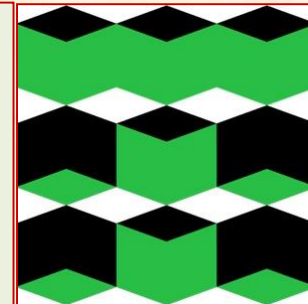




Военный учебный центр при Томском политехническом университете



**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 зенитной самоходной установки»



Тема №7 Устройство РПК-2М

Контрольные вопросы -



Занятие №15 Счетно-Решающий Прибор

Цели занятия:

Изучить:

- назначение, состав и технические характеристики СРП;
- принцип работы СРП;
- назначение, устройство и принцип действия блоков X, Y, H; V_x, V_y, V_n.

Актуальность занятия:

Обусловлено:

- необходимостью иметь глубокие и твердые знания по назначению, составу и техническим характеристикам СРП; принципу работы СРП; назначению, устройству и принципу действия блоков X, Y, H, V_x, V_y, V_n для формирования компетенций офицера войсковой ПВО.

ВИД ЗАНЯТИЯ: групповое занятие, 4 часа

Вопрос 1

Назначение, состав и технические характеристики СРП

Счетно-Решающий Прибор

СРП - для решения задачи встречи снаряда с целью при управлении огнем АЗП-23М.



- Сост
- координатные бл
 - скоростные блоки
 - решающие блоки
 - блок проверок БП
 - преобразователь к
 - (элементы располо
 - в блоке механизма
 - антенной колонке

Счетно-Решающий Прибор

СРП - расположен перед сидением командира ЗСУ в левом переднем углу приборного отсека башни ЗСУ-23-4М



Конструктивно прибор выполнен в виде стойки (каркас прямоугольной формы.

Каркас прибора сварной из штампованных профилей. В ячейках каркаса крепятся блоки с помощью невыпа болтов.

Технические характеристики:

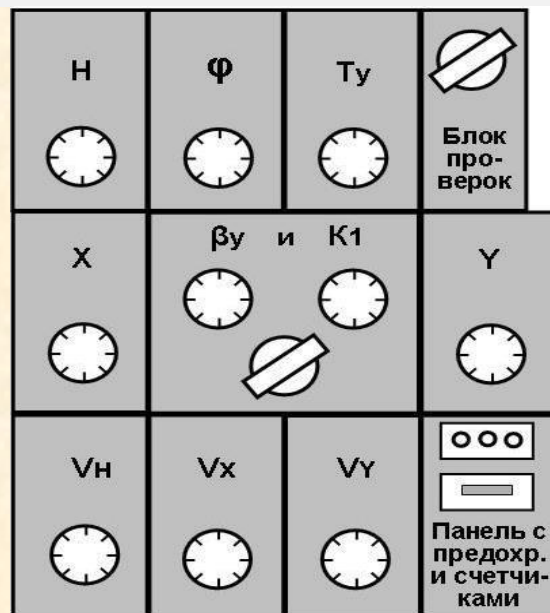
пределы работы:	
по текущим координатам X и Y	от -100 до +1500 м
по высоте цели H	от -9000 до +9000 м
по азимуту текущему β и упрежденному β_u	неограниченно
по углу возвышения φ	от -0-85 до +14-50
по упрежденному времени T_u	от 0,2 до 5,5 с
по скорости цели $V_{ц}$	от 0 до 450 м/сек
в СРП предусмотрен:	
учет поправки на суммарное отклонение начальной скорости снаряда от табличной $\Delta V_{0 \text{ сум}}$	от -10 до +6 % (на блоке проверки)
ввод корректуры в упрежденный азимут β_u и угол возвышения φ	от -0-50 до +0-50 (на блоках φ , β_u и K1)
электропитание СРП:	
переменные напряжения	115В и 220В 400 Гц
напряжение постоянного тока	27,5В
Время непрерывной работы	до 8 часов

Счетно-Решающий Прибор

СРП - для решения задачи встречи снаряда с целью при управлении огнем АЗП-23М.

Состав:

- координатные блоки X, Y, H ;
- скоростные блоки V_x, V_y, V_H ;
- решающие блоки T_y ; ϕ ; β_y и K_1 ;
- блок проверок БП (10).
- преобразователь координат (элементы расположены:- в блоке механизма дальности; - антенной колонке РЛС).



Счетно-Решающий Прибор

СРП - расположен перед сидением командира ЗСУ в левом переднем углу приборного отсека башни ЗСУ-23-4М



Конструктивно прибор выполнен:

- в виде сварной стойки (каркаса) прямоугольной формы из штампованных профилей.

В ячейках каркаса крепятся:

- блоки с помощью невыпадающих болтов.

Технические характеристики:

пределы работы:	
по текущим координатам X и Y	от -100 до +1500 м
по высоте цели H	от -9000 до +9000 м
по азимуту текущему β и упрежденному β_y	неограниченно
по углу возвышения φ	от -0-85 до +14-50
по упрежденному времени T_y	от 0,2 до 5,5 с
по скорости цели $V_{ц}$	от 0 до 450 м/сек
в СРП предусмотрен:	
учет поправки на суммарное отклонение начальной скорости снаряда от табличной $\Delta V_{о\ сум}$	от -10 до +6 % (на блоке проверки)
ввод корректуры в упрежденный азимут β_y и угол возвышения φ	от -0-50 до +0-50 (на блоках φ , β_y и K1)
электропитание СРП:	
переменные напряжения	115В и 220В 400 Гц
напряжение постоянного тока	27,5В
Время непрерывной работы	до 8 часов



Вопрос 2

Принцип работы СРП

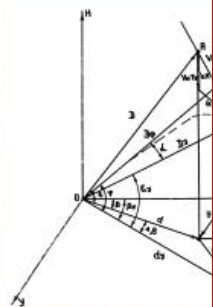
Принцип работы СРП.

Задача управления огнем заключается в том, чтобы по текущим координатам цели и параметрам ее движения непрерывно определять координаты и дальности встречи снаряда. В основу работы системы положены уравнения прямолинейного движения снаряда в течение упреждения.

- текущие координаты цели, которые преобразуются в систему координат системы СРП. В качестве параметров характеризующих движение цели, определяются следующие:

- упреждение

Рассчитываю дальности



1. Входные данные

- это координаты цели в прямоугольной системе координат

2. Обработка и сглаживание

входных величин X,Y,H и скоростей их изменения V_x, V_y, V_H

При слежении за целью возникают ошибки в координатах. Прямоугольные составляющие ошибок дифференцируются по времени.

$$V_x = dx/dt;$$

Эти ошибки, имея случайный характер, в СРП сглаживаются. Так как случайные ошибки

3. Определение

величин упреждений и координат упрежденной точки.

В СРП составляющие скорости умножаются соответственно на время T_y (время упреждения), причем для каждой составляющей скорости получены свои коэффициенты.

$$\Delta X = V_{xc} \cdot (T_y + \tau),$$

где τ – постоянная времени.

Значение упреждения

$$X_y = X_c + \Delta X,$$

где X_c, Y_c, H_c – сглаженные координаты цели, $\Delta X, \Delta Y, \Delta H$ – упреждения.

4. Решение задачи встречи.

СРП

Проецируя фиктивную цель на координаты X, Y и H по

Из сравнения систем упреждения систем одинаковы, т.е.

В уравнениях системы (15)

Работа прибора в режиме ЗУ

При временной потере цели радиолокатором, СРП работает в режиме ЗУ. При движении цели по принятой гипотезе текущие координаты X, Y, H непрерывно изменяются с постоянными скоростями.

Если в первый момент времени t_1 , соответствующий началу работы СРП в режиме ЗУ координаты цели будут $X_{t_1}, Y_{t_1}, H_{t_1}$, то в последующие моменты времени к этим координатам необходимо добавить упреждения:

$$\Delta X = V_x(t_2t_1), \Delta Y = V_y(t_2t_1), \Delta H = V_H(t_2t_1). \quad (14)$$

В результате получаются окончательные выражения для определения исходных данных:

$$X = X_{t_1} + V_x(t_2t_1), Y = Y_{t_1} + V_y(t_2t_1), H = H_{t_1} + V_H(t_2t_1). \quad (15)$$

где t_1 – момент времени, соответствующий началу работы ЗУ, t_2 – последующий момент времени работы ЗУ.

Для решения этих зависимостей при переходе на режим ЗУ следящие системы CCV_x, CCV_y, CCV_H , СРП стопорятся и напряжения пропорциональные запомненным скоростям (значение скоростей в момент перехода на ЗУ), поступают во входные следящие системы $ССХ, ССУ, ССН$.

Эти системы, включенные в режим привода стабильной скорости, будут обрабатывать X, Y, H согласно приведенным ранее зависимостям (15). Текущие координаты X, Y, H и постоянные параметры V_x, V_y, V_H используются для решения задачи встречи и наведения в режиме ЗУ.

Принцип работы СРП

Задача управления огнем заключается в том, чтобы по текущим координатам цели и параметрам ее движения непрерывно определять данные для стрельбы, обеспечивающие встречу снаряда с целью.

В основу **решения задачи встречи** заложена гипотеза:
- о прямолинейном и равномерном движении цели в любой плоскости в течение упредительного времени.

Входными данными СРП являются:

- текущие координаты цели (β, ε, D) поступающие от РЛС, которые преобразуются в значения X, Y, H прямоугольной системы координат.

В качестве параметров движения цели, т.е. величин, характеризующих направление и скорость ее движения, в приборе определяются составляющие скорости $-V_x, V_y, V_H$.

Выходными данными СРП являются:

- упрежденный азимут β_y и угол возвышения φ .

Зависимости решаемые СРП

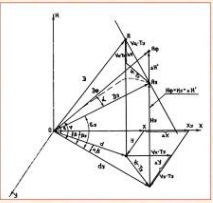
ЭТАПЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ВСТРЕЧИ СНАРЯДА С ЦЕЛЮ

Входные данные СРП

Отработка и сглаживание входных величин X, Y, H и скоростей их изменения V_x, V_y, V_H

1. Входные данные

Входные данные - это координаты цели в прямоугольной системе координат. Рассчитываются как проекции текущей наклонной дальности D , по следующим зависимостям:



$$\begin{aligned} X &= d \cos \beta \\ Y &= d \sin \beta \\ H &= D \sin \epsilon \end{aligned}$$

где $d = D \cos \epsilon$ (d -проекция D).

Определение величин упреждений и координат упрежденной точки

Решение задачи встречи

2. Отработка и сглаживание

входных величин X, Y, H и скоростей их изменения V_x, V_y, V_H

При слежении за целью при помощи РЛС (оптического визира) неизбежны ошибки в координатах β, ϵ, D , а, следовательно и в X, Y, H . Прямоугольные составляющие скорости цели, полученные путем дифференцирования текущих координат цели X, Y, H :

$$\begin{aligned} V_x &= dx/dt; & V_y &= dy/dt; & V_H &= dH/dt \quad (2); \end{aligned}$$

также будут искажены ошибками.

Эти ошибки, имея колебательный характер и проходя через механизм СРП, вызывают ошибки на его выходе. Такие ошибки называются случайными. Случайные ошибки вызывают сильные качания баини, что снижает точность стрельбы.

4. Решение задачи встречи

Проецируя фиктивную дальность D_ϕ на оси прямоугольной системы координат X, Y и H получим следующие значения прямоугольных координат точки A_ϕ :

$$\begin{aligned} X_\phi &= D_\phi \cos \epsilon \cos \beta_\phi \\ Y_\phi &= D_\phi \cos \epsilon \sin \beta_\phi \quad (6) \\ H_\phi &= D_\phi \sin \epsilon \end{aligned}$$

Из сравнения систем уравнений (5) и (6) видно, что левые части этих систем одинаковы, т.е. можно приравнять и правые части между собой:

$$\begin{aligned} X_\phi + \Delta X &= D_\phi \cos \epsilon \cos \beta_\phi \\ Y_\phi + \Delta Y &= D_\phi \cos \epsilon \sin \beta_\phi \quad (7) \\ H_\phi + \Delta H &= D_\phi \sin \epsilon \end{aligned}$$

В уравнениях системы (7) величина D_ϕ является функцией ϕ, T_τ и ΔV_0 , а ΔH - функцией ϕ и T_τ .

$$D_\phi = f(T_\tau, \phi, \Delta V_0) \quad \Delta H = f(\phi, T_\tau) \quad (8)$$

3. Определение

величин упреждений и координат упрежденной точки:

В СРП составляющие упреждения $\Delta X, \Delta Y$ и ΔH определяются путем умножения соответствующих скоростей V_x, V_y, V_H на упрежденное время T_τ (время полета снаряда до упрежденной точки), причем для компенсации систематических ошибок, полученных при сглаживании координат, составляющие скорости $V_{xcp}, V_{ycp}, V_{Hcp}$ умножаются на сумму T_{cy}, τ :

$$\begin{aligned} \Delta X &= V_{xcp}(T_\tau + \tau), & \Delta Y &= V_{ycp}(T_\tau + \tau), & \Delta H &= V_{Hcp}(T_\tau + \tau) \quad (4) \end{aligned}$$

где τ - постоянная времени следящих систем X, Y, H .

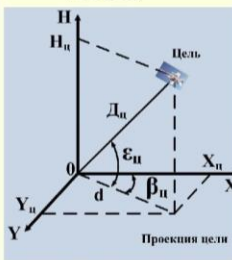
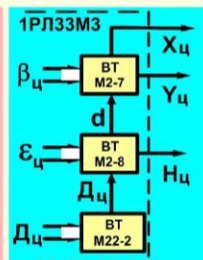

Значение упрежденных координат определяются по зависимости:

$$\begin{aligned} X_\tau &= X_c + \Delta X, & Y_\tau &= Y_c + \Delta Y, & H_\tau &= H_c + \Delta H \quad (5) \end{aligned}$$

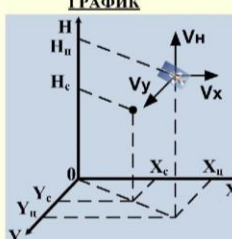
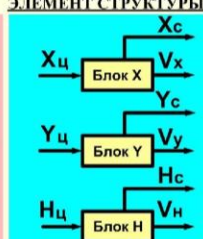

где X_c, Y_c, H_c - сглаженные координаты текущего положения цели, а $\Delta X, \Delta Y$ и ΔH - величины упреждений.

При временной потере цели радиолокатором СРП работает в режиме ЗУ.

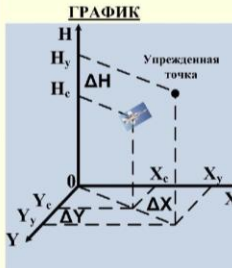
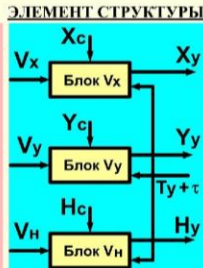
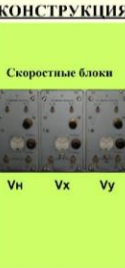
I этап. ПРЕОБРАЗОВАНИЕ СФЕРИЧЕСКИХ КООРДИНАТ ЦЕЛИ В ПРЯМОУГОЛЬНЫЕ

ГРАФИК	МОДЕЛЬ	ЭЛЕМЕНТ СТРУКТУРЫ	КОНСТРУКЦИЯ
	$\begin{aligned} H_c &= D_c \sin \epsilon_c \\ X_c &= D_c \cos \epsilon_c \cos \beta_c \\ Y_c &= D_c \cos \epsilon_c \sin \beta_c \end{aligned}$		 <p>Антенная колонка Система измерения дальности</p>


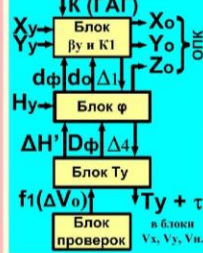

II этап. СГЛАЖИВАНИЕ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ТЕКУЩИХ КООРДИНАТ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ ЦЕЛИ

ГРАФИК	МОДЕЛЬ	ЭЛЕМЕНТ СТРУКТУРЫ	КОНСТРУКЦИЯ
	$\begin{aligned} V_x &= \frac{dX_c}{dt}; & X_c &= X_c - V_x \tau; \\ V_y &= \frac{dY_c}{dt}; & Y_c &= Y_c - V_y \tau; \\ V_H &= \frac{dH_c}{dt}; & H_c &= H_c - V_H \tau. \end{aligned}$		 <p>Координатные блоки Блок H Блок Y Блок X</p>

III этап. СГЛАЖИВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ ЦЕЛИ, ОПРЕДЕЛЕНИЕ УПРЕЖДЕНИЙ И УПРЕЖДЕННЫХ КООРДИНАТ

ГРАФИК	МОДЕЛЬ	ЭЛЕМЕНТ СТРУКТУРЫ	КОНСТРУКЦИЯ
	$\begin{aligned} \Delta X &= V_{xc}(T_\tau + \tau); & X_\tau &= X_c + \Delta X; \\ \Delta Y &= V_{yc}(T_\tau + \tau); & Y_\tau &= Y_c + \Delta Y; \\ \Delta H &= V_{Hc}(T_\tau + \tau); & H_\tau &= H_c + \Delta H. \end{aligned}$		 <p>Скоростные блоки VH Vx Vy</p>

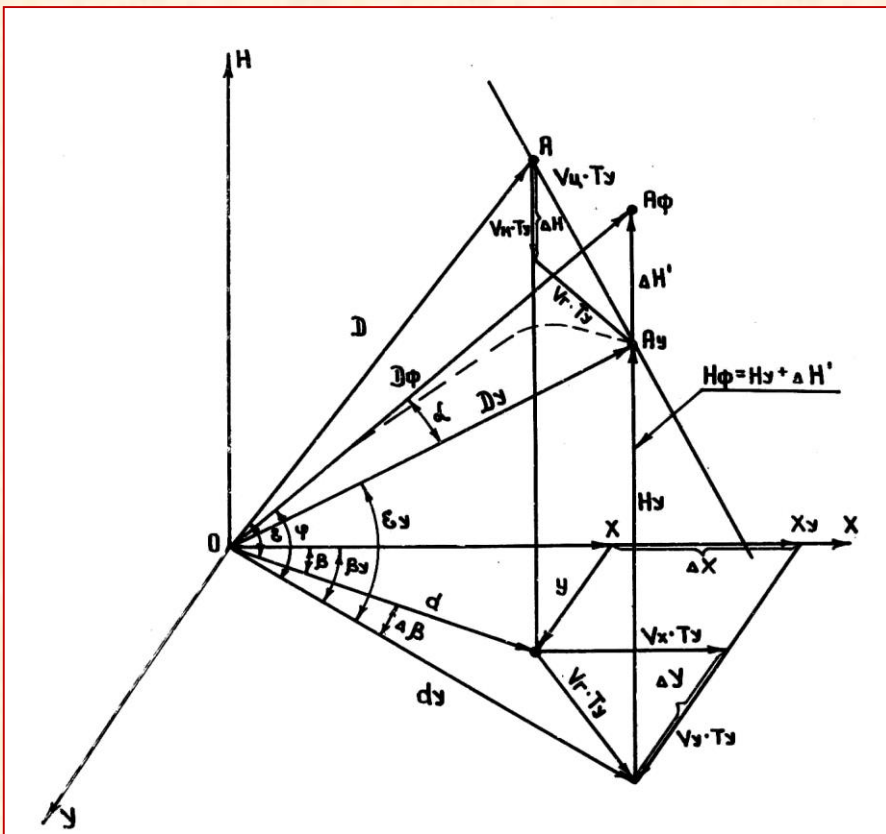
IV этап. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫХОДНЫХ ДАННЫХ

ГРАФИК	МОДЕЛЬ	ЭЛЕМЕНТ СТРУКТУРЫ	КОНСТРУКЦИЯ
	$\begin{aligned} D\phi &= f(\phi, T_\tau, \Delta V_0, \phi); \\ \Delta H' &= f(T_\tau); \\ \delta X &= X_\tau - D\phi \cos \epsilon \cos \beta_\tau; \\ \delta Y &= Y_\tau - D\phi \cos \epsilon \sin \beta_\tau; \\ \delta H &= H_\tau - D\phi \sin \epsilon; \\ \Delta 1 &= \delta Y \sin \beta_\tau + \delta X \cos \beta_\tau; \\ \Delta 2 &= \delta Y \cos \beta_\tau - \delta X \sin \beta_\tau; \\ \Delta 3 &= \delta H \cos \epsilon - \Delta 1 \sin \epsilon - \Delta H' \cos \epsilon; \\ \Delta 4 &= \delta H \sin \epsilon + \Delta 1 \cos \epsilon + \Delta H' \sin \epsilon. \end{aligned}$		 <p>Решающие блоки Блок phi Блок проверки Блок Yu и K1 Блок Tu Блок Vx, Vy, Vn</p>

1. Входные данные

Входные данные - это координаты цели в прямоугольной системе координат.

Рассчитываются как проекции текущей наклонной дальности D , по следующим зависимостям:



$$\begin{aligned} X &= d \cos \beta \\ Y &= d \sin \beta, \\ H &= D \sin \varepsilon, \end{aligned}$$

где $d = D \cos \varepsilon$
(d - проекция D).



2. Отработка и сглаживание

входных величин X, Y, H и скоростей их изменения V_x, V_y, V_H

При слежении за целью при помощи РЛС (оптического визира) неизбежны ошибки в координатах β, ε, D, a , следовательно и в X, Y, H . Прямоугольные составляющие скорости цели, полученные путем дифференцирования текущих координат цели X, Y, H :

$$V_x = dx/dt ; \quad V_y = dY/dt ; \quad V_H = dH/dt \quad (2);$$

также будут искажены ошибками.

Эти ошибки, имея колебательный характер и проходя через механизм СРП, вызывают ошибки на его выходе.

Такие ошибки называются случайными.

Случайные ошибки вызывают сильные качания башни, что снижает точность стрельбы.

2. Отработка и сглаживание

входных величин X, Y, H и скоростей их изменения V_x, V_y, V_H

Для уменьшения влияния случайных ошибок в СРП предусмотрено сглаживание координат X, Y, H и скоростей их изменения V_x, V_y, V_H .

Сглаживание координат и скоростей осуществляется следящими системами с глубокой обратной связью.

Назначение сглаживающих систем является - отфильтровывание полезного сигнала от помех и сглаживание колебаний, наложенных на полезный сигнал.

Сглаживание величин X, Y, H, V_x, V_y, V_H в процессе их отработки происходит в следующей последовательности:

*Например, в какой-то момент времени возникло колебание, обусловленное случайными ошибками, это колебание заставляет повернуться исполнительный двигатель **СС** и изменит значение обрабатываемой величины.*

*В момент изменения обрабатываемой величины с якоря **ТГ** кинематически связанного с двигателем, будет сниматься напряжение.*

Это напряжение, поданное на усилитель в противофазе относительно задающего напряжения, начнет тормозить движение двигателя.

Таким образом, *благодаря тормозящему действию **ТГ** двигатель не обрабатывает полностью колебание величины, т.е. происходит сглаживание случайных ошибок, и тем больше, чем больше постоянная времени **СС**.*

2. Отработка и сглаживание

входных величин X, Y, H и скоростей их изменения V_x, V_y, V_H

Однако неограниченно увеличивать величину постоянной времени, т.е. повышать сглаживающее свойство следящей системы нельзя, так как это приводит к увеличению времени входа данной системы в режим (увеличивается т.н. наблюдательное время).

В СРП приняты следующие постоянные времени следящих систем:

$$\begin{array}{ll} X, Y, H & \tau = 0,5 \text{ сек.} \\ V_x, V_y, V_H & \Theta = 1,5 \text{ сек.} \end{array}$$

Так как согласно принятой гипотезе координаты X, Y, H при слежении изменяются с постоянной скоростью, то выходная величина сглаживающего устройства будет отличаться от его входной величины на произведение скорости изменения входной величины на постоянную времени системы.

В этом случае следящая система будет иметь систематическую ошибку, т.е.:

$$X_c = X - V_x \cdot \tau; \quad Y_c = Y - V_y \cdot \tau; \quad H_c = H - V_H \cdot \tau \quad (3)$$

При сглаживании скоростей изменения координат V_x, V_y, V_H систематических ошибок не будет, т.к. согласно принятой гипотезе величины V_x, V_y, V_H со временем не изменяются.



3. Определение

величин упреждений и координат упрежденной точки:

В СРП составляющие упреждения ΔX , ΔY и ΔH определяются путем умножения соответствующих скоростей V_x , V_y , V_H на упредительное время T_y (время полета снаряда до упрежденной точки), причем для компенсации систематических ошибок, полученных при сглаживании координат, составляющие скорости V_{xc} , V_{yc} , V_{Hc} умножаются на сумму $T_y + \tau$:

$$\Delta X = V_{xc} \cdot (T_y + \tau), \quad \Delta Y = V_{yc} \cdot (T_y + \tau), \quad \Delta H = V_{Hc} \cdot (T_y + \tau) \quad (4)$$

где τ – постоянная времени следящих систем X , Y , H .

Значение упрежденных координат определяются по зависимости:

$$X_y = X_c + \Delta X, \quad Y_y = Y_c + \Delta Y, \quad H_y = H_c + \Delta H \quad (5)$$

где X_c , Y_c , H_c – сглаженные координаты текущего положения цели, а ΔX , ΔY и ΔH – величины упреждений. 

4. Решение задачи встречи

Изучить
самостоятельно

Проецируя фиктивную дальность D_ϕ на оси прямоугольной системы координат X , Y и H получим следующие значения прямоугольных координат точки A_ϕ :

$$\begin{aligned} X_y &= D_\phi \cdot \cos\varphi \cdot \cos\beta_y, \\ Y_y &= D_\phi \cdot \cos\varphi \cdot \sin\beta_y, \quad (6) \\ H_\phi &= D_\phi \cdot \sin\varphi, \quad H\phi = H_y + \Delta H' \end{aligned}$$

Из сравнения систем управлений (5) и (6) видно, что левые части этих систем одинаковы, т.е. можно приравнять и правые части между собой:

$$\begin{aligned} X_c + \Delta X &= D_\phi \cdot \cos\varphi \cdot \cos\beta_y, \\ Y_c + \Delta Y &= D_\phi \cdot \cos\varphi \cdot \sin\beta_y, \quad (7) \\ H_\phi + \Delta H' &= D_\phi \cdot \sin\varphi. \end{aligned}$$

В уравнениях системы (7) величина D_ϕ является функцией φ , T_y и ΔV_0 , а $\Delta H'$ – функцией φ и T_y .

$$\begin{aligned} D_\phi &= f(T_y, \varphi, \Delta V_0), \\ \Delta H &= f(T_y, \varphi) \quad (8) \end{aligned}$$

4. Решение задачи встречи

Анализ зависимости $\Delta H' = f(T_y, \varphi)$ показал, что $\Delta H'$ изменяется при изменении T_y и практически не зависит от φ , потому зависимость $\Delta H = f(T_y, \varphi)$ заменено зависимостью: $\Delta H = f(T_y)$ (9)

Для реализации в приборе зависимость: $D_\varphi = f(T_y, \varphi, \Delta V_0)$,

заменена на $D_\varphi = D_{\varphi 0}(T_y, \Delta V_0) + \Delta H(T_y) \sin(K\varphi - \varphi_0)$, (10)

$$\text{где } D_{\varphi 0}(T_y, \Delta V_0) = f_1(\Delta V_0) \cdot f_2(T_y), \quad (11)$$

$f_1(\Delta V_0)$ – функция изменения начальной скорости снаряда, вводится соответствующим механизмом с помощью ВТ;

$f_2(T_y)$ – рассчитана для $\varepsilon = 0^\circ$ и воспроизводится на кулачковом механизме.

Коэффициент $K=1$ и смещение $\varphi_0 = +0-20$ выбраны из условия оптимальной аппроксимации зависимости ΔH .

Решение системы управлений (7) осуществляется тремя электромеханическими следящими системами φ , β_y и T_y .

4. Решение задачи встречи

При совместной работе следящей системы φ , β_y и T_y решающие систему уравнений (7), взаимно влияют одна на другую.

Это вытекает из сущности решаемой системы уравнений: три неизвестных— φ , β_y и D_φ —входят в каждое из трех уравнений.

Если на вход усилителей следящих систем φ , β_y и T_y подавать соответственно разности левых и правых частей этих уравнений.

$$\begin{aligned}\delta X &= X_c + \Delta X - D_\varphi \cdot \cos\varphi \cdot \cos\beta_y, \\ \delta Y &= Y_c + \Delta Y - D_\varphi \cdot \cos\varphi \cdot \sin\beta_y, \\ \delta H &= H_c + \Delta H - D_\varphi \cdot \sin\varphi,\end{aligned}\quad (12)$$

то видно, что двигатель управляемый сигналом δX , вращаясь, изменяет не только свой управляющий сигнал δX , но и сигналы δY и δH , т.е. если один двигатель вращается, то он вызывает вращение и двух других двигателей вследствие их взаимной связанности через счетно-решающую часть.

Так как следящие системы обладают инерцией, то неизвестные β_y , φ , D_φ находятся не мгновенно, а после нескольких колебаний, двигатели, приходя к решению неодновременно, «сбивают» поочередно друг друга с положения равновесия.

4. Решение задачи встречи

Если решение находится после длительных колебаний, то говорят, что оно обладает малой устойчивостью. А иногда (в случае неправильного подключения управляющих сигналов) можно вообще не получить устойчивого решения – все три двигателя будут беспрерывно вращаться, не будучи в состоянии прийти одновременно к нулевому положению.

Для устойчивости решения необходимо, чтобы каждая следящая система с большей эффективностью взаимодействовала на свой управляющий сигнал, чем на управляющий сигнал другой следящей системы. При несоблюдении этого условия не получится устойчивого решения системы уравнений.

Для того чтобы ослабить взаимовлияние следящих систем φ , β_y , T_y , необходимо сигналы рассогласования δX , δY , δH преобразовать в сигналы $\Delta 1$, $\Delta 2$, $\Delta 3$, $\Delta 4$.

С этой целью в СРП решается следующая система уравнений:

$$\Delta 1 = \delta Y \sin \beta_y + \delta X \cos \beta_y,$$

$$\Delta 2 = \delta Y \cos \beta_y - \delta X \sin \beta_y,$$

$$\Delta 3 = \delta H \cos \varphi - \Delta 1 \sin \varphi - \Delta H' \cos \varphi \quad (13)$$

$$\Delta 4 = \delta H \sin \varphi + \Delta 1 \cos \varphi + \Delta H' \sin \varphi.$$

Сигналы $\Delta 2$, $\Delta 3$, $\Delta 4$ поступают соответственно на входы усилителей следящих систем β_y , φ , T_y .

В результате решения системы уравнений 13, СРП вырабатывает координаты упрежденной точки, то есть **углы наведения АЗП - β_y , φ .**

Работа прибора в режиме ЗУ

При временной потере цели радиолокатором, СРП работает в режиме ЗУ.

При движении цели по принятой гипотезе текущие координаты X , Y , H непрерывно изменяются с постоянными скоростями.

Если в первый момент времени t_1 , соответствующий началу работы СРП в режиме ЗУ координаты цели будут X_{t_1} , Y_{t_1} , H_{t_1} , то в последующие моменты времени к этим координатам необходимо добавить упреждения:

$$\Delta X = V_x(t_2 t_1), \quad \Delta Y = V_Y(t_2 t_1), \quad \Delta H = V_H(t_2 t_1). \quad (14)$$

В результате получаются окончательные выражения для определения исходных данных:

$$X = X_{t_1} + V_x(t_2 t_1), \quad Y = Y_{t_1} + V_Y(t_2 t_1), \quad H = H_{t_1} + V_H(t_2 t_1). \quad (15)$$

где t_1 – момент времени, соответствующий началу работы ЗУ,

t_2 – последующий момент времени работы ЗУ.

Для решения этих зависимостей при переходе на режим ЗУ следящие системы $ССV_x$, $ССV_Y$, $ССV_H$, СРП стопорятся и напряжения пропорциональные запомненным скоростям (значение скоростей в момент перехода на ЗУ), поступают во входные следящие системы $ССX$, $ССY$, $ССH$.

Эти системы, включенные в режим привода стабильной скорости, будут обрабатывать X , Y , H согласно приведенным ранее зависимостям (15).

Текущие координаты X , Y , H и постоянные параметры V_x , V_Y , V_H используются для решения задачи встречи и наведения в режиме ЗУ.



Вопрос 3

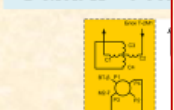
Назначение, устройство и принцип действия блоков X, Y, H

Блок X

Блок X (Y,H) предназначен:

- для отработки и сплаживания текущих координат X (Y,H);
- для выработки скоростей изменения координат X (Y,H);
- для выработки сигналов управления.

Сигнал рассогласования координат X (Y,H) поступает в блок X с координатной оси X (Y,H). В блоке X сигнал рассогласования координат X (Y,H) преобразуется в сигнал управления скоростью изменения координат X (Y,H) и сигнал управления.

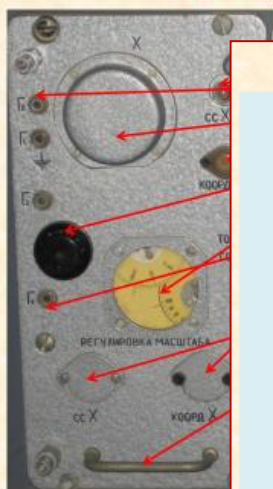


- 1 – винт;
- 2 – каркас;
- 3 – гнезда (Г1, Г2);
- 4 – панель лицевая;
- 5 – крышка;
- 6 – ось РЕГ. ФАЗЫ ССХ;
- 7 – ось РЕГ. ФАЗЫ КООРД.
- 8 – фонарь освещения шкалы;
- 9 – шкалы точного и грубого регулирования масштаба КООРД.
- 10 – гнезда (Г3, Г4);
- 11 – крышка, закрывающая ось регулировки масштаба КООРД.
- 12 – крышка, закрывающая ось регулировки масштаба ССХ;
- 13 – ручка;
- 14 – невыпадающий винт;
- 15 – колонка;
- 16 – винт(6-ть);
- 17 – угольник в сборе;
- 18 – плата.

Блок X

Блок X конструктивно выполнен в виде отдельного блока

Лицевая панель Блока X



Принцип действия блока X

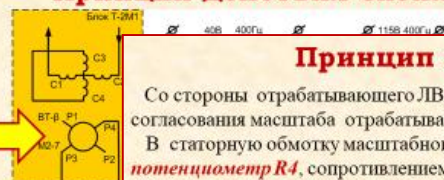
Блок X представляет собой электро-механическую систему, осуществляющую преобразование координат X и Y в скорости изменения координат X и Y.

Уравнение отработки координат X и Y имеет вид:
$$\ddot{x} + \tau \dot{x} = X_c \cos(\omega t + \alpha)$$

где X_c – величина рассогласования координат X и Y;
 V_x – скорость изменения координат X и Y;
 τ – постоянная времени системы.

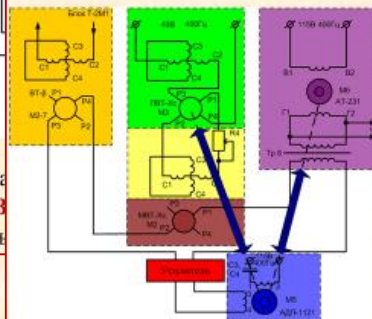
Координаты X поступают в блок X с косинусной обмотки В (для следящей системы).

Принцип действия блока X



Принцип действия блока X

Со стороны обрабатываемого ЛВТ М3 включен масштабный ВТ М2 для согласования масштаба обрабатываемого напряжения с задающим. В статорную обмотку масштабного ВТ М2 включен фазировочный потенциометр R4, сопротивлением которого компенсируется сдвиг фаз между задающим и обрабатываемым напряжением. Составляющая скорости цели V_x при изменении координат X вырабатывается асинхронным тахогенератором М6 (АТ-231).



Напряжение, снимаемое с генераторной обмотки (Г1-Г2) тахогенератора пропорционально скорости вращения двигателя, а следовательно и скорости изменения координаты X.



Блок X

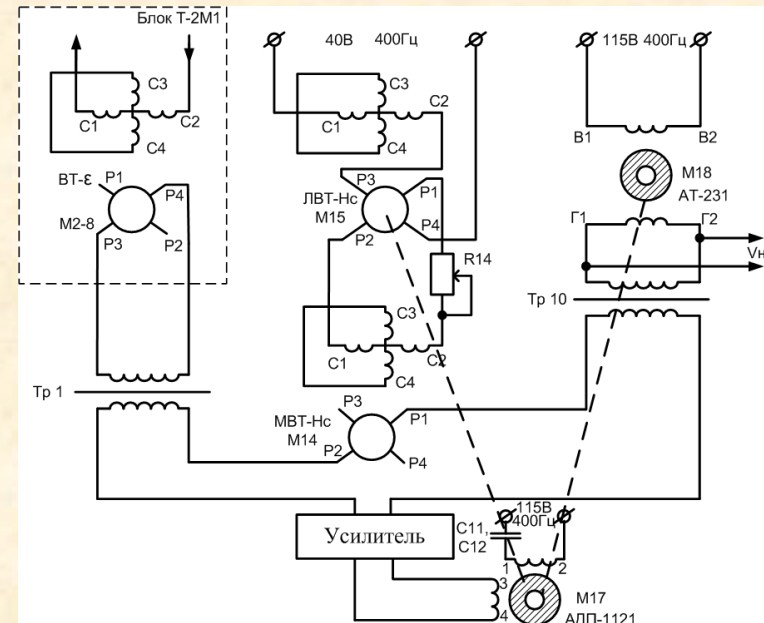
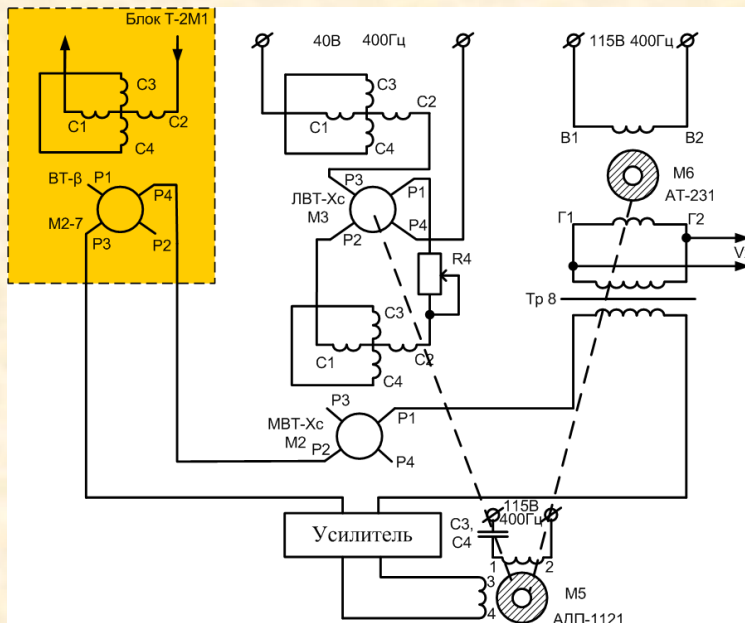
Блок X (Y, H) предназначен:

- для обработки и сглаживания текущих координат X (Y, H);
- для выработки напряжений V_x (V_y , V_H), пропорциональных скоростям изменения координат.

Устройство и принцип действия блоков X, Y, H аналогичны.

Сигнал рассогласования (задающее воздействие) поступает:

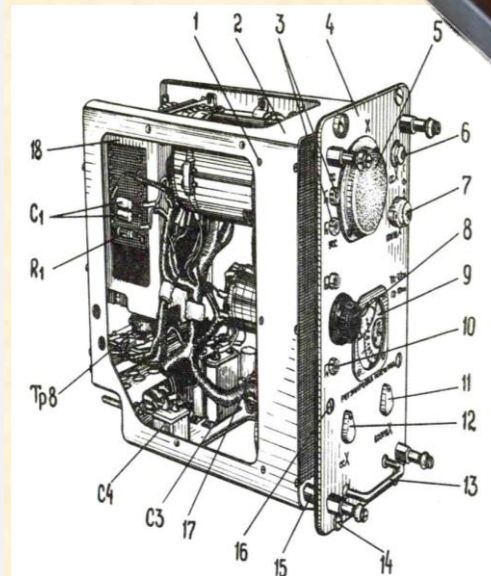
- в блок X – с косинусной обмотки ВТ-β (выводы P3-P4);
- в блок Y – с синусной обмотки ВТ-β (выводы P1-P2);
- в блок H – с обмотки ВТ-ε (выводы P3-P4).



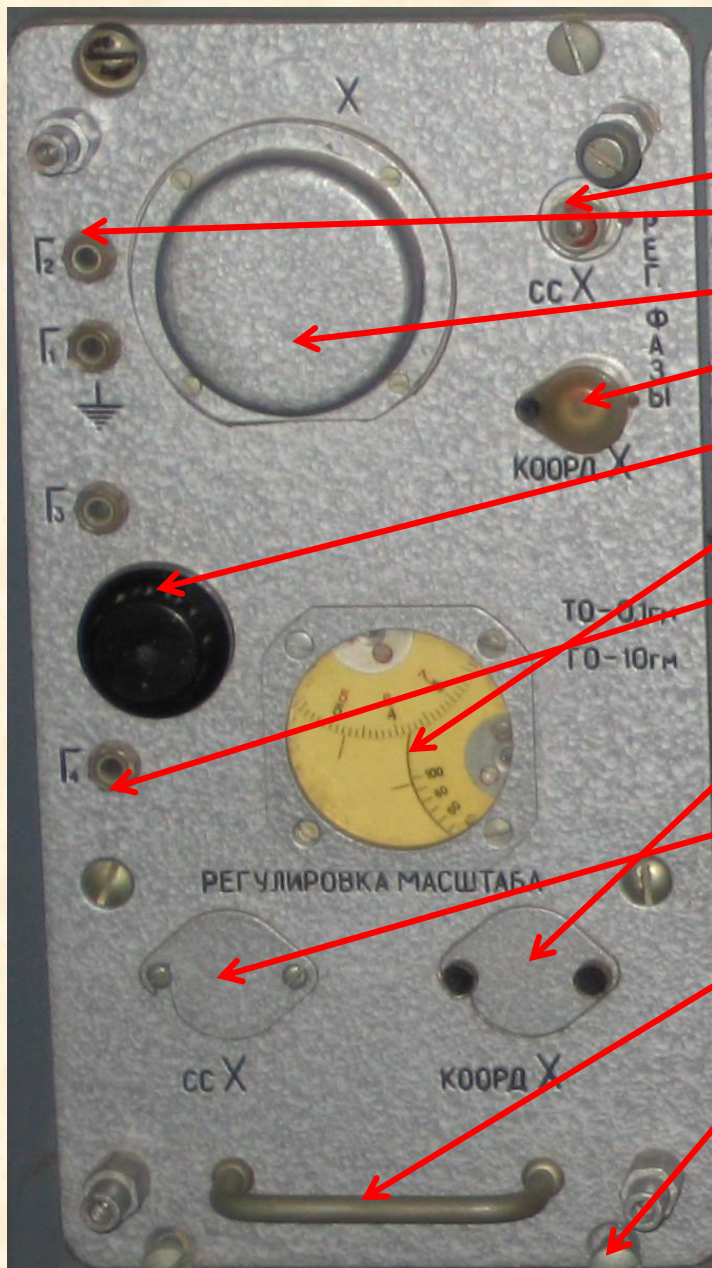
Блок X

Блок X - конструктивно выполнен в виде отдельного блока.

- 1 – винт;
- 2 – каркас;
- 3 – гнезда (Г1, Г2);
- 4 – панель лицевая;
- 5 – крышка;
- 6 – ось РЕГ. ФАЗЫ ССХ;
- 7 – ось РЕГ. ФАЗЫ КООРД. X;
- 8 – фонарь освещения шкал;
- 9 – шкалы точного и грубого отсчета X;
- 10 – гнезда (Г3, Г4);
- 11 – крышка, закрывающая ось регулировки масштаба КООРД. X;
- 12 – крышка, закрывающая ось регулировки масштаба ССХ;
- 13 – ручка;
- 14 – невыпадающий винт;
- 15 – колонка;
- 16 – винт(б-ть);
- 17 – угольник в сборе;
- 18 – плата.

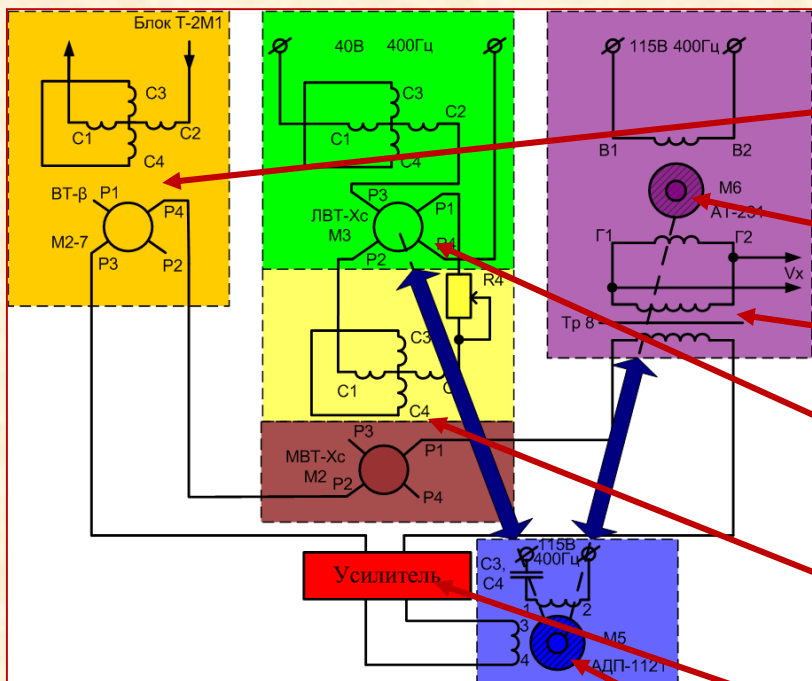


Лицевая панель Блока X



- ось потенциометра РЕГ. ФАЗЫ ССХ;
- контрольные гнезда (Г1, Г2);
- крышка;
- ось потенциометра РЕГ. ФАЗЫ КООРД. X;
- фонарь освещения шкал;
- шкалы точного и грубого отсчета координаты X;
- гнезда (Г3, Г4);
- крышка, закрывающая ось пот-ра регулировки масштаба КООРД. X;
- крышка, закрывающая ось регулировки масштаба ССХ;
- ручка;
- невывпадающий винт.

Состав блока X



1. Азимутальный синусно косинусный вращающийся трансформатор (СКВТ), **VT-β** ⓘ

6. Тахогенератор, **M6** ⓘ ⓘ

7. Трансформатор, **T_p8** ❌

2. Обрабатывающий вращающийся трансформатор, **ЛВТ-β, M3**

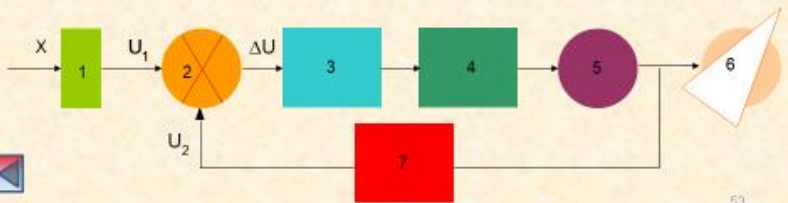
3. Масштабный вращающийся трансформатор, **МВТ-β, M2**

4. Усилитель

5. Исполнительный двигатель, **M5**

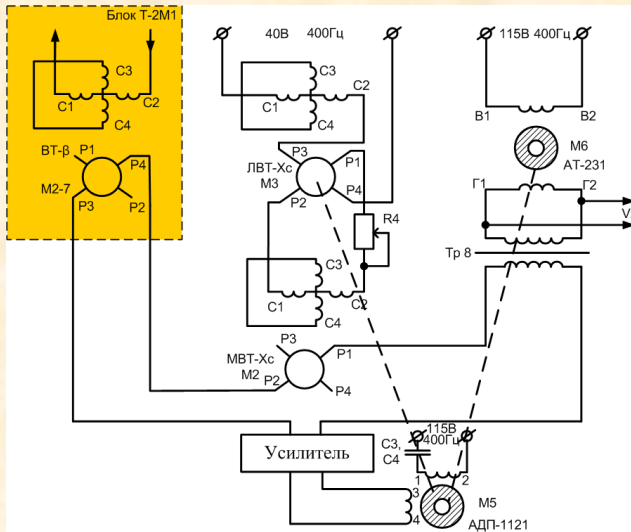
Состав следящей системы

1. Задающий элемент (датчик).
2. Измерительный элемент.
3. Преобразующий элемент.
4. Усилительный элемент.
5. Исполнительный элемент.
6. Объект управления.
7. Элемент обратной связи.



Блок X - Следящая система*

Принцип действия блока X



Блок X служит для:

- отработки и сглаживания координаты **X**,
- выработки составляющей скорости цели (**V_x**).

Блок X представляет собой электромеханическую **следающую систему*** (СС).

Уравнение отработки **X_c** можно представить в виде:

$$X_c = X - V_x \cdot \tau,$$

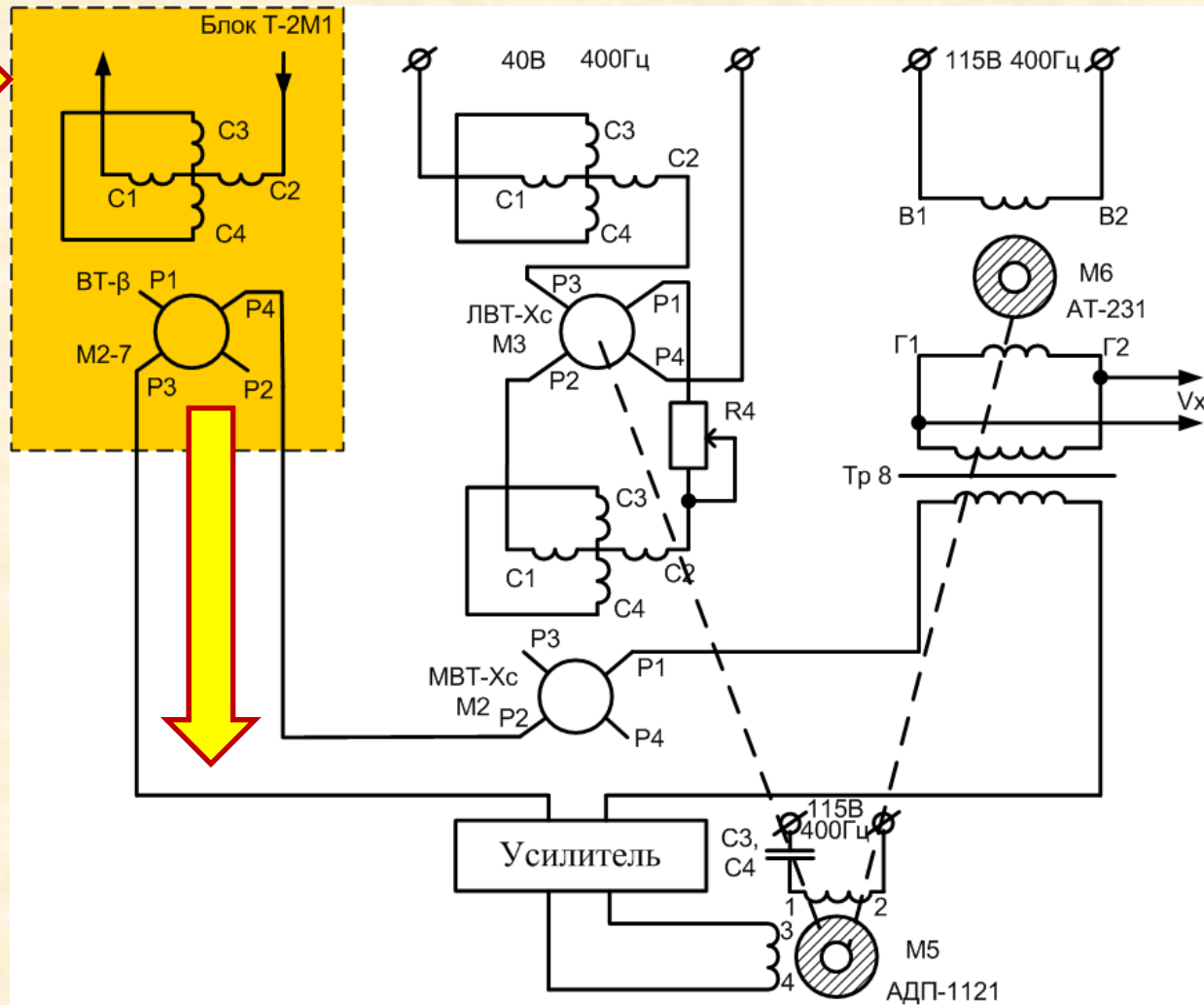
где **X** – входная величина(задающее воздействие);

X_c – величина, обрабатываемая СС;

V_x – скорость изменения величины X;

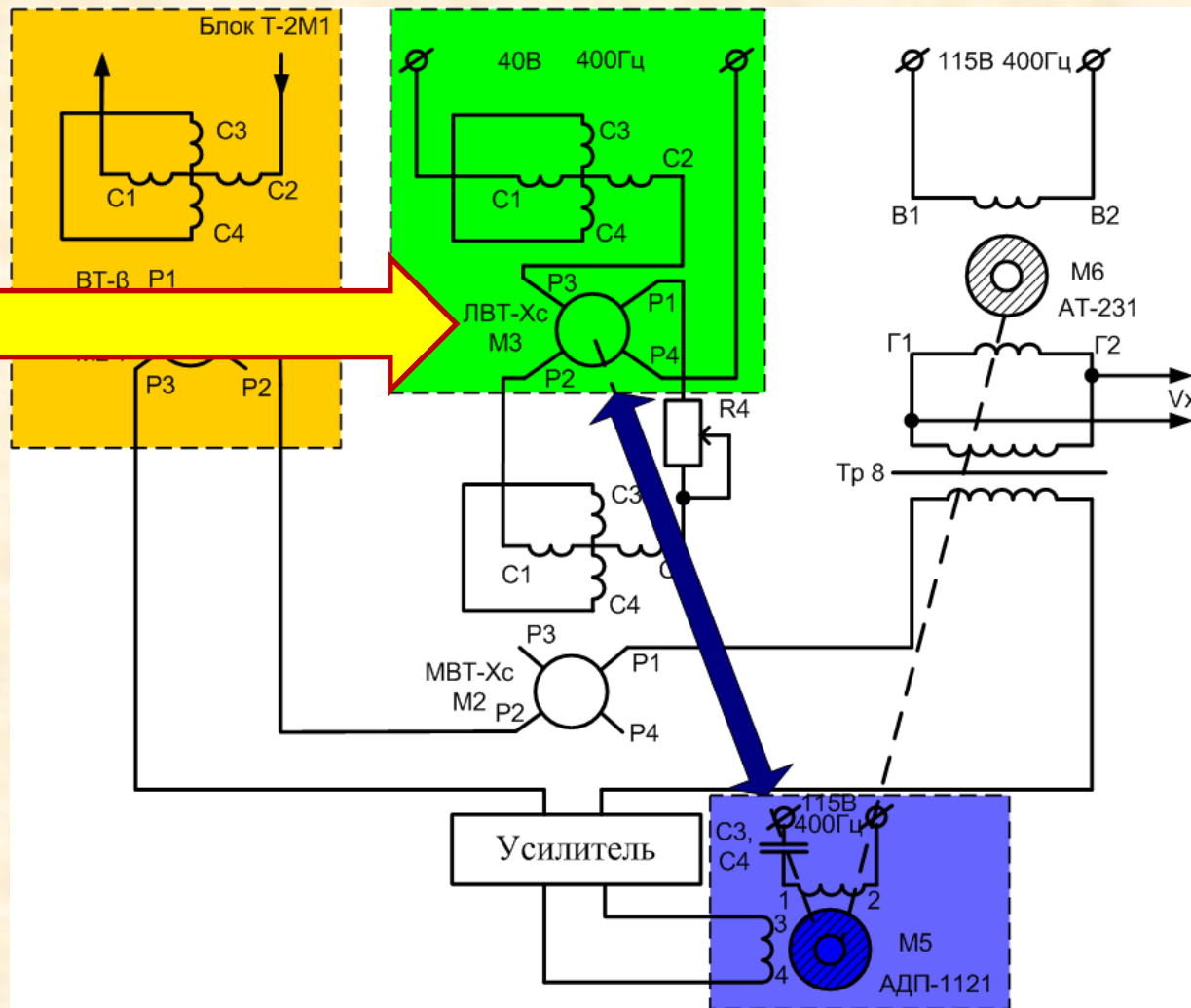
τ – постоянная времени ССX=0.5сек.

Принцип действия блока X



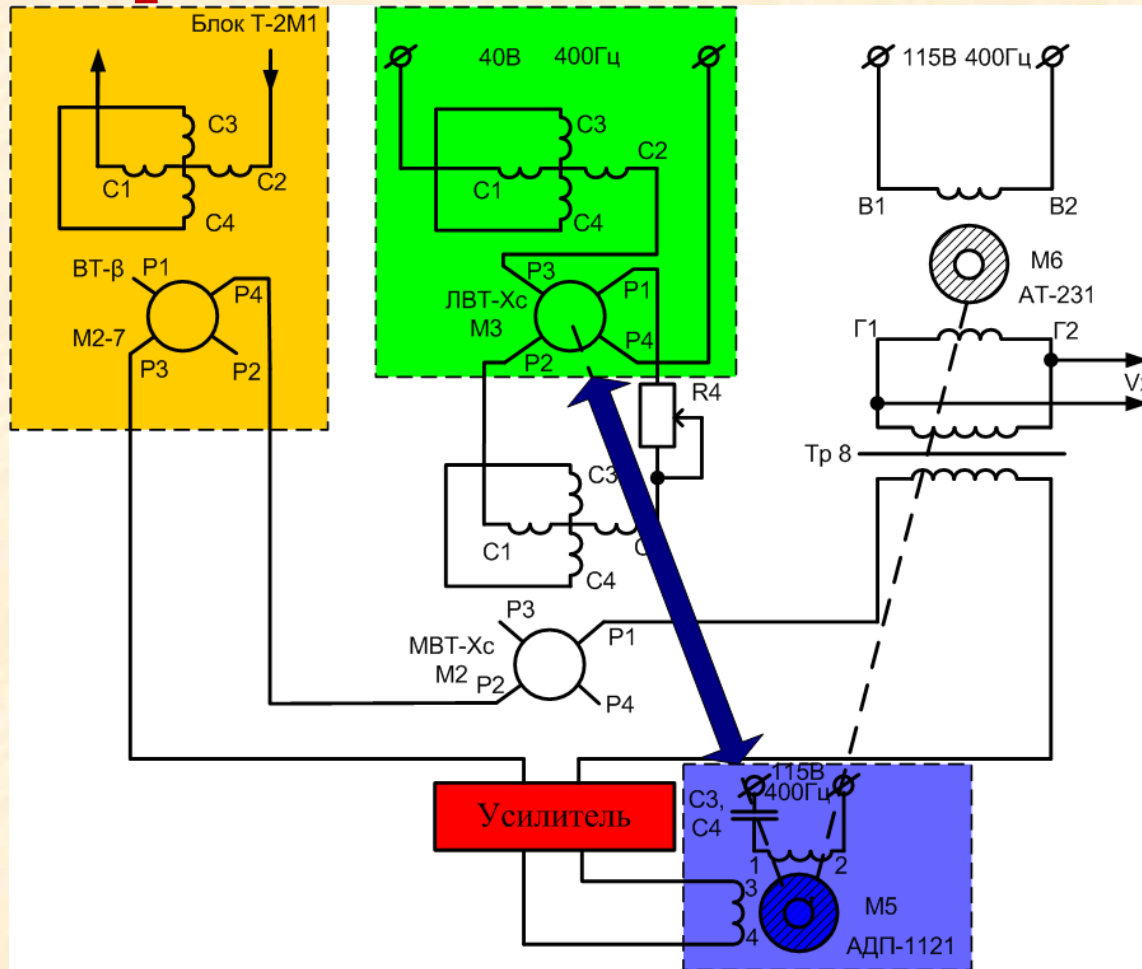
Координаты **X** поступают в блок в виде напряжения, снимаемого с косинусной обмотки **ВТ-β** (М2-7), расположенного в блоке Т-2М (для блока **Y** - с син. обмотки **ВТ-β**).

Принцип действия блока X



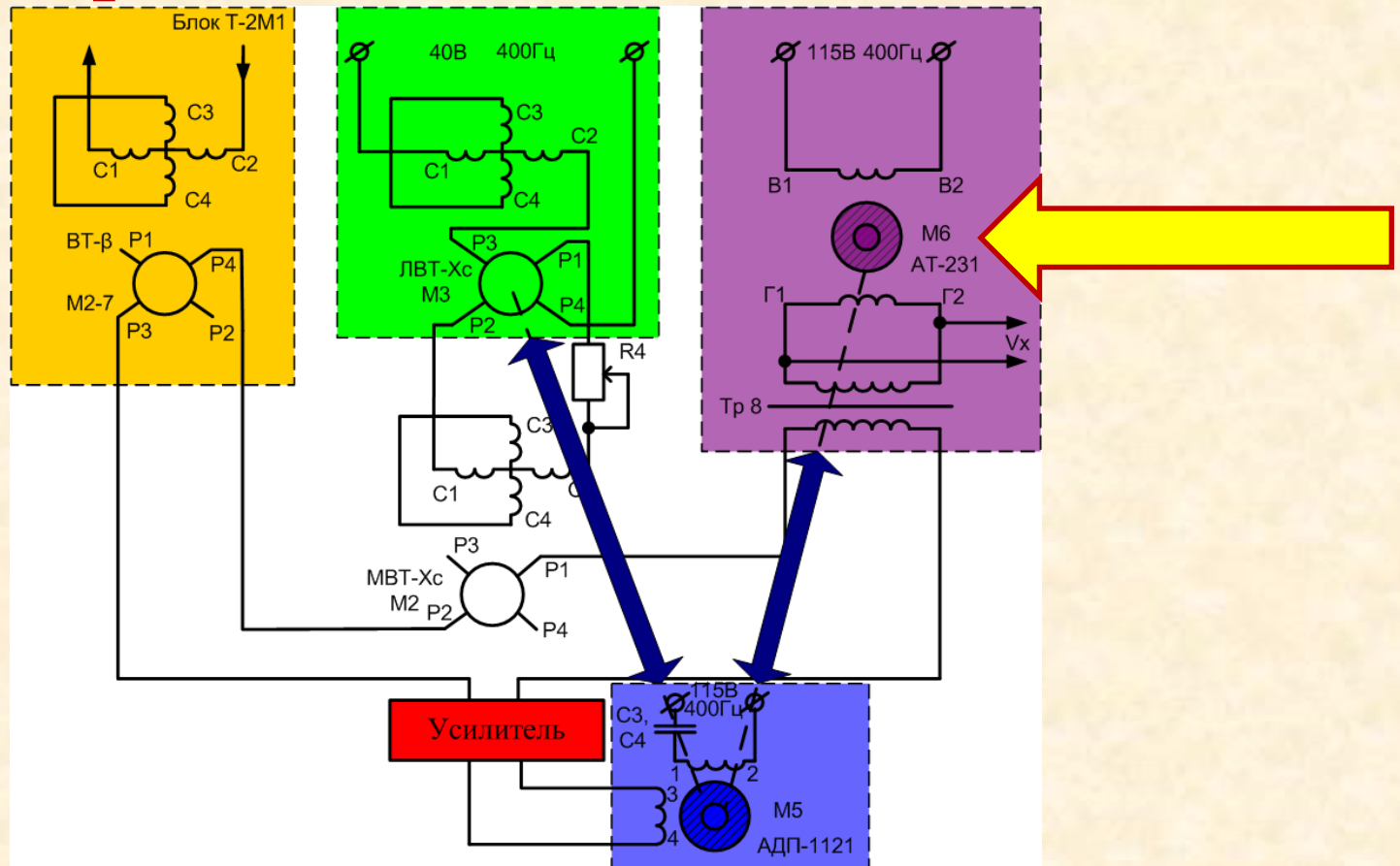
Отрабатывающее напряжение снимается с ЛВТ **М3**, ротор которого соединяется через редуктор с исполнительным двигателем **М5**.

Принцип действия блока X



Усилитель усиливает этот сигнал и подает на управляющую обмотку **исполнительного двигателя** напряжение такой фазы, при которой двигатель будет вращаться в сторону уменьшения рассогласования между роторами **ВТ** до тех пор, пока $\Delta U=0$.

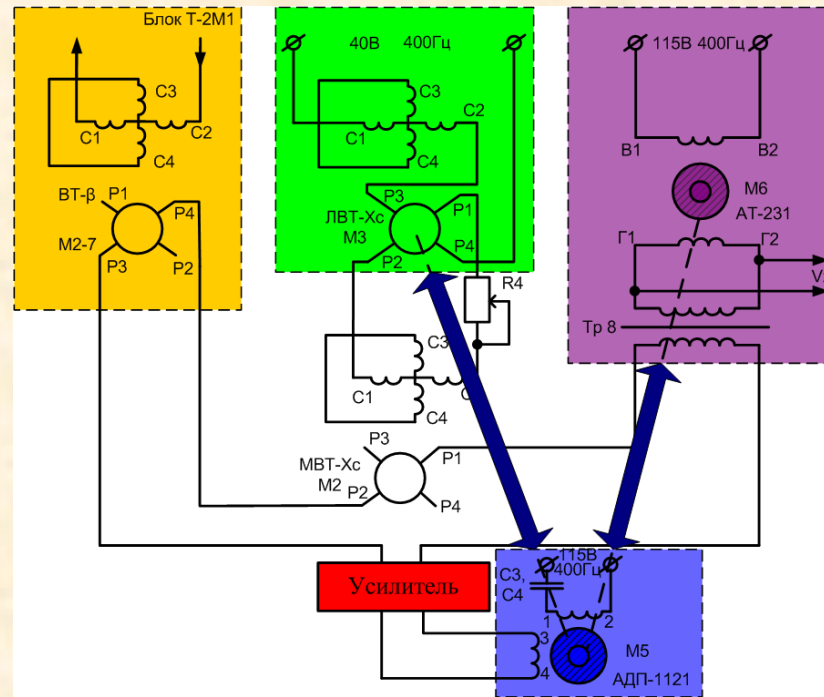
Принцип действия блока X



Для выработки составляющей скорости цели (V_x), служит - **тахогенератор, М6** (АТ-231).

Для обеспечения устойчивости **СС** и повышения ее сглаживающих свойств введен стабилизирующий элемент: - **трансформатор, Т_p8**.

Принцип действия блока X



Тахогенератор М6, закрепленный на одном валу с исполнительным **двигателем** М5, вырабатывает напряжение пропорциональное скорости вращения двигателя (V_x).

Часть этого напряжения (сигнал обратной связи) через трансформатор **Т_p8** подается во входную цепь усилителя в противофазе с сигналом рассогласования.

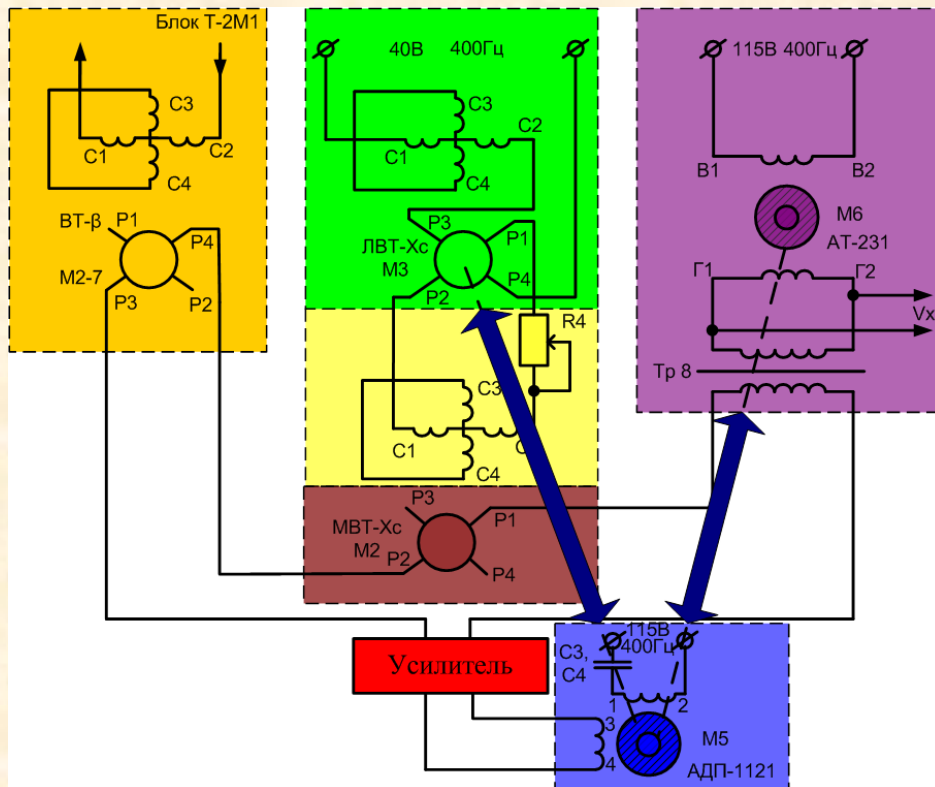
Величина обратной связи, обеспечивающая $\tau = 0,5$ сек подбирается изменением **коэффициента трансформации** Т_p8.

Принцип действия блока X

Со стороны обрабатывающего ЛВТ М3 включен *масштабный ВТ* М2 для согласования масштаба обрабатывающего напряжения с задающим.

В статорную обмотку масштабного ВТ М2 включен *фазирующий потенциометр R4*, сопротивлением которого компенсируется сдвиг фаз между задающим и обрабатывающим напряжением.

Составляющая скорости цели V_x при изменении координат X вырабатывается асинхронным тахогенератором М6 (АТ-231).



Напряжение, снимаемое с генераторной обмотки (Г1-Г2) тахогенератора М6 пропорционально скорости вращения двигателя, а следовательно и скорости изменения координаты X .



Вопрос 4

Назначение, устройство и принцип действия блоков V_x , V_y , V_n

Блок V_x

Блок V_x (V_y, V_n) предназначен:

- для обработки скорости изме
 - для выработ
- $$\Delta X = V_{xc} \cdot (T_y + \tau)$$
- Устройство и

Блок V_x конструктивно выполнен в виде отдельного блока (альбом рисунков).

- 1 – панель лицевая;
- 2 – каркас;
- 3 – крышка (ось регулировки масштаба);
- 4 – крышка (ось рег-ки масштаба);
- 5 – втулка;
- 6 – ручка;
- 7 – шкалы точного и грубого деления;
- 8 – фонарь освещения шкал;
- 9 – откидное зеркало;
- 10 – винт;
- 11 – ось РЕГУЛИРОВКА ФАЗЫ;
- 12 – ось РЕГУЛИРОВКА ФАЗЫ;
- 13 – ручка;
- 14 – гнездо (Г17);
- 16 – винт;
- 17 – вставка разъема;
- 18 – блок эмитт. повторителя;
- 19 – плата;
- 20 – усилитель УСС1М;
- 21 – планка;
- 22 – стойка.



Лицевая панель блока V_x

крышка, закрывающая ось

Принцип действия блока V_x

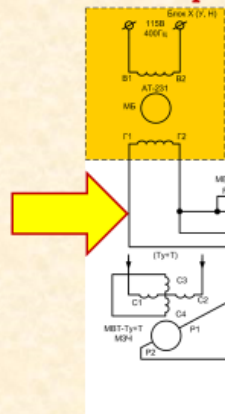
Блок V_x представляет собой электромеханическую

следящую систему

СС осуществляющей слежение за скоростью вращения. Уравнение отработки блока можно представить в виде

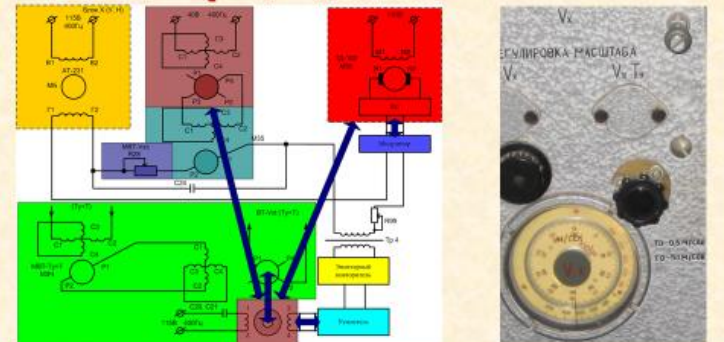
где V_x – величина скорости вращения;
 V_{xc} – величина скорости отработки;
 V'_{xc} – скорость отработки;
 Θ – постоянная времени.

Принцип действия блока V_x .



Задающим воздействием является скорость, которое поступает в блок от генераторной обмотки

Принцип действия блока V_x .



Так как в качестве обрабатываемого элемента в СС V_x используется синусно-косинусный ВТ, напряжение которого пропорционально синусу угла поворота ротора, то деления *грубой* шкалы V_x нанесены неравномерно по закону синуса. *Точная* шкала является линейной.

Блок Vx

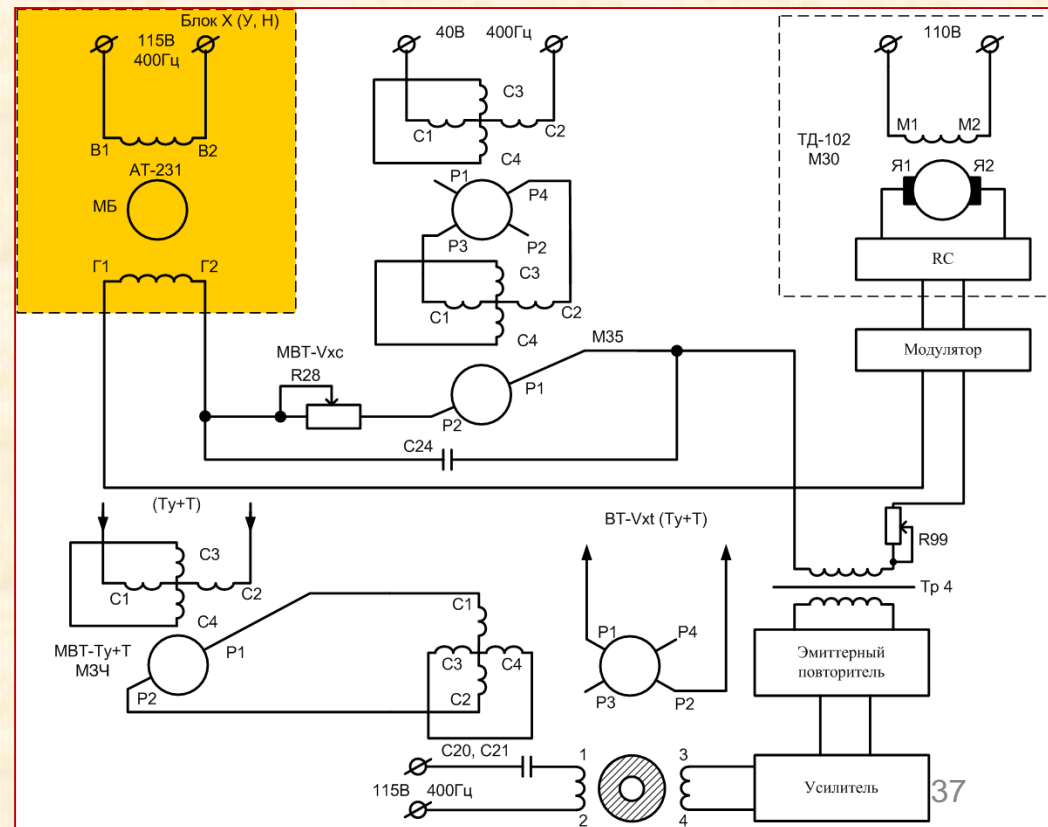
Блок Vx (Vy, Vn) предназначен:

- для отработки и сглаживания соответствующей составляющей скорости изменения координаты;

- для выработки величины составляющей упреждения

$$\Delta X = V_{xc} \cdot (T_y + \tau); \quad \Delta Y = V_{yc} (T_y + \tau); \quad \Delta H = V_{nc} (T_y + \tau).$$

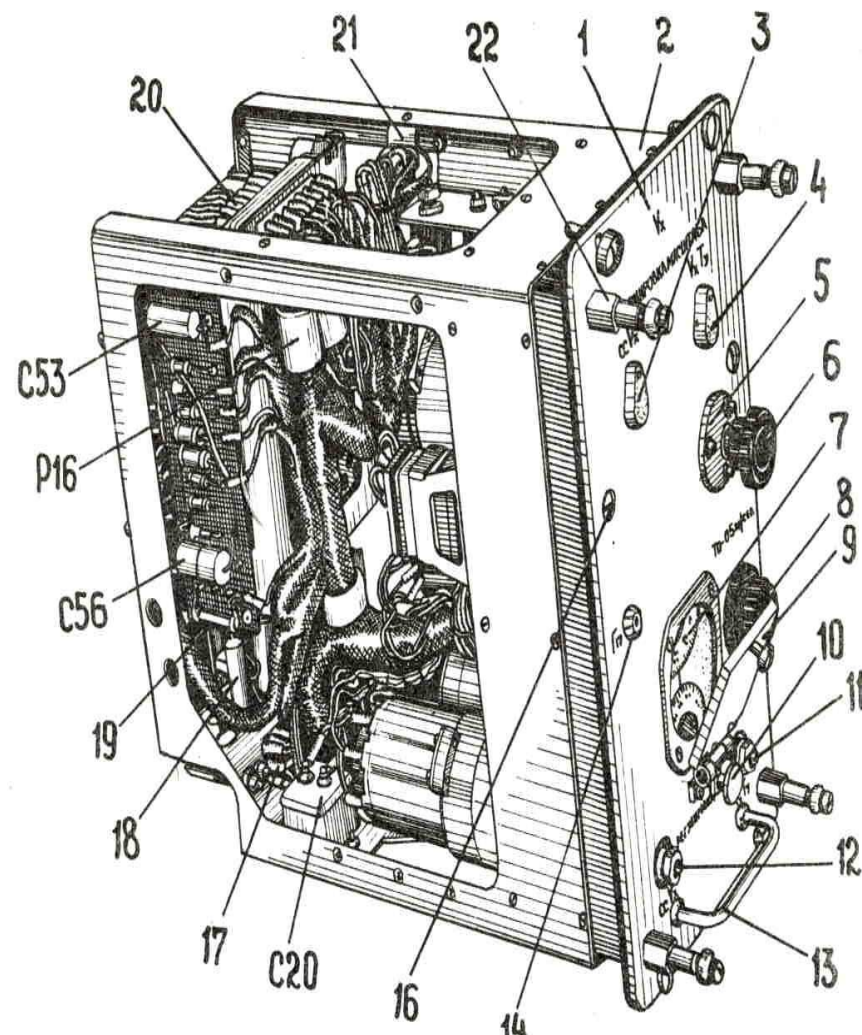
Устройство и принцип действия блоков X, Y, H аналогичны.



Блок Vx

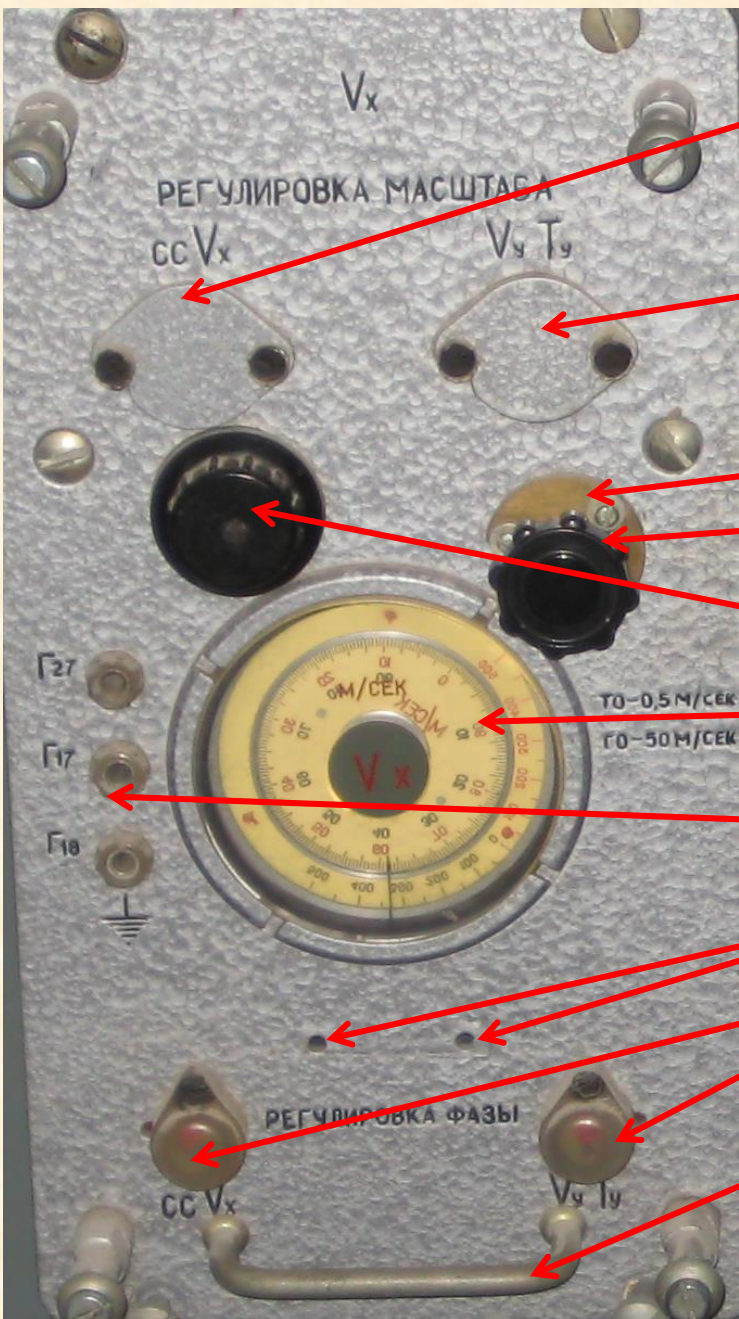
Блок Vx - конструктивно выполнен в виде отдельного блока.

- 1 – панель лицевая;
- 2 – каркас;
- 3–крышка (ось регулировки масштаба ccV_X);
- 4–крышка, (ось рег-ки масштаба $V_X \cdot T_y$);
- 5 – втулка;
- 6 – ручка;
- 7 – шкалы точного и грубого отсчетов;
- 8 – фонарь освещения шкал;
- 9 – откидное зеркало;
- 10 – винт;
- 11 – ось РЕГУЛИРОВКА ФАЗЫ $V_X \cdot T_y$;
- 12 – ось РЕГУЛИРОВКА ФАЗЫ ccV_X ;
- 13 – ручка;
- 14 – гнездо (Г17);
- 16 – винт;
- 17 – вставка разъема;
- 18 – **блок эмит. повторителя и модулятора**;
- 19 – плата;
- 20 – **усилитель УСС1М**;
- 21 – планка;
- 22 – стойка.



Блок Vx (альбом рисунков)₃₈

Лицевая панель блока Vx



крышка, закрывающая ось потенциометра регулировки масштаба ccV_x ;

крышка, закрывающая ось потенциометра регулировки масштаба $V_x \cdot T_y$;

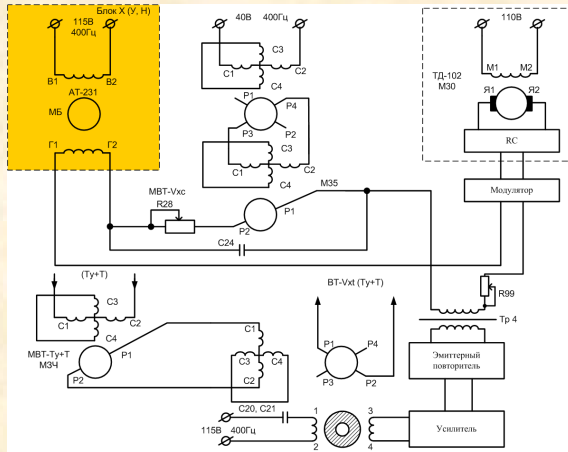
фиксирующая втулка;
ручка поворота шкал;

фонарь освещения шкал;
шкалы точного и грубого отсчетов (зеркальное изображение);

контрольные гнезда (Г17,18,27);
отверстия для установки зеркала;
регулирующие потенциометры;

ручка для извлечения блока.

Принцип действия блока Vx



Блок V_x – это электромеханическая следящая система* (СС). СС блока служит для - отработки и сглаживания составляющей скорости V_x .

Уравнение отработки составляющей скорости V_x можно представить в виде:

$$V_{xc} = V_x - V'_{xc} \Theta, \text{ где}$$

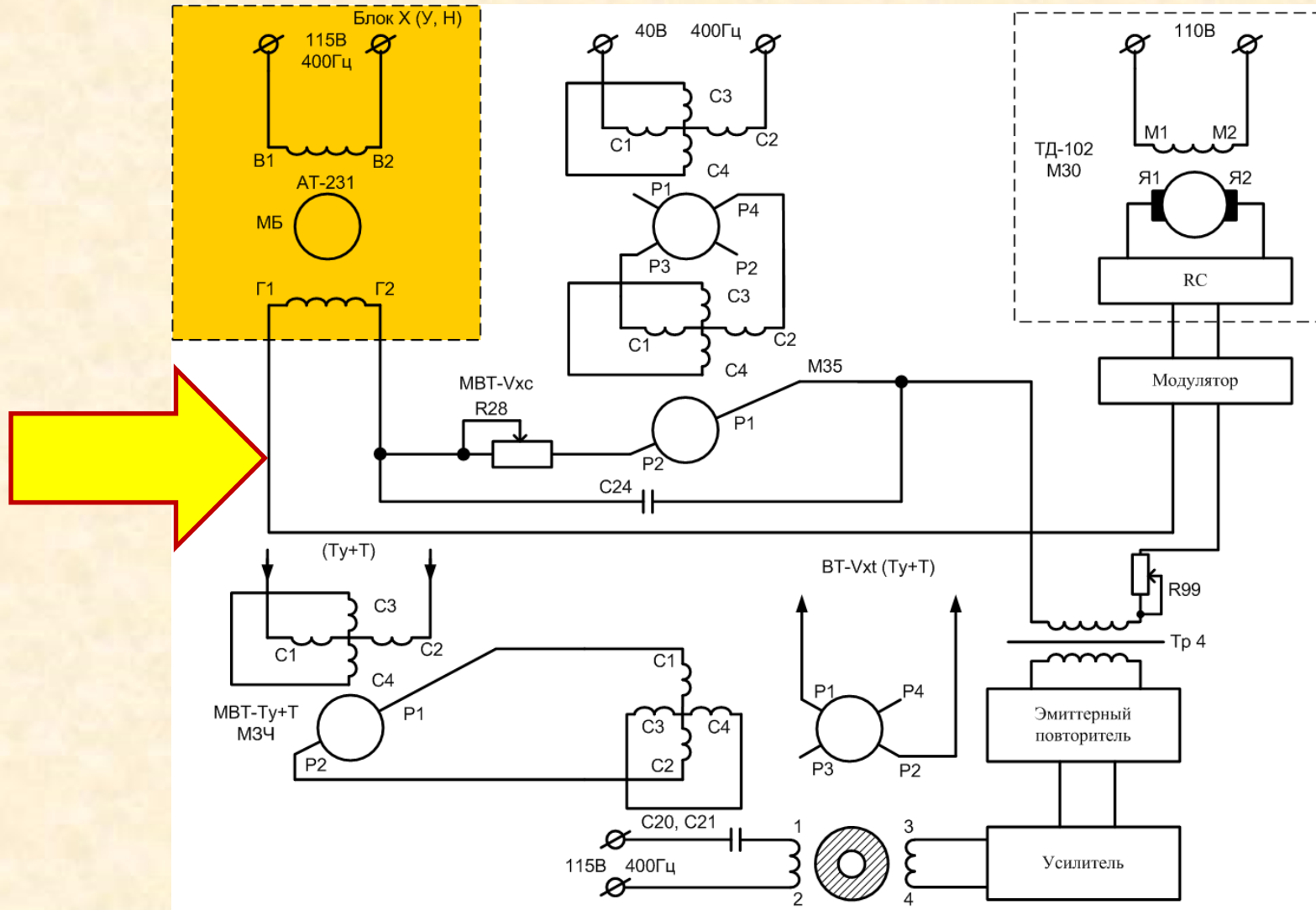
V_x – величина входная;

V_{xc} – величина, обрабатываемая СС;

V'_{xc} – скорость изменения величины V_{xc} ;

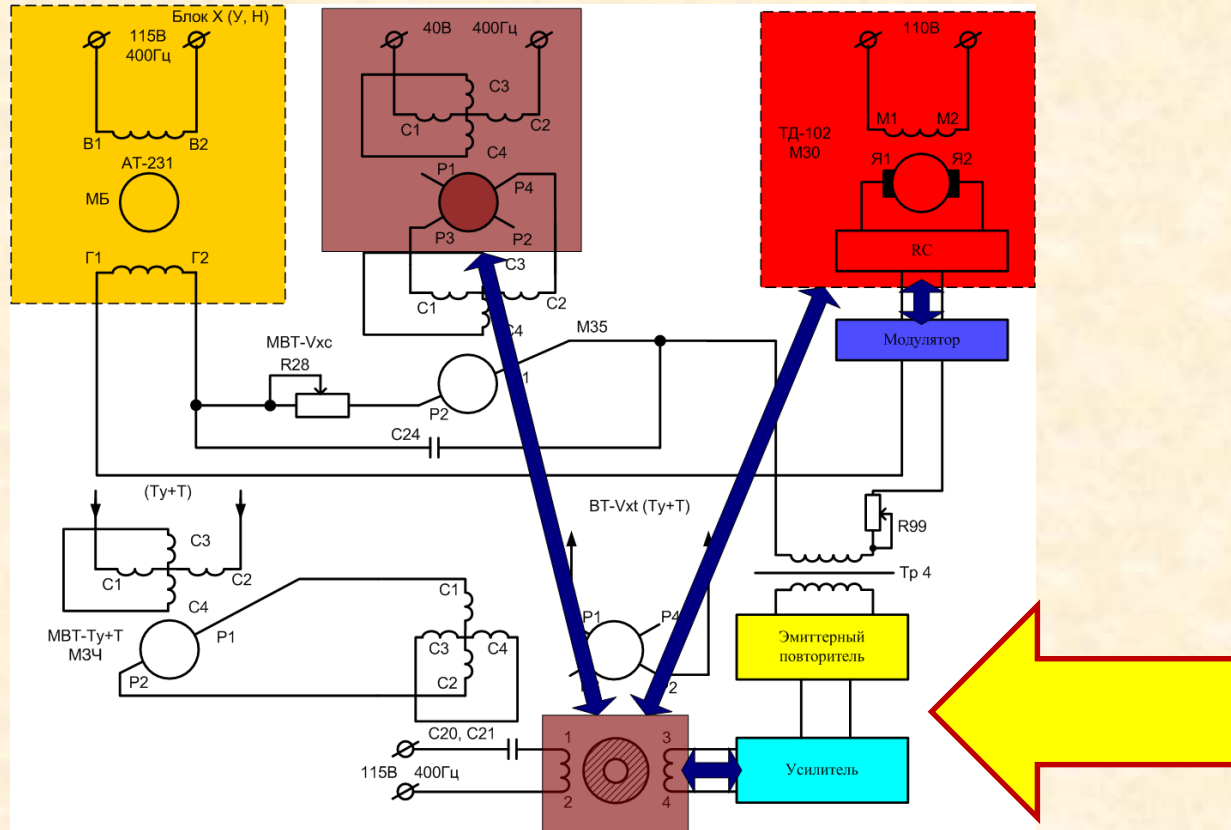
Θ – постоянная времени.

Принцип действия блока Vx



Задающим воздействием - является составляющая скорости V_x , которое поступает в **блок V_x** в виде напряжения, снимаемого с генераторной обмотки асинхронного **тахогенератора МБ бл. X.**

Принцип действия блока Vx

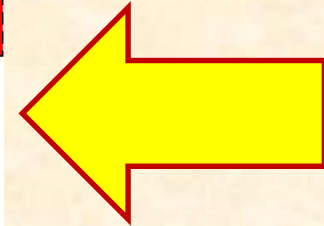
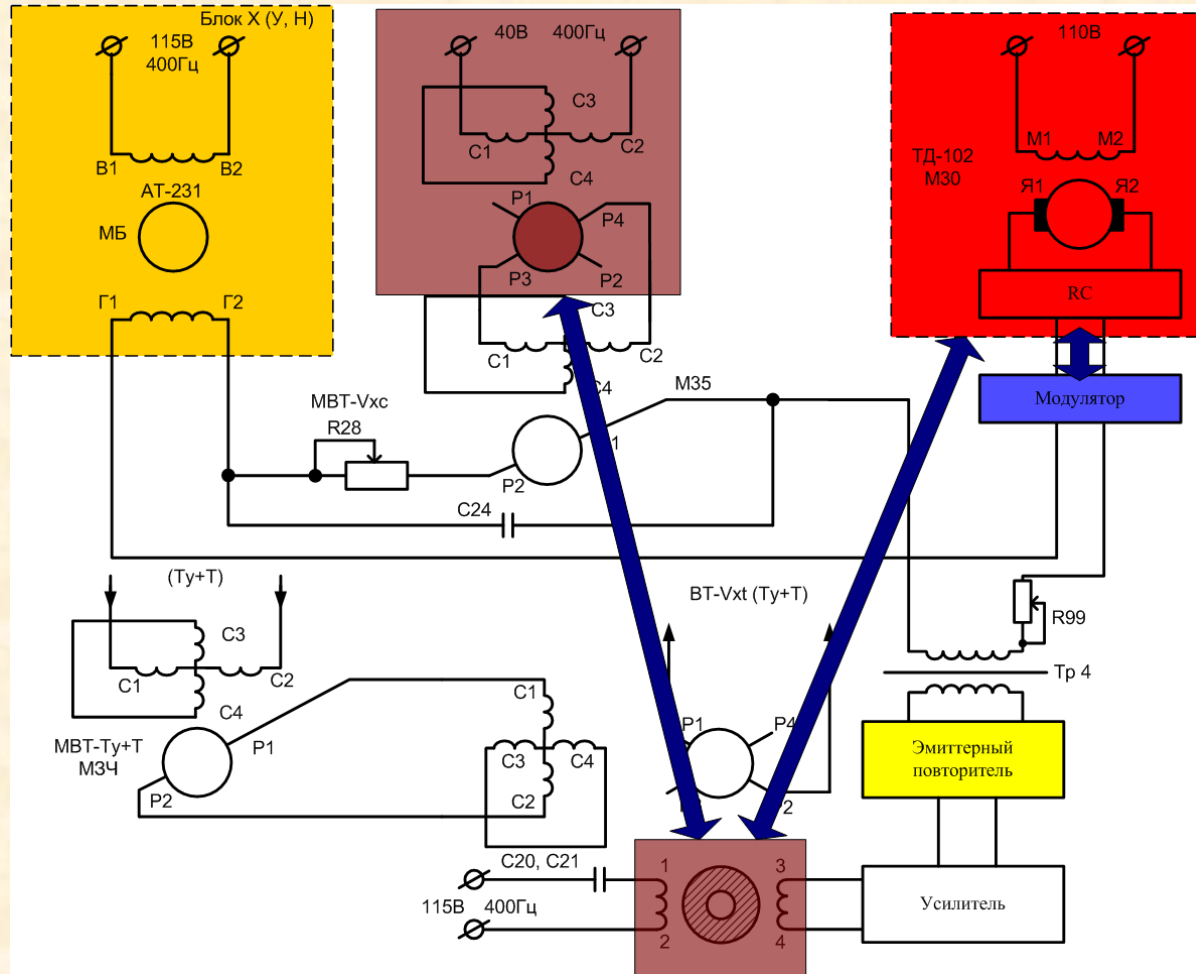


Напряжение с выхода *эмиттерного повторителя* поступает на вход *усилителя*, где усиливается.

С выхода усилителя напряжение подается на обмотку управления *исполнительного двигателя М33*.

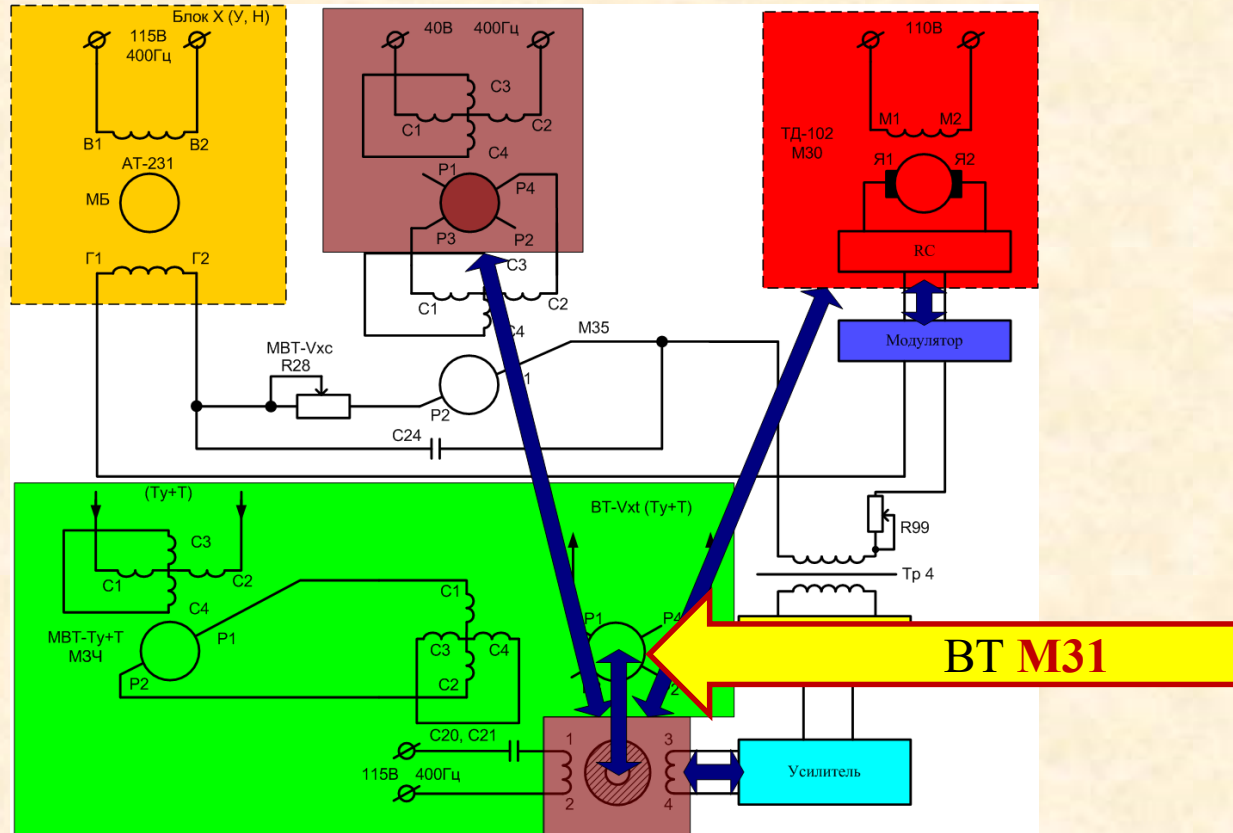
Двигатель приходит во вращение. Вращаясь, он поворачивает отработывающий **ВТ М32** до момента, пока сигнал на входе усилителя не станет равным нулю, $\Delta U=0$.

Принцип действия блока Vx



Сигнал обратной связи (обеспечивающий постоянную времени след. системы $\Theta=1,5$ сек.) вырабатывается тахогенератором **М-30** через цепочку **обратной связи** (RC) и подается на вход модулятора.

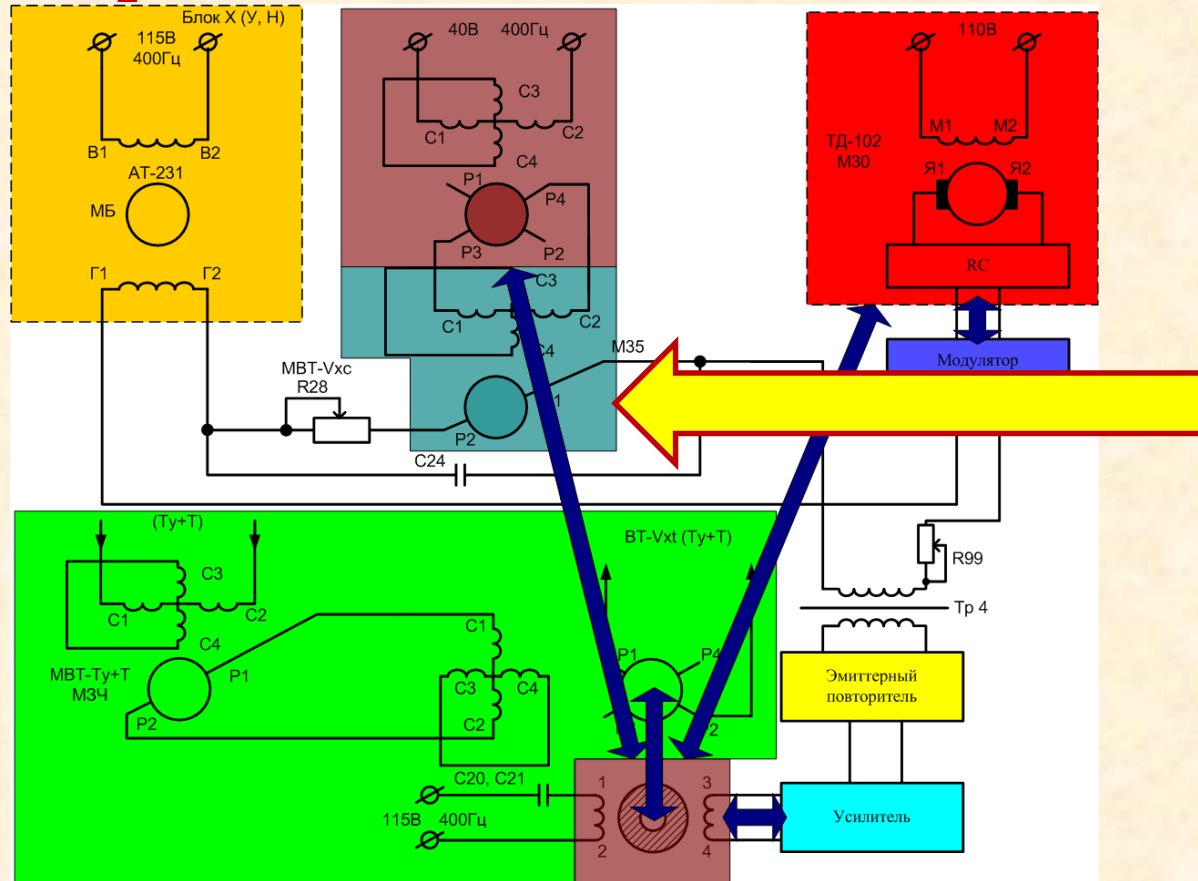
Принцип действия блока Vx



Таким образом **СС** блока V_x – обрабатывает и сглаживает составляющую скорости V_x .

Одновременно на **VT M31** получим величину упреждения $\Delta X = V_{xc}(T_y + \tau)$, как произведение сглаженного значения составляющей скорости на упредительное время.

Принцип действия блока Vx



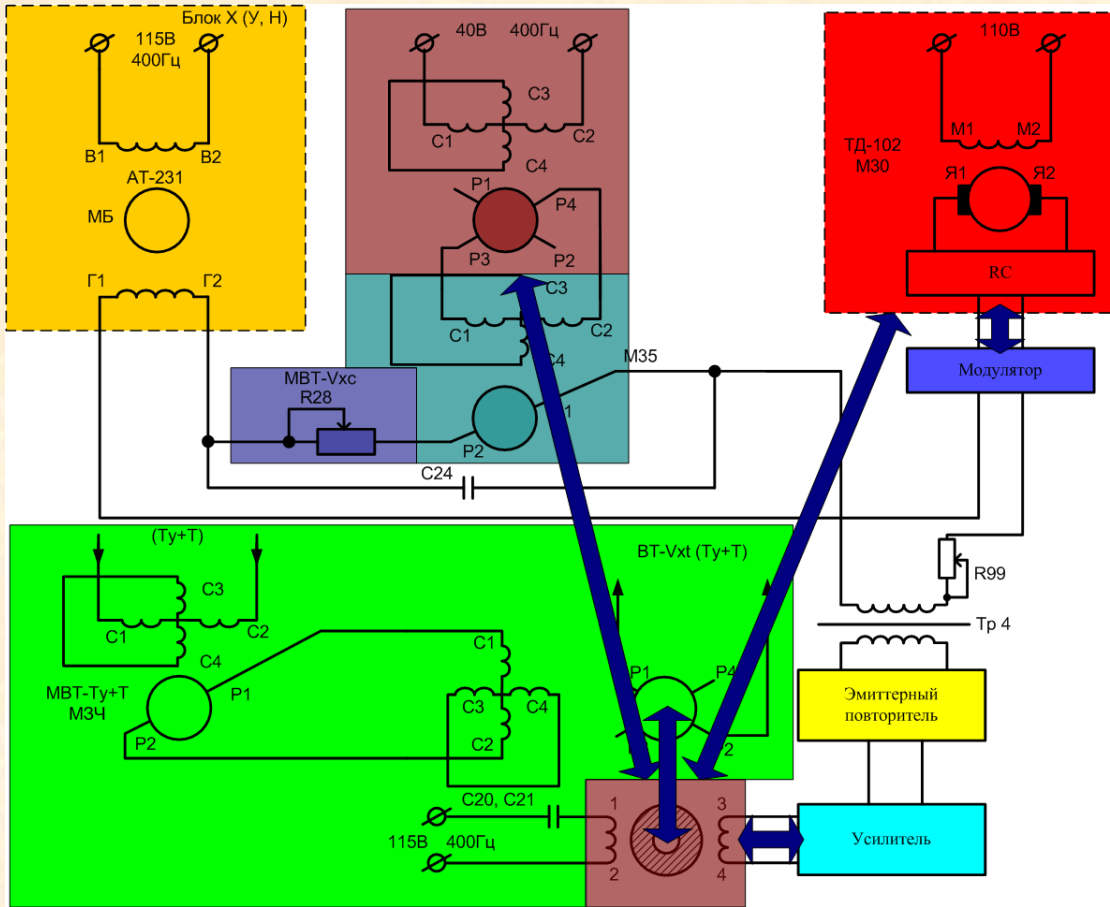
На выходе обрабатывающего ВТ **M32** включен:

- МВТ **M35** - для согласования масштаба обрабатывающего напряжения с задающим.

К выходной обмотке МВТ **M35** подключен:

- фазирующий контур **RC** (R28, C24) - для компенсации сдвига фаз между задающим и обрабатывающим напряжениями.

Принцип действия блока V_x



В качестве обрабатывающего элемента в **СС V_x** используется СКВТ, напряжение которого пропорционально синусу угла поворота ротора, поэтому:

- деления грубой шкалы V_x нанесены неравномерно по закону синуса. Точная шкала является линейной.

Задание на самоподготовку:

- 1) Изучить материал занятия по презентации и учебному пособию.
- 2) Законспектировать материал занятия.

Вопросы занятия:

1. Назначение, состав и технические характеристики СРП.
2. Принцип работы СРП.
3. Назначение, устройство и принцип действия блоков Х, У, Н.
4. Назначение, устройство и принцип действия блоков Vx, Vy, Vn.



- Литература:**
1. Учебное пособие
«Устройство и эксплуатация ЗСУ-23-4М», стр.6-15
 2. Альбом рисунков
«Устройство и ТО ЗСУ-23-4»
ч.2, стр.6-11



Конец занятия

Контрольные вопросы

1. Назначение СРП. Задачи, решаемые им.

2. Следящие системы.

Назначение, устройство, принцип работы.

3. Вращающийся трансформатор.

Назначение, устройство, принцип работы.

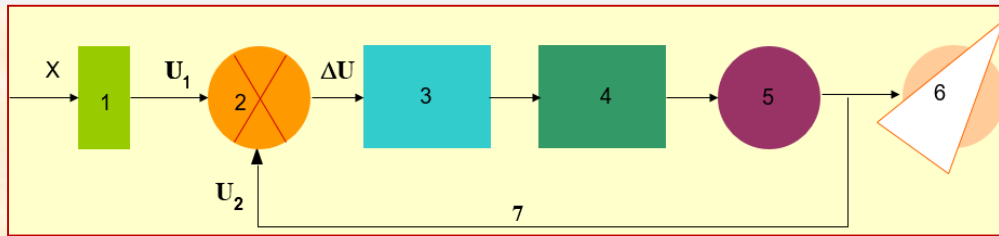
4. Тахогенератор.

Назначение, устройство, принцип работы.



Следящая система

Следящая система - система автоматического управления, в которой управляемая величина воспроизводит произвольно изменяющееся задающее воздействие.



Состав СС:

1. Задающий элемент (датчик).
2. Измерительный элемент.
3. Преобразующий элемент.
4. Усилительный элемент.
5. Исполнительный элемент.
6. Объект управления.
7. Обратная связь.

1) Под действием задающего воздействия **X**, датчик вырабатывает управляющее воздействие **U1**, которое подается на измерительный элемент Σ . Туда же подается управляющее воздействие **U2** через датчик обратной связи. В измерительном элементе сравниваются управляющие воздействия **U1** и **U2**, в результате неравенства управляющих воздействий **U1** и **U2** на выходе измерительного элемента появляется управляющее воздействие рассогласования (параметр рассогласования) ΔU , который подается в преобразующий элемент, где при необходимости – преобразуется из одной формы в другую.

2) С выхода преобразующего элемента сигнал подается на усилительный элемент, где усиливает по напряжению и мощности (току) и подается на исполнительный элемент.

Исполнительный элемент через регулирующий орган объекта управления изменяет положение (состояние) объекта управления.

Одновременно с изменением положения (состояния) объекта управления будет изменяться управляемая величина **Y**, а, следовательно, и управляющее воздействие **U2** до тех пор пока управляющее воздействие рассогласования ΔU не будет равно 0. **$U2 = U1$, при $\Delta U = 0$.**

Вращающиеся трансформаторы (ВТ)

Вращающиеся трансформаторы (ВТ) предназначены:

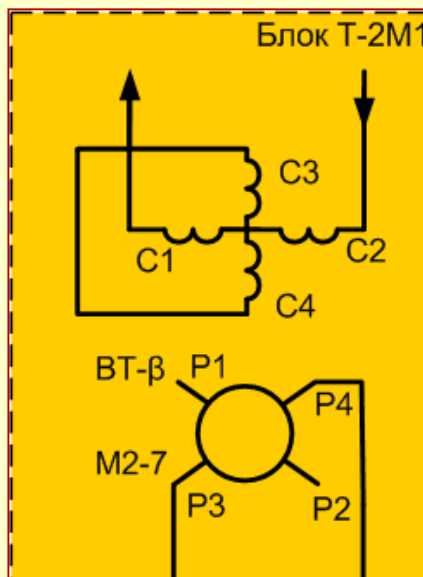
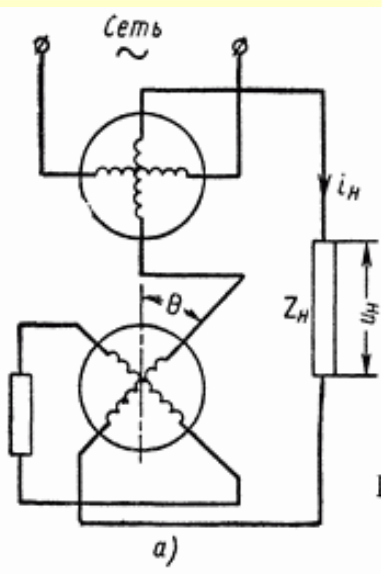
- для получения напряжения, пропорционального тригонометрической или линейной функции угла поворота ротора

$$U = f(\alpha)$$

ВТ представляют собой индукционные машины, в которых статор и ротор выполнены в виде цилиндров с взаимно перпендикулярными обмотками.

По конструкции аналогичны асинхронным электродвигателям с фазным ротором. Типы **ВТ**:

- линейные (ЛВТ); - синусно-косинусные (СКВТ).



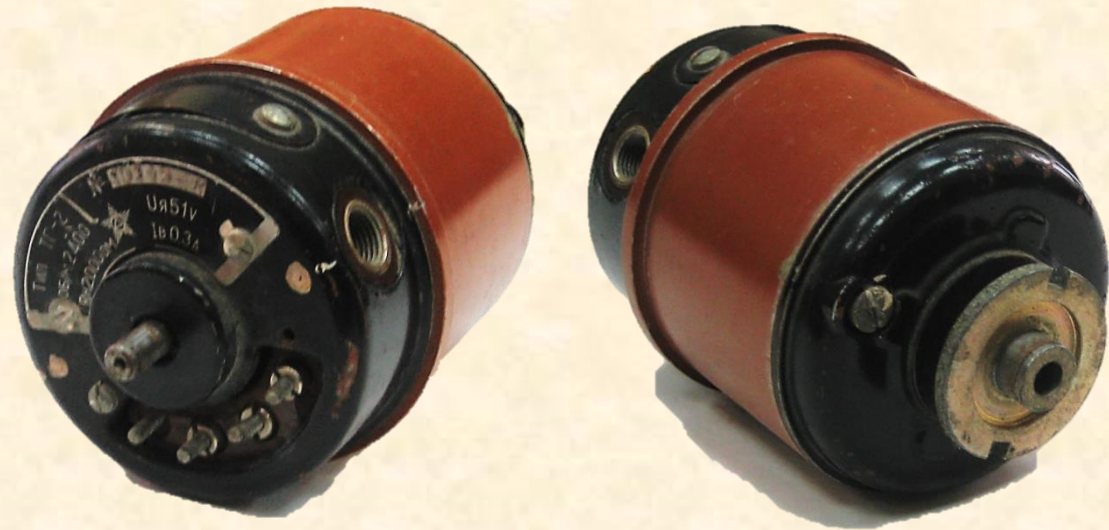
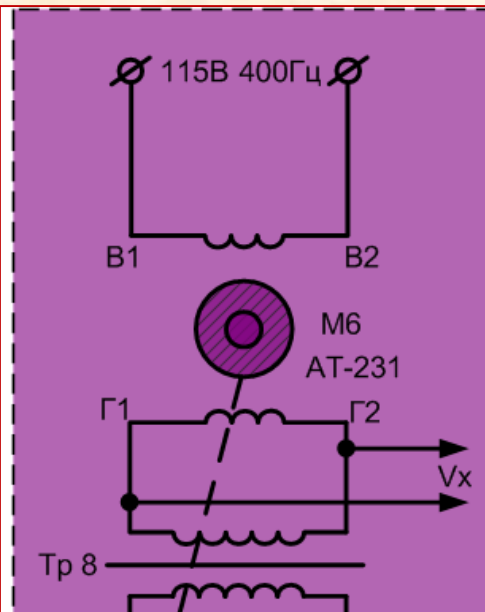
Тахогенератор

Тахогенератор* (от др.-греч. Τάχος - быстрота, скорость и генератор) — измерительный генератор постоянного или переменного тока, предназначенный для преобразования мгновенного значения частоты (угловой скорости) вращения вала в пропорциональный электрический сигнал.



Тахогенератор следящей системы **блока X (Y, H)** используется для получения:

- сигнала обратной связи, необходимого для гашения инерционности движущихся частей при реверсе, а также
- напряжения, пропорционального скорости изменения соответствующей координаты $V_x (V_Y, V_H)$.



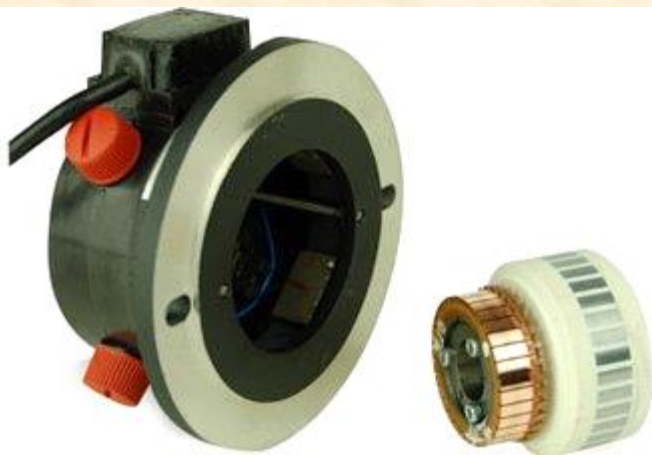
Тахогенератор Типа ТГ-2



Тахогенератор

Тахогенераторы (ТГ), в зависимости от вида сигнала на выходе, различают нескольких типов:

- с сигналом переменного напряжения или тока (асинхронные или синхронные);
- с сигналом постоянного тока.



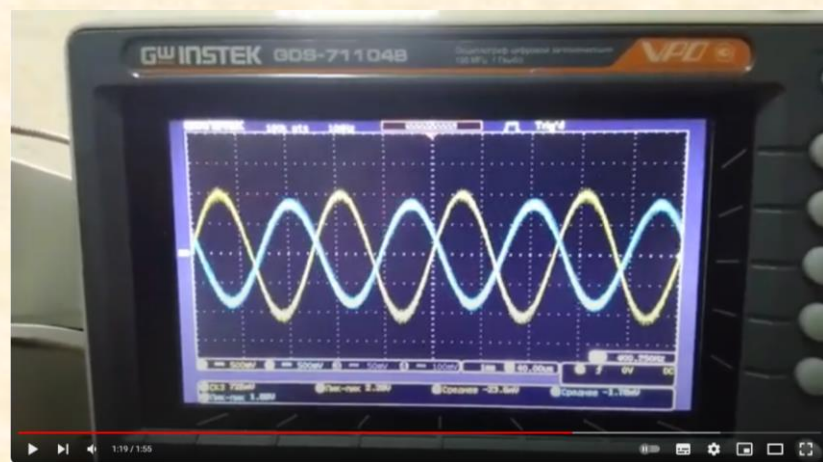
ТГ постоянного тока представляет собой коллекторную машину с возбуждением от постоянных магнитов, либо от обмотки возбуждения, располагаемых на ее статоре. Измерительная ЭДС наводится на обмотку ротора ТГ, и прямо пропорциональна угловой скорости вращения ротора, по сути — скорости изменения магнитного потока, в соответствии [с законом электромагнитной индукции](#).

Выходной сигнал — напряжение, величина которого также прямо пропорциональна угловой скорости вращения ротора — снимается через щетки с коллектора.



Дополнительные материалы

№	Название	Ссылка	
1	Учебное пособие «Устройство и эксплуатация ЗСУ-23-4М»	https://www.lib.tpu.ru/fulltext2/m/2021/m54.pdf	
2	Синусно-косинусный вращающийся трансформатор (СКВТ, резольвер)	https://www.youtube.com/watch?v=QHeFnaHgZyI	
3			
4	Тахогенератор	https://www.youtube.com/watch?v=tcyVRNwxSJU	
5	Тахогенераторы - виды, устройство и принцип работы	http://electricalschool.info/spravochnik/maschiny/2112-tahogeneratory-vidy-ustroystvo-i-princip-raboty.html	
7	Датчики вращения: энкодеры и тахогенераторы	https://www.youtube.com/watch?v=-U8-yxMJps	
8	Учебный фильм: Датчики следящих систем	https://www.youtube.com/watch?v=sZDB_x4OI4o	



Синусно-косинусный вращающийся трансформатор (СКВТ, резольвер) с питанием квадратурными сигналами



Тахогенератор

Занятие 16. Счетно-Решающий Прибор

1 ★

2 ★

3 ★

4 ★

5 ★

6 ★

7 ★

8 ★

9 ★

10 ★

11 ★

12 ★

13 ★

14 ★

15 ★

16 ★

17 ★

18 ★

19 ★

20 ★

21 ★

22 ★

23 ★

24 ★

25 ★

26 ★

27 ★

28 ★

29 ★

30 ★

31 ★

32 ★

33 ★

34 ★

35 ★

36 ★

37 ★

38 ★

39 ★

40 ★

41 ★

42 ★

43 ★

44 ★

45 ★

46 ★

47 ★

48 ★

49 ★

50 ★

51 ★

52 ★

53 ★

54 ★

55 ★

56 ★

57 ★

58 ★

59 ★

60 ★

