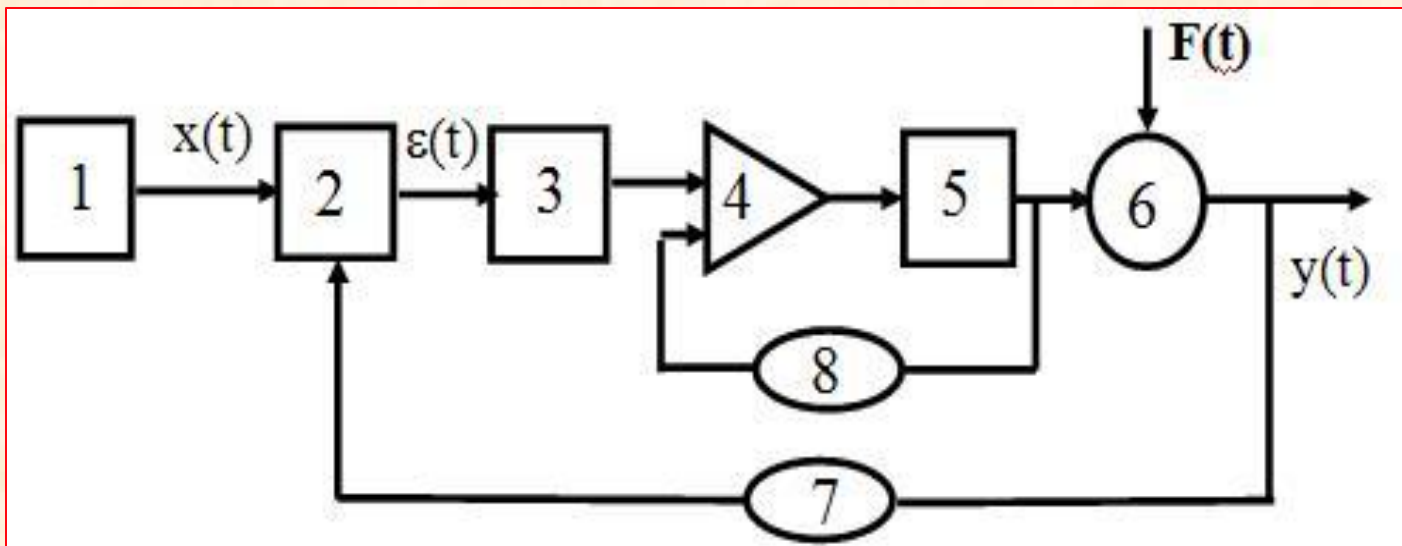
- сопровождение объектов по угловым координатам и дальности;
- управление антеннами;
- стабилизация положения антенн относительно плоскости горизонта;
- поддержание постоянства несущей частоты передатчика и перестройка его на другие частоты;
- автоматическая регулировка усиления приемных каналов и т.д.



# Структурная схема САУ и принцип работы ее основных систем

Структуры современных автоматических систем характерны своим многообразием, которое выражается в различном количестве и типах функциональных элементов, видов соединений, в особенностях принципов функционирования и конструктивного исполнения.

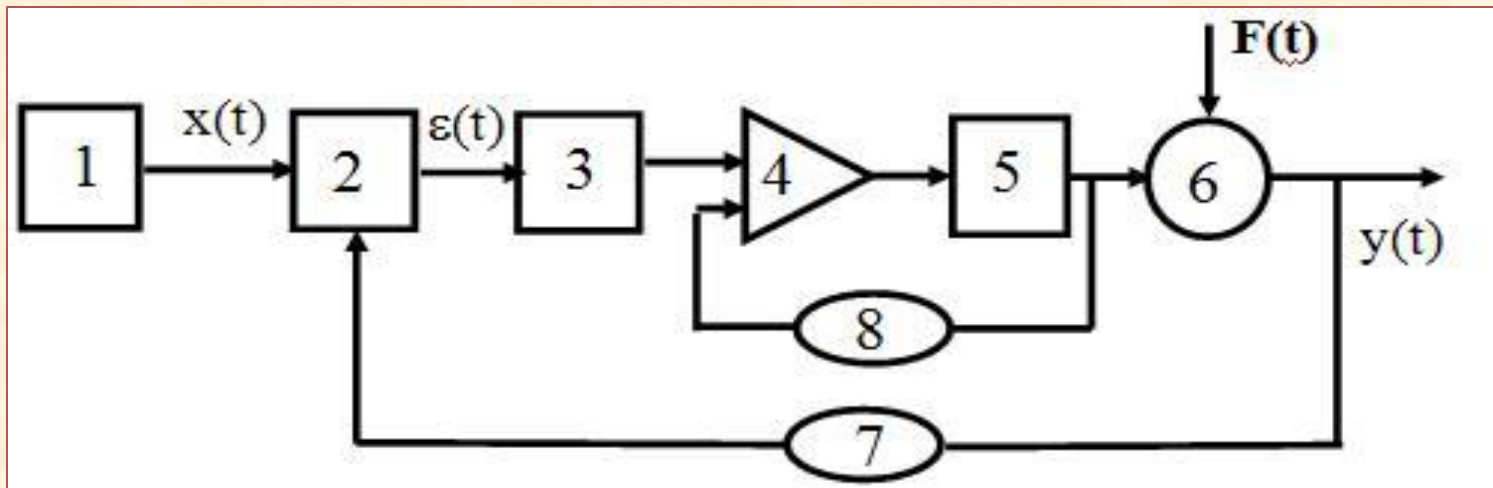




Структурная схема САУ.

**1 – задающий элемент САУ.** Он формирует входное управляющее воздействие и определяет закон изменения выходной величины в динамике работы системы.

В автоматических системах РЛС задающее устройство может формировать требуемое значение управляемой величины в виде электрического напряжения (в системах АПЧ), угловых величин в системах управления антеннами и т.д.

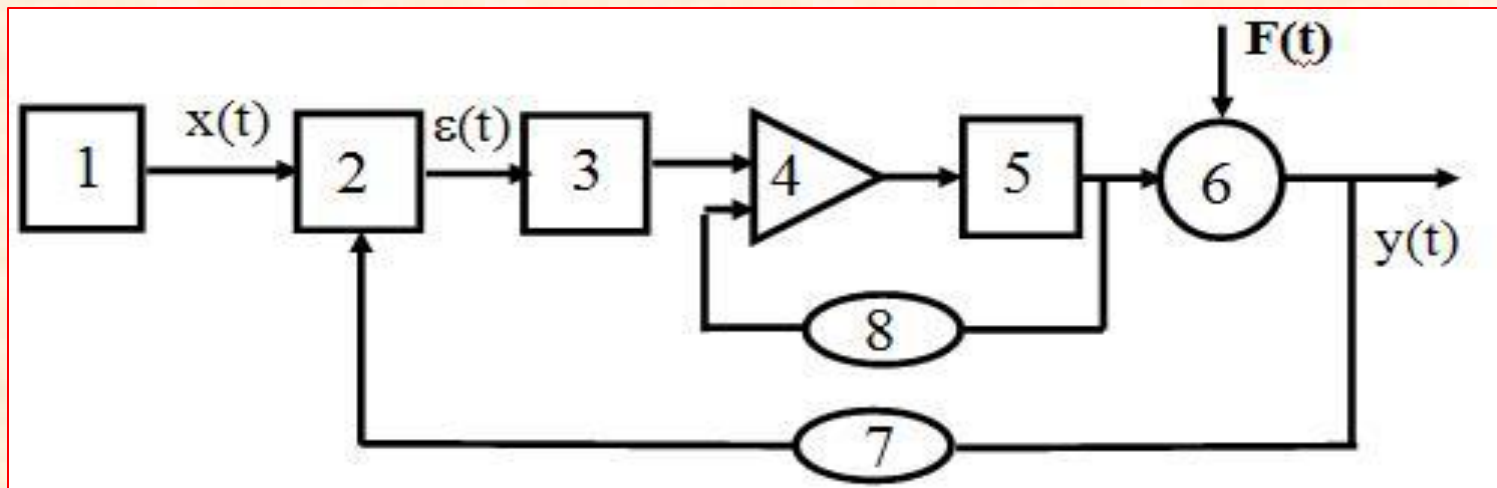


Структурная схема САУ.

**2 – измерительный элемент** или **дискриминатор**. Это совокупность чувствительного элемента и устройства сравнения.

Элемент сравнения необходим для определения в каждый момент времени соотношения величин  $x(t)$  и  $y(t)$ . В результате сравнения формируется разность, называемая рассогласованием или ошибкой **САУ** -  $\varepsilon(t)$ .

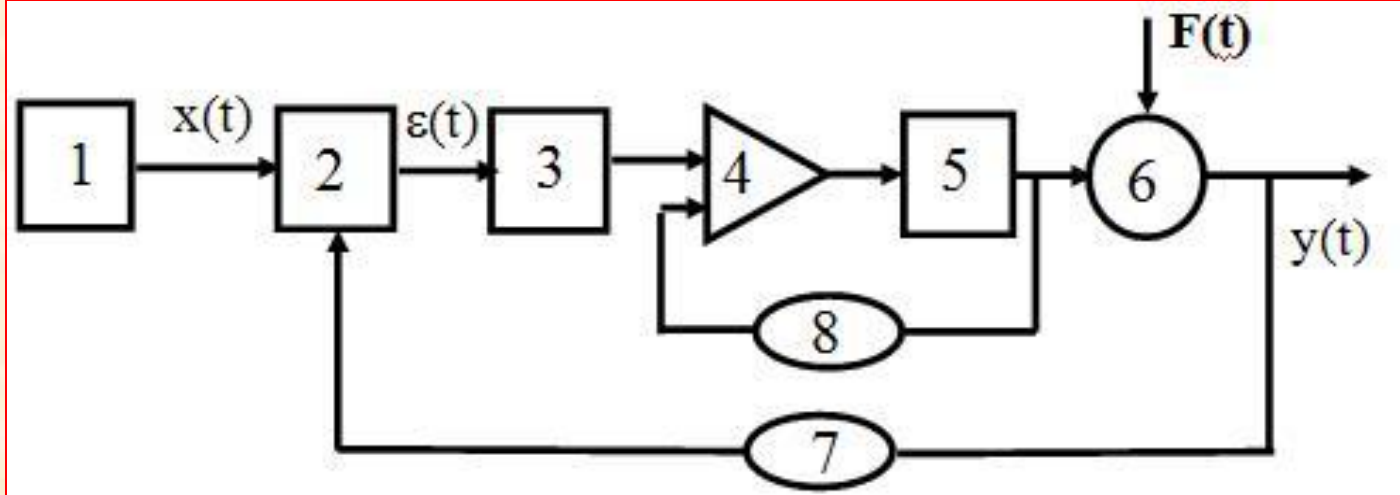
$$\varepsilon(t) = x(t) - y(t)$$



Структурная схема САУ.

### **3 - корректирующее устройство.**

Предназначено для изменения свойств автоматических систем в нужном направлении, то есть преобразования сигнала рассогласования или управления в целях придания системе необходимых динамических свойств.



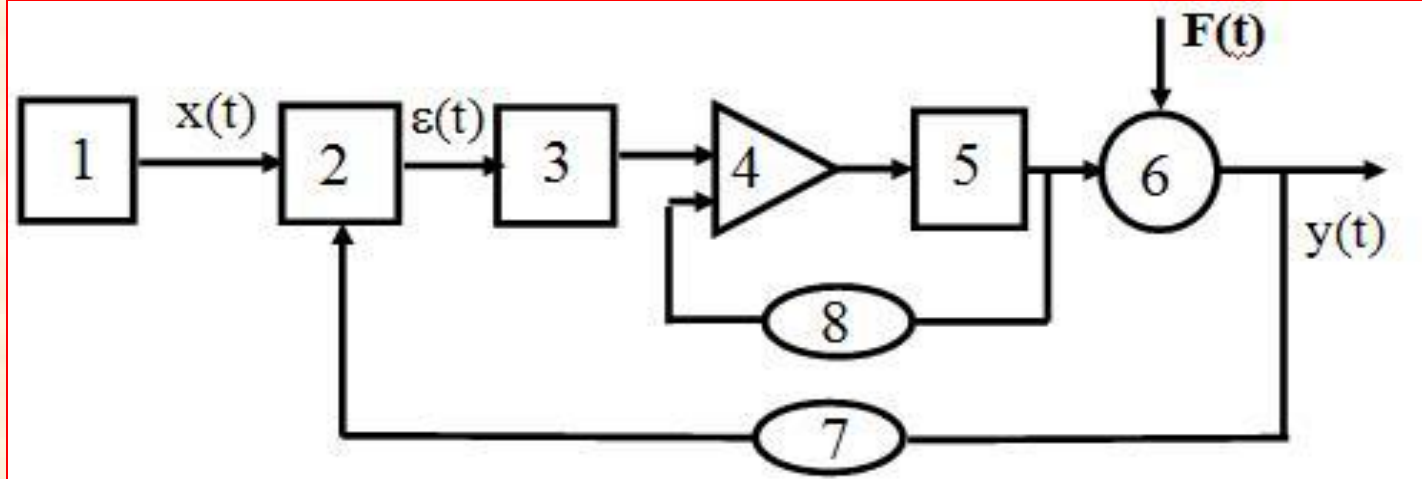
Структурная схема САУ.

**4 - усилительный элемент.** Он необходим для преобразования управляющего воздействия с точки зрения его усиления по амплитуде, мощности.

В САУ РЛС широко применяются

- **электромашины,**
- **магнитные,**
- **гидравлические**
- **пневматические усилители.**



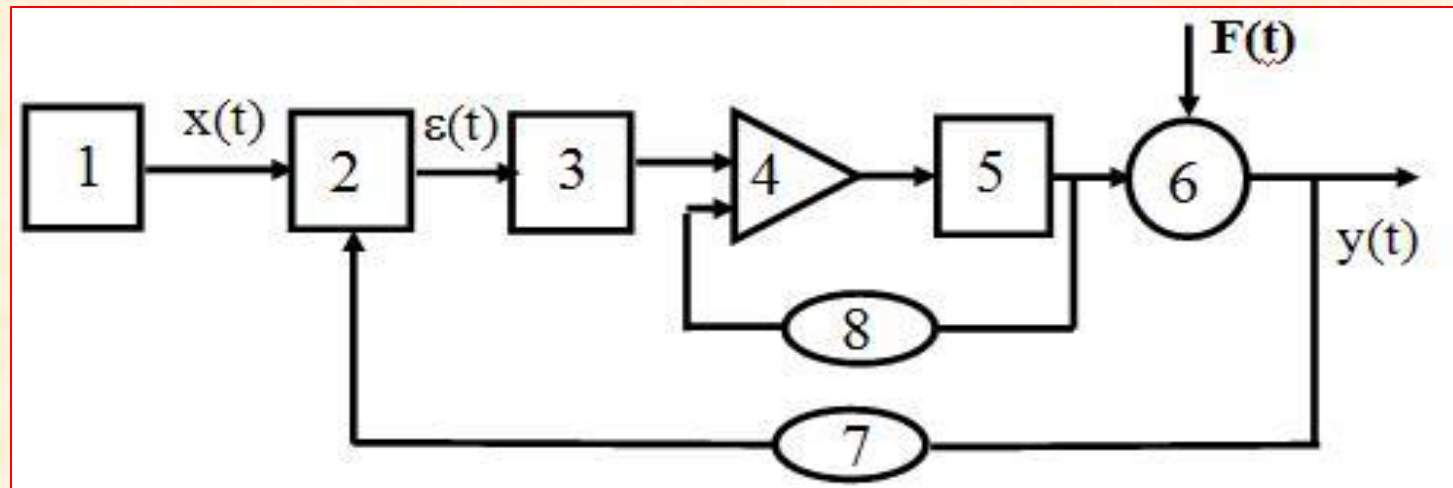


Структурная схема САУ.

**5 - исполнительное устройство** вырабатывает управляющее воздействие, прикладываемое непосредственно к объекту управления в требуемом виде.

*В качестве этих элементов могут применяться электродвигатели, электронные схемы, электромеханические устройства (в системах АПЧ передатчика), гидравлические приводы (в системах стабилизации антенны).*





Структурная схема САУ.

**6 - объект управления, регулирования.**

**7, 8 - соответственно *главная* и *местная обратные связи САУ*.** Местная ОС служит для предания системе требуемых динамических свойств. На объект управления в динамике работы САУ неизбежно влияние как внешних, так и внутренних возмущающих воздействий -  $F(t)$ . В нашем примере на ракету в процессе ее полета может влиять, например, ветер.

# Основные величины, характерные для любой автоматической системы:



$x(t)$  - управляющее воздействие, или задающая, входная величина;

$y(t)$  - выходная величина, характеризующая состояние объекта управления;

$\varepsilon(t)$  - сигнал рассогласования системы.

Применительно к управлению полетом ЗУР по заданной траектории величину  $x(t)$  можно определить как заданное направление полета ЗУР,  $y(t)$  - реальное направление полета. Чувствительным элементом является **гироскоп ракеты**, исполнительным - **рулевые машины**, сама ЗУР представлена в виде объекта управления.

# Вывод:

При всём многообразии автоматических систем, применяемых в современных РЭС, они строятся на общих рассмотренных принципах и характеризуются общими качественными показателями.

# Измерительные и преобразующие элементы

Наиболее часто в качестве измерителей и преобразователей в автоматических системах применяются **дискриминаторы, сельсинные пары, вращающиеся трансформаторы, тахогенераторы.**

**Дискриминаторы** служат для обнаружения рассогласования в системах радиоавтоматики и его преобразования в величину, удобную для последующего усиления. Наиболее часто в **АС** величиной рассогласования является постоянное или переменное напряжение. Измерители рассогласования классифицируют по виду входной величины. В соответствии с этим признаком различают: **частотные, фазовые, угловые и временные дискриминаторы.**

# Дискриминаторы

## Частотные



Предназначены для обнаружения отклонения частоты гармонических колебаний управляющего гетеродина от заданного значения и преобразования этого отклонения в пропорциональное ему напряжение постоянного тока.

## Фазовые



В них определяется фазовый сдвиг между двумя напряжениями с одинаковыми или близкими по значению частотами и преобразования этого сдвига в пропорциональное значение постоянного напряжения.

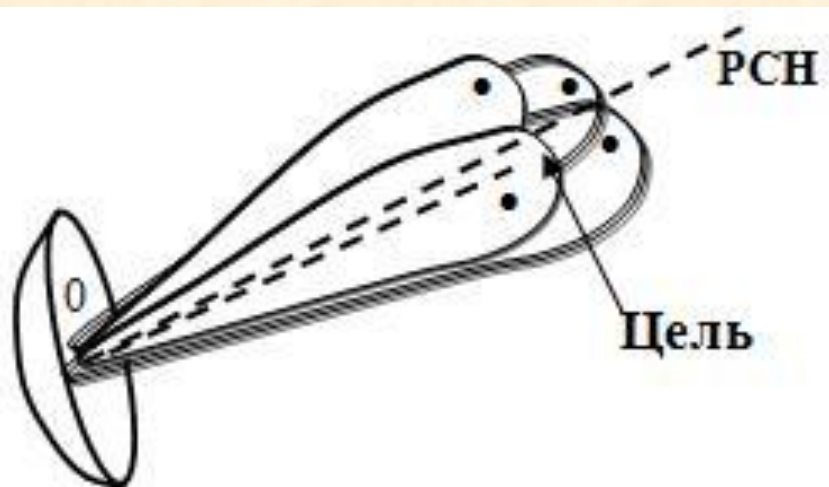
## **Временные**

**Решают задачу получения постоянного напряжения, пропорционального временному рассогласованию между отраженным и измерительным импульсами системы автоматического сопровождения цели по дальности.**

## **Угловые**

**У. д. систем автоматического сопровождения по направлению движущихся объектов (АСН) предназначены для обнаружения отклонения равносигнального направления следящей антенны от направления на объект и преобразования этого отклонения в постоянное или переменное напряжение.**





Антенна автоматической системы сопровождения по направлению (АСН) с одновременным сравнением сигналов.

В зависимости от способа формирования **РСН** угловые дискриминаторы **АСН** делятся на две группы:

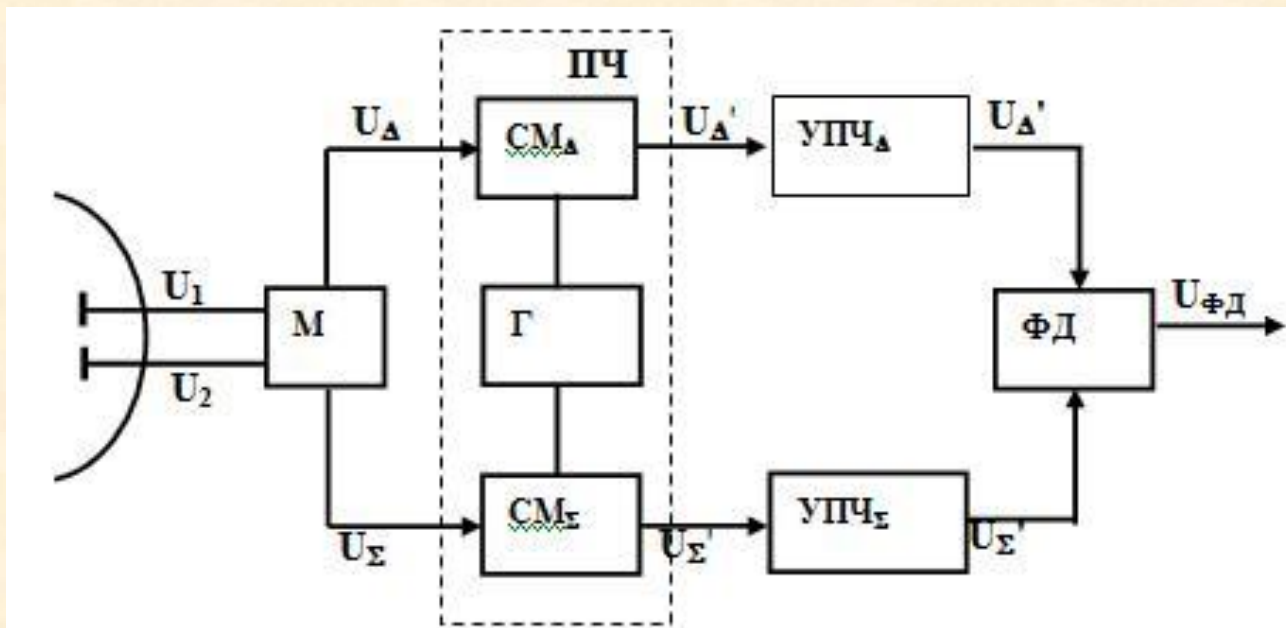
***Дискриминаторы с последовательным сравнением сигналов;***

***Дискриминаторы с мгновенным равносигнальным направлением.***

В дискриминаторах второй группы системы **АСН** антенна состоит из отражателя и 4-х излучателей, расположенных симметрично относительно геометрической оси отражателя. Излучатели формируют четыре **ДНА**. Линия пересечения этих диаграмм, совпадающая с геометрической осью отражателя, является равносигнальным направлением антенны (**РСН**).

В целом ряде систем **АСН** используется суммарно - разностная обработка отраженных сигналов для определения величины и знака ошибки сопровождения по направлению.

Рассмотрим образование сигнала ошибки в дискриминаторе суммарно - разностной системы **АСН** в какой либо одной плоскости: *угломестной или азимутальной*.



Работа фазового дискриминатора в АСН с одновременным сравнением сигналов суммарно-разностного типа.

Если в анализируемой плоскости **РСН** и **ЛВЦ** (линия визирования цели) не совпали, то сигналы  $U_1$  и  $U_2$  не будут равны между собой. С выходов суммарно - разностного волноводного моста **М** снимаются разностный и суммарный сигналы:

$$U_{\Delta} = U_1 - U_2, U_{\Sigma} = U_1 + U_2$$

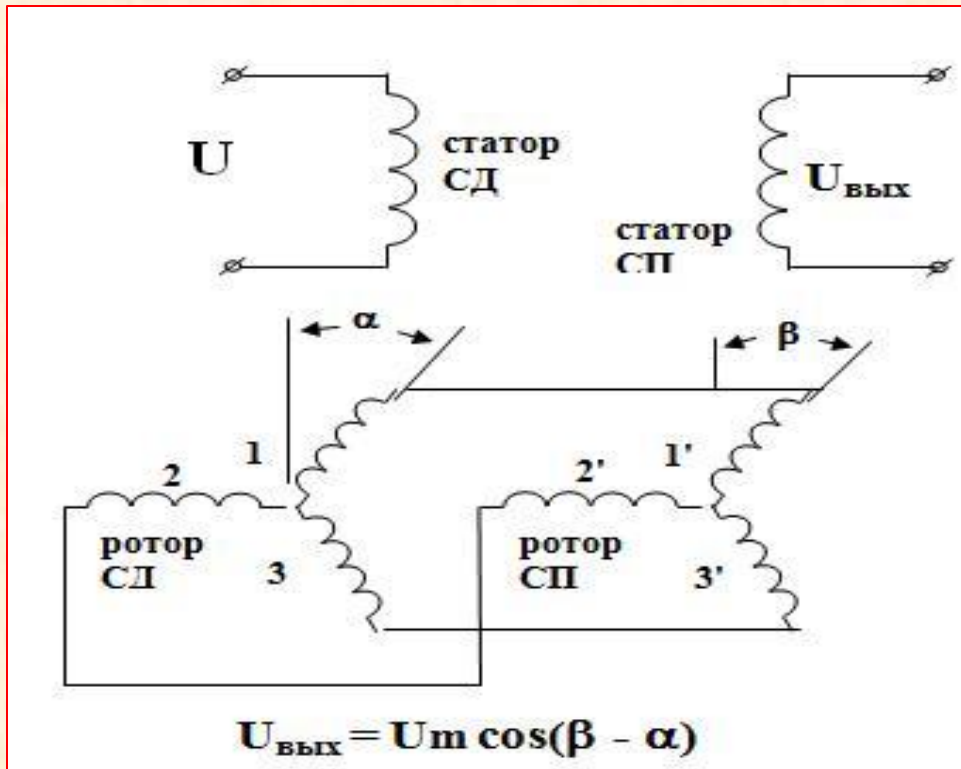
В преобразователях частоты, состоящих из смесителей **СМ<sub>Δ</sub>** и **СМ<sub>Σ</sub>** и общего гетеродина **Г**, формируются разностное и суммарное напряжения промежуточной частоты  $U'_{\Delta}$  и  $U'_{\Sigma}$ . Усиленные в **УПЧ<sub>Δ</sub>** и **УПЧ<sub>Σ</sub>** соответственно, эти переменные напряжения поступают на вход фазового дискриминатора **ФД**, причем  $U'_{\Delta}$  является опорным напряжением. На выходе **ФД** формируется постоянное напряжение  $U_{\text{ФД}}$ , величина которого тем больше, чем больше угловое несовпадение **РСН** и **ЛВЦ**. Для небольших значений рассогласования функция вида

$$U_{\text{ФД}} = f(\Theta)$$

носит линейный характер, где  $\Theta$  – угол несовпадения **ЛВЦ** и **РСН** в данной плоскости.

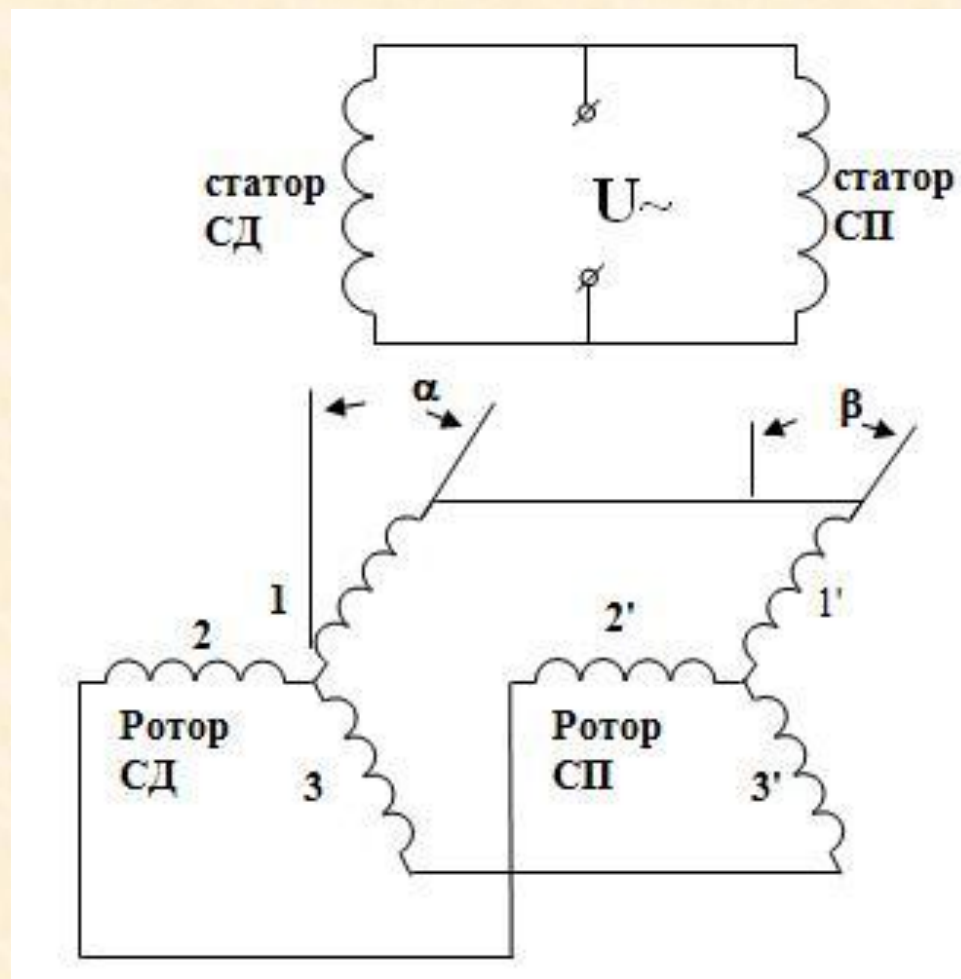


**Сельсинами** называются специальные электрические машины переменного тока, предназначенные для работы в следящих системах. Принцип действия сельсина аналогичен принципу действия электродвигателя. В **трансформаторном** режиме пара сельсинов преобразует угловое перемещение ротора в электрический сигнал, снимаемый со статорной обмотки.



Сельсинная пара в трансформаторном режиме.

В **индикаторном** режиме положение ротора не фиксировано. Статорные однофазные обмотки подключены к источнику переменного тока. При одинаковом положении роторов по отношению к статорным обмоткам ( $\beta = \alpha$ ) индуцируемые в соответствующих роторных обмотках ЭДС равны между собой и противоположны по направлению. Эти ЭДС создаются магнитными потоками статорных обмоток сельсинной пары.



Сельсинная пара в индикаторном режиме.



**Вращающиеся трансформаторы** – это электрические машины с неявно выраженными полюсами ротора и статора, на каждом из которых размещаются по две обмотки.



Широко распространены синусно-косинусные вращающиеся трансформаторы (**СКВТ**), у которых магнитные оси вторичных обмоток сдвинуты в пространстве на  $90^\circ$ . Это позволяет получить **ЭДС** во вторичных роторных обмотках, пропорциональные функциям синуса и косинуса от переменного напряжения, подаваемого на вход **СКВТ**.

**СКВТ** предназначены для решения задач поворота координатных осей и преобразования координат, разложения вектора на составляющие в прямоугольной системе координат и наоборот.

**Тахогенератором (ТГ)** называется малогабаритный генератор постоянного тока с независимым возбуждением, ЭДС на выходных клеммах которого линейно зависит от числа оборотов ротора (якоря).



ТГ является электрическим датчиком, входным сигналом которого служит угловая скорость вала якоря, а выходным – напряжение.

Тахогенераторы широко применяются в АС современных РЛС в качестве измерительных и корректирующих элементов.



# Усилительные элементы автоматических систем РЛС.

**Электромашинный усилитель (ЭМУ)** – это генератор постоянного тока, ротор которого вращается двигателем.

**ЭМУ** предназначен для усиления маломощных электрических сигналов за счет энергии двигателя, вращающего ротор.

Коэффициент усиления по мощности в наиболее часто применяемых двухкаскадных **ЭМУ** может достигать значения  $10^4$ . Особенностью конструкции данного типа усилителей является то, что двигатель, вращающий ротор, и сам **ЭМУ** выполнены, как правило, в единой конструкции.

# Усилительные элементы автоматических систем РЛС.

**Магнитные усилители (МУ)** нашли широкое применение в автоматических системах как усилители мощности.

Входными сигналами **МУ** являются **напряжения или токи постоянной величины**, выходным – **переменный ток**.

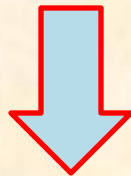
Основным элементом простейшего **МУ** является **дроссель**, выполненный из сердечника в виде замкнутого магнитопровода.

## Достоинства магнитных усилителей:



- Немедленная готовность к работе после включения;
- Высокая устойчивость к вибрациям и изменениям условий эксплуатации;
- Способность выдерживать значительные электрические перегрузки;
- Значительно большие коэффициенты усиления сигналов по току и мощности в одном каскаде, чем у электронных усилителей;
- Способность усиливать весьма малые по мощности ( $10^{-12} \div 10^{-16}$  Вт) сигналы;
- Надежность, большой срок и простота в эксплуатации и обслуживании;
- Способность преобразовывать сигналы постоянного тока в пропорциональные им сигналы переменного тока без применения дополнительных преобразующих элементов.

## Недостатки магнитных усилителей:



Основным недостатком данного усилителя является его *инерционность*, которая определяется постоянной времени и может достигать при больших коэффициентах усиления значений до секунд и более. Это ухудшает устойчивость и быстродействие автоматических систем.

# Исполнительные элементы САУ.

Наиболее часто в качестве исполнительных элементов **АС РЛС** используются **электрические двигатели постоянного и переменного тока.**

**Двигателем постоянного тока** называется электрическая машина, преобразующая электрическую энергию постоянного тока в механическую энергию вращения подвижной части двигателя – ротора. Они обладают свойством обратимости, т.е. способны работать и как электродвигатели, и как генераторы, в которых механическая энергия вращения ротора преобразуется в электрическую энергию постоянного тока.

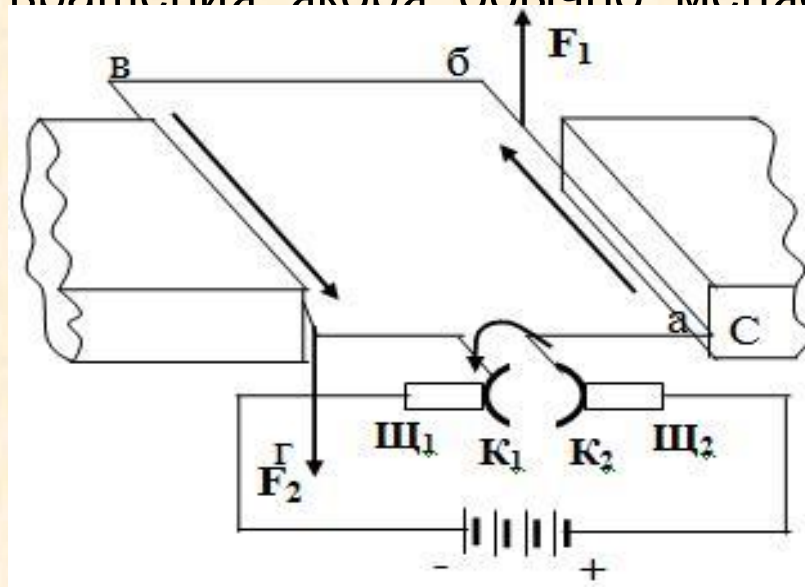
Двигатели и генераторы состоят из *двух основных частей*:

**Ротора** – вращающейся части двигателя;

**Статора** – неподвижной части двигателя.

# Принцип действия двигателя

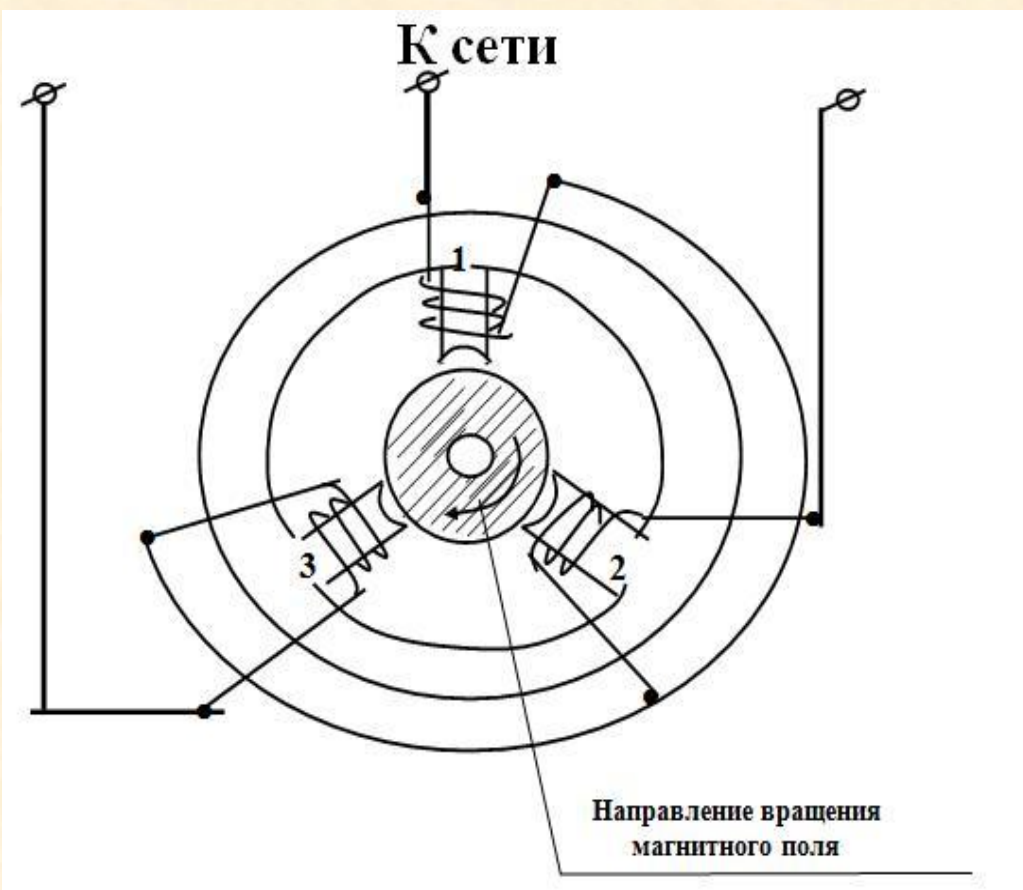
**постоянного тока** основан на вращении проводника с током в виде рамки в магнитном поле. Если по проводнику течет ток, то на него действует пара сил  $F_1$  и  $F_2$ , направление которых определяется по правилу левой руки. Для непрерывного вращения рамки, то есть постоянного действия и неизменной направленности сил  $F_1$  и  $F_2$ , применяются контактные щетки  $\text{Щ}_1$  и  $\text{Щ}_2$  и коллекторные полукольца  $K_1$  и  $K_2$  якоря. Для изменения направления вращения якоря обычно меняется направление тока в якоре.



Принцип действия двигателя постоянного тока.



Основными представителями **двигателей переменного тока** являются **асинхронные (АД)** и **синхронные (СД)** двигатели. Причем последние обладают известным свойством обратимости, то есть могут работать и в качестве двигателей, и в качестве генераторов.



Трехфазный асинхронный двигатель.

**Принцип действия** данных двигателей основан на использовании вращающегося магнитного поля, создаваемого в обмотках возбуждения переменными токами. Под действием этого поля начинает вращаться якорь двигателя. Якорь может быть коротко замкнутым или фазным, в котором есть обмотка и контактные кольца. Наиболее часто в качестве **АД** используются трехфазные двигатели. На полюсах стального статора помещены три обмотки, смещенные одна относительно другой на **120°**.

# Вывод:

*Рассмотренные элементы автоматических систем РЛС позволяют строить на их основе сложные системы управления разнообразными процессами в современных системах вооружения с требуемыми показателями устойчивости, точности, надежности управления.*