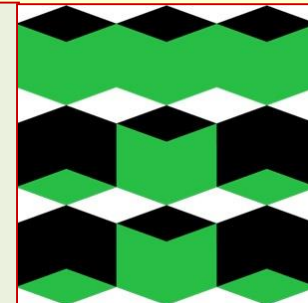




Военный учебный центр при Томском политехническом университете



Цикл
№2

**«Боевое применение подразделений,
вооружённых зенитными артиллерийскими
самоходными установками с радиоприборными
комплексами»**



КУРС ЛЕКЦИЙ

**Автор: преподаватель 2 цикла
*подполковник запаса Гаврилов А. А.***



Дисциплина:
«Устройство и эксплуатация ЗСУ»
Раздел 1:
«Основы построения ЗАК»



Тема №4
Основы автоматике

Контрольные вопросы



Занятие №2
Принципы работы
автоматических систем РЛС

Цели занятия:

Изучить:

- принцип автоматического сопровождения цели по дальности и угловым координатам,
- следящий привод управления антенной.

Актуальность занятия:

Обусловлено:

- необходимостью иметь глубокие и твердые знания по принципу автоматического сопровождения цели по дальности и угловым координатам, работе следящего привода управления антенной.

ВИД ЗАНЯТИЯ: - ГРУППОВОЕ, 2 часа.

Вопрос 1

Принцип автоматического сопровождения цели по дальности

Сопровождение по дальности

Сопровождение цели по какой-либо координате *заключается* в непрерывном определении ее положения.

При сопровождении

- непрерывно вводить оптические данные и отсюда

Дальность

- поворотом
- изменением величины



Способы сопровождения по дальности

Способы сопровождения:

- 1) ручное (РУ),
- 2) полуавтоматическое (ПУАС)
- 3) автоматическое (АУАС)

1. При ручном сопровождении - дальность определяется механическим или электрическим сигналом на экране ЭИ.



Способы сопровождения по дальности

2. При полуавтоматическом сопровождении:

- визир перемещается по экрану с помощью специальных устройств, а оператор регулирует скорость движения визира добиваясь совмещения.

3. При автоматическом сопровождении:

- процесс сопровождения осуществляется автоматически.

Преимущества

- ❖ высокая точность определения дальности, что особенно важно при сопровождении маневренных целей.
- ❖ исключаются субъективные ошибки оператора.
- ❖ в ряде случаев отпадает необходимость в схеме, поскольку по дальности и вводить данные.

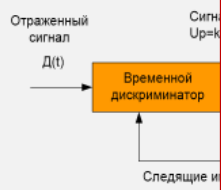
Принцип работы системы автоматического сопровождения по дальности

Система автоматического сопровождения по дальности является замкнутой системой.

- временной дискриминатор
- усилитель
- генератор временной задержки

Входные сигналы

сигналы (видеоимпульсы),



Принцип работы системы автоматического сопровождения по дальности

Выходные импульсы, характерные для системы, выходящие на индикатор.

а также через систему передачи. Кроме того, по цепи обратной связи измерительное устройство в дискриминаторе время t_2 временем t_1 запаздывает.



Принцип работы системы автоматического сопровождения по дальности

Сигнал ошибки, выработанный дискриминатором, попадает на усилитель преобразователь.

Усиленный и преобразованный сигнал ошибки представляет собой управляющий сигнал $u = f(u_p)$.

СО вынуждает генератор временной задержки изменить временную задержку следящих импульсов таким образом, чтобы приблизить измеренное значение дальности Дизм к истинному значению дальности Д. Благодаря этому в процессе сопровождения ошибка уменьшается, стремясь к минимальному значению.



Сопровождение цели по дальности

Сопровождение цели по какой-либо координате **заключается:**

- в непрерывном определении данной координаты выбранной цели.



При сопровождении цели по дальности необходимо:

- непрерывно определять дальность,
- непрерывно вводить определяемую величину в систему передачи данных и оттуда в счётно-решающий прибор (СРП).

Дальность можно вводить:

- поворотом ротора сельсин-датчика,
- изменением величины или фазы эталонного напряжения с помощью потенциометра или фазовращателя.

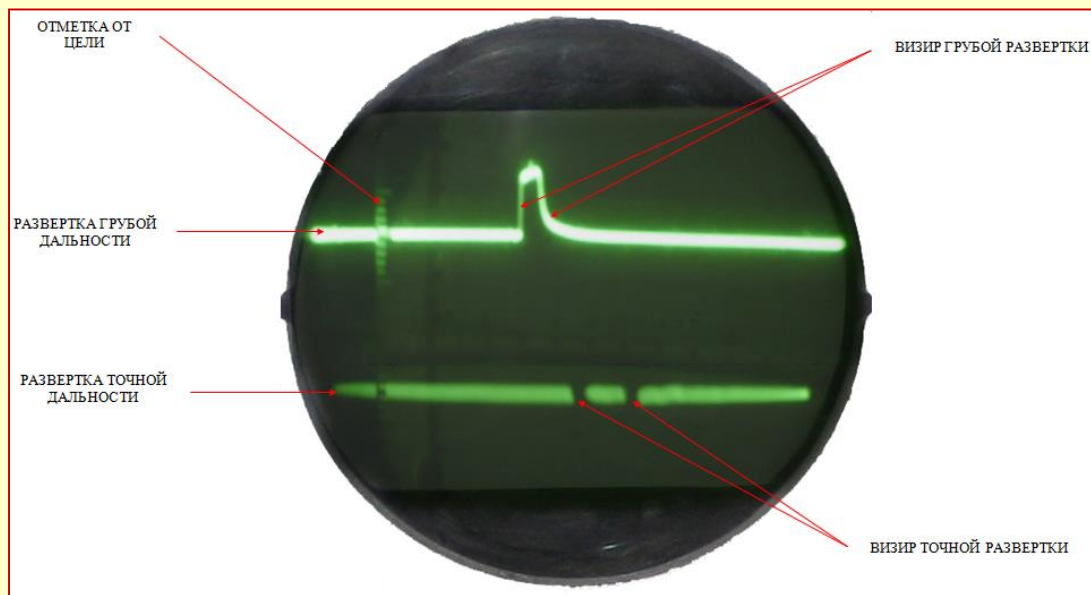
Способы сопровождения по дальности

Способы сопровождения:

- 1) ручное (РУ),
- 2) полуавтоматическое (П/АС),
- 3) автоматическое (АС).

1. При ручном сопровождении цели:

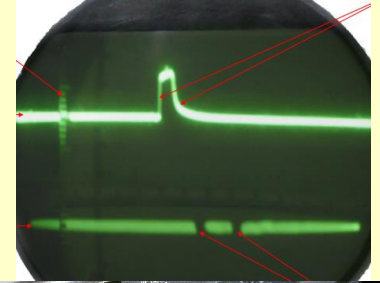
- дальность определяется путем непрерывного совмещения механического или электронного визира с отраженным сигналом на экране ЭЛТ.



Способы сопровождения по дальности

2. При полуавтоматическом сопровождении:

- визир перемещается по экрану оператором, который добивается совмещения визира с отраженным сигналом.



3. При автоматическом сопровождении:

- процесс сопровождения цели полностью автоматизирован.



Преимущества метода **автосопровождения**:

- ❖ высокая точность определения и скорость отработки дальности, что особенно важно при высоких скоростях цели;
- ❖ исключаются субъективные ошибки оператора;
- ❖ в ряде случаев отпадает необходимость в ЭЛТ с ее громоздкой схемой, поскольку появляется возможность определять дальность и вводить ее в СРП без индикации цели на экране.

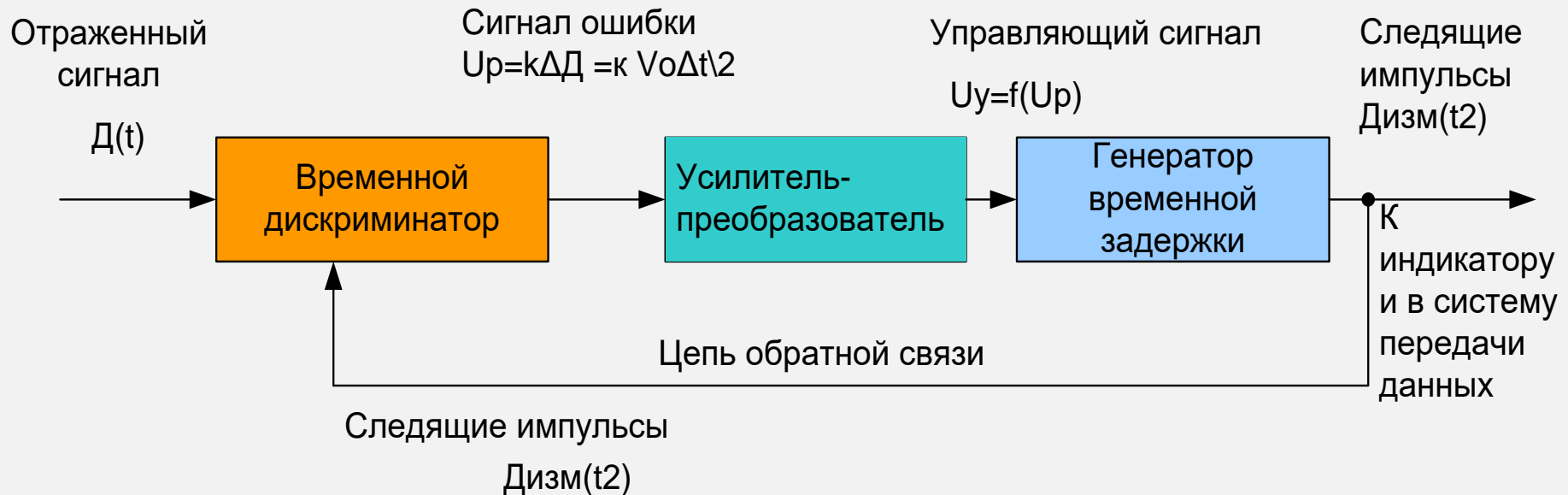
Принцип работы системы автоматического сопровождения по дальности (АСД)

Система АСД является замкнутой системой и содержит 3-и основных элемента:

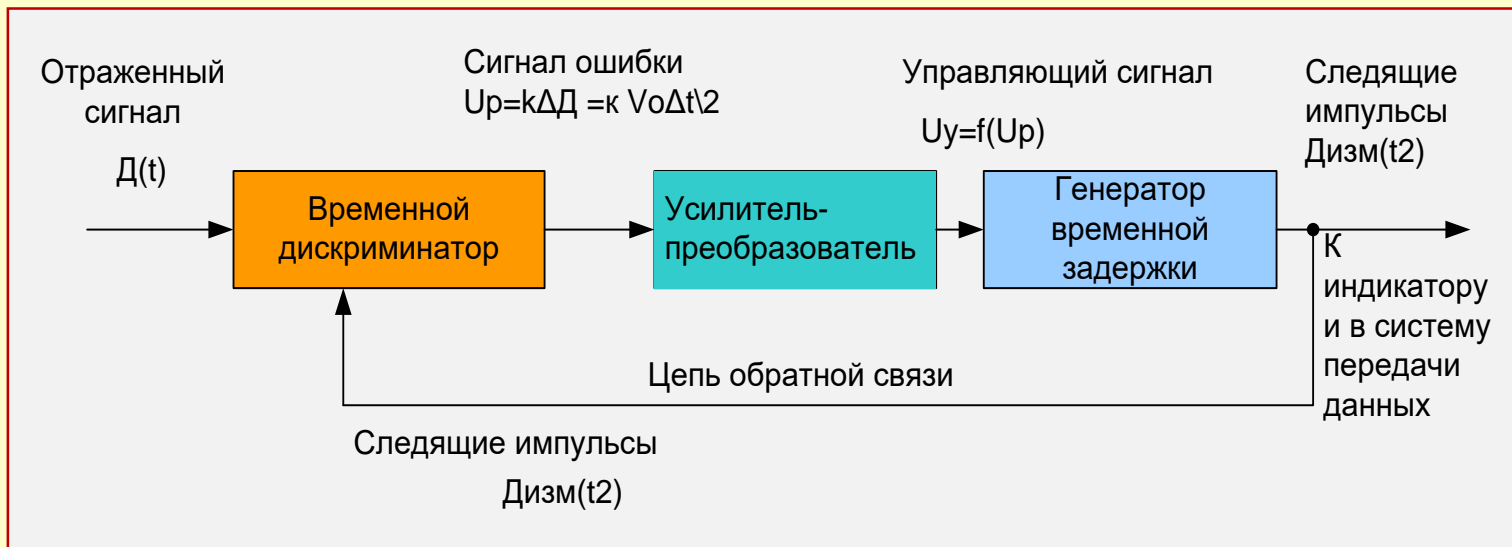
- временной дискриминатор (*измерительное устройство*);
- усилитель-преобразователь (*усилительно-преобразовательное устройство*);
- генератор временной задержки (*исполнительное устройство*).

Входным сигналом являются:

- **отраженные** от выбранной цели сигналы (видеоимпульсы), поступающие в систему АСД с выхода приемника.



Принцип работы системы АСД



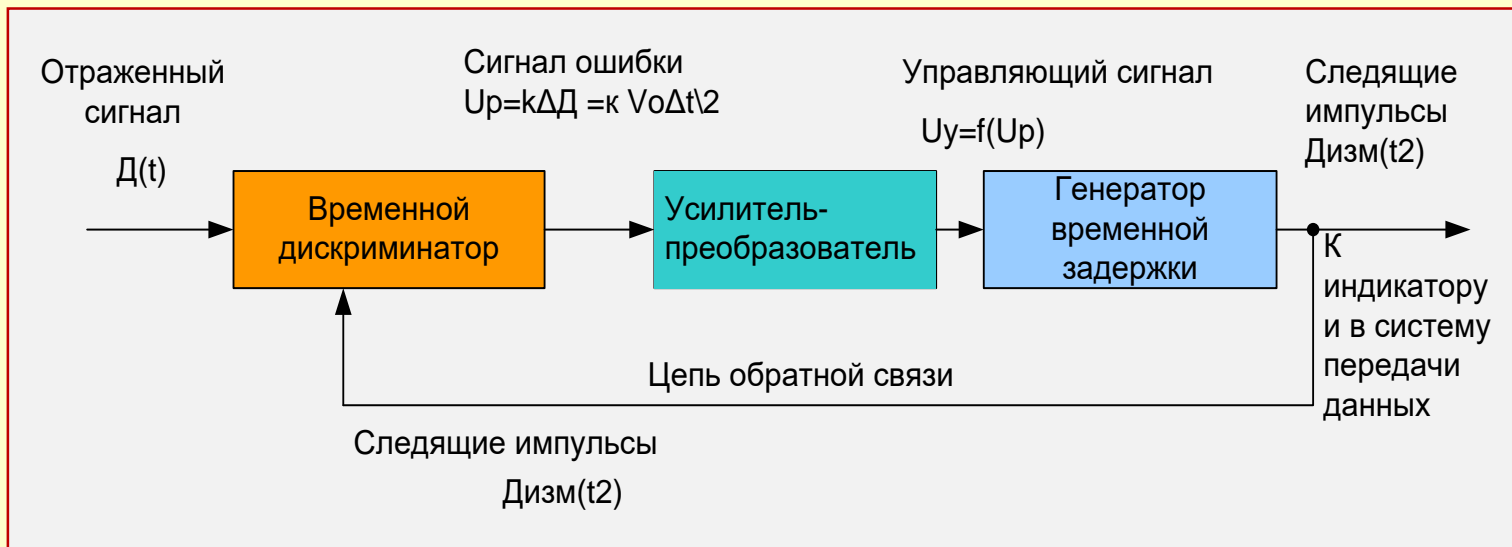
Время запаздывания t_1 этих сигналов относительно момента запуска передатчика характеризует определяемую системой дальность до цели D .

Выходным сигналом АСД являются кратковременные следящие видеоимпульсы (стробы), которые вырабатываются исполнительным устройством системы, т.е. генератором временной задержки.

Время задержки t_2 выходного сигнала системы АСД (следящих импульсов) относительно прямого импульса станции соответствует измеренному системой значению дальности цели $D_{изм}$.

$$D_{изм}[км] = 0.15t_2[мкс]$$

Принцип работы системы АСД

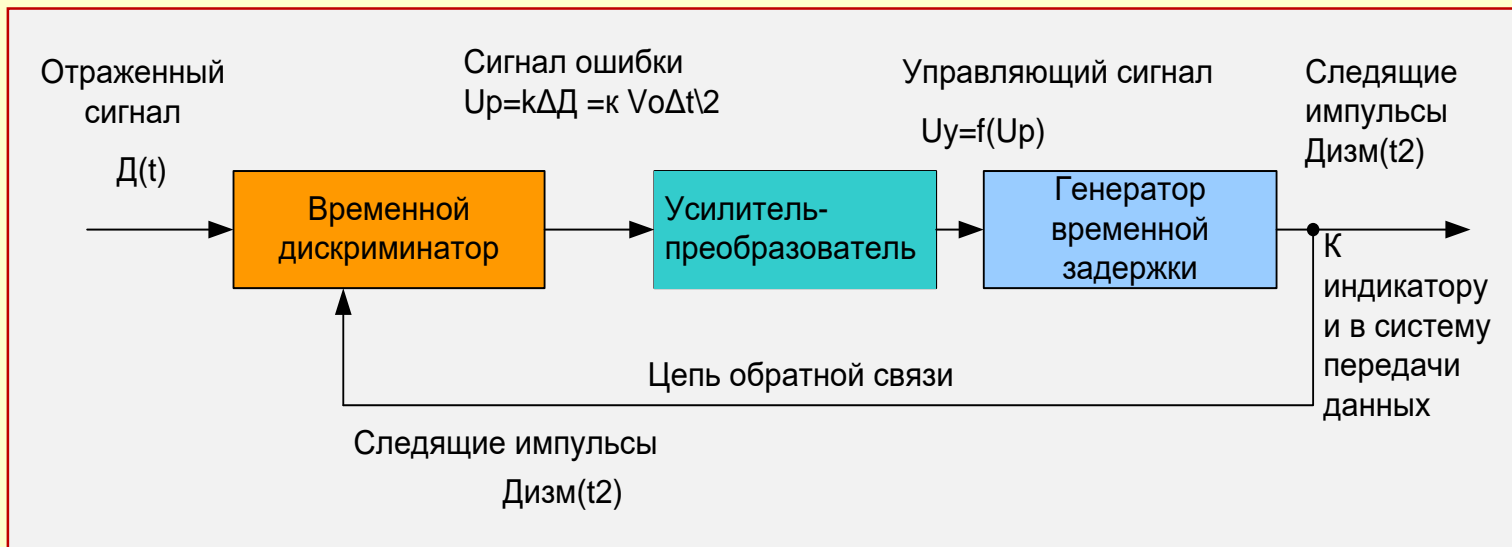


Выходные импульсы, характеризующие измеренную дальность цели, подаются с выхода системы на индикаторное устройство РЛС для создания электронного визира дальности, а также через систему передачи данных вводятся в (СРП).

Кроме того, по цепи обратной связи следящие импульсы поступают на измерительное устройство системы - **временной дискриминатор**.

В **дискриминаторе** время t_2 задержки следящих импульсов сравнивается со временем t_1 запаздывания сигнала, отраженного от цели.

Принцип работы системы АСД



Другими словами, в *дискриминаторе* измеренная дальность **Дизм** «вырабатываемая» системой, сравнивается с истинной дальностью **Д**.

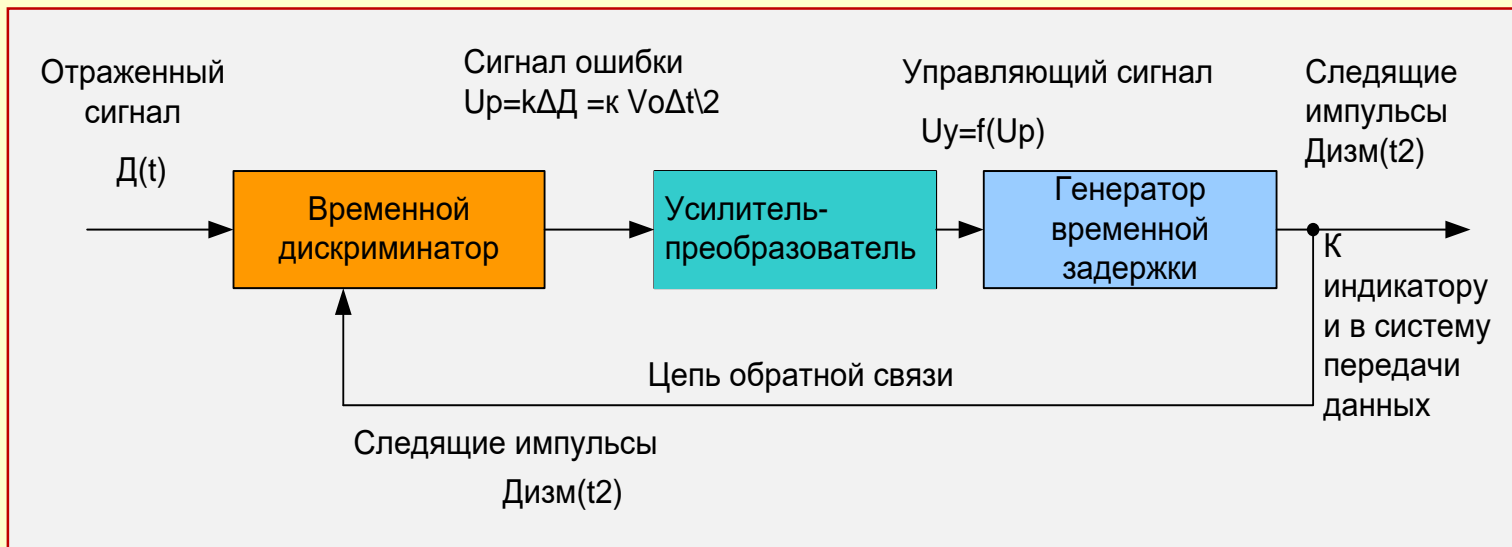
В результате определяется их разность $\Delta D = D - Дизм$.

т.е. ошибка определения дальности (ошибка сопровождения), и вырабатывает *сигнал ошибки* (сигнал рассогласования) U_p ,

пропорциональный ошибке сопровождения σ_d :

$$U_p = k\sigma_d = kV_0(t_1 - t_2) \sqrt{2} = kV_0 \Delta t / 2$$

Принцип работы системы АСД



Сигнал ошибки, выработанный дискриминатором, поступает на усилитель-преобразователь.

Усиленный и преобразованный **СО** представляет собой управляющий сигнал $u = f(u_p)$,

СО вынуждает генератор **ГВЗ** изменить временную задержку следящих импульсов таким образом, чтобы приблизить измеренное значение дальности **Дизм** к истинному значению дальности, **Д**.

Благодаря этому в процессе сопровождения ошибка уменьшается, стремясь к минимальному значению.



Вопрос 2

Принцип автоматического сопровождения цели по угловым координатам

Принципы работы Систем АС

Сопровождение цели по угловым координатам (по направлению, СН) - это процесс непрерывного определения текущих угловых координат выбранной цели.

Сущность СН заключается:

- в непрерывном совмещении направл. направлением на цель *ручным, полуавто* *автоматическим* способом.

Система управления антенной (упрощенная схема)



Функциональный состав СУА:

- канал сопровождения по азимуту;
- канал сопровождения по углу места;
- устройство выдачи сигнала ошибки;
- блок управления антенной СУА;
- приводные двигатели по азимуту и углу места;
- контрольно-измерительный прибор (КИП) по азимуту и углу места.

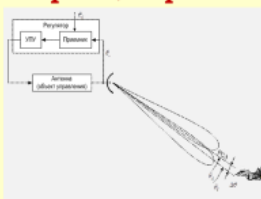
Направл. сопровожд. ИКО и пер. прибор (СУА) В РЛС полностью осуществл. системы а. цели по на. В РЛС управлен.

Системы АСН

Существуют *одноканальные и двухканальные системы СН*. В *одноканальных системах* сигнал ошибки, возникающий при несовпадении электрической или геометрической оси антенны с направлением на цель, усиливается и детектируется в общих каскадах *канала азимута* и

Затем *СО* преобразуется в два напряжения, характеризует ошибку сопровождения цели и подается на соответствующие каналы. В *двухканальных системах* азимутальные каналы разделяются уже в антенно-фидерной цепи. Двухканальные системы состоят из двух *каналов*, каждый из которых осуществляет автоматическое сопровождение цели по одной угловой координате. В РЛС 1РЛЗЗ(ЗСУ Шилка) применяется

Принцип работы одноканальной системы

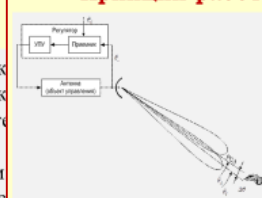


При несовпадении оси антенны с направлением на цель на выходе приемника возникает *сигнал ошибки*.

СО подается на вход системы *АСН*, в котором преобразуется в два напряжения, каждое из которых характеризует ошибку сопровождения цели в одной из плоскостей (горизонтальной или вертикальной).

Эти напряжения управляют поворотом соответствующей плоскости. Под воздействием этих напряжений приводные двигатели азимутально поворачивают антенну так, чтобы ошибка сопровождения цели уменьшилась, и *сигнал ошибки* уменьшился.

Принцип работы одноканальной системы



При сопровождении движущейся цели ошибка сопровождения не обращается в нуль, потому что угловые координаты цели непрерывно меняются. Ось антенны перемещается вслед за целью с некоторым отставанием.

Это отставание определяет точность сопровождения цели и называется *динамической ошибкой сопровождения*.

Использование одноканальных систем АСН характерно для РЛС, в которых угловые координаты цели определяются *методом конического сканирования* луча антенны.

При коническом сканировании сопровождение цели сводится к тому, что автоматическая система непрерывно поворачивает ось антенны так, чтобы отраженные сигналы сохраняли постоянную амплитуду, т.е. *сигнал ошибки* равнялся нулю.



Принципы работы Систем АС

Сопровождение цели по угловым координатам (по направлению, СН) - это процесс непрерывного определения текущих угловых координат выбранной цели.

Сущность СН заключается:

- в непрерывном совмещении направления оси антенны с направлением на цель *ручным, полуавтоматическим или автоматическим* способом.

Система управления антенной
(упрощенная схема)



Функциональный состав СУА:

- канал сопровождения по азимуту;
- канал сопровождения по углу места;
- устройство выделения сигнала ошибки;
- блок управления антенной Т-55;
- приводные двигатели по азимуту и углу места;
- электромагнитные порошковые муфты (ЭМПМ) по азимуту и углу места.

Направление оси антенны при сопровождении индицируется на экране ИКО и передается в счетно-решающий прибор (СРП).

В **РЛС** сопровождение цели обычно полностью автоматизировано и осуществляется с помощью специальной системы автоматического сопровождения цели по направлению (**система АСН**).

В РЛС ЗСУ Шилка – это система управления антенной (**СУА**).

Системы АСН

Существуют: *одноканальные и двухканальные системы СН.*

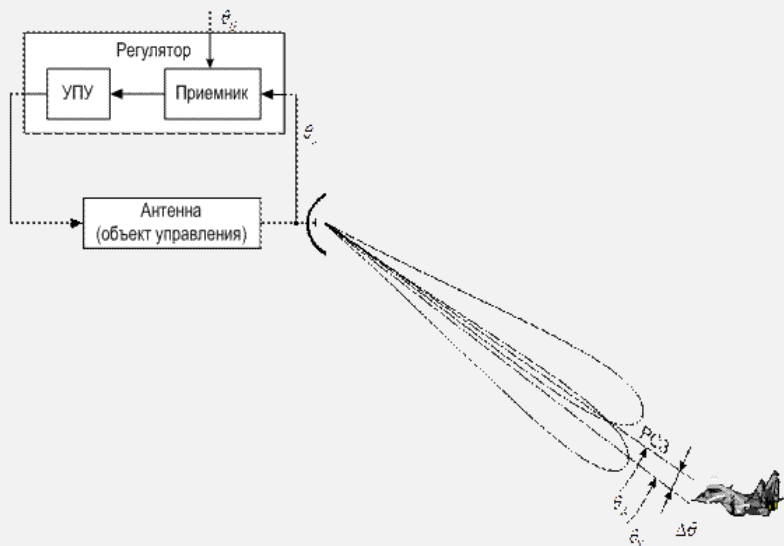
1) В **одноканальных системах** сигнал ошибки, возникающий при несовпадении электрической или геометрической оси антенны с направлением на цель, усиливается и детектируется в общих каскадах **канала азимута и угла места.**

Затем **СО** преобразуется в два напряжения, каждое из которых характеризует ошибку сопровождения цели в одной из плоскостей и подается на соответствующий канал.

Одноканальный метод применяется в РЛС 1РЛЗЗ(ЗСУ «Шилка»).

2) В **двухканальных системах** азимутальный и угломестный каналы разделяются уже в антенно-фидерном устройстве, т.е. *двухканальные системы состоят из 2-х **независимых каналов**, каждый из которых обеспечивает автоматическое сопровождение в одной плоскости, т. е. по одной угловой координате.*

Принцип работы одноканальной системы



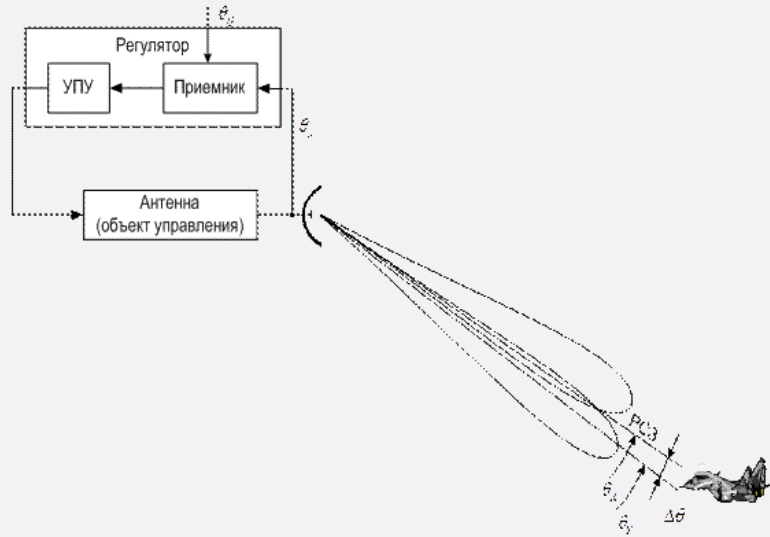
1. При несовпадении оси антенны с направлением на цель на выходе приемника возникает **сигнал ошибки (СО)**.
СО подается на вход системы **АСН**.

2. В АСН **сигнал ошибки** преобразуется в два напряжения, каждое из которых характеризует ошибку сопровождения цели в одной из плоскостей (**АЗ** или **УМ**).

Эти напряжения управляют поворотом антенны в верт./гор. плоскости.

Под воздействием этих управляющих напряжений приводные двигатели **АЗ** и **УМ** поворачивают антенну так, чтобы **сигнал ошибки** уменьшился.

Принцип работы одноканальной системы



3. При сопровождении движущейся цели ошибка сопровождения не обращается в нуль, потому что угловые координаты цели непрерывно меняются.

Ось антенны перемещается вслед за целью с некоторым отставанием.

Это отставание определяет точность сопровождения цели и называется

динамической ошибкой сопровождения.

4. Использование одноканальных систем АСН характерно для РЛС, в которых угловые координаты цели определяются *методом конического сканирования* луча антенны.

При коническом сканировании сопровождение цели сводится к тому, что автоматическая система непрерывно поворачивает ось антенны так, чтобы отраженные сигналы сохраняли постоянную амплитуду, т.е.

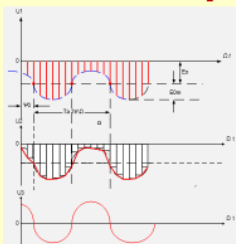
сигнал ошибки равнялся нулю.



Вопрос 3

Следящий привод управления антенной

Принцип работы следящего привода управления антенной.



1. Из приемника видеосигналы поступают на фазовый детектор (ФД), который состоит из импульсного детектора (ИД) и усилителя (У). Импульсный детектор - детектирует поступающие отрицательные видеосигналы. На его выходе выпрямленное напряжение, переменная составляющая которого усиливается в двухкаскадном усилителе с симметричной связью.

Принцип работы СПУА

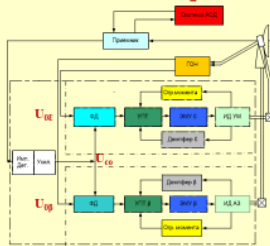


На фазовые детекторы (ФД) поступают напряжения ошибки; - и опорные напряжения, вырабатываемые генератором опорных напряжений (ГОН). ГОН установлен на одном валу с двигателем вращающей антенны и представляет собой: двухфазный генератор синусоидальных напряжений.

2. С выхода преобразователя сигнал поступает на фазовый детектор (ФД) каналов азимута и угла места. Каждый канал управляет антенной в соответствующей плоскости.

Фазовый детектор выделяет напряжение ошибки, пропорциональное смещению цели относительно горизонтальной линии.

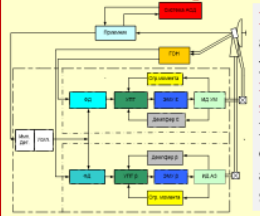
Принцип работы СПУА



ГОН вырабатывает: два опорных напряжения синусоидальной формы, сдвинутых по фазе на 90°. Напряжение $U_{оп}$ является опорным для канала азимута, а напряжение $U_{ог}$ - для канала места. Их частота равна частоте сканирования Ω , а фаза жестко связана с углом поворота антенны в плоскости сканирования.

3. В результате детектирования на нагрузке ФД выделяется напряжение, пропорциональное угловому смещению цели относительно горизонтальной линии в соответствующей плоскости. Это напряжение называется управляющим, так как в зависимости от его величины и знака антенна поворачивается в ту или другую сторону.

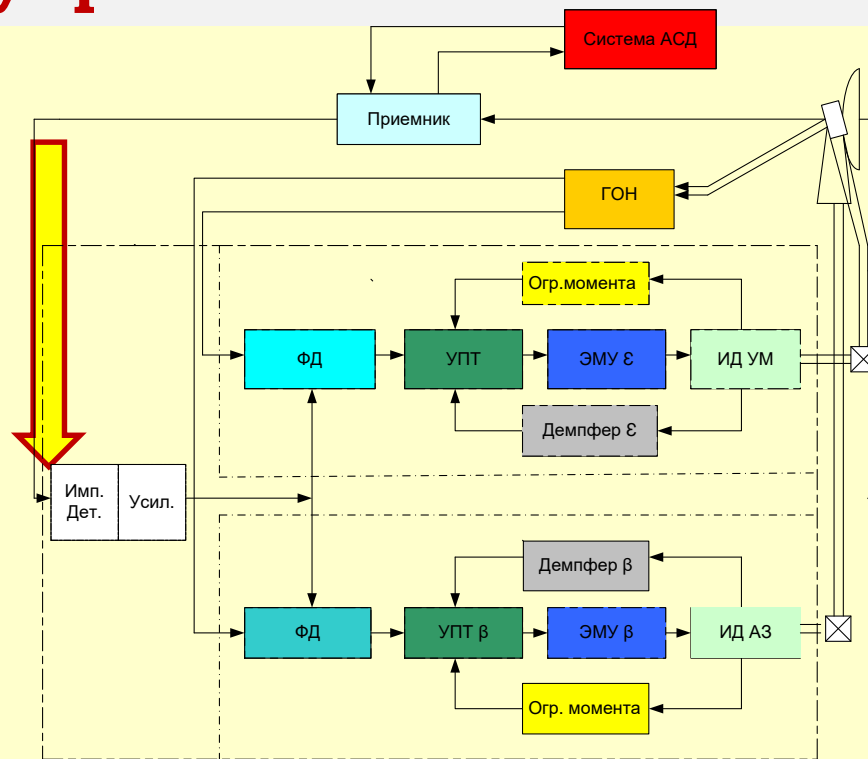
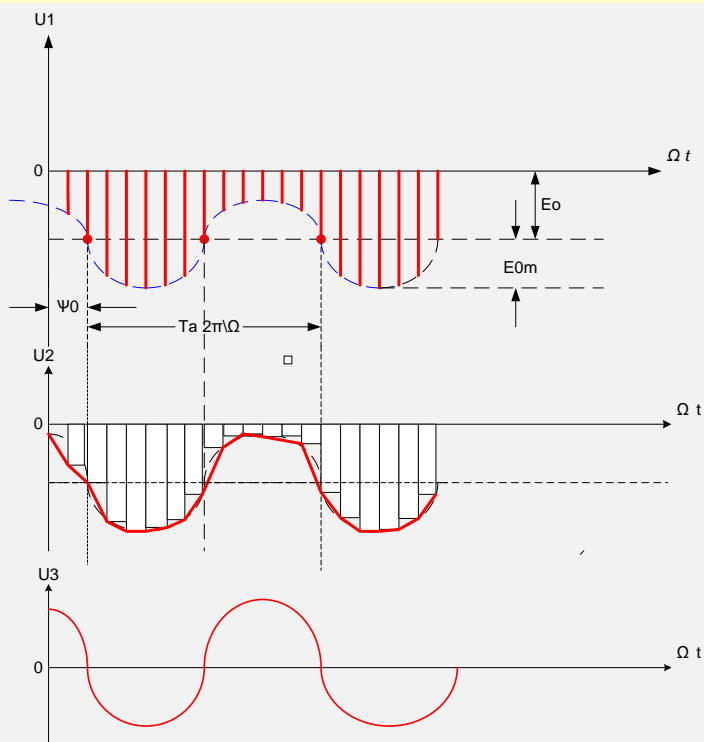
Принцип работы СПУА



Напряжение управления положением антенны, снимаемое с ФД, усиливается в двухкаскадном усилителе мощности, состоящем из УПТ и электромашинного усилителя (ЭМУ). Выходное напряжение питает якорную обмотку ИД антенны, изменяя движение антенны в соответствии с величиной и знаком управляющих напряжений.

4. Для обеспечения плавности перемещения оси антенны в процессе сопровождения цели имеются стабилизирующие устройства. Их действие основано на использовании отрицательной обратной связи. Эту роль выполняют два каскада: ограничитель моментов и демпфер. Огр. моментов - устраняет сильные рывки антенны и предохраняет цепи приводного двигателя от перегрузок, при больших амплитудах сигнала ошибки. Демпфер - устраняет колебания антенны. ❌

Принцип работы следящего привода управления антенной.

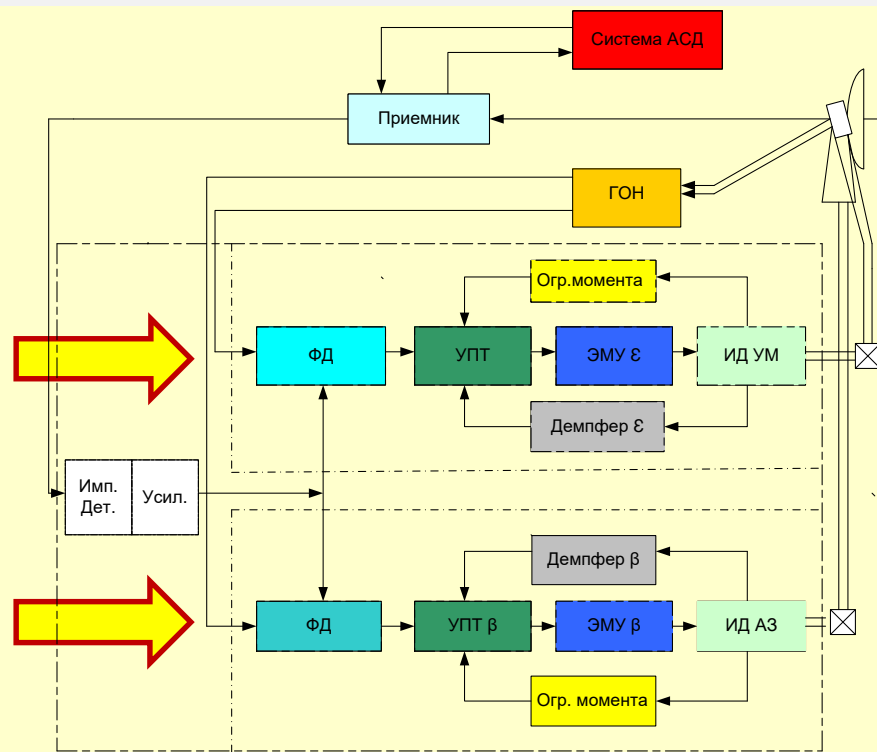


1. Из приемника видеоимпульсы поступают на **преобразователь сигнала ошибки**, состоящий из **импульсного детектора** и **усилителя**.

Импульсный детектор - детектирует поступающие от приемника отрицательные видеоимпульсы.

На выходе **ИД** образуется пульсирующее выпрямленное напряжение, переменная составляющая которого усиливается в **усилителе** с симметричным выходом.

Принцип работы СПУА



2. С выхода **усилителя** сигнал поступает на фазовый детектор (**ФД**) каналов *азимута* и *угла места*.

Каждый канал управляет антенной в соответствующей плоскости.

ФД - выделяет из сигнала ошибки составляющую, пропорциональную угловому смещению цели в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

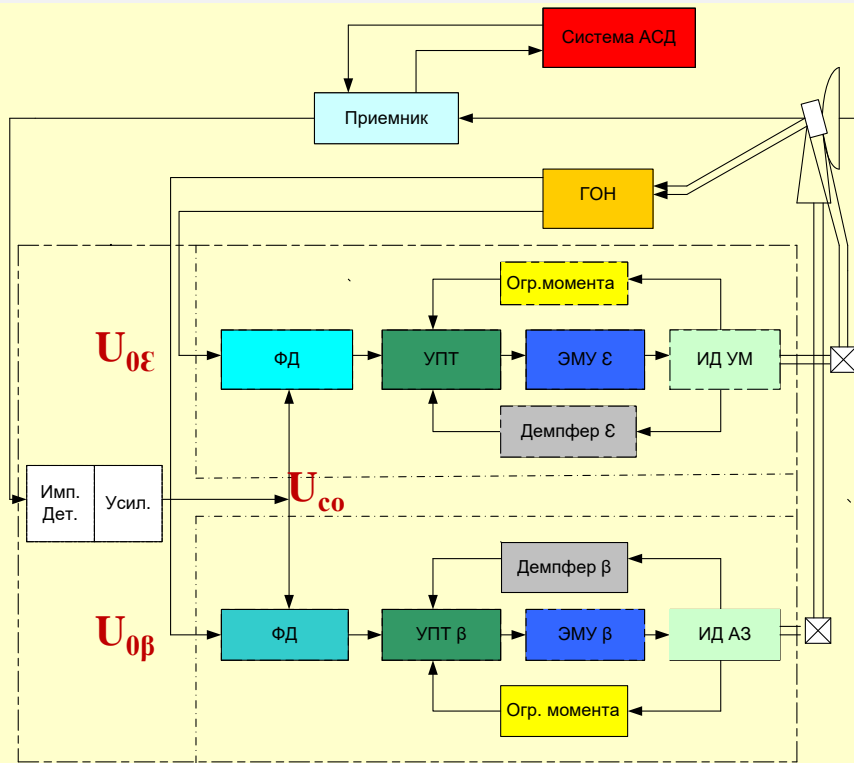
На **фазовые детекторы (ФД)** поступают напряжения:

- напряжение сигнала ошибки;
- опорные напряжения, вырабатываемые генератором опорных напряжений (**ГОН**).

ГОН - установлен на одном валу с двигателем вращения облучателя антенны и представляет собой:

- двухфазный генератор синусоидальных напряжений.

Принцип работы СПУА



ГОН вырабатывает: два опорных напряжения синусоидальной формы, сдвинутых по фазе на 90° .

- $U_{0\beta}$, является опорным для *канала азимута*,

- $U_{0\varepsilon}$ – для *канала угла места*;

- их частота равна частоте конического сканирования Ω ,

- фаза жестко связана с положением луча антенны в пространстве.

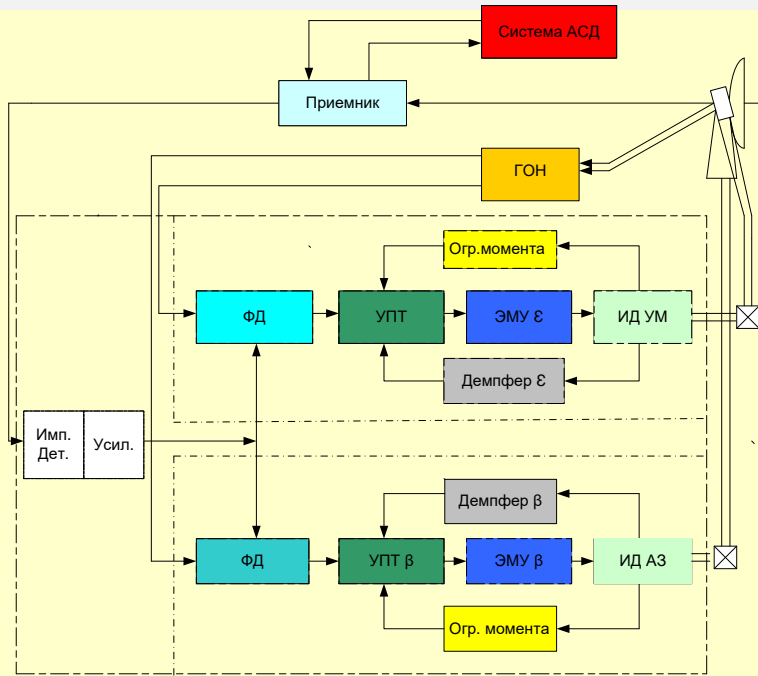
3. В результате детектирования на нагрузке **ФД** выделяется:

- постоянное напряжение, пропорциональное угловому смещению цели в соответствующей плоскости.

Это напряжение называется *управляющим*.

В зависимости от его величины и знака **антенна** поворачивается в ту или другую сторону.

Принцип работы СПУА



Напряжение управления положением антенны, снимаемое с **ФД**, усиливается в двухкаскадном усилителе мощности из:

- УПТ (усилитель пост. тока);
- ЭМУ (электромашинного усилителя).

Выходное напряжение питает:

- якорную обмотку исполнительного двигателя (**ИД**) антенны, изменяя ее движение в соответствии с величиной и знаком управляющих напряжений.

4. Для обеспечения плавности перемещения оси антенны в процессе сопровождения цели имеются стабилизирующие устройства.

Их действие основано на использовании отрицательной обратной связи. Эту роль выполняют два каскада: - *ограничитель моментов и демпфер*.

Огр. моментов - устраняет сильные рывки антенны и предохраняет цепи приводного двигателя от перегрузок, при больших амплитудах **СО**.

Демпфер - устраняет *колебания* антенны. Демпфер (нем. Dämpfer «глушитель, амортизатор») — устройство для гашения (демпфирования) или предотвращения колебаний, возникающих в машинах, приборах и системах при их работе. ❌

Принцип работы СПУА

Причина возникновения колебаний – **инерционность** механической части антенной системы.

Приводной двигатель, стремящийся повернуть антенну в положение точного пеленга, при котором сигнал ошибки равен нулю, не может мгновенно остановить антенну, и она по инерции проскакивает это положение.

По другую сторону положения точного пеленга сигнал ошибки меняет знак, вследствие чего антенна начинает двигаться в обратном направлении, вновь проскакивая нулевое положение и т.д.

Для устранения подобных колебаний используется отрицательная обратная связь. Напряжением обратной связи, подаваемым на усилитель постоянного тока для подавления колебаний, является переменное напряжение, индуктируемое при колебаниях антенны в якоре приводного двигателя.

Автоматическое сопровождение цели осуществимо лишь в том случае, когда на систему АСН поступает импульс, отраженный от одной цели.

В пределах луча антенны, помимо выбранной цели, могут оказаться и другие. В этом случае за период повторения импульсов в приемник поступает несколько отраженных сигналов.

В результате форма огибающей видеоимпульсов на выходе приемника искажается. Система АСН при этом вырабатывает ложный сигнал ошибки, и автоматическое сопровождение заданной цели становится невозможным.

Принцип работы СПУА

Для нормальной работы системы АСН на ее вход должны поступать отраженные импульсы не от всех целей, а только от одной выбранной цели. Поэтому тот канал приемника, с которого поступают видеоимпульсы на вход системы АСН (канал автосопровождения), должен отпираться лишь при приеме сигнала, отраженного от выбранной цели.

Процесс, при котором из суммы импульсов, приходящих в различное время, выбираются лишь импульсы, соответствующие определенному времени (в данном случае времени запаздывания импульса от заданной цели) называется временной селекцией.

Для временной селекции в данной схеме используются селекторные импульсы. Канал автосопровождения приемника постоянно заперт и отпирается лишь на время действия селекторного импульса. Поэтому в этом канале усиливаются только те отраженные импульсы, время запаздывания которых относительно прямого импульса равно времени задержки селекторного импульса.

Для непрерывной временной селекции при перемещении цели необходимо согласовать момент генерирования селекторного импульса, т.е. время задержки, с дальностью цели, т.е. с временем запаздывания отраженного сигнала.

Следовательно, система АСН в процессе работы должна быть связана с системой измерения дальности. В рассматриваемой системе АСН временная селекция цели осуществляется селекторными импульсами, поступающими из системы автосопровождения по дальности.



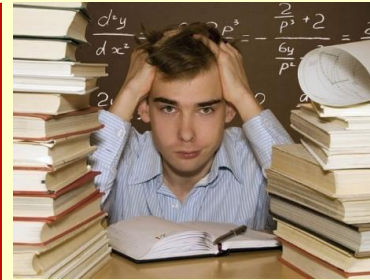
ЗАДАНИЕ НА САМОПОДГОТОВКУ:

Изучить:

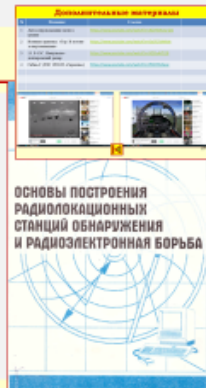
- материал занятия по конспекту, презентации и указанной литературе.

Вопросы занятия:

1. Принцип автоматического сопровождения цели по дальности.
2. Принцип автоматического сопровождения цели по угловым координатам.
3. Следящий привод управления антенной.



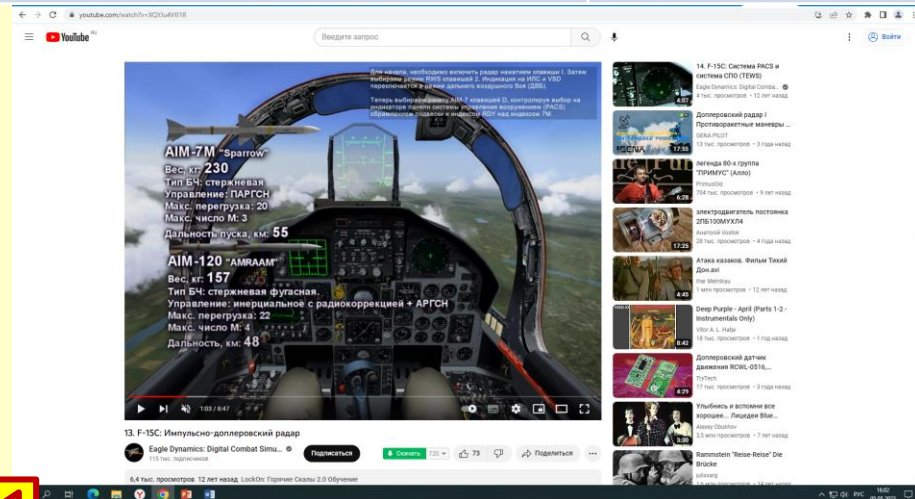
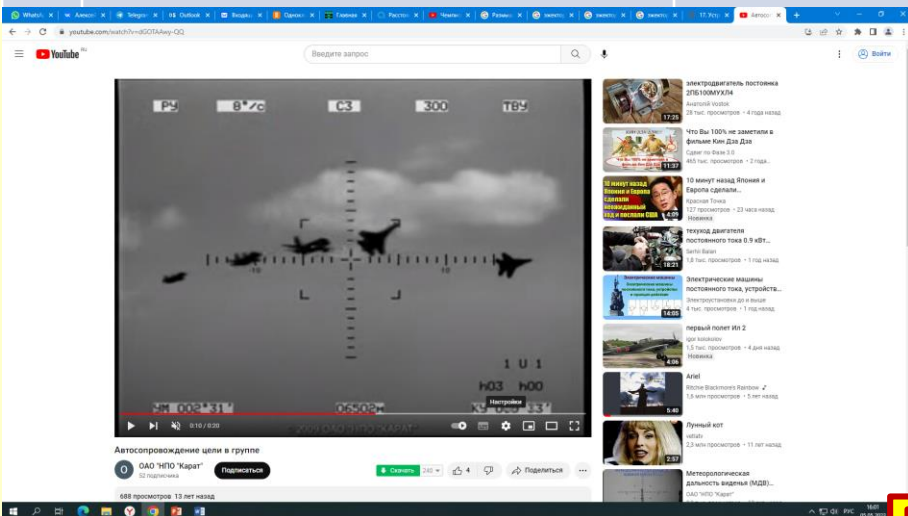
- Литература:**
1. Учебное пособие «Основы построения ЗАК»-2013 г., стр. 152-159
 2. Учебное пособие «Основы построения РАС обнаружения и РЭБ» ТУСУР - 2003 г., стр. 75-82.



Конец занятия

Дополнительные материалы

№	Название	Ссылка
1	Автосопровождение цели в группе	https://www.youtube.com/watch?v=dGOTAAwy-QQ
2	Военная приемка. «Тор. В погоне за неуловимыми»	https://www.youtube.com/watch?v=xh1F1ey-VAQ
3	13. F-15C: Импульсно-доплеровский радар	https://www.youtube.com/watch?v=XQYJu4VfJ18
4	Гибка-С (РЛС 1РЛ122 «Гармонь»)	https://www.youtube.com/watch?v=e3fzjDn6HaQ
5	Госиспытания комплекса ПВО "Гибка-С"	https://www.youtube.com/watch?v=ZwBtswyHdPg



Контрольные вопросы:

1. Принцип работы автоматической следящей системы.

2. Индикаторные синхронные передачи.

3. Принцип работы вращающихся трансформаторов.

Вопрос 1 **Принцип работы автоматической следящей системы**

Автоматизация
Автоматизация - это процесс замены и функций, выполняемых человеком в процессе управления системой управления, автоматизированной системой.

Виды САУ:
1. **Регулирующая САУ**
2. **Следящая САУ**
3. **Система АЧ (САУ)**

Следящие системы:
Следящие системы - системы автоматического регулирования, в которых заданные величины изменяются во времени по заранее известному закону.

Принцип работы следящей системы:
Следящая система - это система автоматического регулирования, в которой заданные величины изменяются во времени по заранее известному закону.

Принцип работы следящей системы:
Следящая система - это система автоматического регулирования, в которой заданные величины изменяются во времени по заранее известному закону.

У2-11.09.01-8

Вопрос 2 **Индикаторные синхронные передачи**

Виды передач кулишного момента

Синхронная передача
Синхронная передача - система, обеспечивающая непрерывное отслеживание угла поворота.

Синхронная передача с одним СД
Синхронная передача с одним СД - система, обеспечивающая непрерывное отслеживание угла поворота.

Синхронная передача с двумя СД
Синхронная передача с двумя СД - система, обеспечивающая непрерывное отслеживание угла поворота.

Синхронная передача с тремя СД
Синхронная передача с тремя СД - система, обеспечивающая непрерывное отслеживание угла поворота.

Синхронная передача с четырьмя СД
Синхронная передача с четырьмя СД - система, обеспечивающая непрерывное отслеживание угла поворота.

Вопрос 3 **Принцип работы вращающихся трансформаторов. Синхронная передача на ВТ.**

Вращающиеся трансформаторы (ВТ)
Вращающиеся трансформаторы (ВТ) - это трансформаторы, в которых магнитный поток создается вращающимся ротором.

Синхронная передача на ВТ
Синхронная передача на ВТ - это способ передачи информации с помощью вращающегося трансформатора.

Синхронная передача на ВТ
Синхронная передача на ВТ - это способ передачи информации с помощью вращающегося трансформатора.

Синхронная передача на ВТ
Синхронная передача на ВТ - это способ передачи информации с помощью вращающегося трансформатора.



