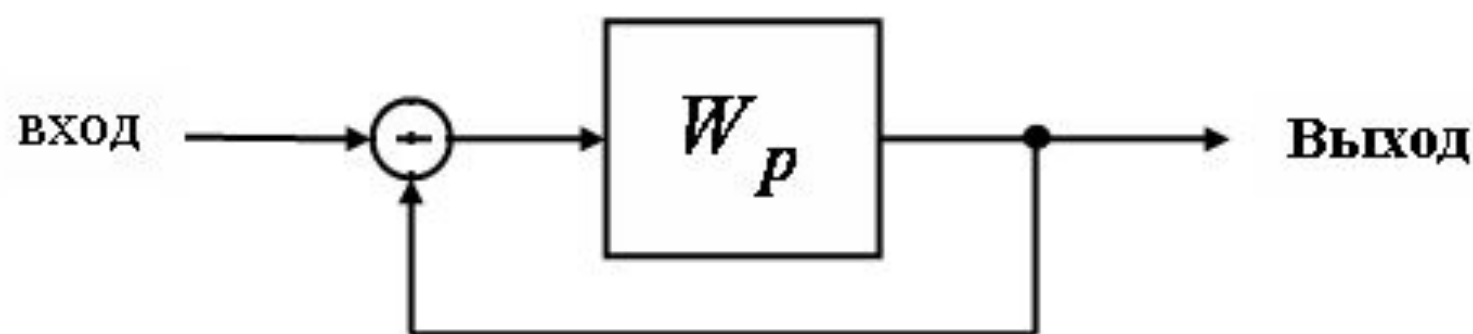


# Одноосный силовой гиросtabilизатор

Устойчивость представляет собой способность системы автоматического регулирования возвращаться к исходному состоянию после кратковременного внешнего воздействия.

Н. и Д. условием устойчивости линейной системы автоматического регулирования является отрицательность вещественных частей всех корней ее характеристического уравнения.

Последнее м.б. получено из передаточной функции замкнутой системы, связывающей вход и выход, путем приравнивания нулю знаменателя передаточной функции.



$$\Phi_3 = \frac{W_p}{1 + W_p}$$

Приравняв к нулю знаменатель з.с., получим характеристическое уравнение замкнутой системы  $n$ -ой степени

$$A(p) = a_n p^n + a_{n-1} p^{n-1} + \dots + a_0$$

Критерии устойчивости отвечают на вопрос: лежат ли все корни характеристического уравнения в левой п/п.

Критерии делятся на 2 группы – алгебраические и частотные.

# Уравнения движения ОСГС

$$\left. \begin{aligned} A_0 \ddot{\beta} + D_\beta \dot{\beta} - H \dot{\alpha} &= -M_x \\ J_0 \ddot{\alpha} + D_\alpha \dot{\alpha} + H \dot{\beta} + k_p \beta &= M_{y1}^B \end{aligned} \right\} \begin{aligned} A_0 p^2 \beta + D_\beta p \beta - H p \alpha &= -M_x \\ J_0 p^2 \alpha + D_\alpha p \alpha + H p \beta + k_p \beta &= M_{y1}^B \end{aligned}$$

**Определитель системы:**

$$\Delta = \begin{vmatrix} -H p & (A_0 p^2 + D_\beta p) \\ (J_0 p^2 + D_\alpha p) & (H p + k_p) \end{vmatrix}$$

**Характеристическое уравнение**

$$A_0 J_0 p^4 + (J_0 D_\beta + A_0 D_\alpha) p^3 + (H^2 + D_\alpha D_\beta) p^2 + k_p H p = 0$$

$$A_0 J_0 p^4 + (A_0 D_\alpha + J_0 D_\beta) p^3 + (H^2 + D_\alpha D_\beta) p^2 + k_p H p = 0$$

- По критерию Гурвица:
1.  $a_j > 0$ ,  $a_4 = 0(p^0)$
  2.  $\Delta_j > 0$

Т.е. силовой ГС неустойчив, но с инженерной т. зрения эта неустойчивость нас устраивает, хотя  $\alpha$  и не стремится к нулю, но и не увеличивается (остается постоянной малой величиной)

Исследуем устойчивость по скорости. Заменяем  $p\alpha = \gamma$

$$A_0 J_0 p^3 + (A_0 D_\alpha + J_0 D_\beta) p^2 + (H^2 + D_\alpha D_\beta) p + k_p H = 0$$

- По критерию Гурвица:
1.  $a_j > 0$ ,  $k_p > 0$
  2.  $\Delta_j = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & 0 \\ a_0 & a_2 & 0 \\ 0 & a_1 & a_3 \end{vmatrix}$ ,  $a_1 a_2 > a_0 a_3$

$$(A_0 D_\alpha + J_0 D_\beta)(H^2 + D_\alpha D_\beta) > A_0 J_0 k_p H$$

Изменять ничего нельзя кроме  $k_p$

$$k_p < \frac{(A_0 D_\alpha + J_0 D_\beta)(H^2 + D_\alpha D_\beta)}{H A_0 J_0}$$

Условие устойчивости Силового ГС

Учитывая, что

$$D_\beta \rightarrow 0,$$

$$k_p < \frac{H D_\alpha}{J_0}$$

Силовые ГС редко применяются для стабилизации больших объектов.

Пример.  $I_m \in 10^4 \text{ сН}$  ,  $cH \in 1000$  ,  $cH \in 1000$  <sup>2</sup>

$$k_p < \frac{10^4 10^3}{10^3} = 10^4 \text{ сН} \quad /$$

При  $I_m \in 100 \text{ сН}$  <sup>2</sup>,  $p < 10^5$

Т.о. силовые ГС применяют при малых  $J_0$

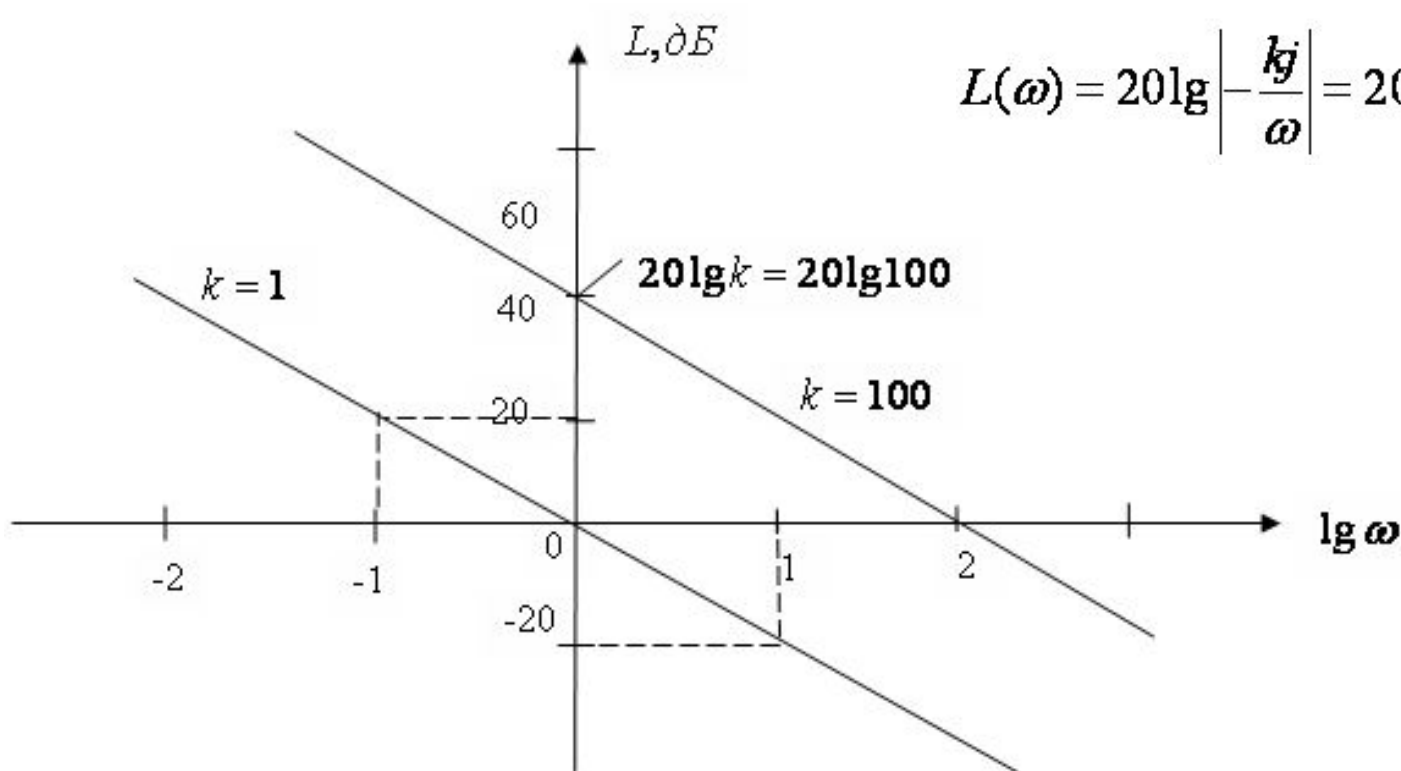
# Частотный метод с помощью ЛАЧХ и ЛФЧХ

Примечание.  $a + jb = r(\cos \varphi + j \sin \varphi) = re^{j\varphi}$

$$r = |a + jb| = \sqrt{a^2 + b^2}, \quad \varphi = \arg(a + jb) = \operatorname{arctg} \frac{b}{a}$$

$$W_p = \frac{k}{p}, \quad W_p(j\omega) = \frac{k}{j\omega} = -\frac{kj\omega}{\omega^2} = -\frac{kj}{\omega}$$

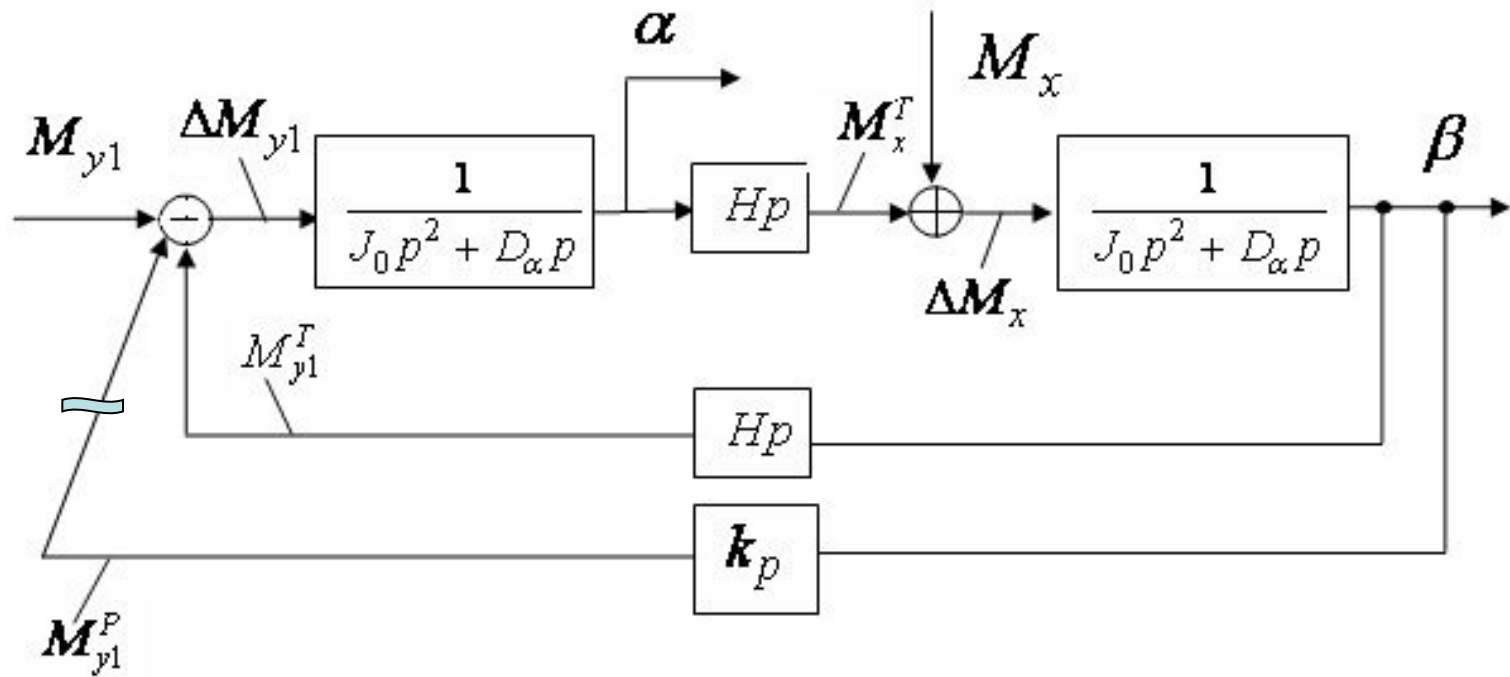
$$L(\omega) = 20 \lg \left| -\frac{kj}{\omega} \right| = 20 \lg \sqrt{0 + \frac{k^2}{\omega^2}} = 20 \lg \frac{k}{\omega}$$



# Структурная схема

$$(A_0 p^2 + D_\beta p) \beta = H p \alpha - M_x$$

$$(J_0 p^2 + D_\alpha p) \alpha = M_{y1}^B - H p \beta - k_p \beta$$



$$W(p) = \frac{\frac{1}{J_0 p^2 + D_\alpha p} \cdot H p \cdot \frac{1}{A_0 p^2 + D_\beta p}}{1 + \frac{1}{J_0 p^2 + D_\alpha p} \cdot H p \cdot \frac{1}{A_0 p^2 + D_\beta p} \cdot H p} \cdot k_p$$

$$W(p) = \frac{Hk_p p}{J_0 A_0 p^4 + (J_0 D_\beta + A_0 D_\alpha) p^3 + D_\alpha D_\beta p^2 + H^2 p^2}$$

$$W(p) = \frac{Hk_p}{p} \cdot \frac{1}{J_0 A_0 p^2 + (J_0 D_\beta + A_0 D_\alpha) p + (D_\alpha D_\beta + H^2)}$$

$$D_\beta \rightarrow 0 \quad W(p) = \frac{Hk_p}{p} \cdot \frac{1}{J_0 A_0 p^2 + A_0 D_\alpha p + H^2}$$

$$W(p) = \frac{k_p}{Hp} \cdot \frac{1}{T^2 p^2 + 2\xi Tp + 1}$$

— передаточная ф-ия разомкнутой системы

$$T = \sqrt{\frac{J_0 A_0}{H^2}},$$

Пост. Врем. нут.кол.

$$\xi = \frac{1}{2T} \frac{A_0 D_\alpha}{H^2} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{A_0}{J_0}} \frac{D_\alpha}{H}$$

Отн. Коэфф. Затух. Нут. Кол.

$$\xi = (0.01 \div 0.1)$$



$$\Phi_{\beta, M_{y1}}(p) = \frac{\frac{1}{J_0 p^2 + D_\alpha p} \cdot Hp \cdot \frac{1}{A_0 p^2 D_\beta p}}{1 + \frac{1}{J_0 p^2 + D_\alpha p} \cdot Hp \cdot \frac{1}{A_0 p^2 + D_\beta p} \cdot (Hp + k_p)} =$$

$$= \frac{Hp}{J_0 A_0 p^4 + (A_0 D_\alpha + J_0 D_\beta) p^3 + (H^2 + D_\alpha D_\beta) p^2 + H k_p p}$$

$$\Phi_{\alpha, M_{y1}}(p) = \frac{\frac{1}{J_0 p^2 + D_\alpha p}}{1 + \frac{1}{J_0 p^2 + D_\alpha p} \cdot Hp \cdot \frac{1}{A_0 p^2 + D_\beta p} \cdot (Hp + k_p)} =$$

$$= \frac{A_0 p + D_\beta}{J_0 A_0 p^3 + (A_0 D_\alpha + J_0 D_\beta) p^2 + (H^2 + D_\alpha D_\beta) p + H k_p}$$

$$W(p) = \frac{k_p}{Hp} \cdot \frac{1}{T^2 p^2 + 2\xi Tp + 1}$$

Примечание.  $a + jb = r(\cos \varphi + j \sin \varphi) = re^{j\varphi}$

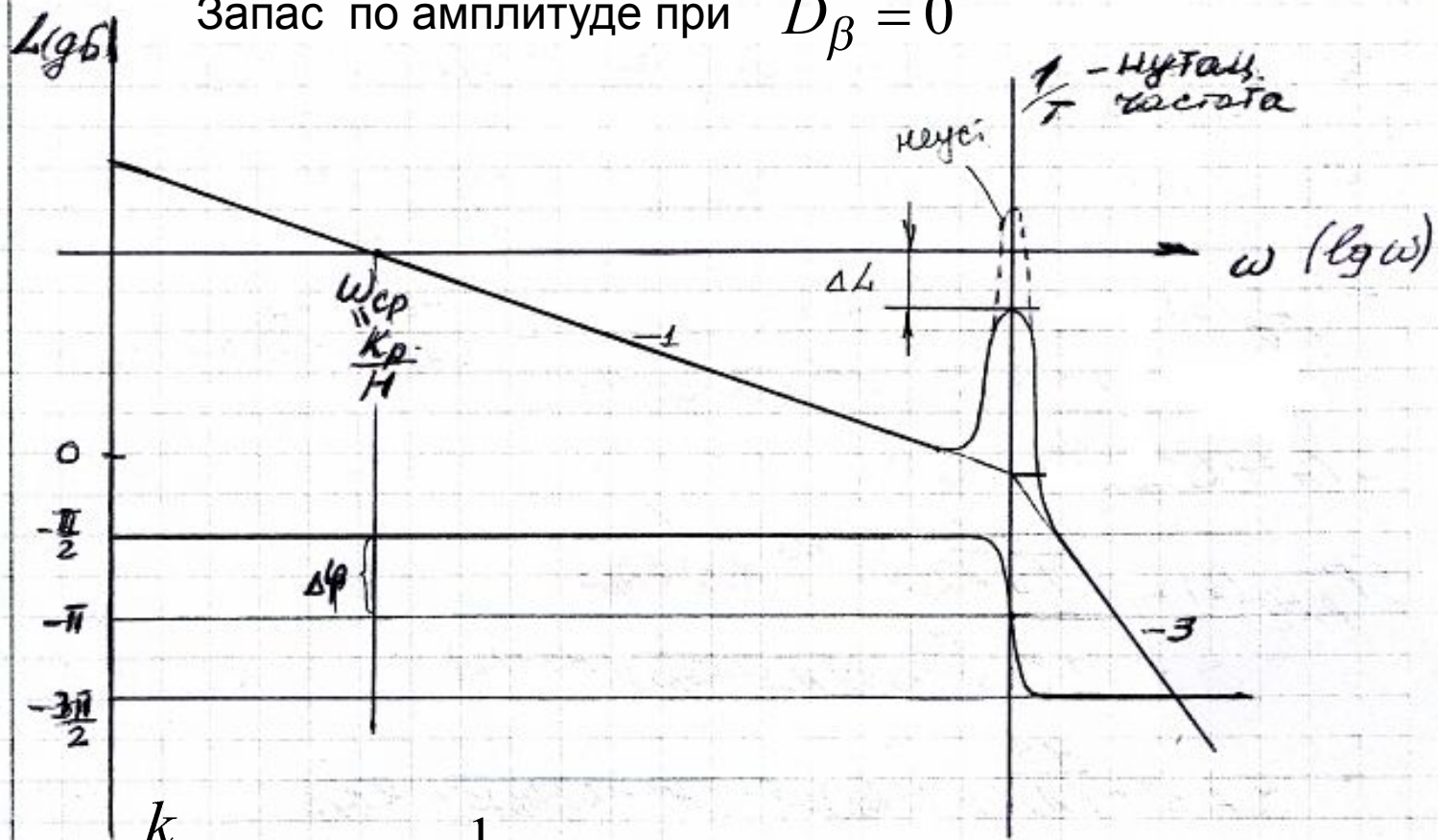
$$r = |a + jb| = \sqrt{a^2 + b^2}, \quad \varphi = \arg(a + jb) = \operatorname{arctg} \frac{b}{a}$$

$$A = |W(j\omega)| = \frac{k_p}{H\omega} \cdot \frac{1}{\sqrt{(1 - T^2\omega^2)^2 + (2\xi T\omega)^2}}$$

$$L = 20 \lg A$$

$$\varphi(\omega) = -\frac{\pi}{2} - \operatorname{arctg} \frac{2\xi T\omega}{1 - T^2\omega^2}$$

Запас по амплитуде при  $D_\beta = 0$



$$W(p) = \frac{k_p}{Hp} \cdot \frac{1}{T^2 p^2 + 2\xi Tp + 1}$$

$$A = |W(j\omega)| = \frac{k_p}{H\omega} \cdot \frac{1}{\sqrt{(1 - T^2\omega^2)^2 + (2\xi T\omega)^2}}$$

$$A\left(\frac{1}{T}\right) = \frac{k_p}{H} T \cdot \frac{1}{2\xi} = \frac{k_p}{2H} \sqrt{\frac{J_0 A_0}{H^2}} \cdot \frac{2H}{D_\alpha} \sqrt{\frac{J_0}{A_0}} = \frac{k_p J_0}{D_\alpha H}$$

$$\Delta L = 20 \lg \frac{k_p J_0}{D_\alpha H}$$

$$k_p < \frac{HD_\alpha}{J_0}$$

# УСТОЙЧИВОСТЬ

Запас по фазе силового ГС чаще всего равен  $\Delta\varphi = \frac{\pi}{2}$ , т.е. в зоне частоты

среза с устойчивостью СГС проблем не возникает.

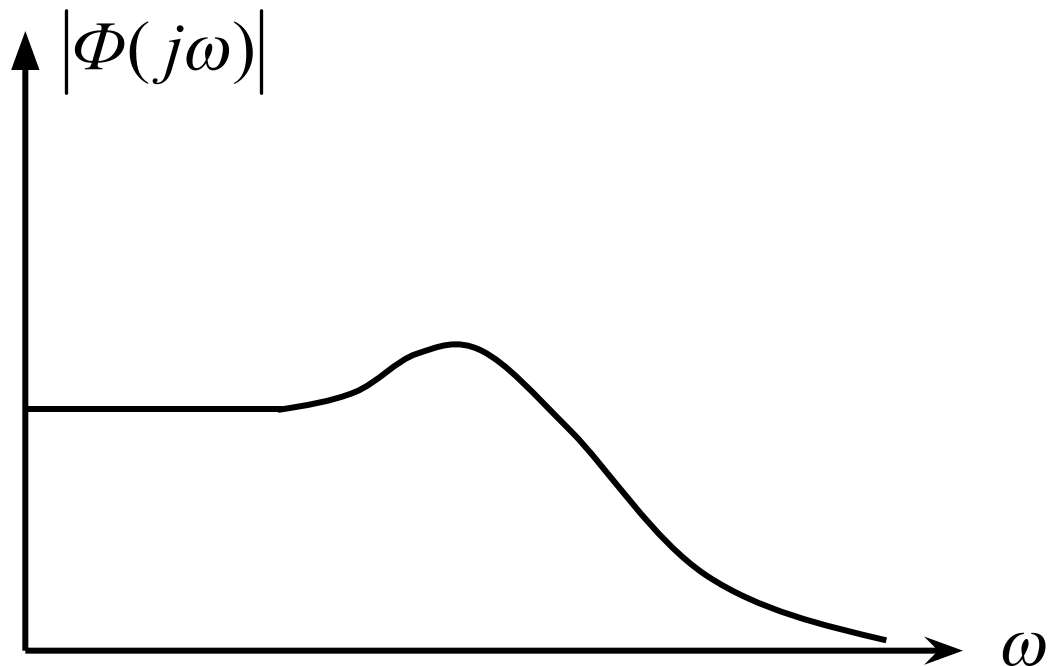
Все проблемы устойчивости СГС лежат в зоне нутационной частоты.

Запас по амплитуде  $\Delta L$ :

$$A = |W(j\omega)| = \frac{k_p}{H\omega} \cdot \frac{1}{\sqrt{(1 - T^2\omega^2)^2 + (2\xi T\omega)^2}}$$

$$\text{при } \omega = \frac{1}{T}, \quad T = \sqrt{\frac{J_0 A_0}{H^2}}, \quad \xi = \frac{1}{2T} \cdot \frac{A_0 D_\alpha}{H^2} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{A_0}{J_0}} \cdot \frac{D_\alpha}{H}$$

$$A = A\left(\frac{1}{T}\right) = \frac{k_p}{H} T \cdot \frac{1}{2\xi} = \frac{k_p}{2H} \sqrt{\frac{J_0 A_0}{H^2}} \cdot \frac{2H}{D_\alpha} \sqrt{\frac{J_0}{A_0}} = \frac{k_p J_0}{D_\alpha H}$$



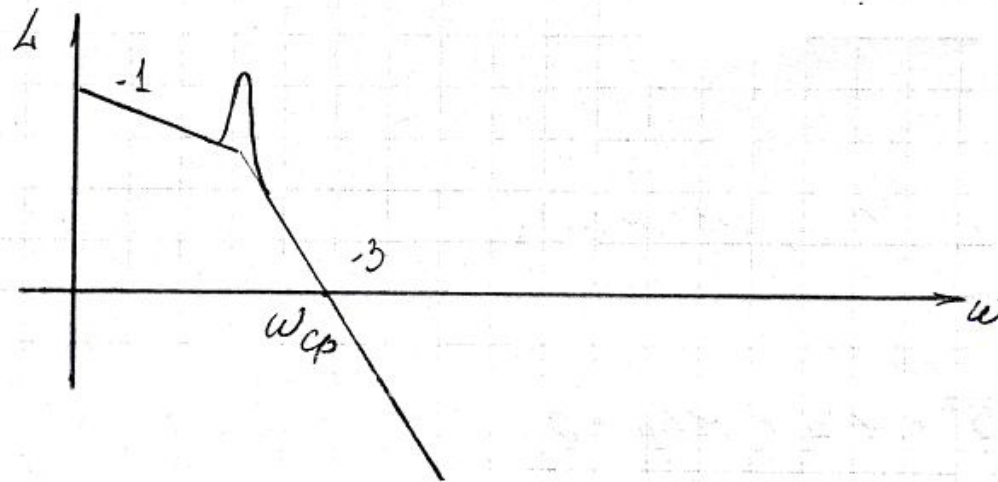
$$M = \frac{|\Phi(j\omega)|_{\max}}{\Phi(0)} \quad \text{— Показатель колебательности}$$

$M=(1-1,5)$  в ИГС

$M=(2-5)$  в СГС, т.е. в СГС пик выше, чем в ИГС

$$\Delta L = 20 \lg \frac{M}{M+1}$$

## Гиросtabilизатор на малых гироскопах



Такой ГС можно сделать устойчивым введением корректирующего звена, что приведет к ужесточению требований к каналу разгрузки и лишит СГС его основного преимущества.

Недостаток: усиление помех при введении звена с наклоном +2.

# Критерий Михайлова

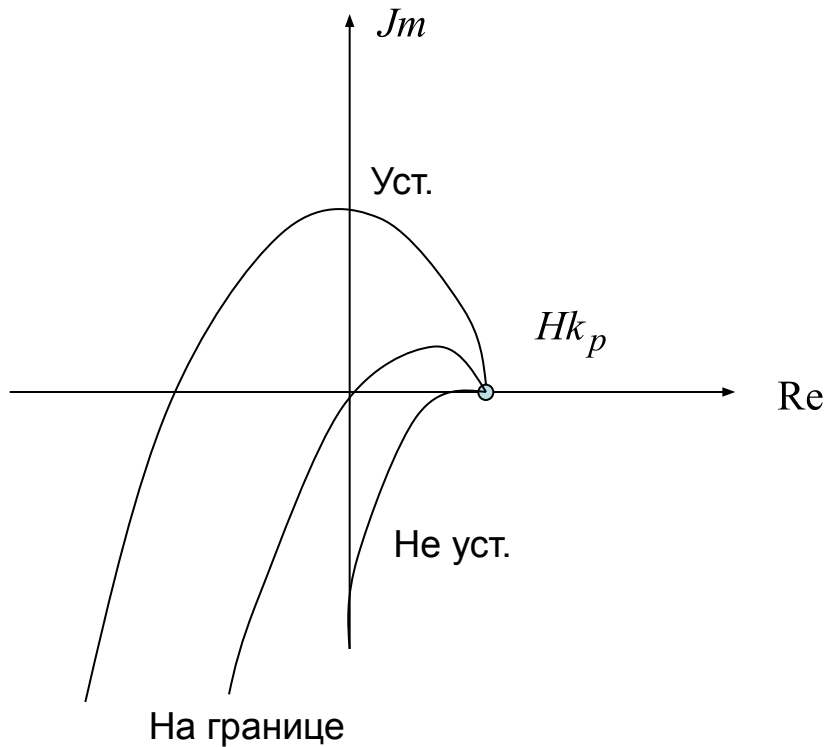
$$D_\beta = 0$$

$$J_0 A_0 p^3 + A_0 D_\alpha p^2 + H^2 p + Hk_p = 0 - \text{Характеристическое уравнение}$$

$$p = j\omega$$

$$D = -J_0 A_0 j\omega^3 - A_0 D_\alpha \omega^2 + H^2 j\omega + Hk_p$$

$$D = (Hk_p - A_0 D_\alpha \omega^2) + j\omega(H^2 - J_0 A_0 \omega^2)$$



Качество регулирования.

$$\sigma_p = 0$$

$$y_0 A_0 s^3 + A_0 D_d s^2 + H^2 s + H K_p = 0$$

$$H K_p (1 + T_a s) (1 + 2\beta T s + T^2 s^2) = 0. \quad (*)$$

$$H K_p [1 + (T_a + 2\beta T) s + (2\beta T T_a + T^2) s^2 + T_a T s^3] = 0$$

$$s^3 \quad H K_p T_a T^2 = y_0 A_0 \quad T_a \gg T$$

$$s^2 \quad A_0 D_d = H K_p (2\beta T T_a + T^2) \quad \beta - \text{мало}$$

$$s \quad H^2 = (T_a + 2\beta T) H K_p$$

$$s^0 \quad H K_p = H K_p$$

из 3-его ур-я:

$$T_a = \frac{H}{k_p} - \text{постоянная времени системы разгрузки}$$



из 1-го ур-я:

$$T^2 = \frac{Y_0 A_0 K_p}{H K_p H} \Rightarrow T = \frac{\sqrt{Y_0 A_0}}{H} \quad \begin{array}{l} \text{соответствует} \\ \text{пост. вр.} \\ \text{критич. колеб.} \end{array}$$

из 2-го ур-я:

$$\xi = \frac{A_0 D_d K_p \cdot H}{2 H K_p H \cdot \sqrt{Y_0 A_0}}$$

$$\xi = \frac{1}{2} \frac{D_d}{H} \sqrt{\frac{A_0}{Y_0}} \quad \begin{array}{l} \text{соответствует по третьему с} \\ \text{относительному коэф. затух. колеб.} \\ \text{смыслу.} \end{array}$$

Дано:  $H = 10^4$  ед.мкс  
 $K_p = 10^4$  ед.мкс/рад  
 $A_0 = 10$  ед.мкс<sup>2</sup>  
 $Y_0 = 10^3$  ед.мкс<sup>2</sup>

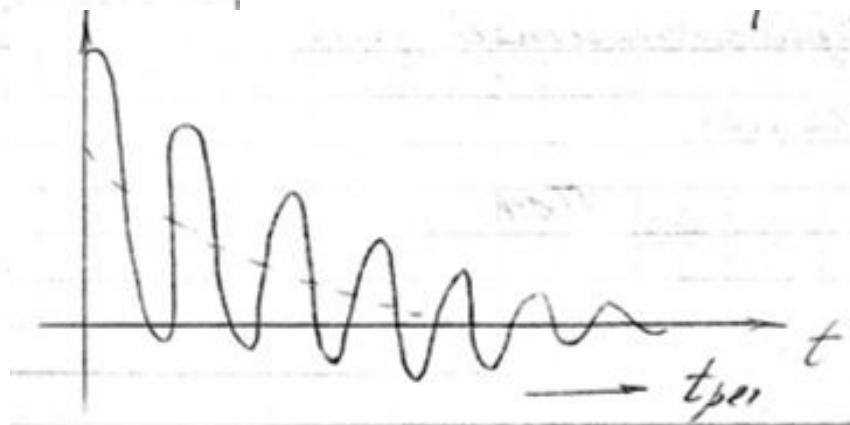
$$T_a = \frac{H}{K_p} = \frac{10^4}{10^4} = 1 \text{ с}$$

$$T = \frac{\sqrt{Y_0 A_0}}{H} = \frac{\sqrt{10^3 \cdot 10}}{10^4} = 0,01 \text{ с}$$

Найдем корни ур-я (\*):

$$s_1 = -\frac{1}{T_a}$$

$$\bar{\alpha} = C_1 e^{-\frac{t}{T_a}} + C_2 e^{-\frac{3}{T} t} \sin\left(\frac{\sqrt{1-\xi^2}}{T} t + \varphi\right) \quad \text{— выражение для переходного процесса}$$

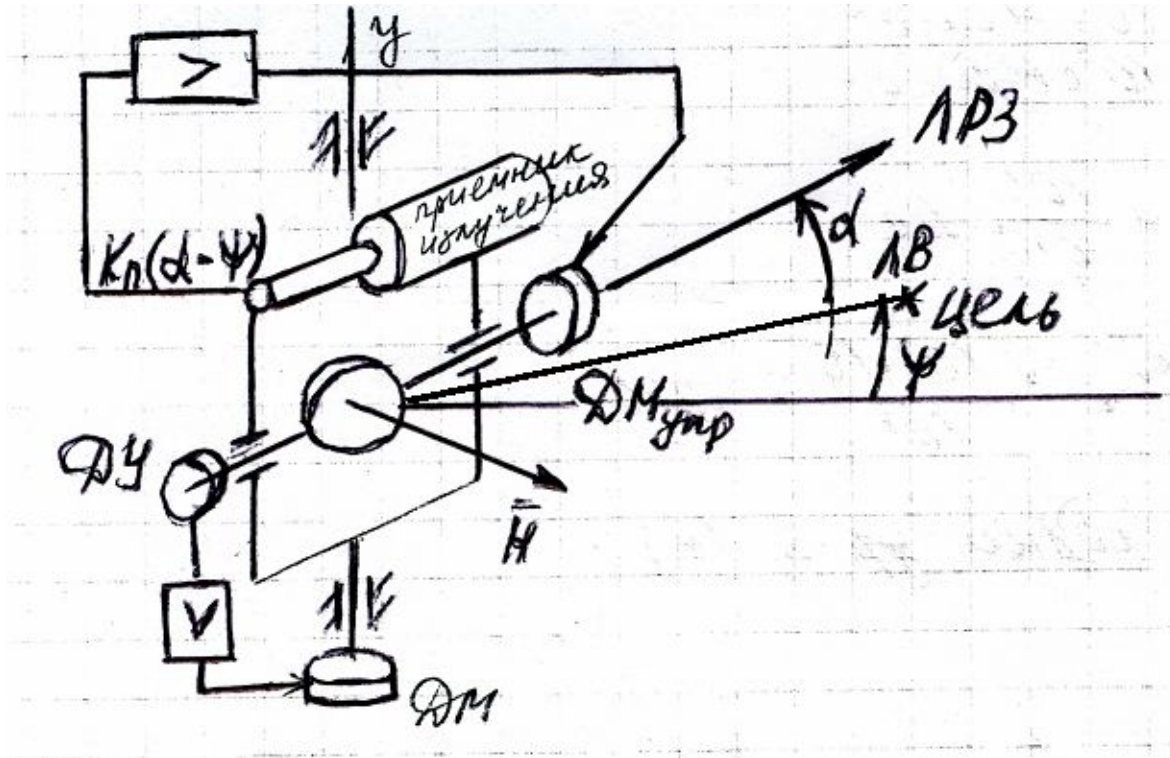


Таким образом, переходной процесс содержит экспоненту, определяемую параметрами канала разгрузки, и наложенную на нее затухающую гармонику, определяемую параметрами только гироскопа.

Обычно экспонента затухает быстрее, чем колебательный процесс.

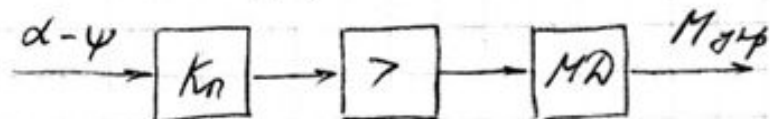
Таким образом. Время регулирования  $t_{рег}$  определяется параметрами гироскопа. А т.к. гироскоп имеет малый относительный коэффициент демпфирования  $\xi$ , то время регулирования – большое, а качество регулирования – плохое.

# Управление ОСГС



ЛВ - линия напряжения  
 ЛРЗ - линия радиосигнальной зоны

С.и.е управление:



Пусть  $D_\beta = 0$ ,  $M^{ynp} = -k_{ynp}(\alpha - \psi)$

$$A_0 p^2 \beta - Hp\alpha = k_{ynp}(\alpha - \psi)$$

$$J_0 p^2 \alpha + D_\alpha p \alpha + Hp\beta + k_p \beta = 0$$

$$\Delta = \begin{vmatrix} -Hp - k_{ynp} & A_0 p^2 \\ (J_0 p^2 + D_\alpha p) & (Hp + k_p) \end{vmatrix}$$

$$A_0 J_0 p^4 + A_0 D_\alpha p^3 + H^2 p^2 + H(k_p + k_{ynp})p + k_p k_{ynp} = 0$$

$$\Delta z \begin{vmatrix} a_4 & a_3 & 0 & 0 \\ a_0 & a_2 & a_4 & 0 \\ 0 & a_1 & a_3 & 0 \\ 0 & a_0 & a_2 & a_4 \end{vmatrix} - \text{определитель Гурвица}$$

$$1) K_p > 0, K_y > 0, a_j > 0.$$

$$2) a_4 a_2 > a_0 a_3$$

$$a_4 (a_2 a_3 - a_4 a_4) - a_3^2 a_0 > 0$$

$$a_4 a_2 a_3 > a_4^2 a_4 + a_3^2 a_0$$

$$A_0 D_\alpha H^2 > Y_0 A_0 H (K_y + K_p)$$

$$\boxed{K_p + K_y < \frac{H D_\alpha}{Y_0}}$$

Т.е. введение замкнутого канала управления снижает запас устойчивости

## Точность стабилизации

$$A_0 p^2 \beta + D_\beta p \beta - H p \alpha = -M_x$$

$$J_0 p^2 \alpha + D_\alpha p \alpha + H p \beta + k_p \beta = M_y$$

$$\Delta = \begin{vmatrix} -H p & A_0 p^2 + D_\beta p \\ J_0 p^2 + D_\alpha p & H p + k_p \end{vmatrix}$$

$$\Delta_\alpha = \begin{vmatrix} -M_x & A_0 p^2 + D_\beta p \\ M_{y1} & H p + k_p \end{vmatrix}$$

$$\Delta_\beta = \begin{vmatrix} -H p & -M_x \\ J_0 p^2 + D_\alpha p & M_{y1} \end{vmatrix}$$

$$\alpha(p) = \frac{\Delta\alpha}{\Delta} = \frac{M_x(Hp + k_p) + M_{y1}(A_0p^2 + D_\beta p)}{J_0A_0p^4 + (J_0D_\beta + A_0D_\alpha)p^3 + (H^2 + D_\alpha D_\beta)p^2 + Hk_p p}$$

$$\beta(p) = \frac{\Delta\beta}{\Delta} = \frac{M_{y1}Hp - M_x(J_0p^2 + D_\alpha p)}{J_0A_0p^4 + (J_0D_\beta + A_0D_\alpha)p^3 + (H^2 + D_\alpha D_\beta)p^2 + Hk_p p}$$

Зная изображения моментов, подставляем их в уравнения и получаем

$$\alpha(p) \quad \text{и} \quad \beta(p)$$

### Установившиеся ошибки под действием постоянных моментов по оси стабилизации

1. Моменты:  $M_{y1} = const, \quad M_x = 0$

$$\alpha_{уст} = \lim_{p \rightarrow 0} \alpha(p) = \frac{M_{y1}D_\beta}{Hk_p} \rightarrow 0$$

Т.к. демпфирование мало, то ошибка тоже мала. С ростом  $k_p$  ошибка еще падает.

$$\text{Пр.: } M_y = 10^3 \text{ Н см}$$

$$D_p = 0,1 \text{ см см с}$$

$$H = 10^4 \text{ Н см с}$$

$$K_p = 10^4 \text{ Н см / рад}$$

$$\Delta \alpha = \frac{10^3 \cdot 0,1}{10^4 \cdot 10^4} = 10^{-6} \text{ рад} \cdot 2 \cdot 10^5 = 0,2''$$

Основываясь на примере ССГ по оси стабилизирующей по отношению к моменту  $M_y$  осью, практически асбати-ческое регулирование.



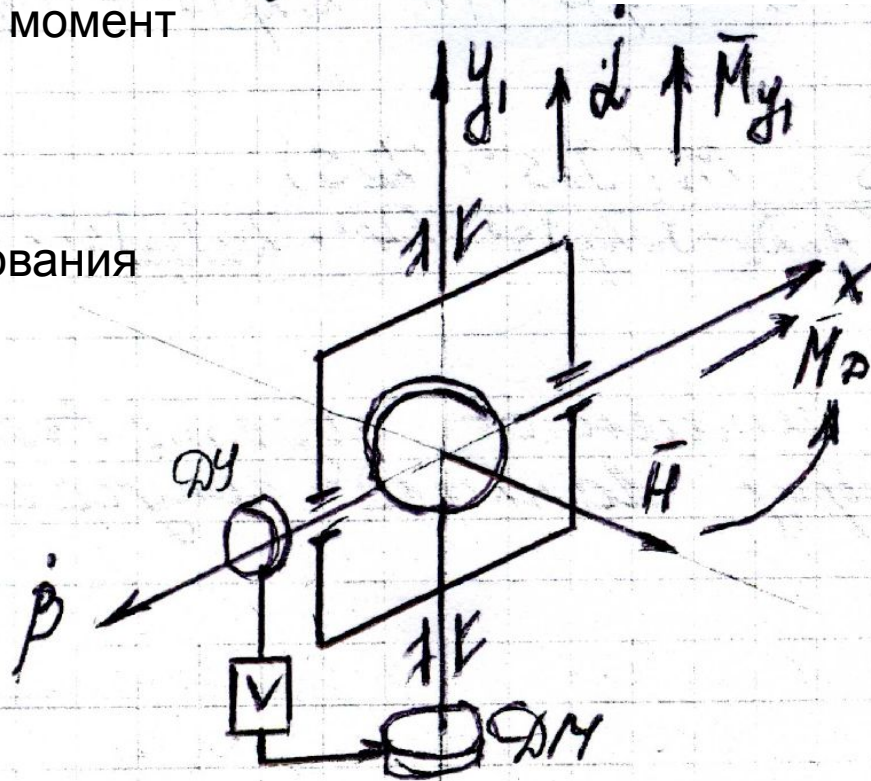
# Физика

$M_y = const, M_x = 0.$   
 $\alpha_{уст.} = \lim_{s \rightarrow 0} \alpha(s) = \frac{M_y \cdot D_p}{H K_p} \rightarrow 0.$

Пусть действует момент

$$M_y = const,$$

а по оси  $x$  —  
 момент демпфирования  
 не равен 0.



$M_D^x = D_p \beta$   
 $\alpha = \frac{M_D}{H}$

$$\beta_{уст.} = \lim_{p \rightarrow 0} \beta(p) = \frac{M_{y1}}{k_p} \quad (\text{См. } \beta(p) = \dots)$$

Пример.  $M_{y1} = 10^3 \text{ сН сНсм}$  /  $p_{дт} = 10^4$  ,  $\beta = p_{дт} \frac{10^3}{10^4} = 0.1$

## Установившиеся ошибки под действием момента по оси

### прецессии:

$$\alpha(p) = \frac{\Delta\alpha}{\Delta} = \frac{M_x(Hp + k_p) + M_{y_1}(A_0p^2 + D_\beta p)}{J_0A_0p^4 + (J_0D_\beta + A_0D_\alpha)p^3 + (H^2 + D_\alpha D_\beta)p^2 + Hk_p p}$$

$$\alpha_{уст}(t) = \lim_{p \rightarrow 0} \alpha(p) = \lim_{p \rightarrow 0} \frac{M_x}{Hp} \rightarrow \infty$$

2.  $M_{y_1} = 0, \quad M_x = const$

$$\alpha_{уст} = \lim_{p \rightarrow 0} \alpha(p) \rightarrow \infty, \quad \dot{\alpha}_{уст} = \lim_{p \rightarrow 0} \dot{\alpha}(p) = \frac{M_x}{H}$$

Т.е. это собственная скорость прецессии гироскопа.

**Пример.**  $M_x = 0,1 \text{ Н}$  ,  $cH = 10^4$

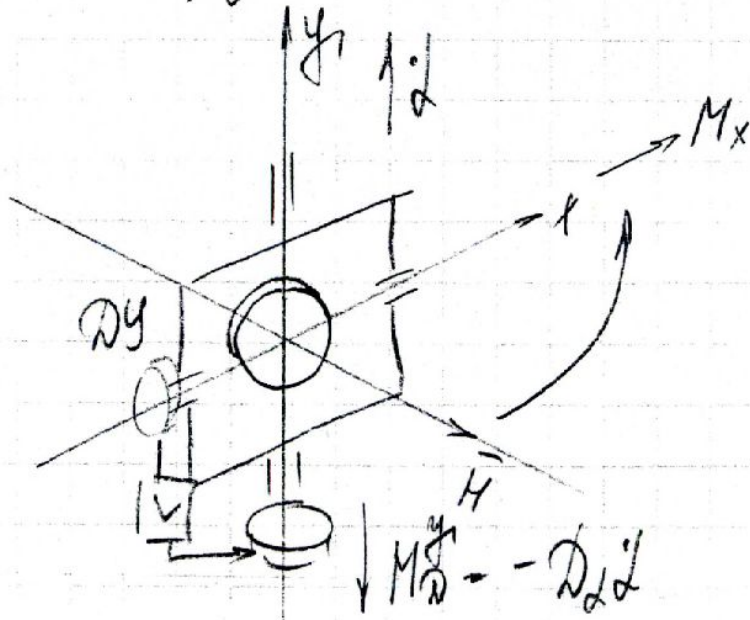
$$\dot{\alpha} = \frac{0,1}{10^4} \cdot 10^{-5} \frac{1}{c} \approx 2 \text{ град / час}$$

$$\beta_{уст} = \lim_{p \rightarrow 0} \beta(p) = -\frac{M_x D_\alpha}{Hk_p}$$

$k_p$  надо увеличивать

$$\text{Пр.: } \beta_{y_{cm}} = + \frac{0,1 \cdot 10^3}{10^1 \cdot 10^1} = 10^{-6} = 0,2''$$

Ошибка мала. Она по  $\beta$ , ког-ао не явл. вхх. координатой  $\Rightarrow$  ошибка очень мала.



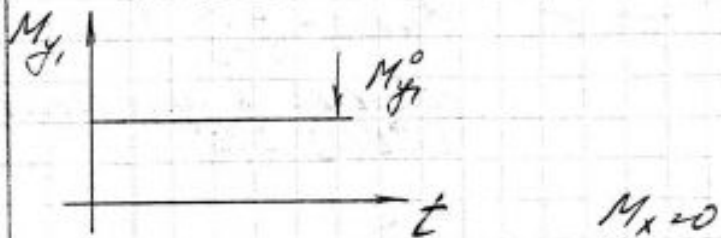
$$M_x \Rightarrow \text{Н совм. } M_x - \text{превращен } \rightarrow \dot{\alpha},$$

$$\dot{\alpha} = \frac{M_x}{H}$$

$$\beta(p) = \frac{\Delta\beta}{\Delta} = \frac{M_{y1}Hp - M_x(J_0p^2 + D_\alpha p)}{J_0A_0p^4 + (J_0D_\beta + A_0D_\alpha)p^3 + (H^2 + D_\alpha D_\beta)p^2 + Hk_p p}$$

$$M_{y_{cm}}^D = -D_\alpha \dot{\alpha}, \quad \beta = -\frac{M_{y1}^D}{k_p} = -\frac{D_\alpha \dot{\alpha}}{k_p} = \frac{D_\alpha M_x}{Hk_p}$$

Реакция ОСС на ступенчатый момент по оси стабилизации.



$$Y_0 A_0 \alpha'''' + (A_0 D_x + Y_0 D_p) \alpha'''' + (H^2 + D_x D_p) \alpha'' + H K_p \alpha' =$$

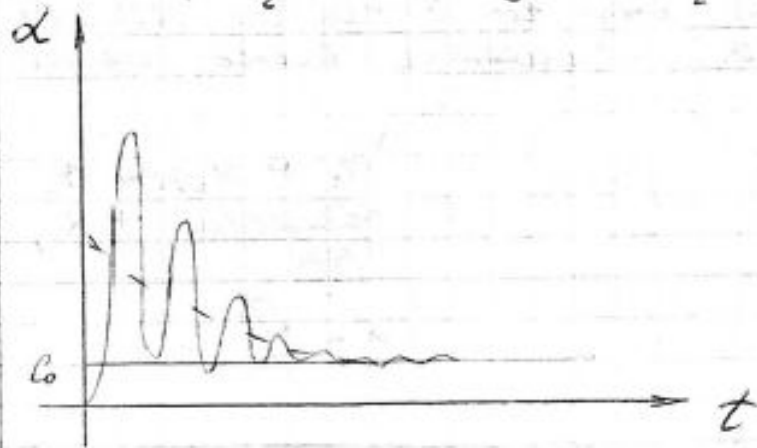
$$= A_0 \ddot{M}_y + D_p \dot{M}_y$$

$$\alpha = \sum_1^4 C_i e^{\lambda_i t}$$

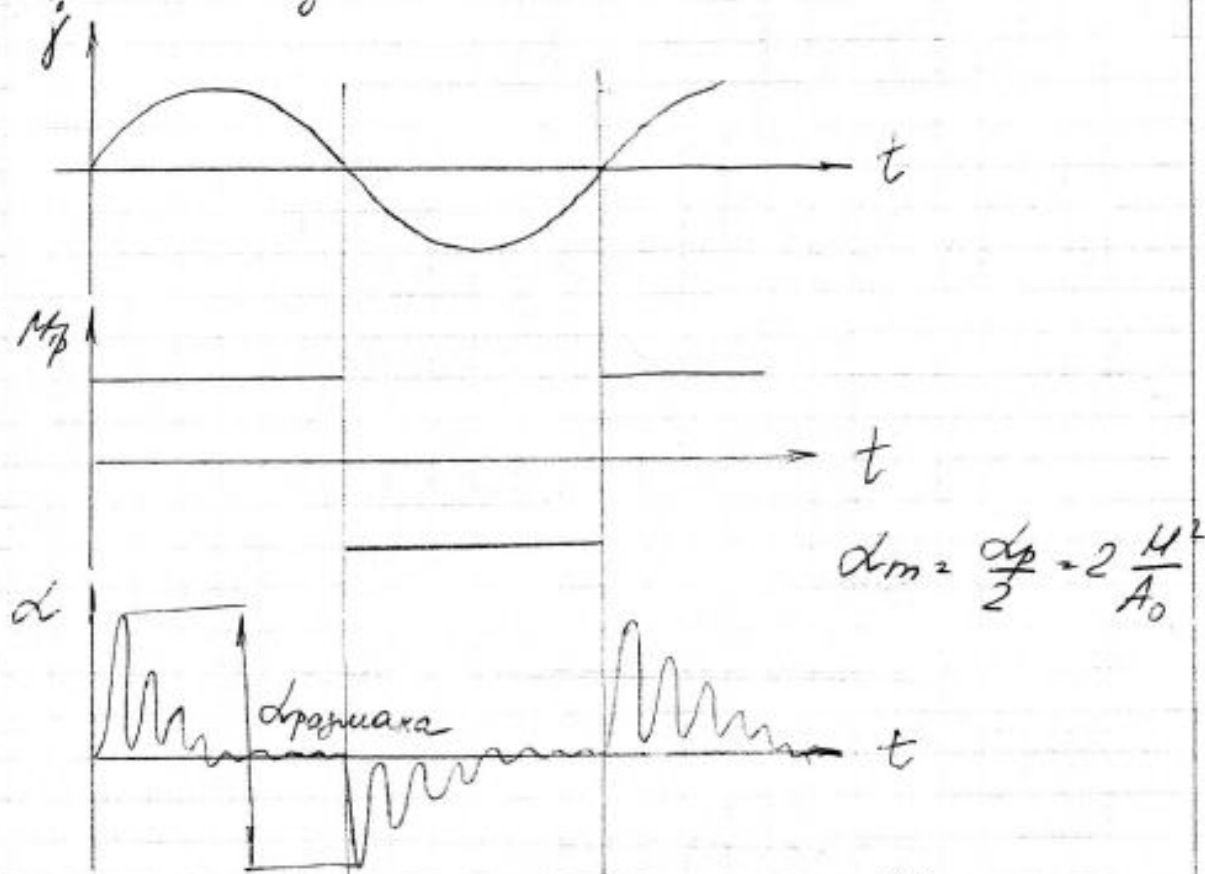
$$\lambda_1 = 0 \quad \lambda_2 = -\frac{1}{T_a} - \frac{K_p}{H};$$

$$\lambda_{3,4} = -\alpha \pm j\beta$$

$$\alpha = C_1 + C_2 e^{-\frac{\alpha}{T} t} + C_3 e^{-\frac{\alpha}{T} t} \left[ \sin \frac{\sqrt{1-\beta^2}}{T} t + \varphi \right]$$



Т.о. из-за малости  $\xi$  гармоника затухает  
 очень слабо и в ОДС имеет место  
 почти 100% преобразование.  
 т.е. динам. ошибка при наименьш.  
 ступенках  $\neq 2 \text{ раз} >$ , чем в ЧТС  
 Р-м поведение ОДС на качке



Т.о. на качке (взмах колебаний)  $\neq 4 \text{ р}$   
 превышает стат. ошибку ЧТС.  
 динамич. ошибка

# Реакция ОСГС на гармоническое

## МОМЕНТНОЕ ВОЗМУЩЕНИЕ

$$M_{y_1} = M_0 \sin \omega t$$

$$D_\beta = 0$$

$$\alpha(p) = \Phi_{\alpha, M_{y_1}}(p) \cdot M_{y_1}$$

$$\Phi(p) = \frac{A_0 p}{J_0 A_0 p^3 + A_0 D_\alpha p^2 + H^2 p + H k_p}$$

$$\alpha(p) = \frac{A_0 p \cdot M_{y_1}}{J_0 A_0 p^3 + A_0 D_\alpha p^2 + H^2 p + H k_p}$$

Будем считать, что ГС – это линейное звено. При прохождении гармонического сигнала через линейное звено на выходе получаем также гармонический сигнал, но другой амплитуды и со сдвигом фазы.

$$\alpha = M_0 \cdot \left| \Phi_{\alpha, M_{y_1}}(j\omega) \right| \cdot \sin(\omega t + \varphi)$$

$$\alpha_m = M_0 \cdot \left| \Phi_{\alpha, M_{y_1}}(j\omega) \right| - \text{амплитуда, } \varphi - \text{сдвиг фазы.}$$

$$\varphi = \arg \Phi(j\omega)$$

В установившемся режиме ( $t \rightarrow \infty$ )

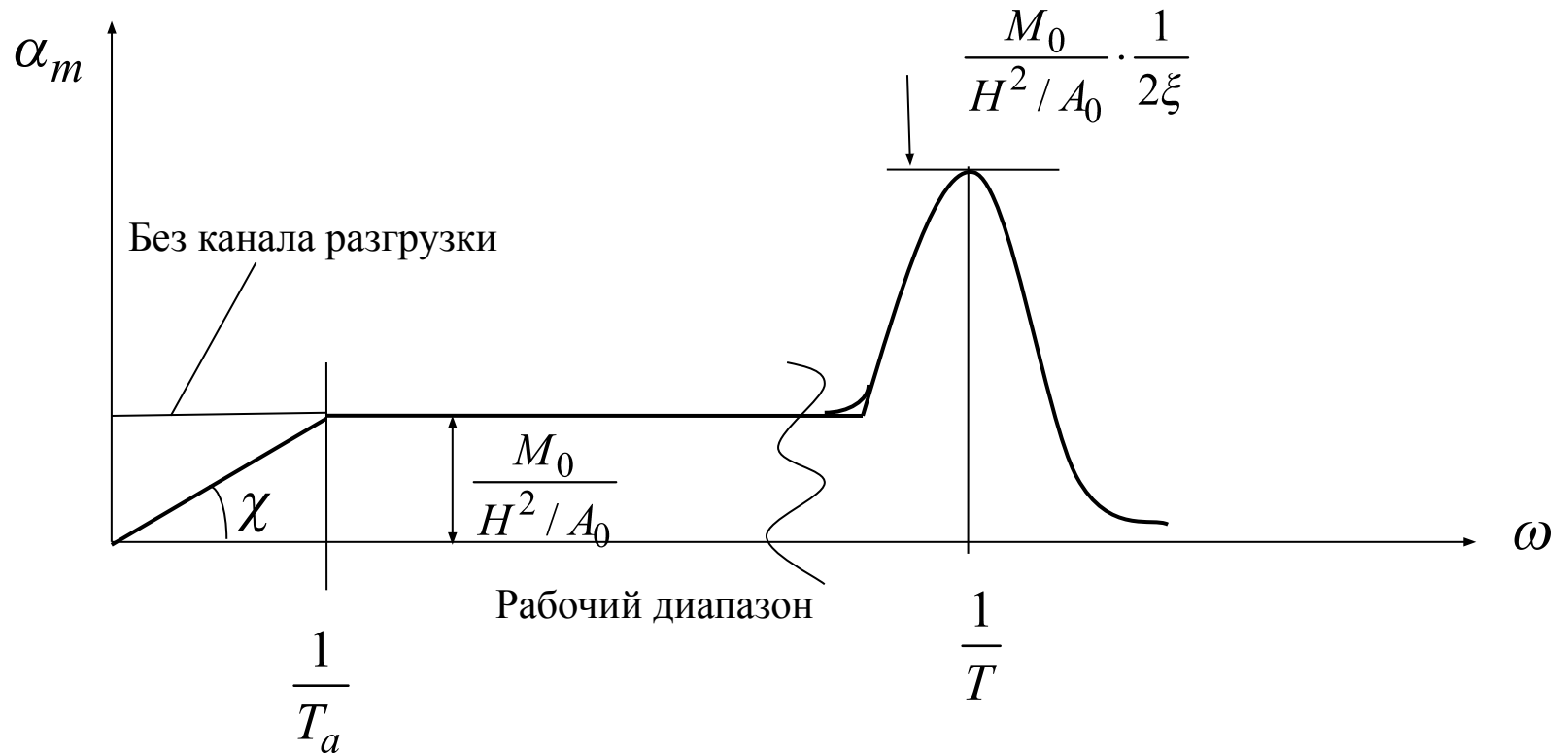
Представим

$$\Phi(p) = \frac{A_0 p}{H k_p (1 + T_a p)(1 + 2\xi T p + T^2 p^2)}$$

$$T_a = \frac{H}{k_p}; \quad T = \frac{\sqrt{J_0 A_0}}{H}; \quad \xi = \frac{1}{2} \cdot \frac{D_\alpha}{H} \sqrt{\frac{A_0}{J_0}}$$

$$\alpha_m = M_0 \frac{A_0 \omega}{H k_p \sqrt{1 + T_a^2 \omega^2} \cdot \sqrt{(1 - T^2 \omega^2)^2 + (2\xi T \omega)^2}}$$

$$\alpha_m = M_0 \frac{A_0 \omega}{Hk_p \sqrt{1 + T_a^2 \omega^2} \cdot \sqrt{(1 - T^2 \omega^2)^2 + (2\xi T \omega)^2}}$$





$$\alpha_m = M_0 \frac{A_0 \omega}{Hk_p \sqrt{1 + T_a^2 \omega^2} \cdot \sqrt{(1 - T^2 \omega^2)^2 + (2\xi T \omega)^2}}$$

1.  $\alpha_m = M_0 \frac{A_0}{Hk_p} \cdot \omega$  , т.к.  $(T_a \omega)^2 < 1$  и  $(T \omega)^2 < 1$

$$\operatorname{tg} \chi = M_0 \frac{A_0}{Hk_p}$$

2.  $\alpha_m = M_0 \frac{A_0 \omega}{Hk_p T_a \omega} = \frac{M_0 A_0}{Hk_p T_a} = \frac{M_0 A_0 k_p}{Hk_p H} = \frac{M_0 A_0}{H^2}$

3.  $\alpha_m = \frac{M_0}{H^2 / A_0} \cdot 2\xi$

4.  $\alpha_m = (J_0 / \omega^2) \cdot M_0$

На 1 этапе работает система разгрузки (есть  $k_p$ ) и гироскоп.

На 2 этапе ошибка определяется квазиупругой жесткостью гироскопа, система разгрузки не работает. Величина ошибки мала, т.к.  $H^2$  стоит в знаменателе.

На 3 этапе – резонанс, амплитуда в десятки раз возрастает, что может привести к поломке.

На 4 этапе – 2-ой закон Ньютона, работает инерционный момент платформы.

### Пример

$$\frac{1}{T_a} = \frac{k_p}{H} = \frac{10^4}{10^4} = 1[1/c]$$

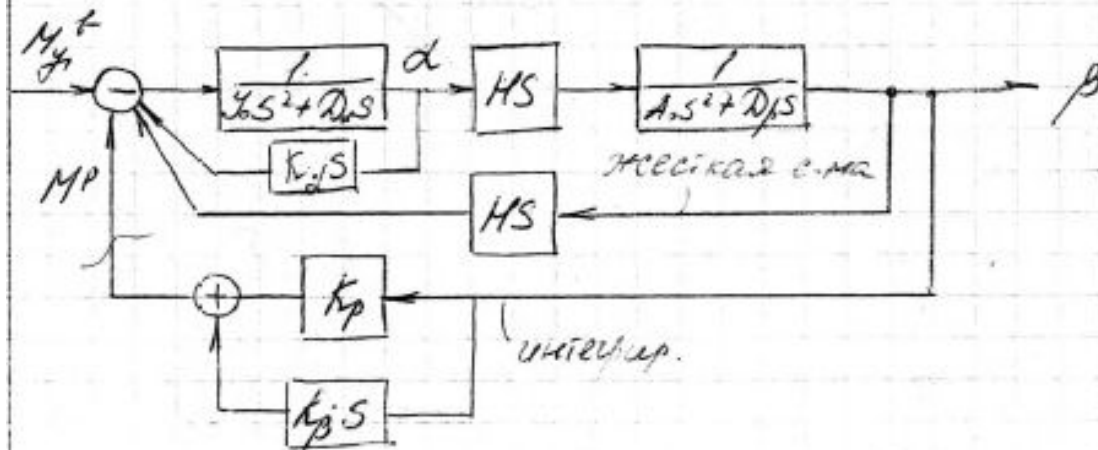
$$\frac{1}{T} = \frac{H}{\sqrt{J_0 A_0}} = \frac{10^4}{\sqrt{10^3 \cdot 10}} = 10^2[1/c]$$

Осн. ошибка опред-ся 2-ом квадратичным местом.

Формирование структуры канала разгрузки.

Примен. корректр. звено:

1. Формирующая и опережающая коррекция



Для получ. инфор. об  $\alpha$  примен. либо тахогенератор, либо ДУС

Самостоятельно: получить кор. ур-е СКС с опережающей коррекцией  $\beta \neq 0$  получить из него условие уст-ва по частоте. (2 звена формируют уст-во)