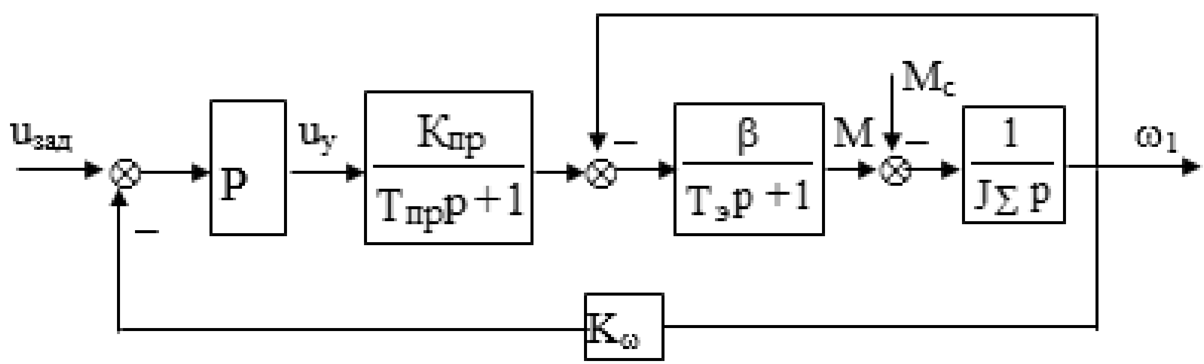
Одноконтурные системы регулирования скорости



Проблемы регулирования скорости

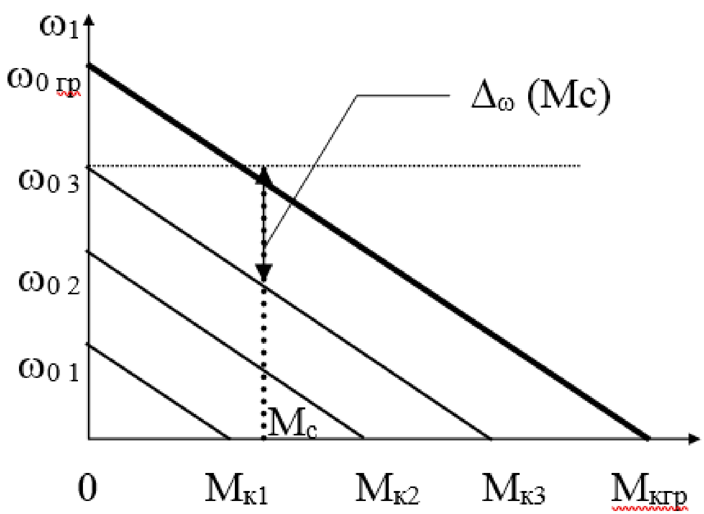
$\omega_1 = K_{пр} u_у - M_c/\beta$

или

$\omega_1 = \omega_0 - \Delta_\omega(M_c)$

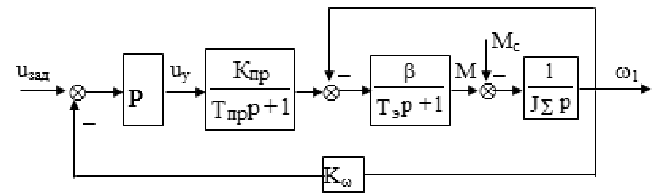
отклонение скорости от ω_0, обусловленное наличием статического момента нагрузки на валу M_c

скорость холостого хода, пропорциональная сигналу управления



Семейство механических характеристик разомкнутого контура регулирования скорости

Механические характеристики обобщенной одноконтурной системы регулирования скорости с П-регулятором



$u_у=К_п(u_{зад}–К_\omega\omega)$

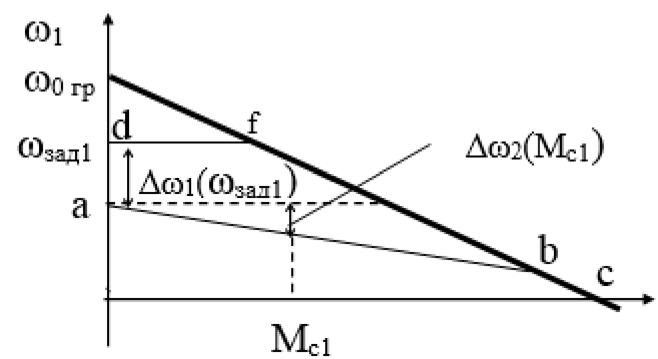
$К_0=К_{пр}\ К_пК_\omega$

$\omega_{зад}=u_{зад}/К_\omega$

$$\omega_1=\frac{K_0\omega_{1зад}}{1+K_0}-\frac{M_c}{(1+K_0)\beta}$$

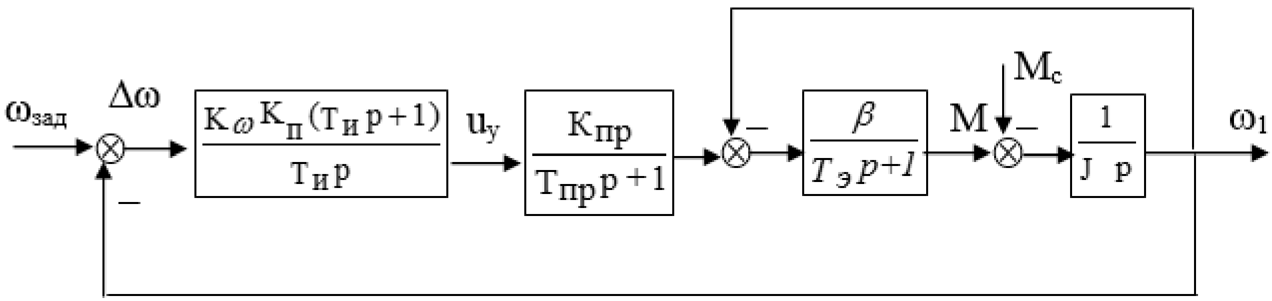
$$\Delta\omega_{стат}=\frac{\omega 1_{зад}}{1+K_0}+\frac{M_c}{(1+K_0)\beta}=\Delta\omega_1+\Delta\omega_2$$

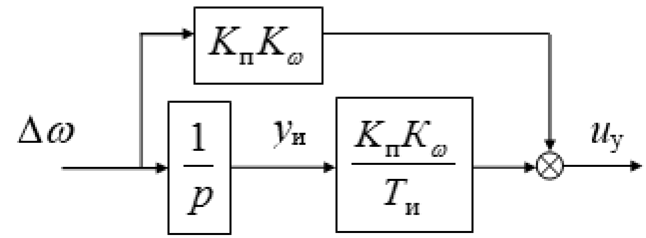
$$\beta_э=\beta(1+К_0)$$



Механические характеристики системы регулирования скорости с П-регулятором

Одноконтурная система с ПИ-регулятором скорости





ДСС ПИ-регулятора скорости

$u_у=K_пK_ω\Delta\omega + (K_пK_ω/T_и)y_и$

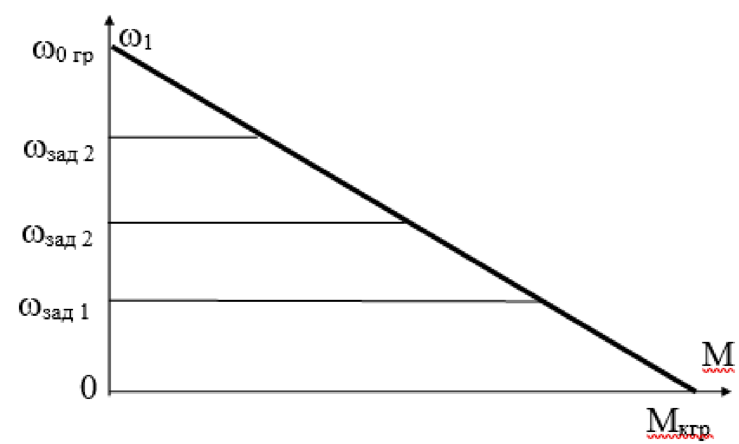
$dy_ω/dt=\Delta\omega$

$T_{пр}d\omega_0/dt=-\omega_0-K_0\omega_1+(K_0/K_ωT_и)y_и+K_0\omega_{зад}$

$T_эdM/dt=\beta\omega_0-M-\beta\omega_1$

$J_\Sigma d\omega_1/dt=M-M_c$

$dy_и/dt= -K_ω\omega_1+K_ω\omega_{зад}$



Механические характеристики системы регулирования скорости с ПИ-регулятором

$Y^т=[\omega_0\ M\ \omega_1\ y_и]$

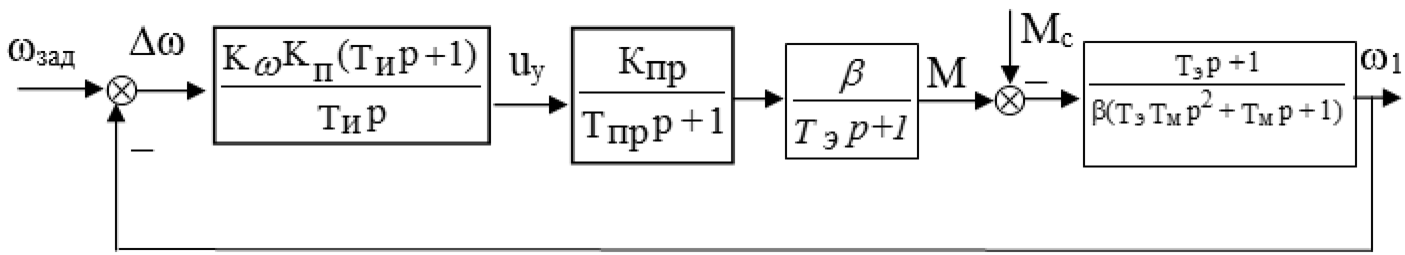
$$\dot{Y} = AY + BU$$

$U^т=[\omega_{зад}\ M_с]$

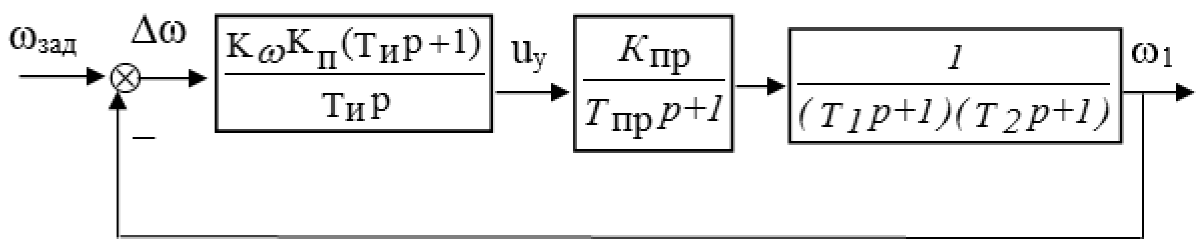
$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} -1/T_{пр} & 0 & -K_0/T_{пр} & K_0/T_и K_\omega T_{пр} \\ \beta/T_э & -1/T_э & -\beta/T_э & 0 \\ 0 & 1/\beta T_м & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -K_\omega & 0 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} K_0/T_{пр} & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & -1/\beta T_м \\ K_\omega & 0 \end{bmatrix}$$

Оптимизация одноконтурной системы с ПИ-регулятором



$$\omega_1(p)/M_c(p) = -\frac{T_э p+1}{\beta(T_1 p+1)(T_2 p+1)}$$



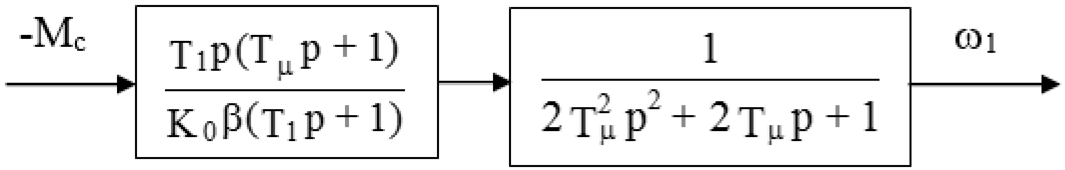
$T_\mu = T_{пр} + T_2$

$$W_р(p)= \frac{K_0(T_и p+1)}{(T_1 p+1)(T_\mu p+1)T_и p} \longleftrightarrow W_{рэ}(p) = \frac{1}{2pT_\mu(T_\mu p+1)}$$

$T_и = T_1$

$2T_\mu = T_и/K_0 \Rightarrow K_0 = T_1/2T_\mu$

$K_п = T_1/(2T_\mu K_{пр} K_\omega)$.



$К_0=T_1/2T_\mu$

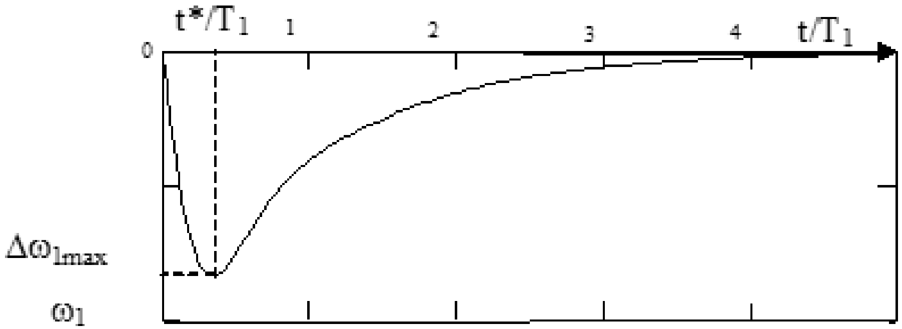
$$W_в(p)=\omega_1(p)/M_c(p)= - \frac{2T_\mu p(1+T_\mu p)}{\beta(2T_\mu^2 p^2+2T_\mu p+1)(T_1 p+1)}$$

$$\lim_{p\to 0} \mathbf{W}_{‰}\mathbf{(p)=0}$$

$$\omega_1(t)= L^{-1}\{-(\Delta M_c/p) \frac{2T_\mu p(1+T_\mu p)}{\beta(2T_\mu^2 p^2+2T_\mu p+1)(T_1 p+1)}$$

$$\Downarrow$$

$$\omega_1(t) = -\frac{(T_1 - T_\mu)2T_\mu \Delta M_c}{\beta(T_1^2 - 2T_1T_\mu + 2T_\mu^2)}\left[e^{-t/T_1} - e^{-t/2T_\mu}\left(\mathrm{Cos}\,\frac{t}{2T_\mu} - \frac{T_\mu}{T_1 - T_\mu}\mathrm{Sin}\,\frac{t}{2T_\mu}\right)\right]$$



$t_п \cong 3\ T_1$

$t^* \cong \pi T_\mu \longrightarrow T_{св} = 2\pi/\omega_{св} = 4\pi\ T_\mu.$

$$\Delta\omega_{макс} = \frac{(T_1 - T_\mu) 2 T_\mu \Delta M_c}{\beta (T_1^2 - 2 T_1 T_\mu + 2 T_\mu^2)} \left[e^{-\pi T_\mu / T_1} + \frac{T_\mu}{T_1 - T_\mu} e^{-\pi/2} \right]$$

При $T_\mu < 10 T_1$
$$\Delta\omega_{макс} = \frac{2 T_\mu \Delta M_c}{\beta T_1} e^{-\pi T_\mu / T_1}$$

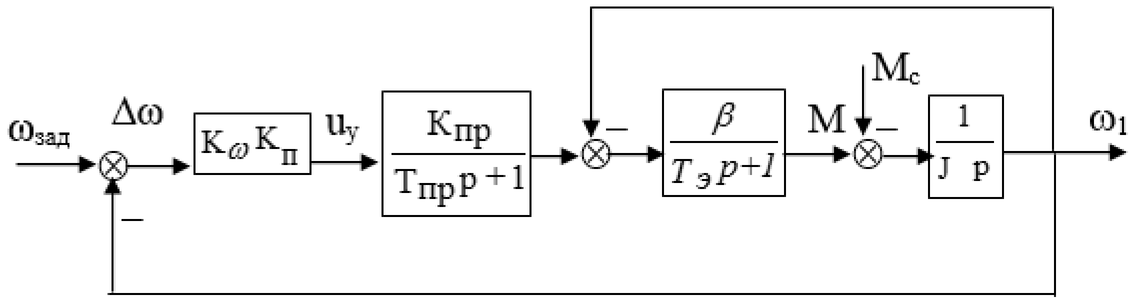
Одноконтурная система с П-регулятором скорости

Математические модели контура

$T_{пр}\, d\omega_0/dt = -\omega_0 - K_0\,\omega_1 + K_0\,\omega_{зад}$

$T_э\, dM/dt = \beta\omega_0 - M - \beta\omega_1$

$J_\Sigma\, d\omega_1/dt = M - M_c$



$$\dot{Y} = AY + BU$$

A= $$\begin{bmatrix} -\dfrac{1}{T_{пр}} & 0 & -\dfrac{K_0}{T_{пр}} \\ \dfrac{\beta}{T_э} & -\dfrac{1}{T_э} & -\dfrac{\beta}{T_э} \\ 0 & \dfrac{\beta}{\beta T_м} & 0 \end{bmatrix}$$

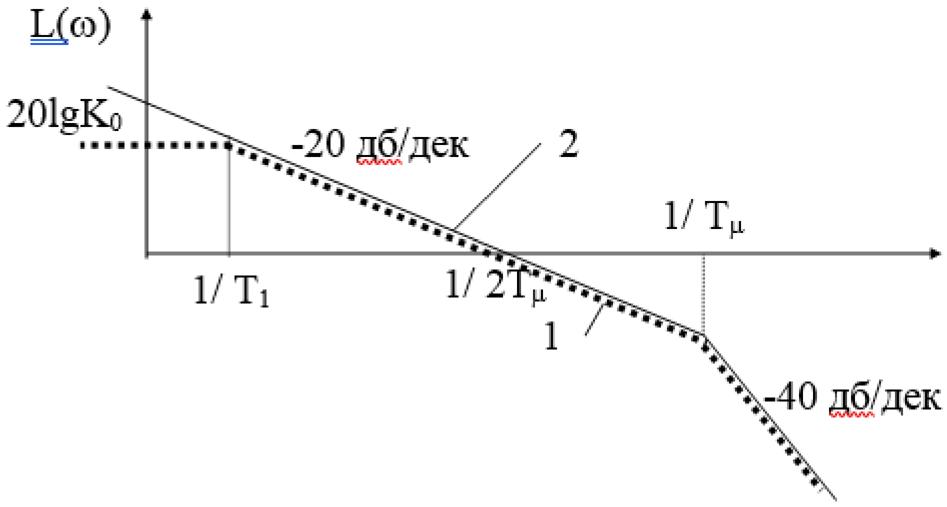
B= $$\begin{bmatrix} K_0/T_{пр} & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & -1/\beta T_м \end{bmatrix}$$

Оптимизация одноконтурной системы с П-регулятором

$T_м > 4T_э$ $\longrightarrow$ $W_p(p) = \dfrac{K_0}{(T_{пр}p+1)(T_1p+1)(T_2p+1)}$

$T_\mu = T_{пр} + T_2$ $\longrightarrow$ $W_p(p) = \dfrac{K_0}{(T_1p+1)(T_\mu p+1)}$

$\omega_c = 1/2T_\mu$



$$W_{рэ1}(p) = \frac{1}{2pT_\mu(1+pT_\mu)}$$

$T_и = T_1$

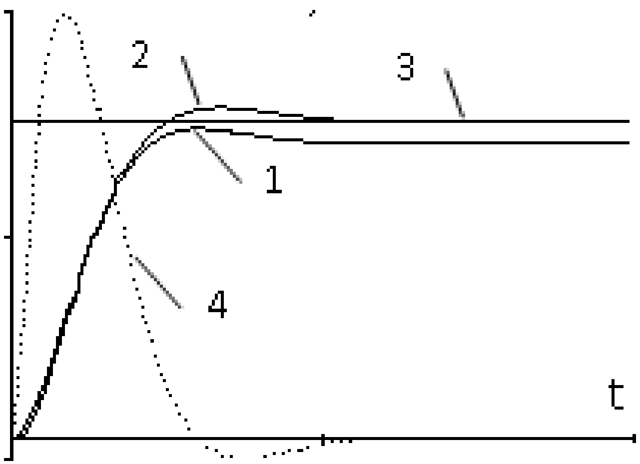
$K_0 = T_1/2\,T_\mu$.

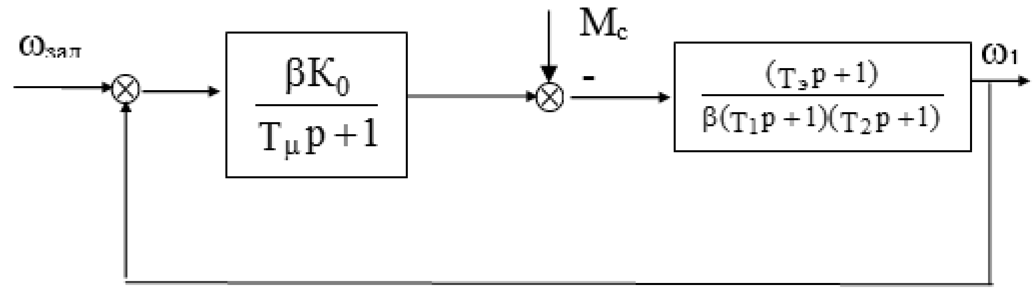
Статические и динамические характеристики оптимизированного контура

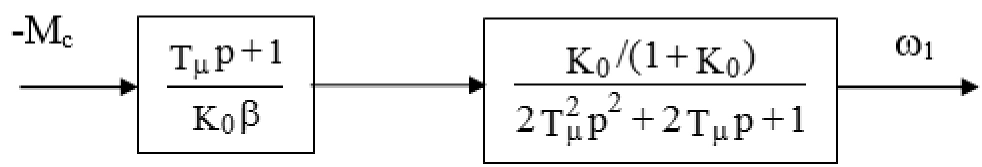
$$W_з(p)=\frac{\omega_1(p)}{\omega_{зад}(p)}=\frac{K_0/(1+K_0)}{2T_\mu^2p^2+2T_\mu p+1}$$

$$\lim_{p\to 0} W_з(p)=\frac{K_0}{1+K_0}=\frac{T_1}{T_1+2T_\mu}$$

$T_1/T_\mu \to \infty$







$$W_в(p)=\omega_1(p)/M_c(p)= -\frac{T_\mu p+1}{(1+K_0)\beta}\,\frac{1}{2T_\mu^2p^2+2T_\mu p+1}$$

$$\omega_1(p)= -\frac{M_c}{p}\,\frac{T_\mu p+1}{(1+K_0)\beta}\,\frac{1}{2T_\mu^2p^2+2T_\mu p+1}$$

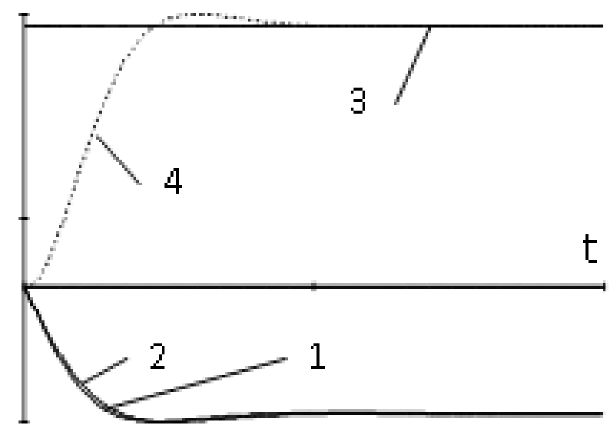
$$\lim_{p\to 0} p\,\omega_1(p) = -\frac{M_c}{\beta(1+K_0)}$$

$$-\Delta_\omega = M_c / \beta(1+K_0)$$

$$\beta_{ск} = \beta(1+K_0) = \beta(1+T_1/2T_\mu)$$

$$\omega_1(t) = L^{-1}\{-\frac{M_c}{p}\frac{T_\mu p+1}{(1+K_0)\beta}\quad\frac{1}{2T_\mu^2 p^2+2T_\mu p+1}\}$$

$$\omega_1(t) = -\Delta_\omega\left(1-e^{-t/2T_\mu}\,Cos\frac{t}{2T_\mu}\right)$$



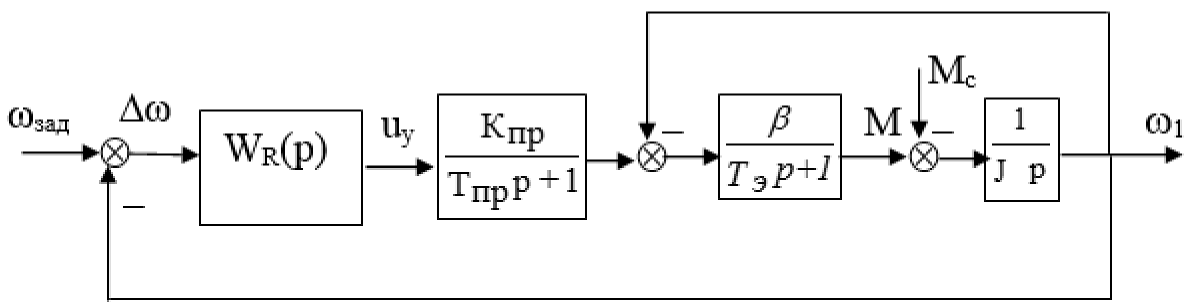
Одноконтурная система с ПИД-регулятором скорости

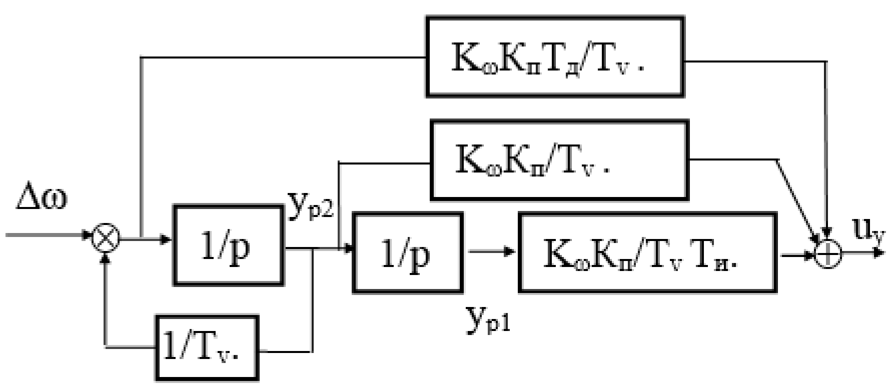
$T_\mu = T_{пр} + T_2$ $\qquad$ $T_м > 10T_э \rightarrow T_\mu \cong T_{пр} + T_э$

Структурная схема и математическая модель системы

$\omega_{зад} = u_{зад}/K_\omega$

$$W_R(p) = U_y(p)/\Delta\omega(p) = K_\omega K_п \frac{(T_д T_и p^2 + T_и p + 1)}{T_и p}$$





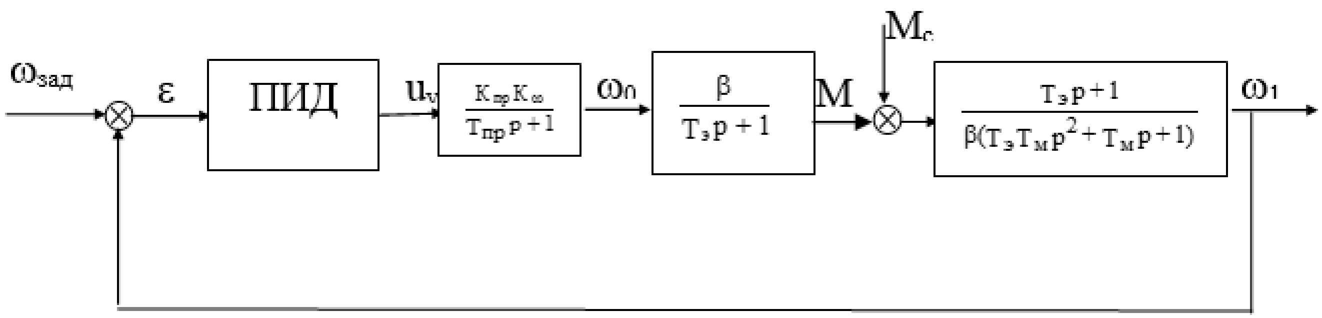
$$\begin{cases} \dot{y}_{p1} = y_{p2}, \\ \dot{y}_{p2} = \Delta\omega - (1/T_v)\, y_{p2}, \\ u_y = (K_п K_\omega / T_v T_и.) y_{p1} + (K_п K_\omega / T_v)\, y_{p2} + (K_п T_д K_\omega / T_v)\, \dot{y}_{p2} \end{cases}$$

$$u_y = \frac{K_п K_\omega}{T_и T_v}\, y_{p1} + \frac{K_п K_\omega (T_v - T_д)}{T_v^2}\, y_{p2} - \frac{K_п T_д K_\omega}{T_v}\, \omega_1 + \frac{K_п K_\omega T_д}{T_v}\, \omega_{зад}$$

$\mathbf{Y} = [\omega_0\ M\ \omega_1\ y_{p1}\ \ y_{p2}]$ $\qquad$ $\mathbf{U}^т = [\ \omega_{зад}\ M_c\ ]$

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{T_{пр}} & 0 & -\frac{K_0 T_д}{T_v T_{пр}} & \frac{K_0}{T_и T_v T_{пр} K_\omega} & -\frac{K_0 (T_д - T_v)}{T_{пр} K_\omega T_v^2} \\ \frac{\beta}{T_э} & -\frac{1}{T_э} & -\frac{\beta}{T_э} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{\beta T_м} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -K_\omega & 0 & -\frac{1}{T_v} \end{bmatrix}. \qquad \mathbf{B} = \begin{bmatrix} \frac{K_0 T_д}{T_д T_{пр}} & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{\beta T_м} \\ 0 & 0 \\ K_\omega & 0 \end{bmatrix}$$

Оптимизация одноконтурной системы с ПИД-регулятором



$T_{\mu}=T_{пр}+T_{v}$

$W_{р}(p)=\omega_{1}(p)/\ \omega_{зад}(p)=\dfrac{K_0(T_и T_д p^2+T_и p+1)}{(T_э T_м p^2+T_м p+1)(T_{\mu} p+1)\,T_и p}$ $\Longrightarrow$ $W_{рэ1}(p)=\dfrac{1}{2pT_{\mu}(1+pT_{\mu})}$

$T_{и}=T_{м}$ $T_{д}=T_{э}$

$2T_{\mu}=T_{и}/K_{0}$ $\longrightarrow$ $K_{0}=T_{м}/(2T_{\mu})$

$K_{п}=T_{м}/(2T_{\mu}K_{пр}K_{\omega})$