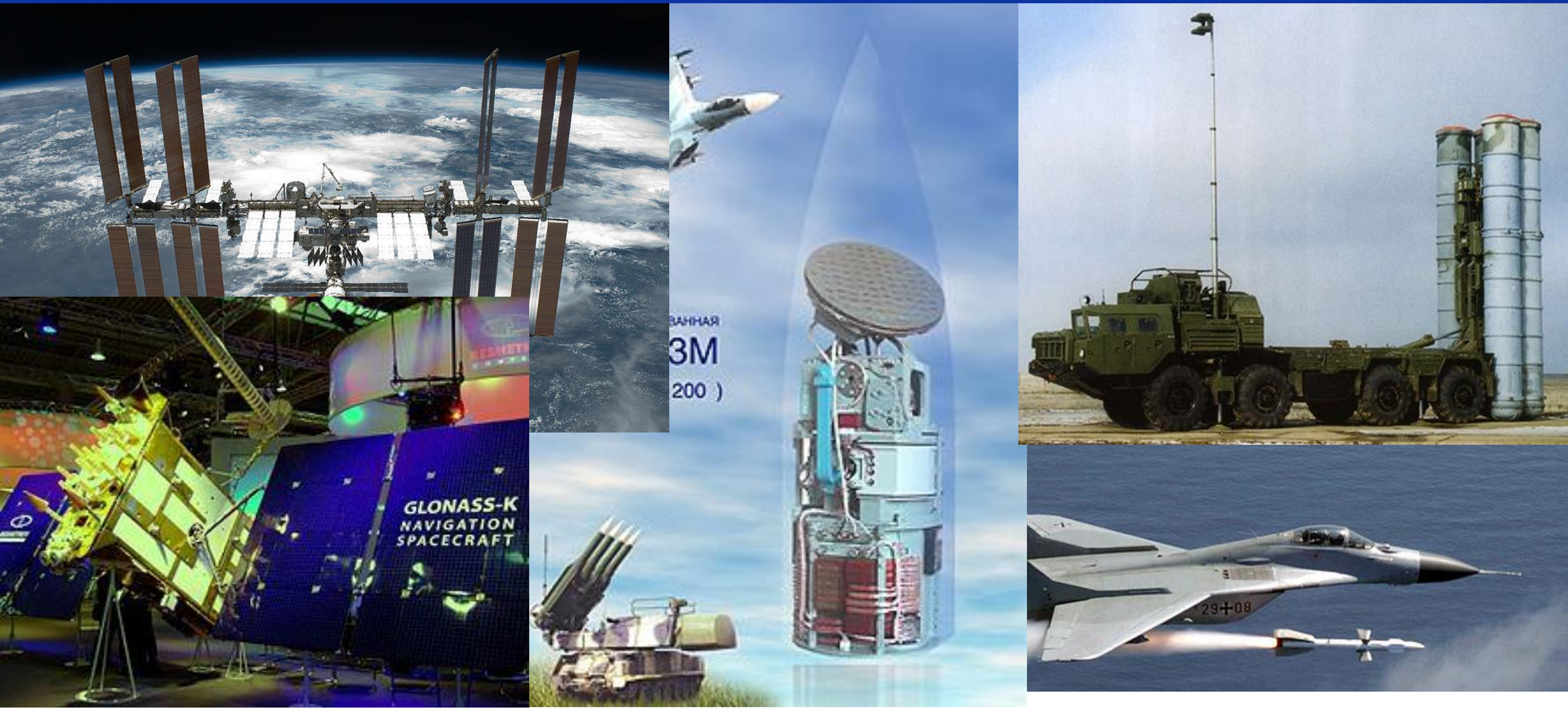
Национальный исследовательский университет МЭИ

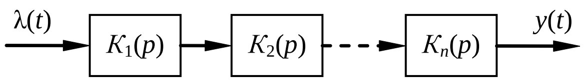


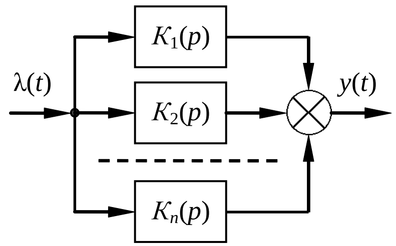
ОСНОВЫ ТЕОРИИ РАДИОСИСТЕМ И КОМПЛЕКСОВ РАДИОУПРАВЛЕНИЯ

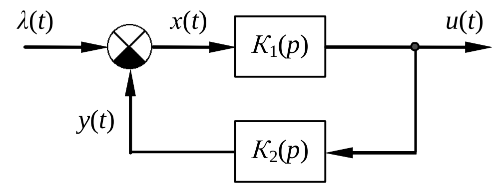
Пр3. Структурные схемы следящих угломеров

1. Анализ линейных динамических непрерывных систем

1. Построение структурной схемы системы







$$K(p)=K_1(p)\cdot K_2(p)\cdot\ldots\cdot K_n(p)=\prod_{i=1}^{n}K_i(p)$$

$$K(p)=K_1(p)+K_2(p)+\ldots+K_n(p)=\sum_{i=1}^{n}K_i(p)$$

$$K(p)=\frac{K_{\text{ПР}}(p)}{1+K_{\text{Р}}(p)}$$

2. Анализ устойчивости

2.1 Алгебраический критерий устойчивости (анализ коэффициентов характеристического уравнения)

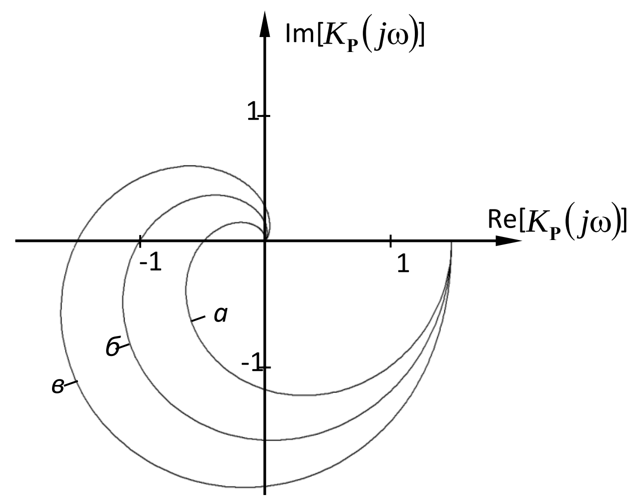
$$A(s)=a_n s^n+a_{n-1}s^{n-1}+\ldots+a_1 s+a_0=0$$

$n\le 2,\quad a_i>0,\quad i=0,1,2.$

$n=3,\quad a_i>0,\quad i=0,1,2,3\qquad a_1a_2>a_0a_3$

$n=4,\quad a_i>0,\quad i=0,1,2,3,4\qquad a_1a_2a_3>a_0a_3^2+a_4a_1^2$

2.2 Частотный критерий устойчивости (анализ годографа разомкнутой системы)



3. Анализ детерминированных процессов

$$v(t) = K_{\lambda v}(p)\,\lambda(t)$$

Метод преобразования Лапласа

$$U(s) = L\{u(t)\} = \int_0^\infty u(t)e^{-st}dt \qquad u(t) = L^{-1}\{U(s)\} = \frac{1}{2\pi j}\int_{c-j\infty}^{c+j\infty} U(s)e^{st}ds$$

1. Ненулевые начальные условия

$$L\left\{\frac{d^n u(t)}{dt^n}\right\} = s^n U(s) - \sum_{k=0}^{n-1}\frac{d^k u(0)}{dt^k}s^{n-k-1}$$

2. Нулевые начальные условия

$$V(s) = K_{\lambda v}(s)\,\Lambda(s)$$

$$K_{\lambda v}(s) = K_{\lambda v}(p)\big|_{p\to s}$$

$$a_n\cdot\frac{d^n v(t)}{dt^n} + a_{n-1}\cdot\frac{d^{n-1}v(t)}{dt^{n-1}} + \ldots + a_1\cdot\frac{dv(t)}{dt} + a_0\cdot v(t) =$$
$$= b_m\cdot\frac{d^m\lambda(t)}{dt^m} + b_{m-1}\cdot\frac{d^{m-1}\lambda(t)}{dt^{m-1}} + \ldots + b_1\cdot\frac{d\,\lambda(t)}{dt} + b_0\cdot\lambda(t)$$

$$\Downarrow$$

$$A(p)v(t) = B(p)\lambda(t)$$

$$v(t) = \frac{B(p)}{A(p)}\lambda(t) = K_{\lambda v}(p)\lambda(t)$$

$$K_{\lambda v}(p) = \frac{B(p)}{A(p)} = \frac{b_m p^m + b_{m-1}p^{m-1} + \ldots + b_1 p + b_0}{a_n p^n + a_{n-1}p^{n-1} + \ldots + a_1 p + a_0}$$

Установившееся значение

$$v_{\text{уст}} = \lim_{t\to\infty} v(t) = \lim_{s\to 0} s\,K_{\lambda v}(s)\Lambda(s)$$

Понятие астатизма системы

$$x_{\text{уст}} = \begin{cases} 0 &, \text{ при } l < \nu, \\ const = \nu!\,C_\nu\alpha_\nu &, \text{ при } l = \nu, \\ \infty &, \text{ при } l > \nu. \end{cases}$$

l - порядок входного воздействия $\quad \lambda(t) = 1(t)\sum_{k=0}^{l}\alpha_k t^k$

ν - порядок астатизма системы

C_ν - коэффициент ошибки

$$C_0 = K_{\lambda x}(0), \quad C_i = \frac{1}{i!}\cdot\frac{d\,K_{\lambda x}(s)}{ds}\bigg|_{s=0}$$

4. Анализ случайных процессов

$$R(\tau)=\frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty}S(\omega)e^{j\omega\tau}d\omega \qquad S(\omega)=\int_{-\infty}^{\infty}R(\tau)e^{-j\omega\tau}d\tau$$

$$v(t)=K_{uv}(p)u(t)$$

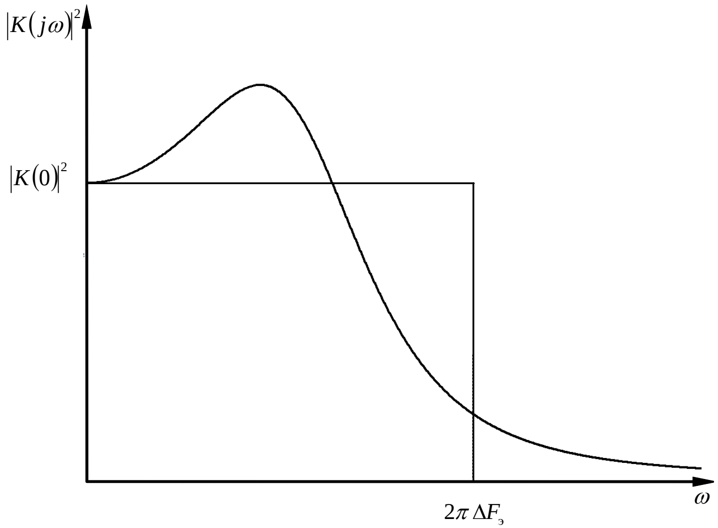
$$S_v(\omega)=\left|K_{uv}(j\omega)\right|^2 S_u(\omega) \qquad K(j\omega)=K(p)\Big|_{p\to j\omega}$$

$$R_v(\tau)=\frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty}\left|K_{uv}(j\omega)\right|^2 S_u(\omega)e^{j\omega\tau}d\omega$$

$$\sigma_v^2=R_v(0)=\frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty}\left|K_{uv}(j\omega)\right|^2 S_u(\omega)d\omega \qquad \sigma_v^2=\frac{S_u(0)}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty}\left|K_{uv}(j\omega)\right|^2 d\omega$$

$$\Delta F_э=\frac{1}{2\left|K(0)\right|^2}\frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty}\left|K(j\omega)\right|^2 d\omega=\frac{1}{\left|K(0)\right|^2}\frac{1}{2\pi}\int_{0}^{\infty}\left|K(j\omega)\right|^2 d\omega$$

$$\sigma^2=2S(0)\left|K(0)\right|^2\Delta F_э=N_0\left|K(0)\right|^2\Delta F_э$$



$$J_n=\frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty}\left|\frac{B(j\omega)}{A(j\omega)}\right|^2 d\omega=\frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty}\frac{B(j\omega)}{A(j\omega)}\frac{B(-j\omega)}{A(-j\omega)}d\omega$$

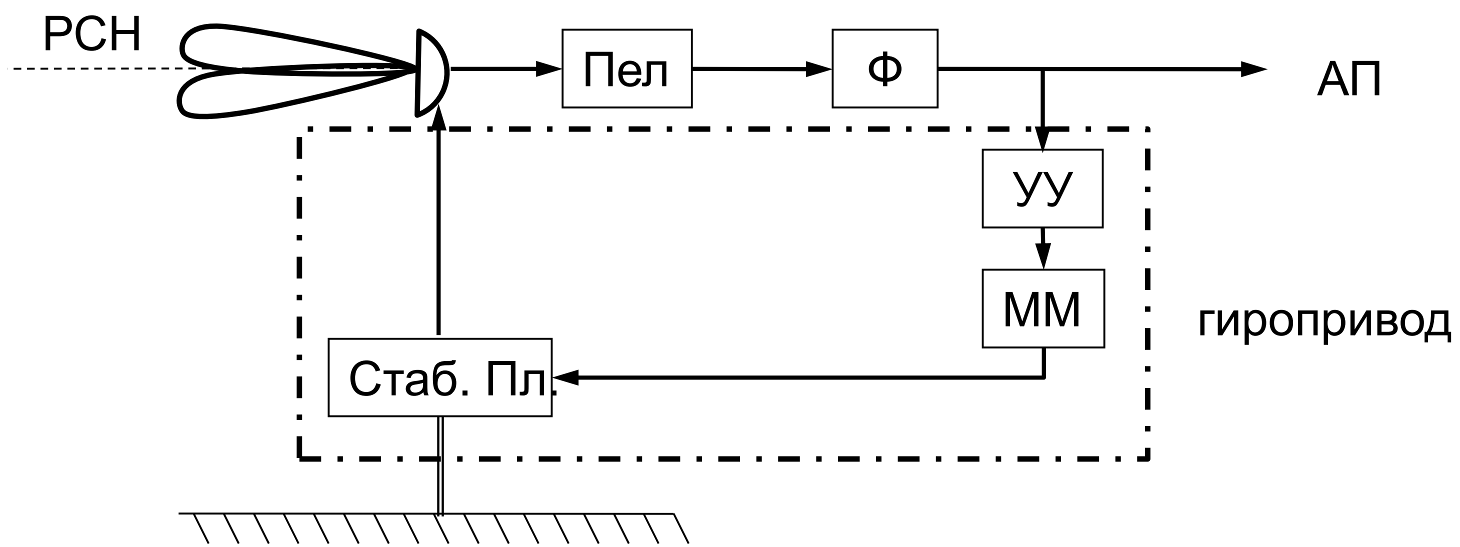
$$A(j\omega)=a_n(j\omega)^n+a_{n-1}(j\omega)^{n-1}+\ldots+a_1(j\omega)+a_0$$

$$B(j\omega)=b_{n-1}(j\omega)^{n-1}+b_{n-2}(j\omega)^{n-2}+\ldots+b_1(j\omega)+b_0$$

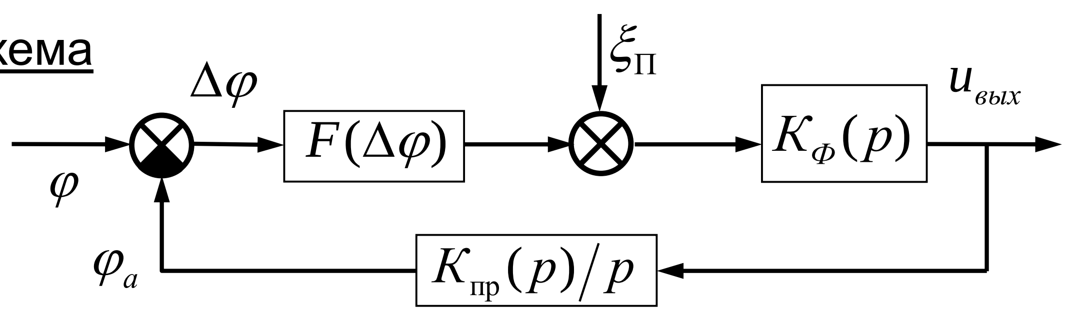
$$J_1=\frac{b_0^2}{2a_0a_1} \qquad J_2=\frac{b_1^2a_0+b_0^2a_2}{2a_0a_1a_2} \qquad J_3=\frac{b_2^2a_0a_1+\left(b_1^2-2b_0b_2\right)a_0a_3+b_0^2a_2a_3}{2a_0a_3\left(a_1a_2-a_0a_3\right)}$$

2. Угломерное устройство с гироприводом

Функциональная схема



Структурная схема



Задание: найти в установившемся режиме $\Delta\varphi_{уст}$, $u_{вых\_уст}$

при $\varphi(t)=\omega_0 t$; $F(\Delta\varphi)=S_{пел}\Delta\varphi$, $K_{пр}(p)=k_{гп}$, $K_{ф}(p)=\dfrac{k_{ф}}{1+pT_{ф}}$

ТАБЛИЦА ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ЛАПЛАСА И z-ПРЕОБРАЗОВАНИЙ

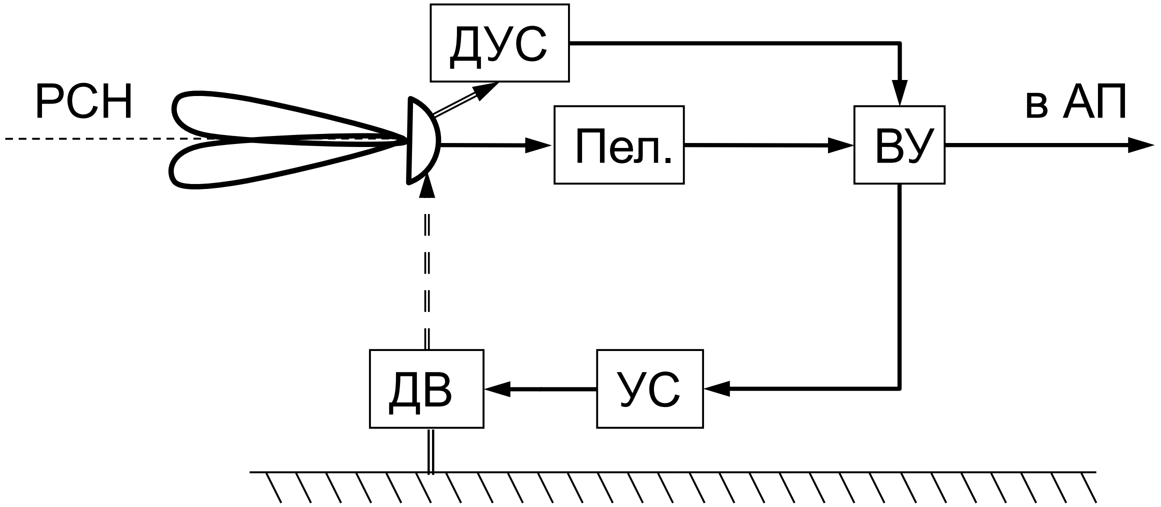
$d = e^{-aT}$

$x(t)$	$X(s)$	$X(z)$
$\delta(t)$	1	Не существует
$1(t)$	$\dfrac{1}{s}$	$\dfrac{z}{z-1}$
t	$\dfrac{1}{s^2}$	$\dfrac{Tz}{(z-1)^2}$
$t^2/2$	$\dfrac{1}{s^3}$	$\dfrac{T^2 z(z+1)}{2(z-1)^3}$
e^{-at}	$\dfrac{1}{s+a}$	$\dfrac{z}{z-d}$
$1-e^{-at}$	$\dfrac{a}{s(s+a)}$	$\dfrac{(1-d)z}{(z-1)(z-d)}$
$\dfrac{1}{a}(at-1+e^{-at})$	$\dfrac{a}{s^2(s+a)}$	$\dfrac{zT}{(z-1)^2} - \dfrac{(1-d)z}{a(z-1)(z-d)}$
$t\,e^{-at}$	$\dfrac{1}{(s+a)^2}$	$\dfrac{Tzd}{(z-d)^2}$

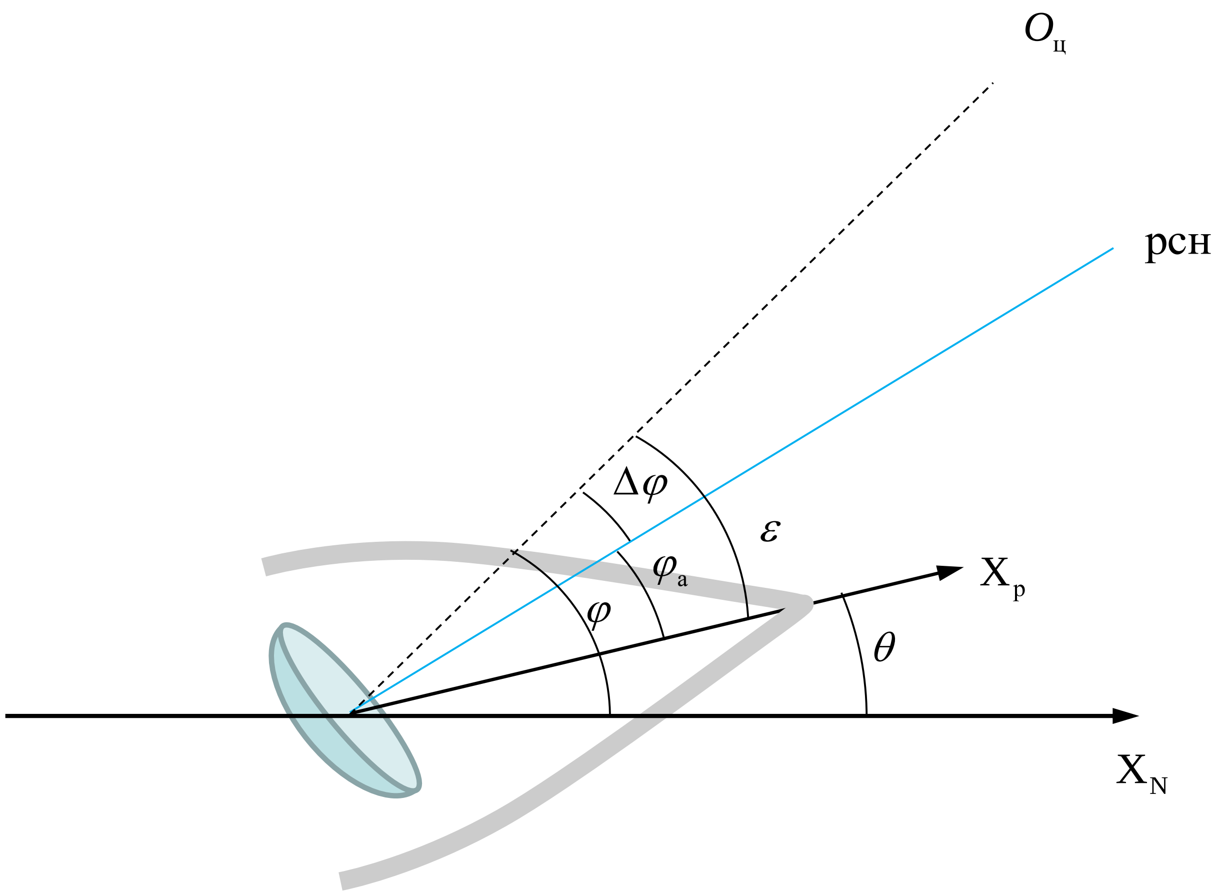
МЭИ

Угломер со скоростной коррекцией (следящая антенна с датчиком угловых скоростей)

Функциональная схема



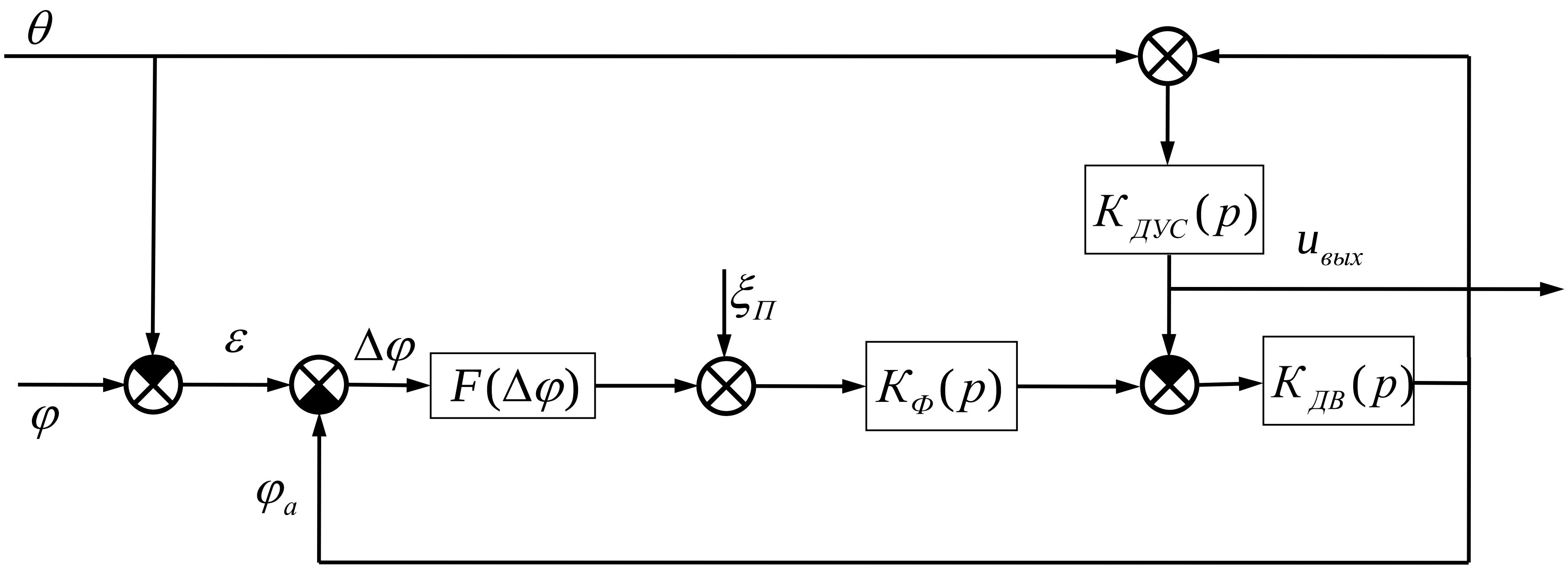
ДУС – датчик угловых скоростей;
ДВ – двигатель привода антенны;
ВУ – вычислительное устройство;
АП – автопилот.



$O_ц$
рсн
$\Delta\varphi$
ε
$\varphi_а$
φ
$X_р$
θ
X_N

Угломер со скоростной коррекцией

Структурная схема



Входные воздействия: $\varphi(t) = \omega_0 t$

$\theta(t) = \theta_0' t$

Допущения: $K_{ДВ}(p) = K_Д / p$

$K_{ДУС}(p) = K_{ДУС}\, p$

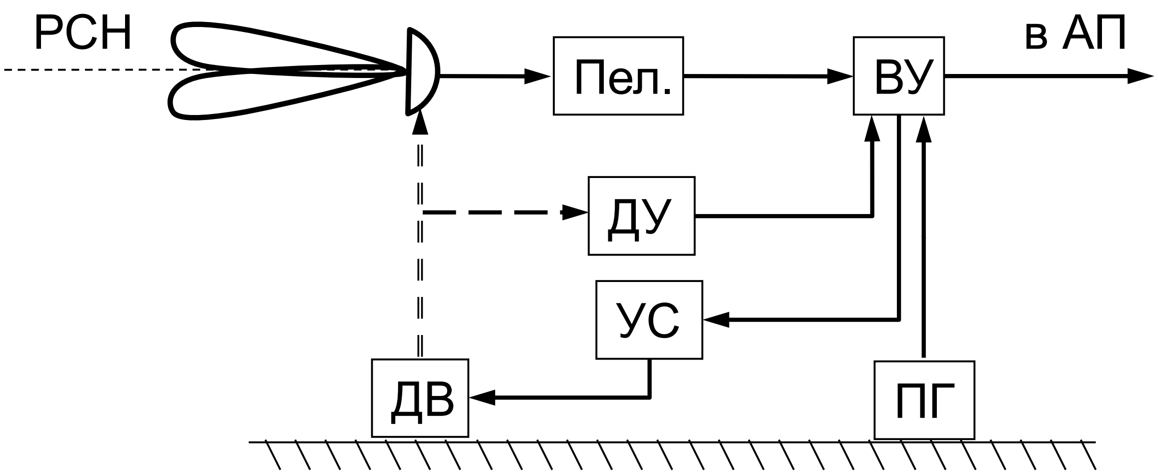
Найти:

	ω_0	θ_0'
$\Delta\varphi_{уст}$		
$u_{вых\_уст}$		

$F(\Delta\varphi) = S_{пел}\Delta\varphi\,, \quad K_ф(p) = \dfrac{k_ф}{1 + pT_ф}$

Угломер с позиционной коррекцией
(позиционный гироскоп в индикаторном режиме)

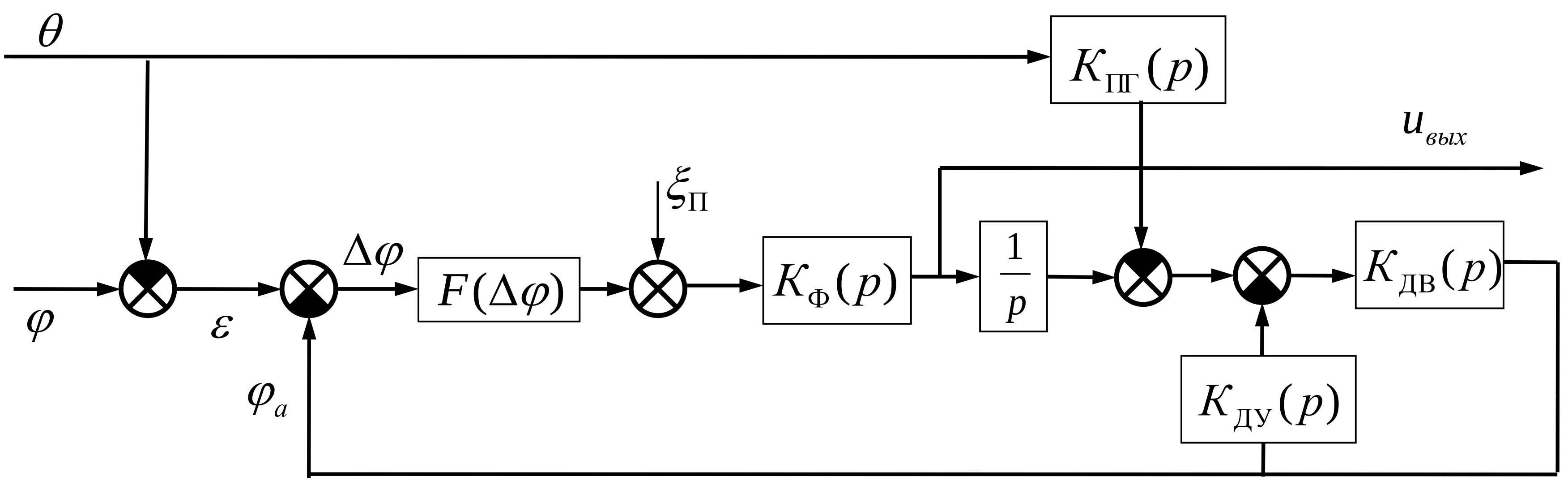
Функциональная схема



ПГ – позиционный гироскоп;
ДУ – датчик углов;
ДВ – двигатель привода антенны;
ВУ – вычислительное устройство;
АП – автопилот.

Угломер с позиционной коррекцией (позиционный гироскоп в индикаторном режиме)

Структурная схема



Входные воздействия: $\varphi(t) = \omega_0 t$

$$\theta(t) = \theta_0' t$$

Допущения: $K_{\text{ДВ}}(p) = \dfrac{k_{\text{Д}}}{p}$ $\quad F(\Delta\varphi) = S_{\text{пел}}\Delta\varphi$

$$K_{\text{ПГ}}(p) = k_{\text{Г}}$$

$$K_{\text{ДУ}}(p) = k_{\text{ДУ}}$$

$$K_{\text{ф}}(p) = \frac{k_{\text{ф}}}{1 + pT_{\text{ф}}}$$

Найти:

	ω_0	θ_0'
$\Delta\varphi_{уст}$		
$u_{вых\_уст}$		

Спасибо за внимание!