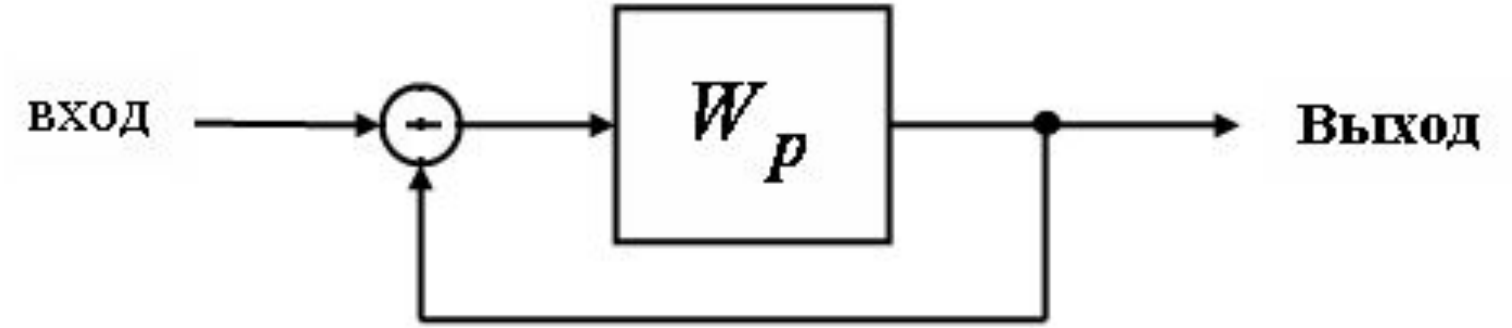
Одноосный силовой гиростабилизатор

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.



$$\Phi_з = \frac{W_p}{1 + W_p}$$

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

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

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

Критерии делятся на 2 группы – алгебраигческие и частотные.

Уравнения движения ОСГС

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

Определитель системы:

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

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:

$$1.\ a_j > 0, \qquad a_4 = 0(p^0)$$

$$2.\ \Delta_j > 0$$

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

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

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

По критерию Гурвица:

$$1.\ a_j > 0, \qquad k_p > 0$$

$$2.\ \Delta_j = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & 0 \\ a_0 & a_2 & 0 \\ 0 & a_1 & a_3 \end{vmatrix}, \quad a_1 a_2 > a_0 a_3$$

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

Изменять ничего нельзя кроме k_p

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

Условие устойчивость Силового ГС

Учитывая, что $D_\beta \to 0,$

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

Силовые ГС редко применяются для стабилизации больших объектов.

<u>Пример.</u> $H = 10^4\, cH\, см\, c$, $D_\alpha = 1000\, cH\, см$, $J_0 = 1000\, cH\, см\, c^2$

$$k_p < \frac{10^4 10^3}{10^3} = 10^4\, cH\, см / рад$$

При $J_0 = 100\, cH\, см\, c^2$, $k_p < 10^5$

Т.о. силовые ГС применяют при малых J_0

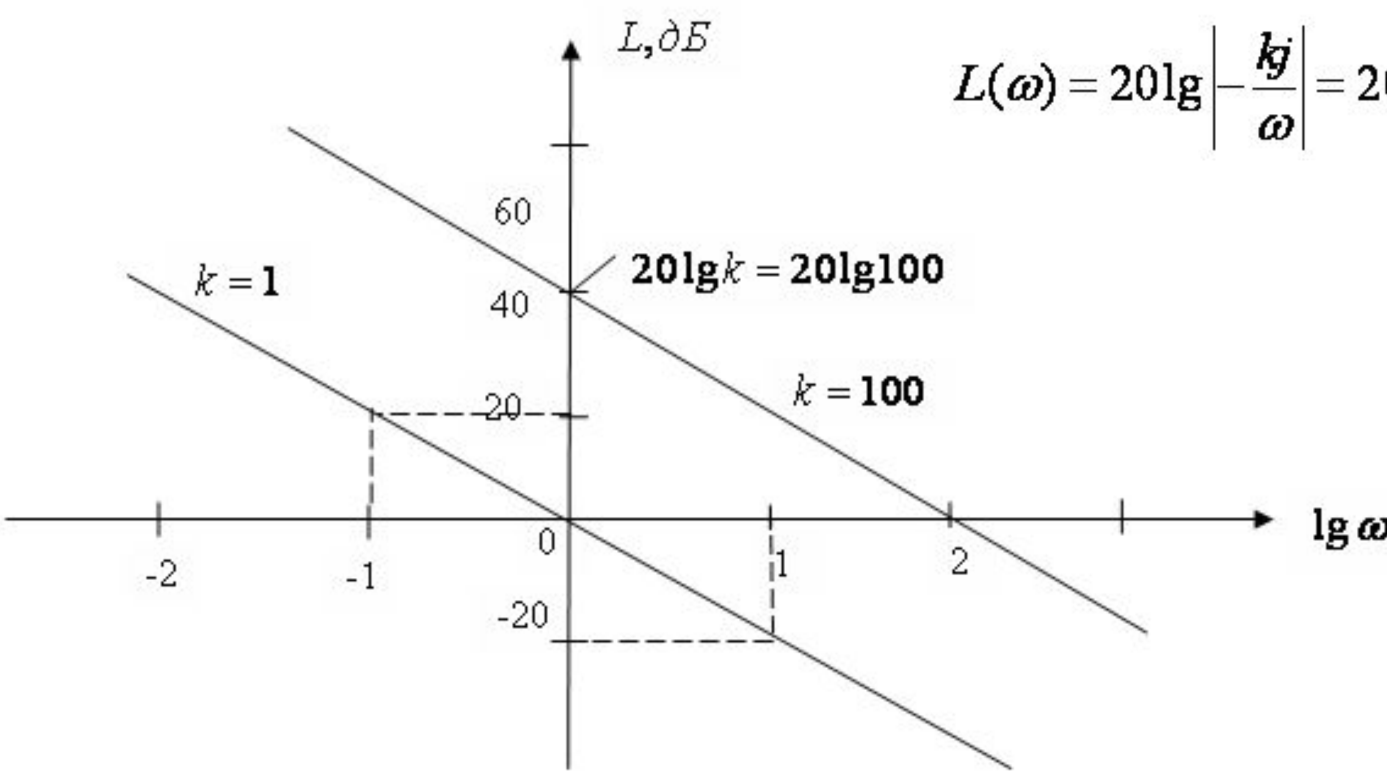
Частотный метод с помощью ЛАЧХ и ЛФЧХ

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

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

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

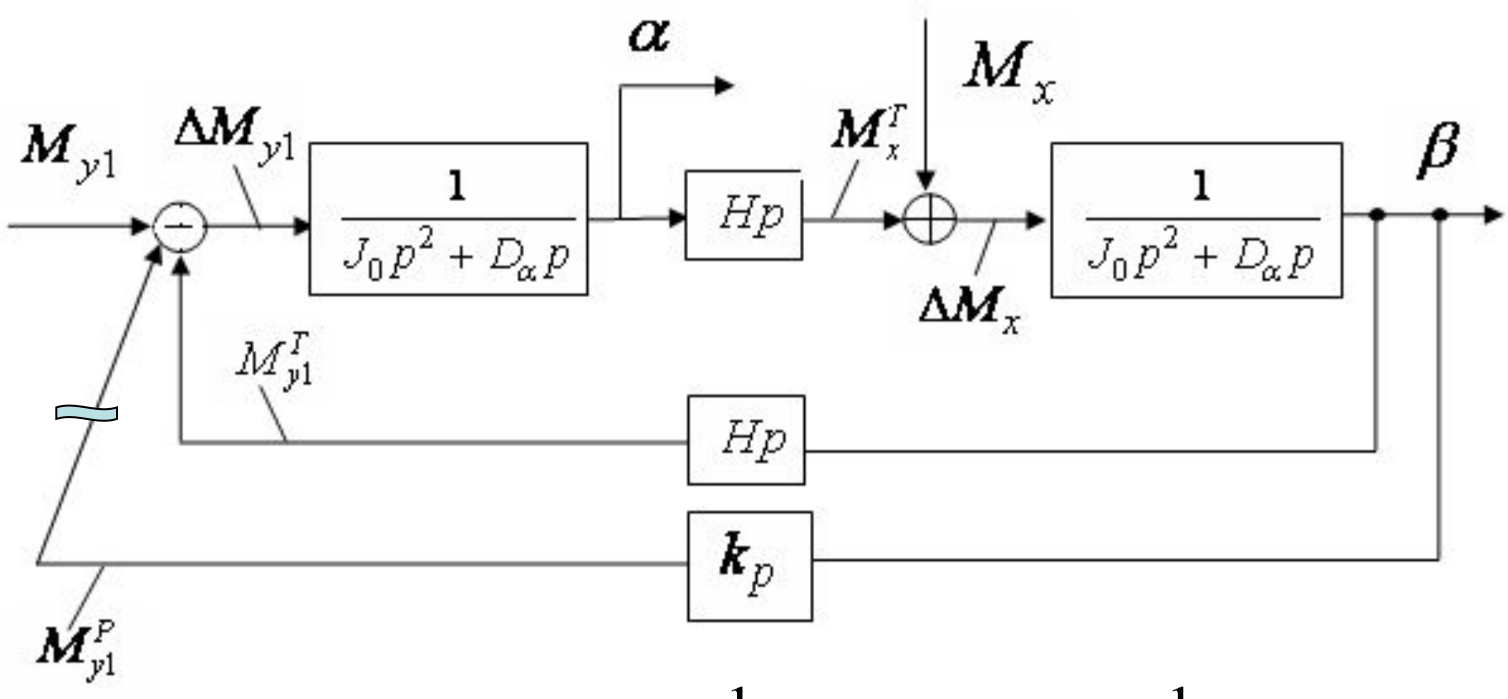
$$L(\omega) = 20\lg\left|-\frac{kj}{\omega}\right| = 20\lg\sqrt{0 + \frac{k^2}{\omega^2}} = 20\lg\frac{k}{\omega}$$



Структурная схема

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

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



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

$$W(p)=\frac{Hk_p p}{J_0A_0p^4+(J_0D_\beta+A_0D_\alpha)p^3+D_\alpha D_\beta p^2+H^2p^2}$$

$$W(p)=\frac{Hk_p}{p}\cdot\frac{1}{J_0A_0p^2+(J_0D_\beta+A_0D_\alpha)p+(D_\alpha D_\beta+H^2)}$$

$D_\beta\to 0$

$$W(p)=\frac{Hk_p}{p}\cdot\frac{1}{J_0A_0p^2+A_0D_\alpha p+H^2}$$

$$\boxed{W(p)=\frac{k_p}{Hp}\cdot\frac{1}{T^2p^2+2\xi Tp+1}}$$ – передаточная ф-ия разомкнутой системы

$$T=\sqrt{\frac{J_0A_0}{H^2}},\qquad \xi=\frac{1}{2T}\frac{A_0D_\alpha}{H^2}=\frac{1}{2}\sqrt{\frac{A_0}{J_0}}\frac{D_\alpha}{H}$$

Пост. Врем. нут.кол.

Отн. Коэфф. Затух. Нут. Кол.

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

$$\Phi_{\beta,M_{y1}}(p)=\frac{\dfrac{1}{J_0p^2+D_\alpha p}\cdot Hp\cdot\dfrac{1}{A_0p^2D_\beta p}}{1+\dfrac{1}{J_0p^2+D_\alpha p}\cdot Hp\cdot\dfrac{1}{A_0p^2+D_\beta p}\cdot(Hp+k_p)}=$$

$$=\frac{Hp}{J_0A_0p^4+(A_0D_\alpha+J_0D_\beta)p^3+(H^2+D_\alpha D_\beta)p^2+Hk_pp}$$

$$\Phi_{\alpha,M_{y1}}(p)=\frac{\dfrac{1}{J_0p^2+D_\alpha p}}{1+\dfrac{1}{J_0p^2+D_\alpha p}\cdot Hp\cdot\dfrac{1}{A_0p^2+D_\beta p}\cdot(Hp+k_p)}=$$

$$=\frac{A_0p+D_\beta}{J_0A_0p^3+(A_0D_\alpha+J_0D_\beta)p^2+(H^2+D_\alpha D_\beta)p+Hk_p}$$

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

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

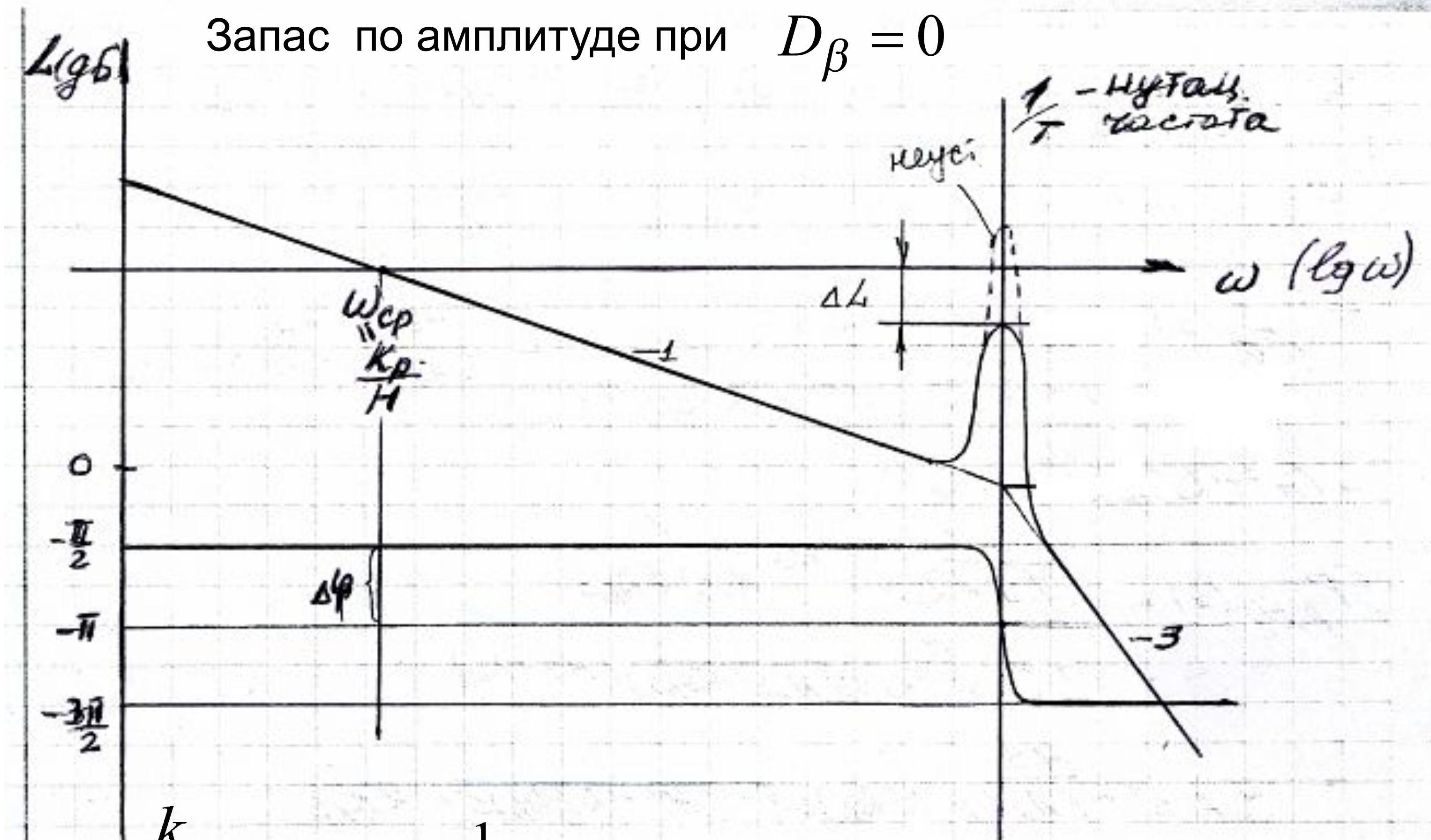
$r = |a + jb| = \sqrt{a^2 + b^2}$, $\varphi = \arg(a + jb) = arctg\,\frac{b}{a}$

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

$$L = 20\lg A$$

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

Запас по амплитуде при $D_\beta = 0$



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

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

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

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

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

Устойчивость

Запас по фазе силового ГС чаще всего равен $\Delta\varphi = \dfrac{\pi}{2}$, т.е. в зоне частоты среза с устойчивостью СГС проблем не возникает.

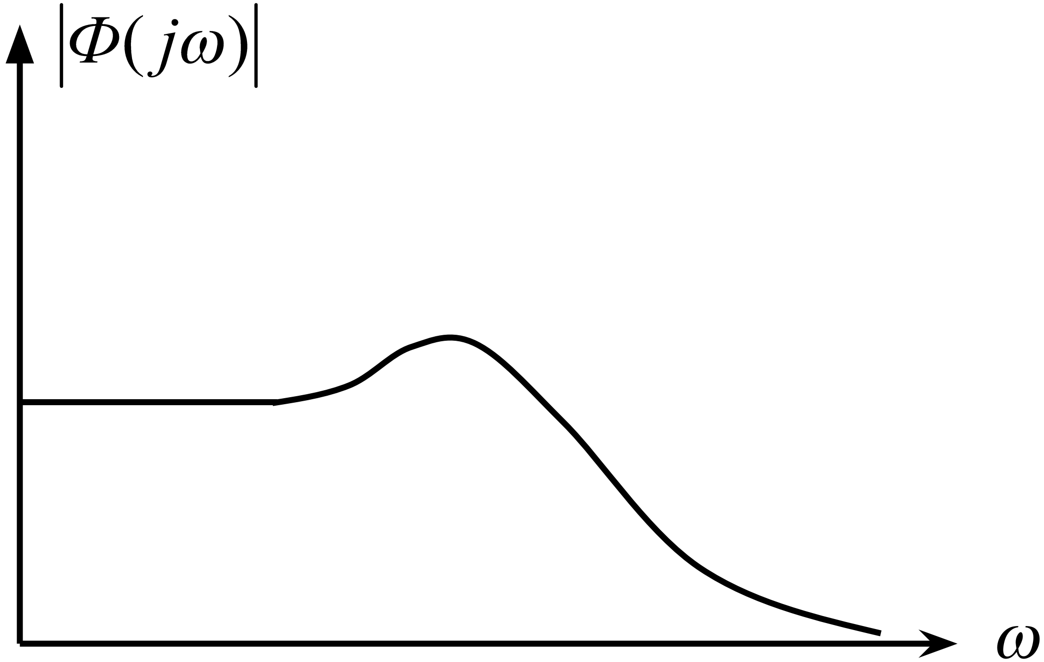
Все проблемы устойчивости СГС лежат в зоне нутационной частоты.

Запас по амплитуде ΔL:

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

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

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

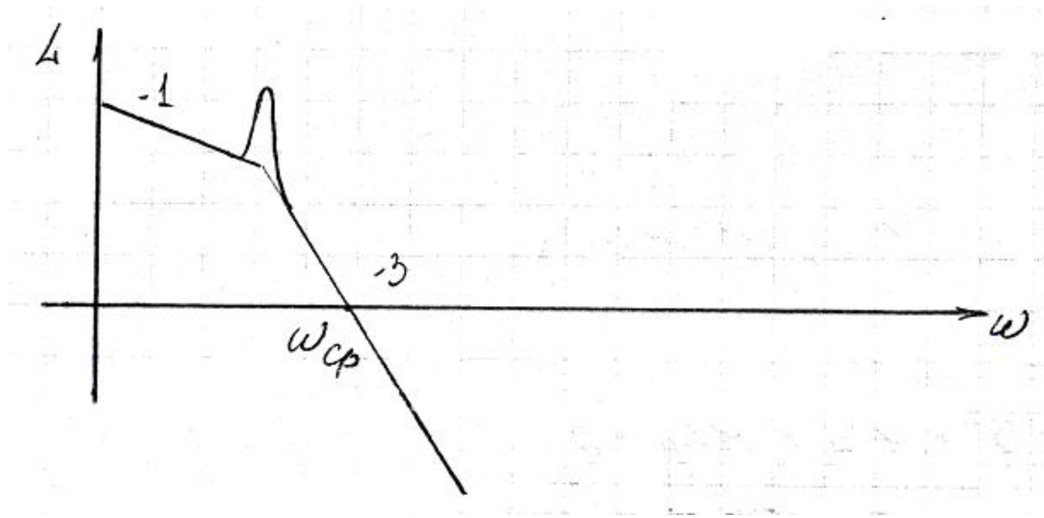


$$M = \frac{|\Phi(j\omega)|_{\max}}{\Phi(0)} -$$ Показатель колебательности

M=(1-1,5) в ИГС
M=(2-5) в СГС, т.е. в СГС пик выше, чем в ИГС

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

Гиростабилизатор 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

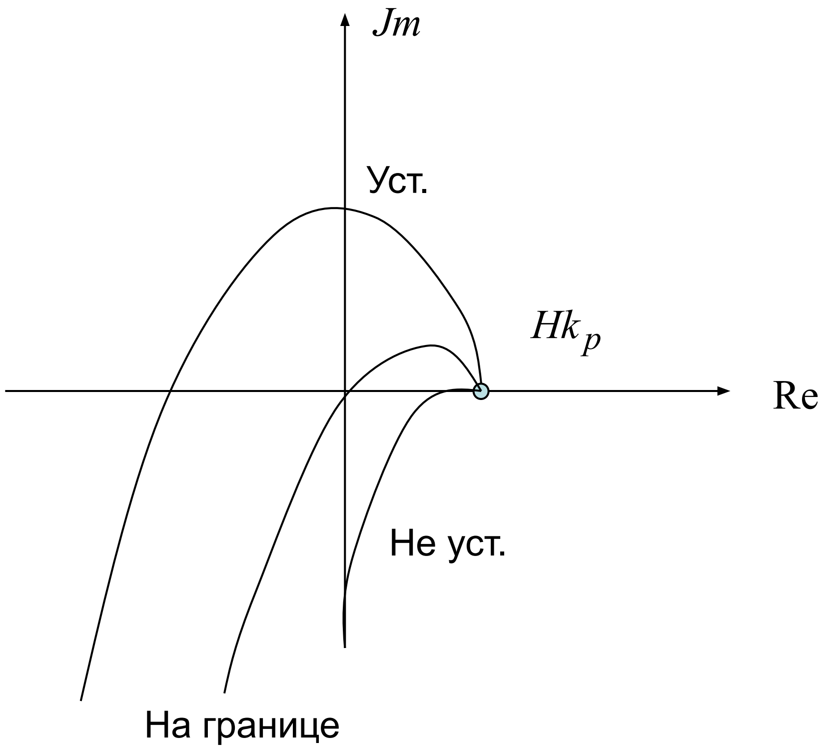
$$D_\beta = 0$$

$$J_0 A_0 p^3 + A_0 D_\alpha p^2 + H^2 p + Hk_p = 0 -$$ 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.

$D_p = 0$

$$J_0 A_0 s^3 + A_0 D_\alpha s^2 + H^2 s + H k_p = 0$$

$$H k_p (1 + T_a s)(1 + 2\xi T s + T^2 s^2) = 0. \qquad (*)$$

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

s^3 $\quad H k_p T_a T^2 = J_0 A_0$ $\qquad T_a \gg T$

s^2 $\quad A_0 D_\alpha = H k_p (2\xi T T_a + T^2)$ $\qquad \xi$ – мало

s $\quad H^2 = (T_a + 2\xi T) H k_p$

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

из 3-его ур-я:

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

Из 1-го ур-я:

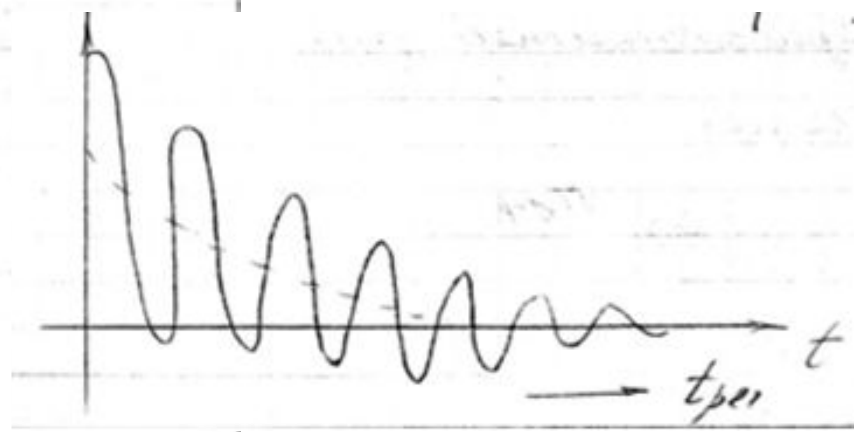
$$T^2 = \frac{J_0 A_0}{H K_p}\frac{K_p}{H} \Rightarrow T = \frac{\sqrt{J_0 A_0}}{H}$$ - совпадает с пост. вр. нутац. колеб.

Из 2-го ур-я:

$$\xi = \frac{A_0 D_\alpha K_p \cdot H}{2 H K_p H \cdot \sqrt{J_0 A_0}}$$

$$\xi = \frac{1}{2}\frac{D_\alpha}{H}\sqrt{\frac{A_0}{J_0}}$$ - совпадает по выражению с относит. коэф. затух. нутац. колеб. ГГа

Пр: $H = 10^4$ Гсмс
$K_p = 10^4$ Гсм/рад
$A_0 = 10$ Гсмс^2
$J_0 = 10^3$ Гсмс^2



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

$$T = \frac{\sqrt{J_0 A_0}}{H} = \frac{\sqrt{10^3 \cdot 10}}{10^4} = 0{,}01\,с$$

Найдем корни ур-я (*)

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

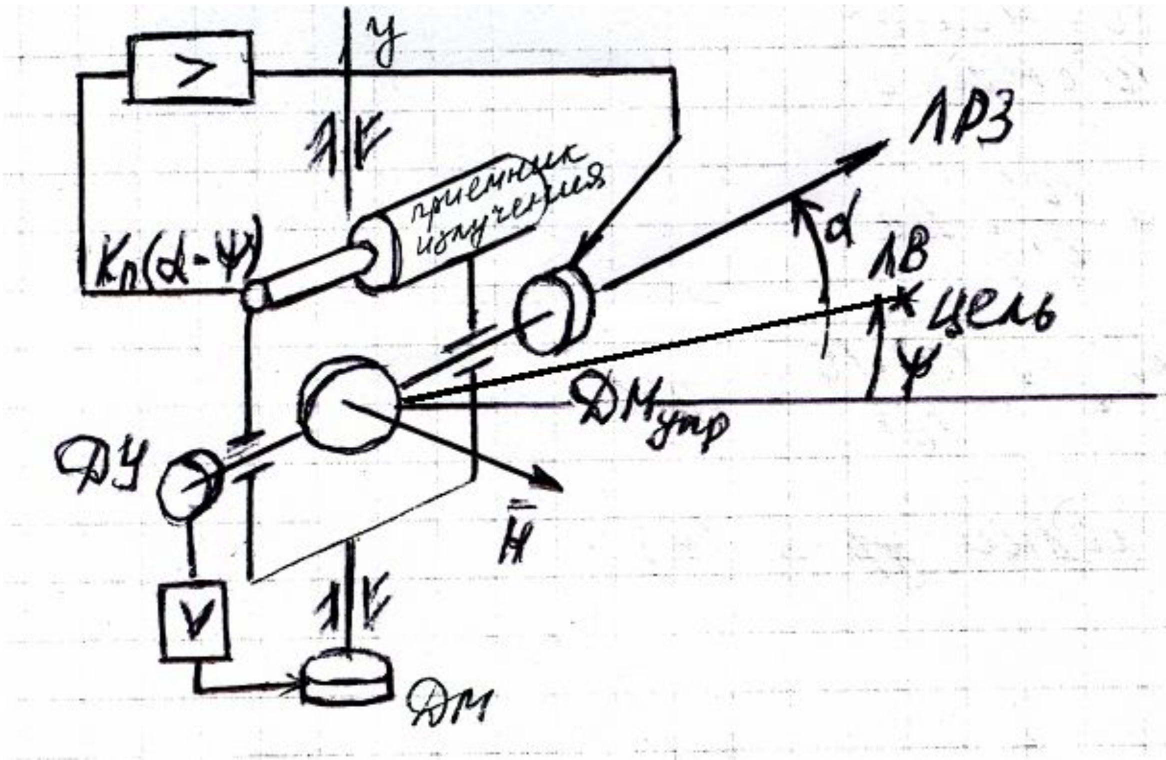
$$\alpha = C_1 e^{-\frac{t}{T_a}} + C_2 e^{-\frac{\xi}{T}t} \sin\left(\frac{\sqrt{1-\xi^2}}{T}t + \varphi\right)$$ - выражение для переходного процесса

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.

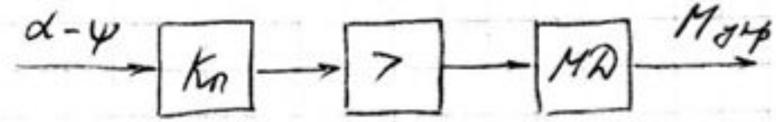
Таким образом. Время регулирования $t_{рег}$ определяется параметрами гироскопа. А т.к. гироскоп имеет малый относительный коэффициент демпфирования ξ, то время регулирования – большое, а качество регулирования – плохое.

Управление ОСГС



ЛВ - линия визирования
ЛРЗ - линия равносигнальной зоны

С-ма управления:



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

$$\left.\begin{aligned} & A_0 p^2 \beta - Hp\alpha = k_{упр}(\alpha - \psi) \\ & J_0 p^2 \alpha + D_\alpha p\alpha + Hp\beta + k_p \beta = 0 \end{aligned}\right\}$$

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

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

$$\Delta = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & 0 & 0 \\ a_0 & a_2 & a_4 & 0 \\ 0 & a_1 & a_3 & 0 \\ 0 & a_0 & a_2 & a_4 \end{vmatrix}$$ – определитель Гурвица

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

2) $a_1 a_2 > a_0 a_3$

$a_1 (a_2 a_3 - a_1 a_4) - a_3^2 a_0 > 0$

$a_1 a_2 a_3 > a_1^2 a_4 + a_3^2 a_0$

$A_0 D_\alpha H^2 > J_0 A_0 H (K_y + K_p)$

$$\boxed{K_p + K_y < \frac{H D_\alpha}{J_0}}$$

Т.е. введение замкнутого канала управления снижает запас устойчивости

Точность стабилизации

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

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

$$\Delta = \begin{vmatrix} -Hp & \mathrm{A}_0 p^2 + D_\beta p \\ J_0 p^2 + D_\alpha p & Hp + k_p \end{vmatrix}$$

$$\Delta_\alpha = \begin{vmatrix} -M_x & \mathrm{A}_0 p^2 + D_\beta p \\ M_{y1} & Hp + k_p \end{vmatrix}$$

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

$$\alpha(p) = \frac{\Delta\alpha}{\Delta} = \frac{M_x(Hp + k_p) + M_{y_1}(A_0 p^2 + D_\beta p)}{J_0 A_0 p^4 + (J_0 D_\beta + A_0 D_\alpha) p^3 + (H^2 + D_\alpha D_\beta) p^2 + H k_p p}$$

$$\beta(p) = \frac{\Delta\beta}{\Delta} = \frac{M_{y_1} Hp - M_x(J_0 p^2 + D_\alpha p)}{J_0 A_0 p^4 + (J_0 D_\beta + A_0 D_\alpha) p^3 + (H^2 + D_\alpha D_\beta) p^2 + H k_p p}$$

Зная изображения моментов, подставляем их в уравнения и получаем

$\alpha(p)$ и $\beta(p)$

Установившиеся ошибки под действием постоянных моментов по оси стабилизации

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

$$\alpha_{уст} = \lim_{p \to 0} \alpha(p) = \frac{M_{y1} D_\beta}{H k_p} \to 0$$

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

Пр.: $M_{y_1} = 10^3$ сН см

$D_p = 0{,}1$ сН см с

$H = 10^4$ сН см с

$K_p = 10^4$ сН см / рад

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

Основываясь на примере СГС по оси стабилизации по отношению к моменту M_{y_1} осущ. практически астатическое регулирование.

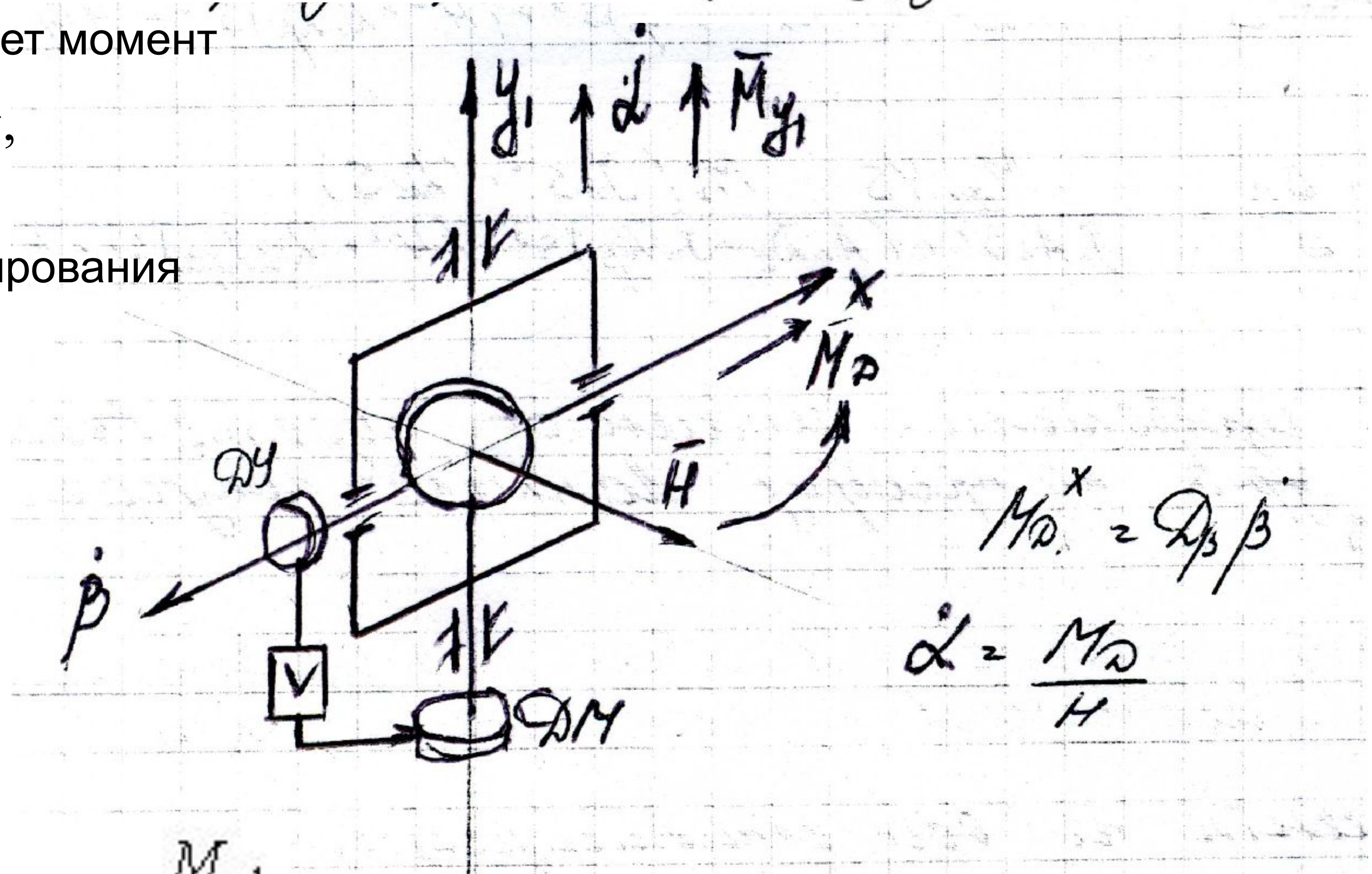
Физика

$$M_y = const,\quad M_x = 0.$$
$$\alpha_{уст} = \lim_{s\to 0} \alpha(s) = \frac{M_{y1} D_\beta}{H K_p} \to 0$$

Пусть действует момент

$$M_{y1} = const,$$

а по оси x –
момент демпфирования
не равен 0.



$$\beta_{уст} = \lim_{p\to 0} \beta(p) = \frac{M_{y1}}{k_p}$$ (См. $\beta(p) = ...$)

<u>Пример.</u> $M_{y1} = 10^3\ сН\cdot см,\ k_p = 10^4\ сН\cdot см/рад,\ \beta_{уст} = \frac{10^3}{10^4} = 0.1\ рад$

Установившиеся ошибки под действием момента по оси прецессии:

$$\alpha(p) = \frac{\Delta\alpha}{\Delta} = \frac{M_x(Hp + k_p) + M_{y_1}(A_0 p^2 + D_\beta p)}{J_0 A_0 p^4 + (J_0 D_\beta + A_0 D_\alpha)p^3 + (H^2 + D_\alpha D_\beta)p^2 + Hk_p p}$$

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

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

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

Т.е. это собственная скорость прецессии гироскопа.

Пример. $M_x = 0{,}1\ H\,см, \quad H = 10^4\ сН\,см\,с$

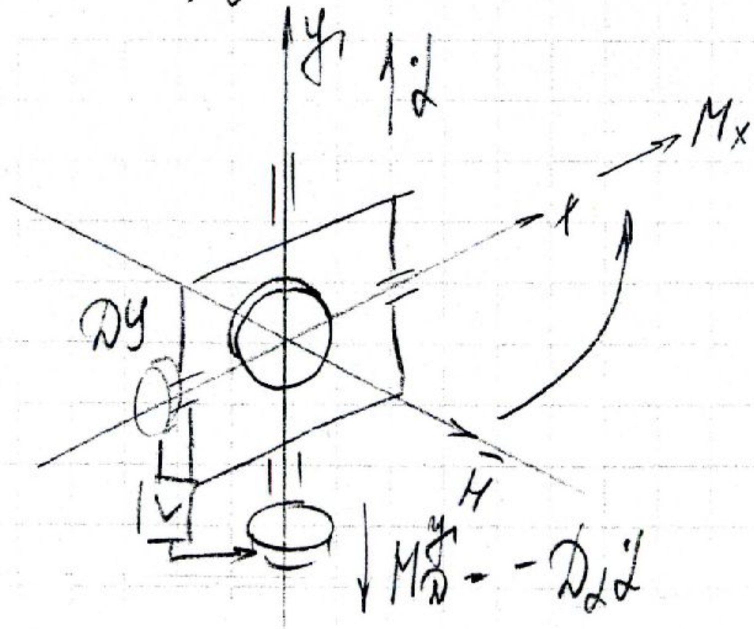
$$\dot{\alpha} = \frac{0{,}1}{10^4} \cdot 10^{-5} \frac{1}{c} \approx 2 град/час$$

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

k_p надо увеличивать

Пр.: $\beta_{уст} = + \dfrac{0{,}1 \cdot 10^3}{10^4 \cdot 10^4} = 10^{-6} = 0{,}2''$

Ошибка мала. Она по β кот-ая не явл. вых. координатой $\Rightarrow$ ошибка очень мала.



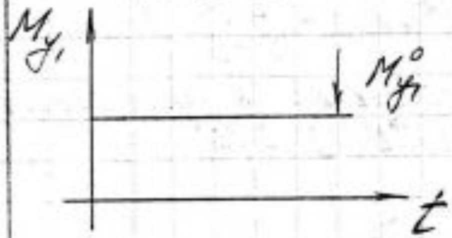
$M_x \to H$ совм. M_x – прецессия $\to \dot{\alpha}$, $M_Д^y$

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

$$\beta(p) = \frac{\Delta\beta}{\Delta} = \frac{M_{y_1} H p - M_x (J_0 p^2 + D_\alpha p)}{J_0 A_0 p^4 + (J_0 D_\beta + A_0 D_\alpha) p^3 + (H^2 + D_\alpha D_\beta) p^2 + H k_p p}$$

$$M^D_{y1} = -D_\alpha \dot{\alpha}, \qquad \beta = -\frac{M^D_{y1}}{k_p} = -\frac{D_\alpha \dot{\alpha}}{k_p} = \frac{D_\alpha M_x}{H k_p}$$

Реакция ОСГС на ступенчатый момент по оси стабилизации.



$M_x = 0$

$$J_0 A_0 \ddddot{\alpha} + (A_0 D_\alpha + J_0 D_\beta)\dddot{\alpha} + (H^2 + D_\alpha D_\beta)\ddot{\alpha} + H k_p \dot{\alpha} =$$

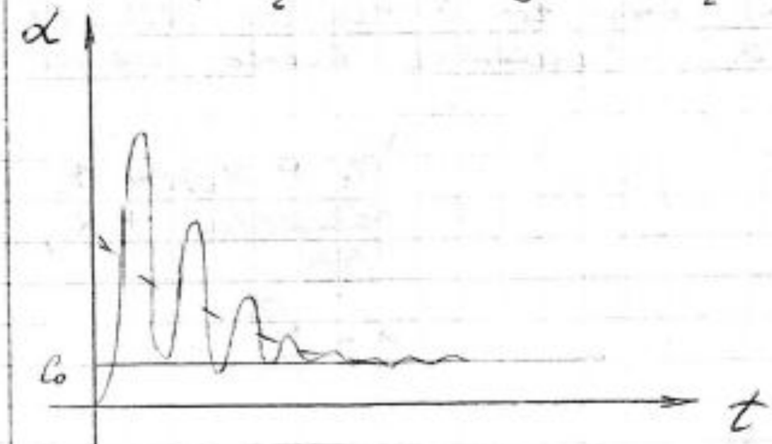
$$= A_0 \ddot{M}_{y_1} + D_\beta \dot{M}_{y_1}$$

$$\alpha = \sum_{1}^{4} C_i e^{\lambda_i t}$$

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

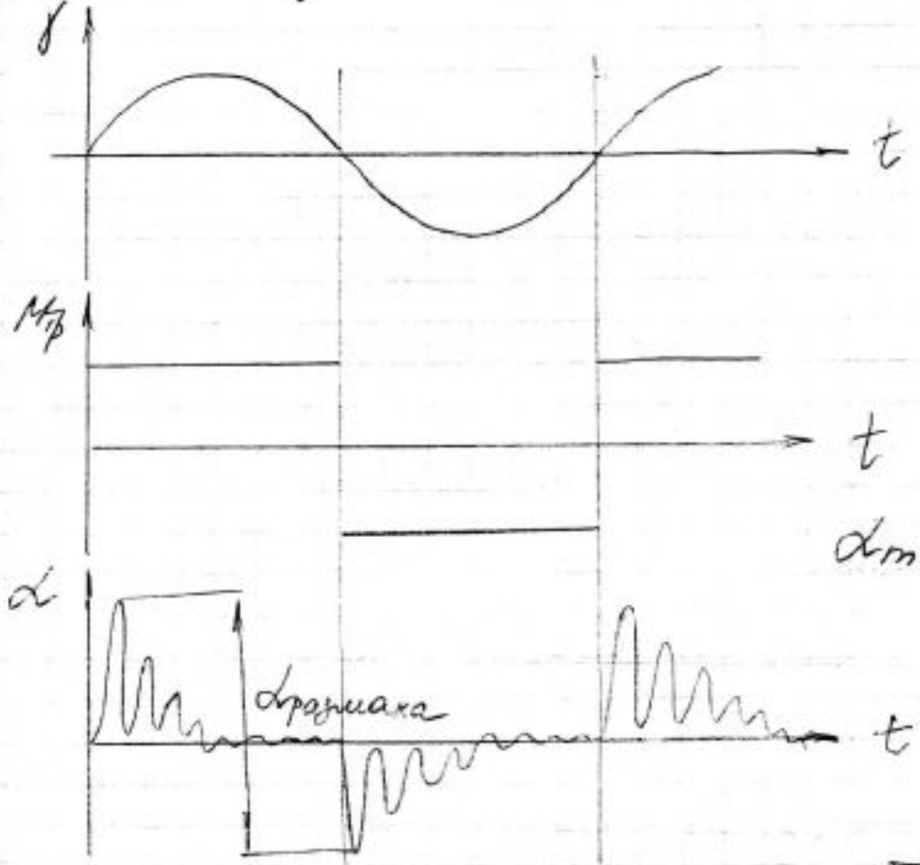
$$\lambda_{3,4} = -\alpha \pm j\beta$$

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



Т.о. из-за малости ξ гармоника затухает очень слабо и в ОСГС имеет место почти 100% перерегулирование.
т.е. динам. ошибка при наличии ступеньки в 2 раза >, чем в ИГСТ

Р-м поведение ОСГС на качке



$$\alpha_m = \frac{\alpha_p}{2} = 2\frac{M^2}{A_0}$$

Т.о. на качке (размах колебаний) динамич. ошибка в 4 р. превышает стат. ошибку ИГС.

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.

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

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

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

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

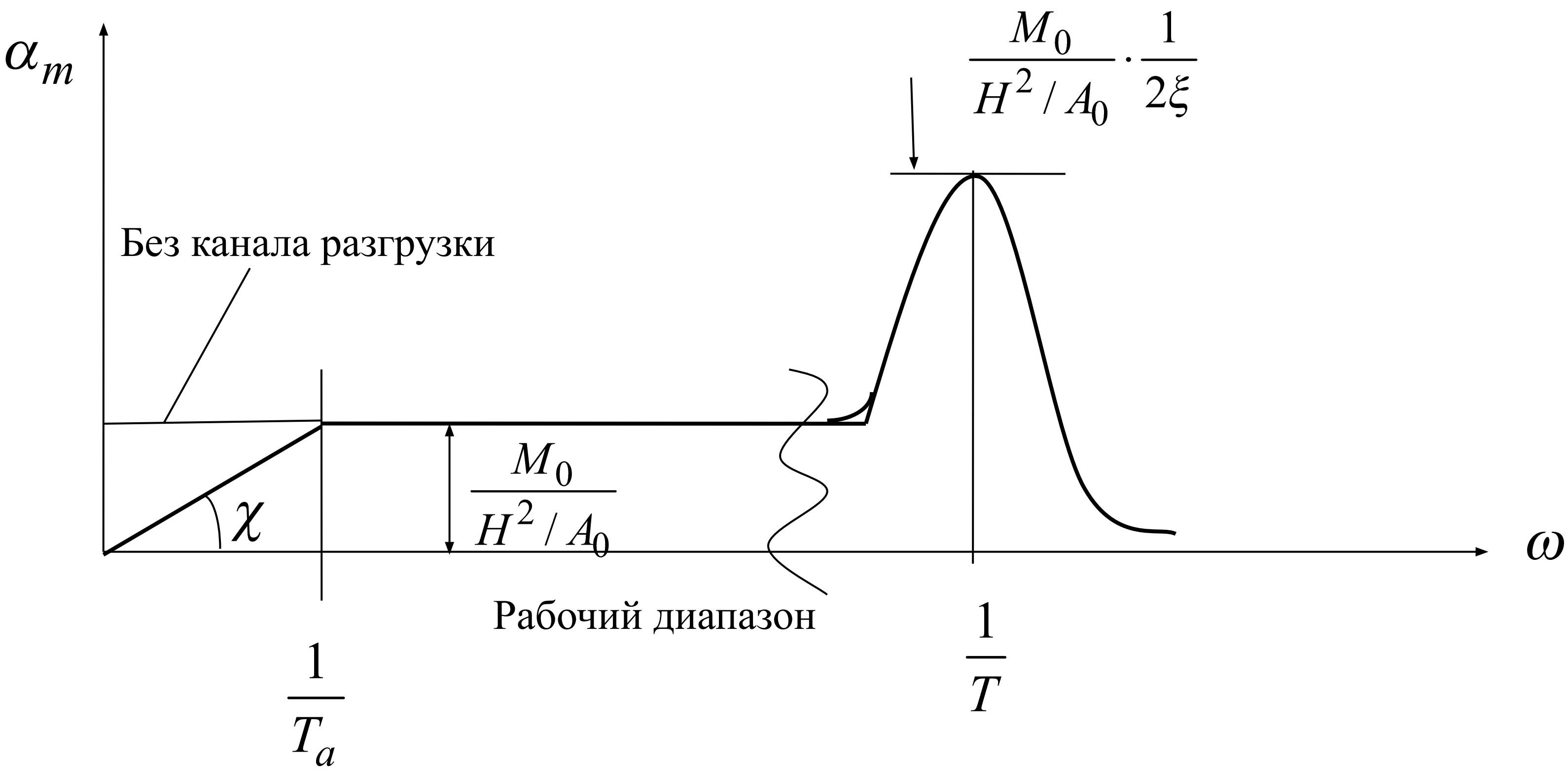
Представим

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

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

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

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



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

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

$$tg\,\chi = M_0 \frac{A_0}{H k_p}$$

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

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 kp) 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

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

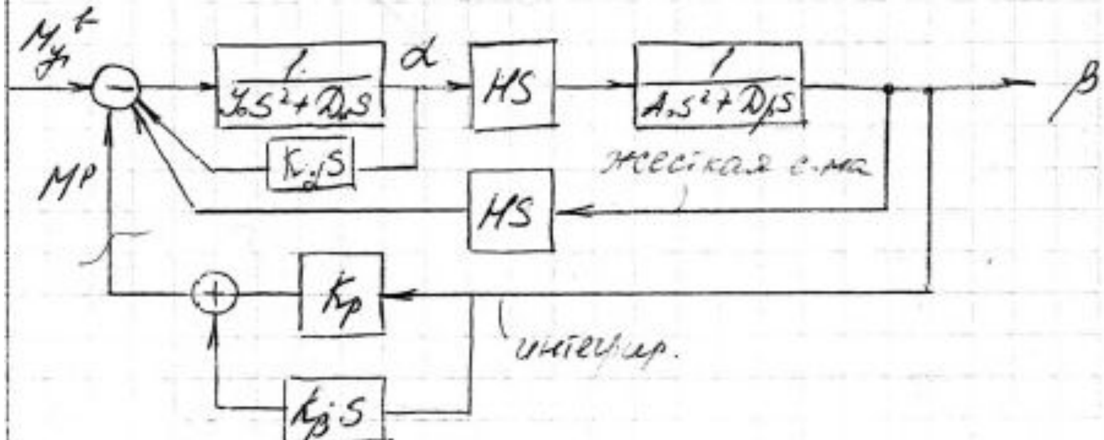
$$\frac{1}{T} = \frac{H}{\sqrt{J_0 A_0}} = \frac{10^4}{\sqrt{10^3 \cdot 10}} = 10^2[1/c]$$

Осн. ошибка опред-ся ГПом квазиупругой жесткостью.

Формирование структуры канала разгрузки.

Примен. корректир. звенья:

1. <u>Форсирующая и опережающая коррекция</u>



Для получ. информ. об α примен. либо тахогенератор, либо ДУС

Самостоятельно: получить хар. ур-е ОСГС с опережающей коррекцией и получить из него условие уст-ти по Гурвицу. (2 звена улучшают уст-ть)