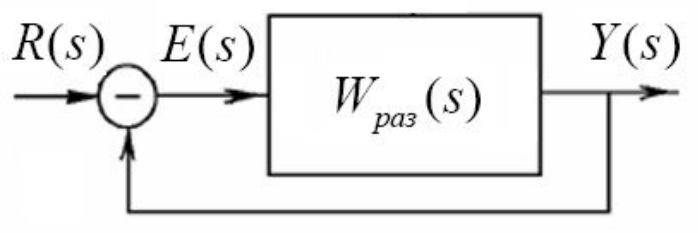
Тема 12.
Построение желаемой ЛАЧХ разомкнутой системы в частотном методе синтеза корректирующего звена

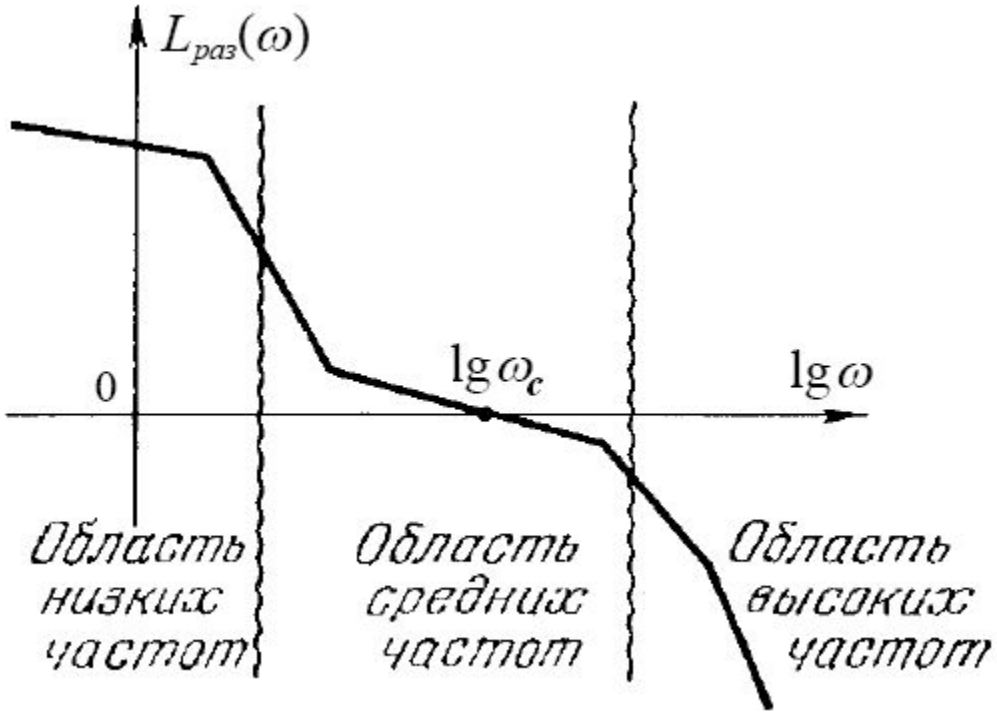
Юркевич В.Д.

Обсуждаемые вопросы

1. ***Расчет коэффициента усиления корректирующего звена***
2. ***Построение желаемой ЛАЧХ в области средних частот***
3. ***Сопряжение желаемой ЛАЧХ в области низких и высоких частот с ЛАЧХ объекта***
4. ***Построение ЛАЧХ корректирующего звена***
5. ***Замечание о неоднозначности выбора вида желаемой ЛАЧХ в области высоких частот***
6. ***Реализация корректирующего звена***

Взаимосвязь ЛАЧХ разомкнутой системы с показателями качества переходных процессов в замкнутой системе



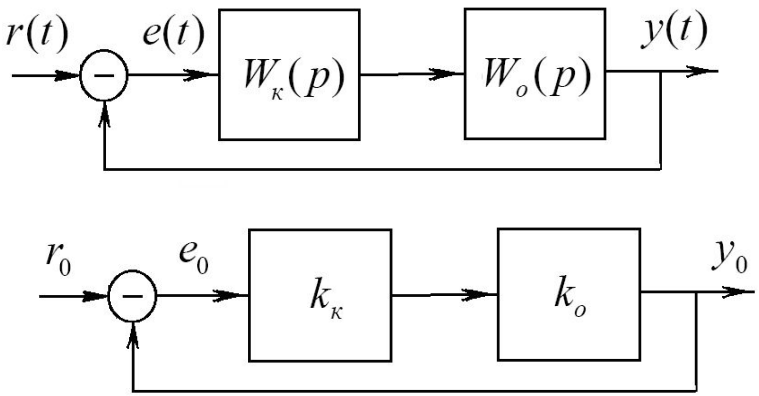


$$\lim_{t\to\infty} e(t) = e_0$$

σ $t_П$

Юркевич В.Д.

Расчет коэффициента усиления корректирующего звена (статическая система)

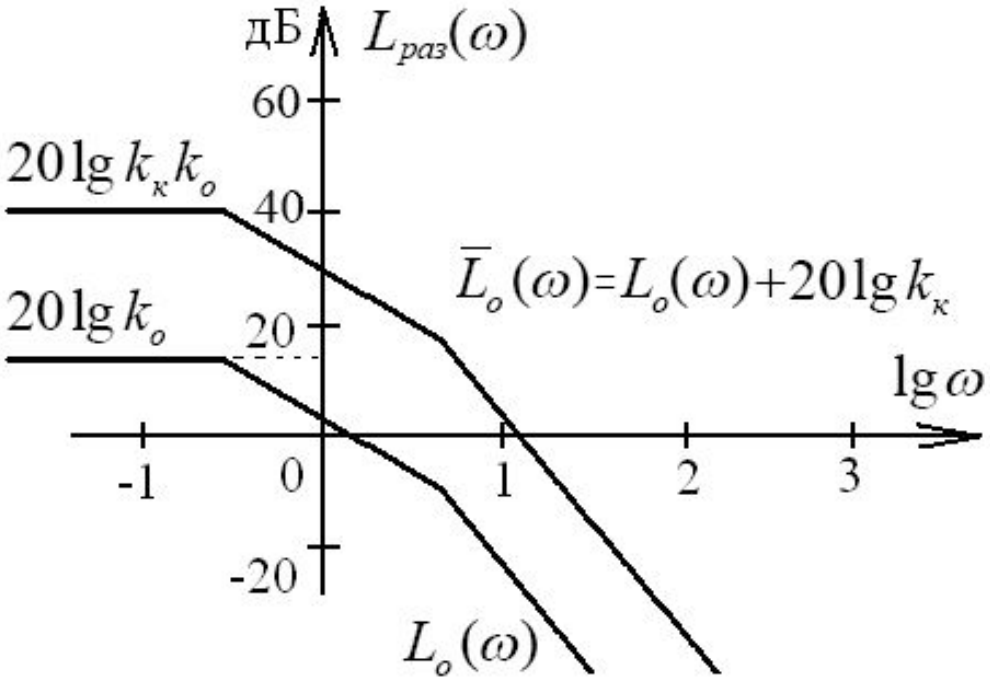


$$\Rightarrow$$

$$s \to 0 \;\Rightarrow\; W_o(s) \to k_o$$

$$r(t) = r_0 1(t) \;\Rightarrow\; \lim_{t\to\infty} r(t) = r_0$$

$$\lim_{t\to\infty} y(t) = y_0 \qquad \lim_{t\to\infty} e(t) = e_0$$

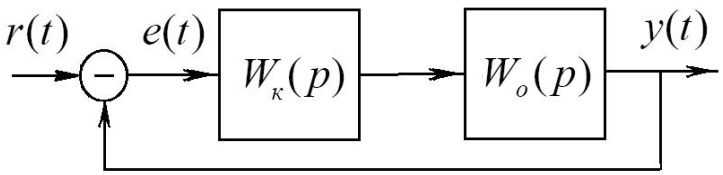


$$e_0 = \frac{1}{1 + k_к k_o} r_0 \qquad \boxed{\bar{e}_0 \le \bar{e}_0^{\max}}$$

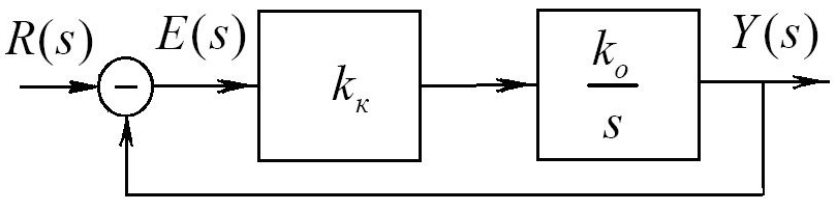
$$\bar{e}_0 = \left|\frac{e_0}{r_0}\right| = \frac{1}{1 + k_к k_o} \le \bar{e}_0^{\max}$$

$$\boxed{k_к \ge \left(\frac{1}{\bar{e}_0^{\max}} - 1\right)\frac{1}{k_o}}$$

Расчет коэффициента усиления корректирующего звена (астатическая система)

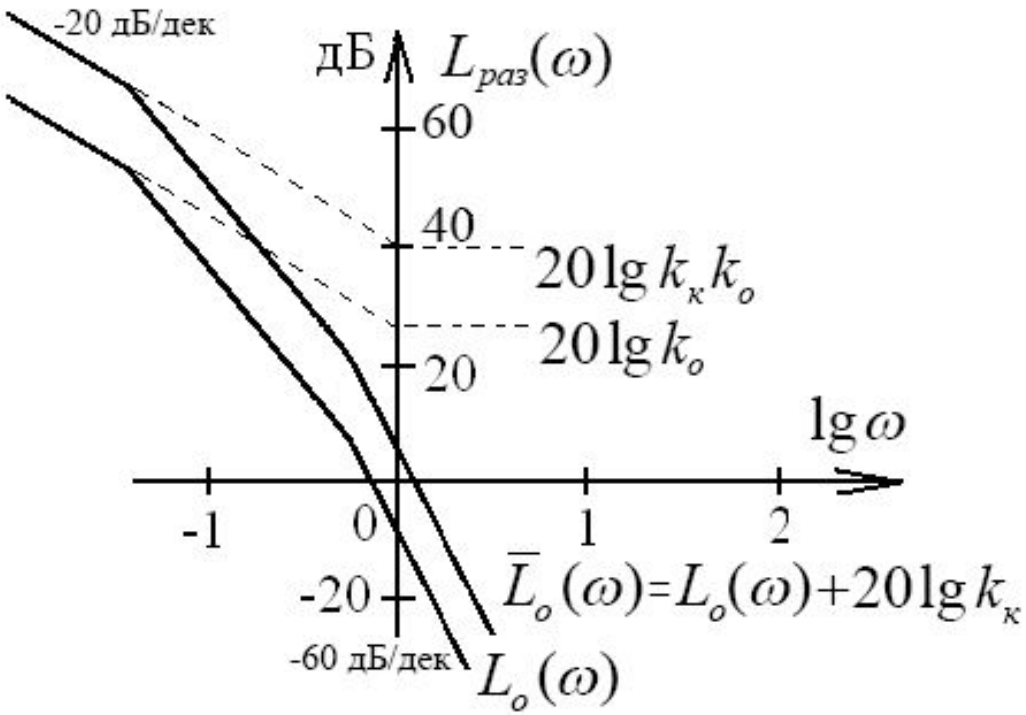


$\Rightarrow$



$$s \to 0 \Rightarrow W_o(s) \to \frac{k_o}{s}$$

$$r(t) = at1(t) \Rightarrow e_c = \frac{1}{k_к k_o} a$$



$$\bar{e}_c = \frac{1}{k_к k_o}$$

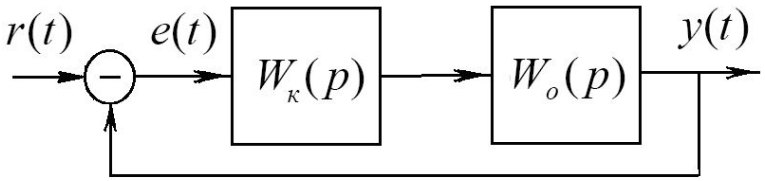
$$\boxed{\bar{e}_c \le \bar{e}_c^{\max}}$$

$$\bar{e}_c = \left|\frac{e_c}{a}\right| = \frac{1}{k_к k_o} \le \bar{e}_c^{\max}$$

$$\boxed{k_к \ge \frac{1}{\bar{e}_c^{\max} k_o}}$$

Юркевич В.Д.

Расчет коэффициента усиления корректирующего звена с учетом требования на ошибку воспроизведения гармонического сигнала



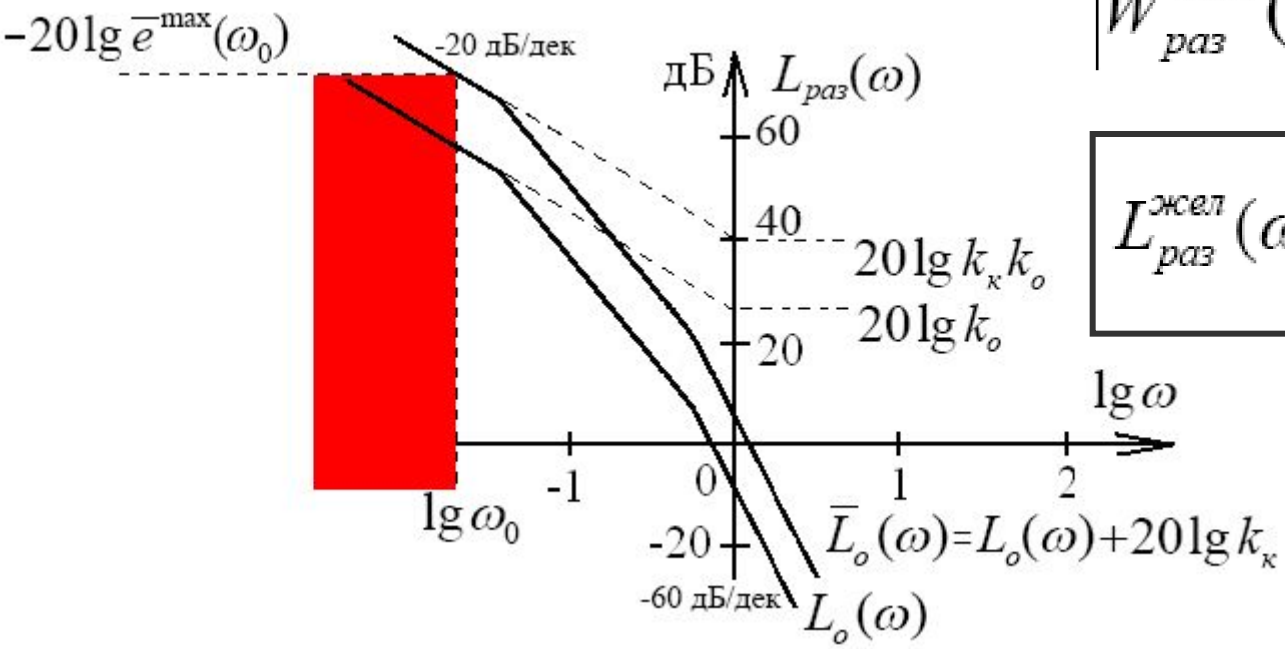
$$r(t) = A_r \sin(\omega t)$$
$$e(t) = A_e \sin(\omega t + \varphi_e)$$

$$\frac{A_e}{A_r} = \bar{e}(\omega) \approx \frac{1}{\left|W_{раз}^{жел}(j\omega)\right|}$$

$$\boxed{\bar{e}(\omega_0) \le \bar{e}^{\max}(\omega_0)}$$

$$\left|W_{раз}^{жел}(j\omega_0)\right| \ge \frac{1}{\bar{e}^{\max}(\omega_0)}$$

$$\boxed{L_{раз}^{жел}(\omega_0) \ge 20\lg\frac{1}{\bar{e}^{\max}(\omega_0)}}$$



Юркевич В.Д.

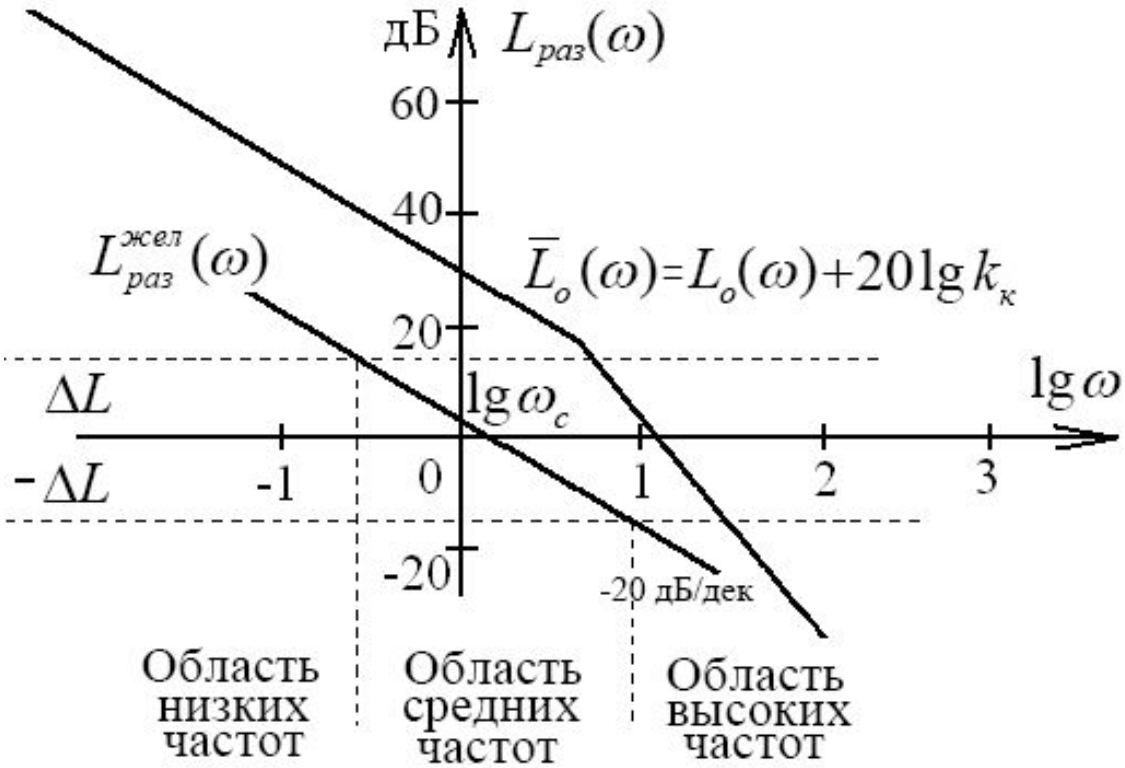
Построение желаемой ЛАЧХ в области средних частот

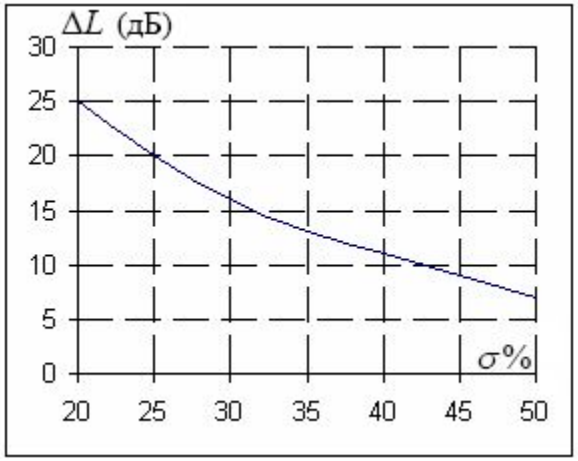
ΔL - запас устойчивости по модулю

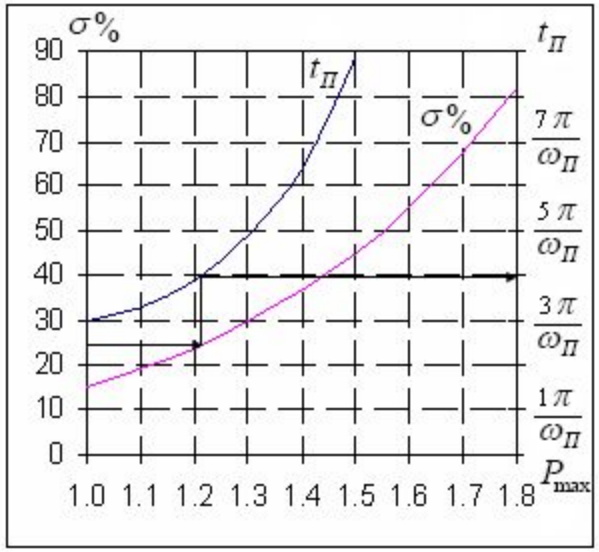
$\sigma\% \Rightarrow \Delta L$ (дБ)

$$\sigma\%,\ t_П \Rightarrow \omega_П = \frac{N\pi}{t_П}$$

$$\omega_c \in [0.6\omega_П, 0.9\omega_П]$$



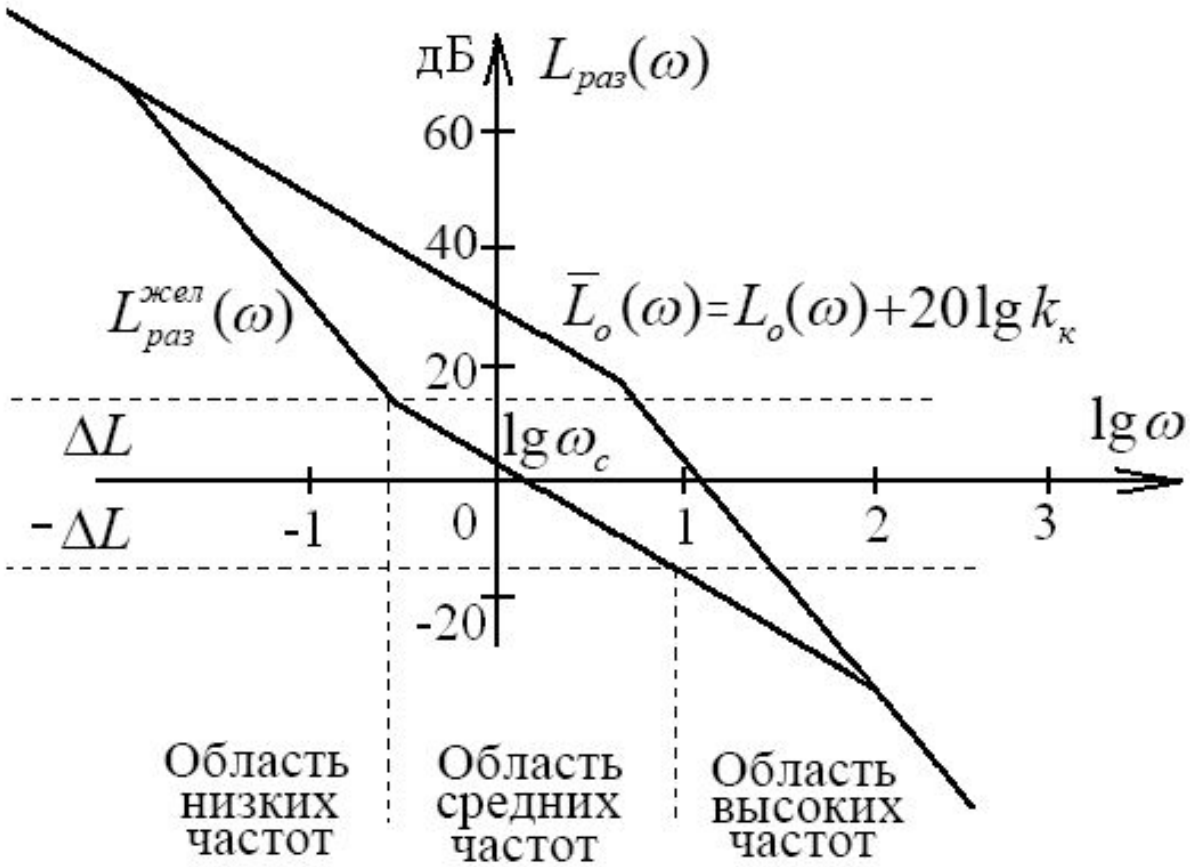




Юркевич В.Д.

Сопряжение желаемой ЛАЧХ в области низких и высоких частот с ЛАЧХ $\bar{L}_o(\omega) = L_o(\omega) + 20\lg k_к$

$$\omega \to 0 \Rightarrow L_{раз}^{жел}(\omega) = \bar{L}_o(\omega) \qquad \omega \to \infty \Rightarrow L_{раз}^{жел}(\omega) = \bar{L}_o(\omega)$$

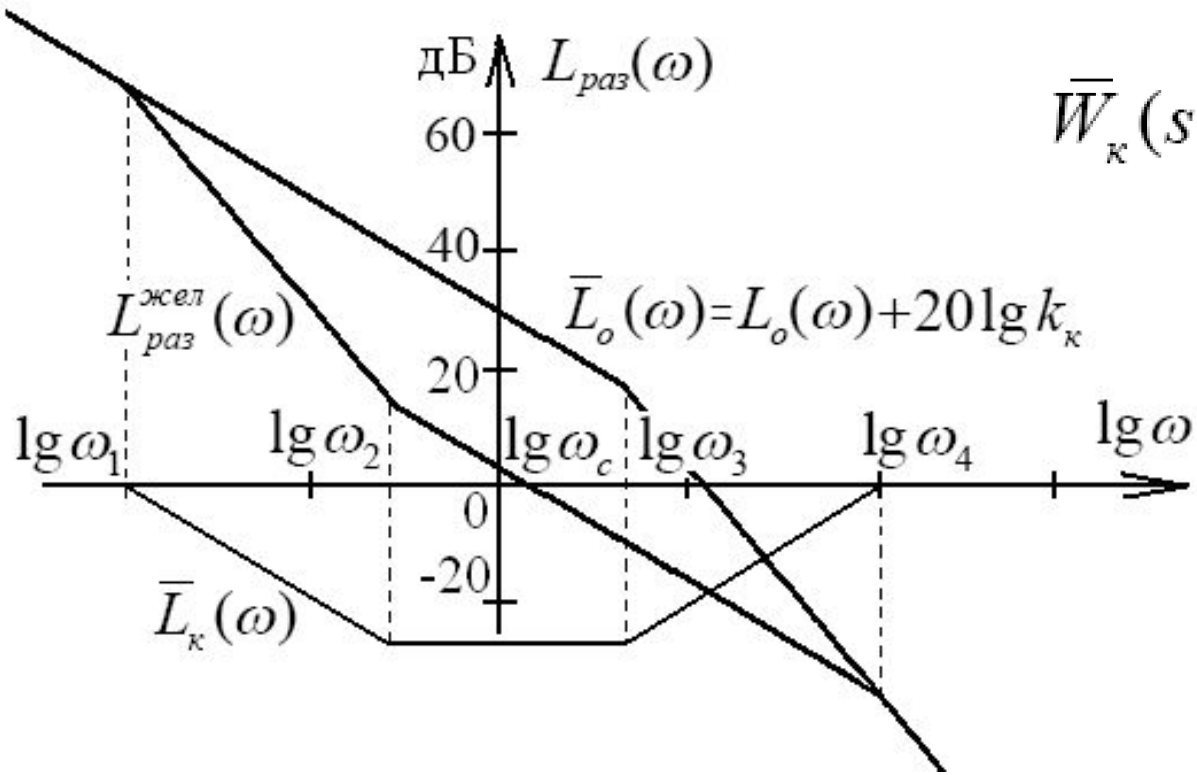


Юркевич В.Д.

Построение ЛАЧХ корректирующего звена

$$\bar{L}_к(\omega) = L_{раз}^{жел}(\omega) - \bar{L}_o(\omega) \quad \Rightarrow \quad \lg\omega_1,\ \lg\omega_2,\ \lg\omega_3,\ \lg\omega_4 \ \Rightarrow$$

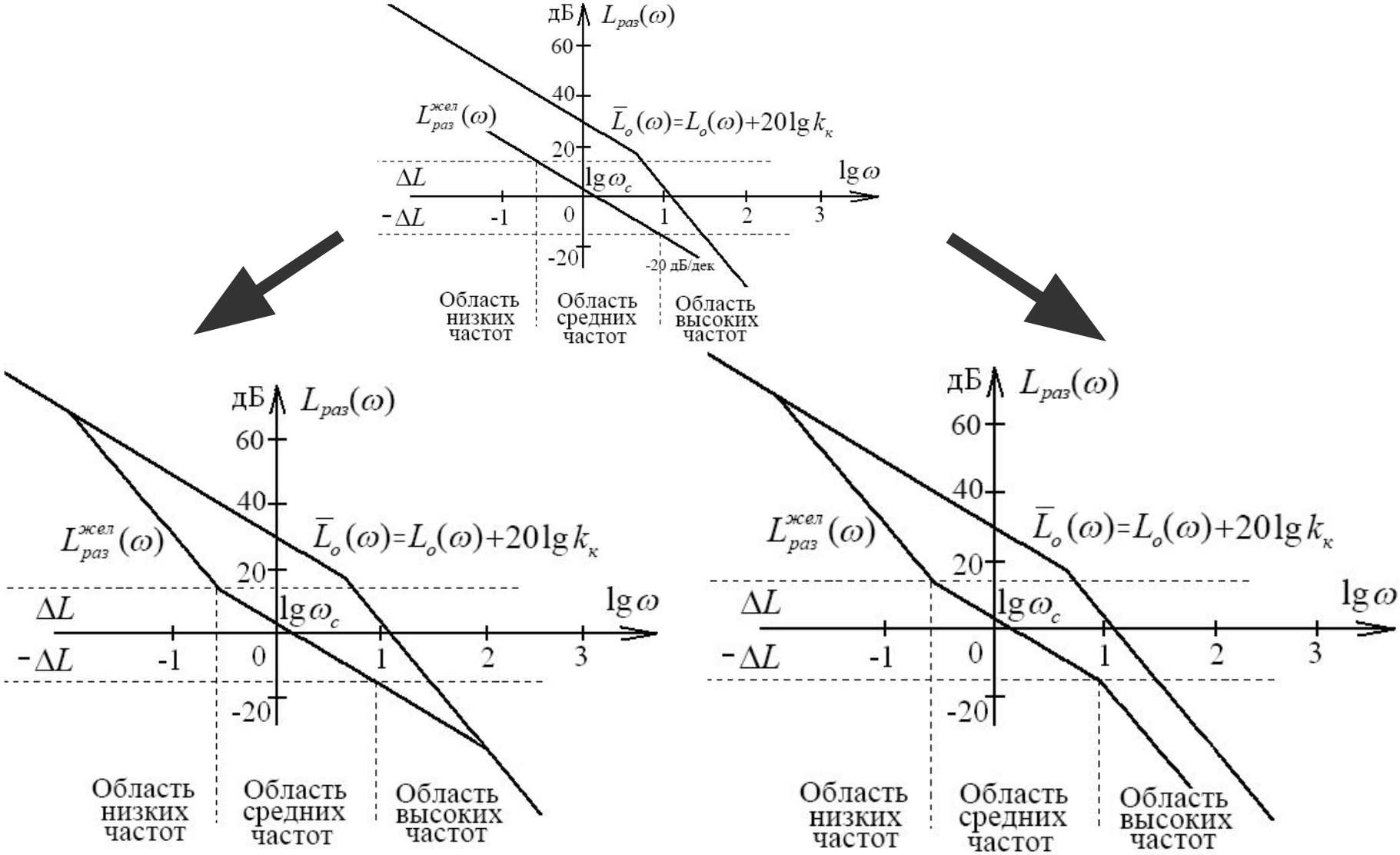
$$\omega_1,\ \omega_2,\ \omega_3,\ \omega_4 \ \Rightarrow \quad T_1 = \frac{1}{\omega_1},\ T_2 = \frac{1}{\omega_2},\ T_3 = \frac{1}{\omega_3},\ T_4 = \frac{1}{\omega_4}$$

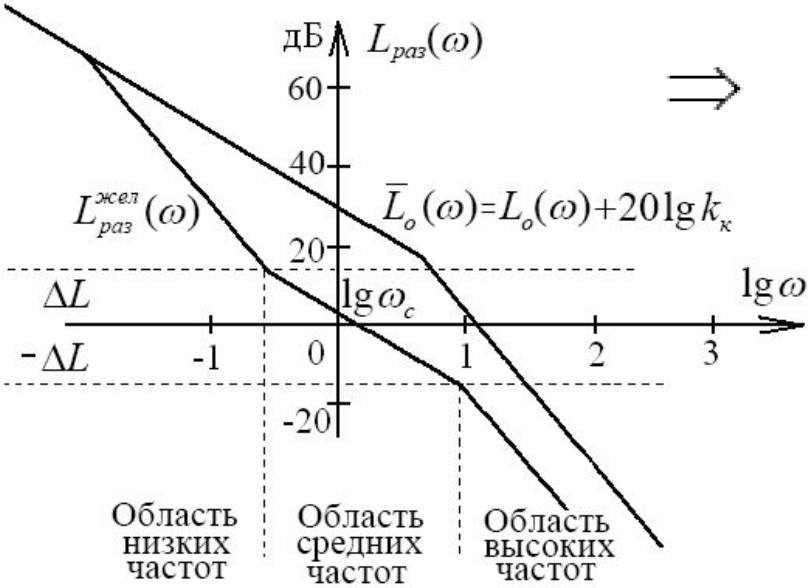


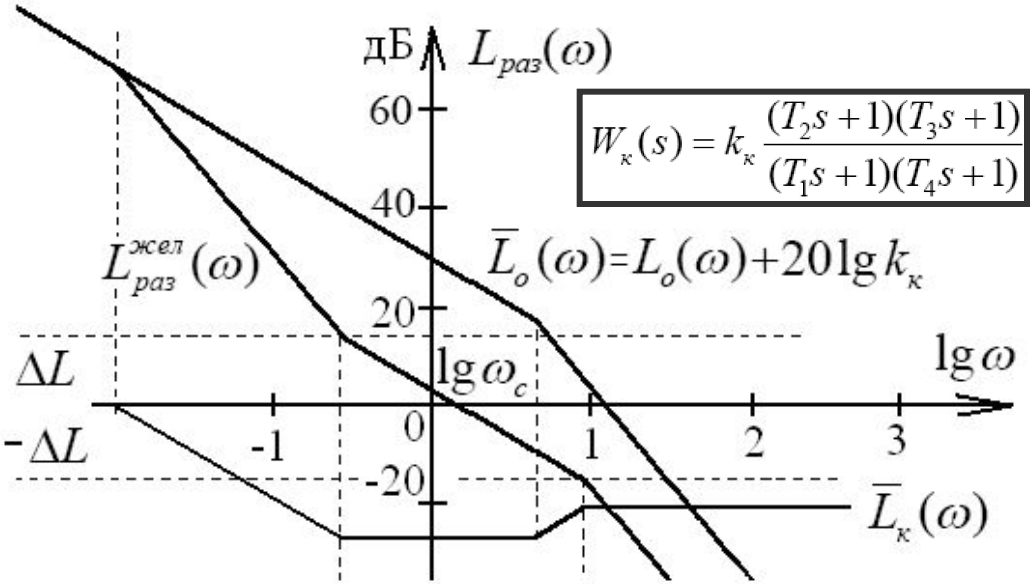
$$\bar{W}_к(s) = \frac{(T_2 s + 1)(T_3 s + 1)}{(T_1 s + 1)(T_4 s + 1)}$$

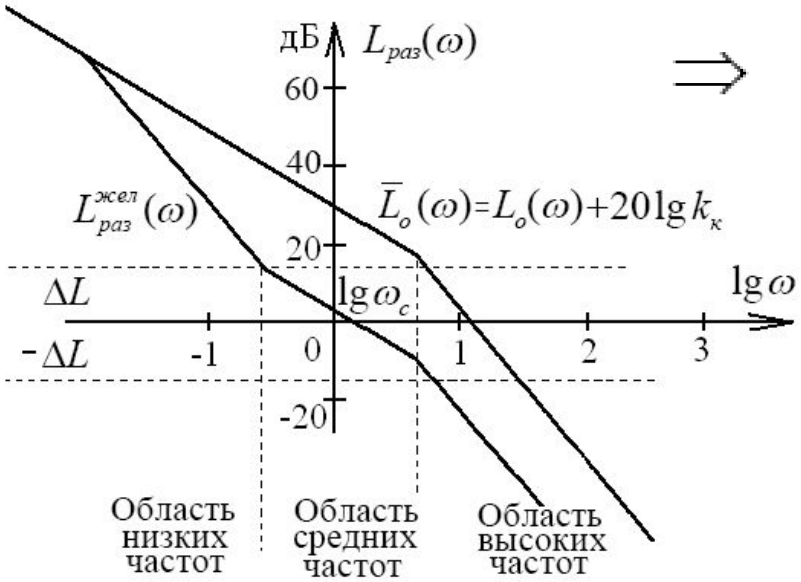
$$W_к(s) = k_к \bar{W}_к(s)$$

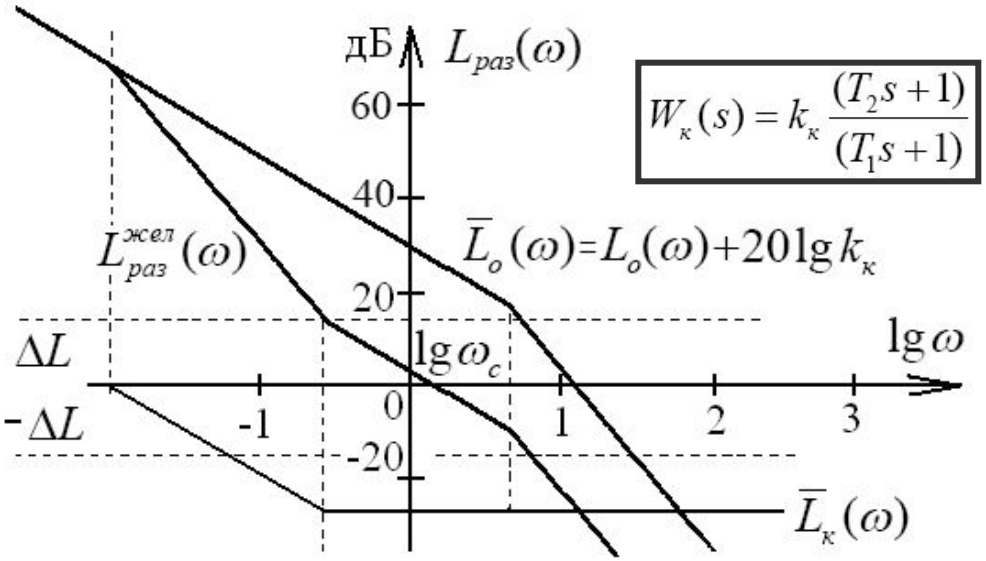
Замечание о неоднозначности выбора вида желаемой ЛАЧХ в области высоких частот



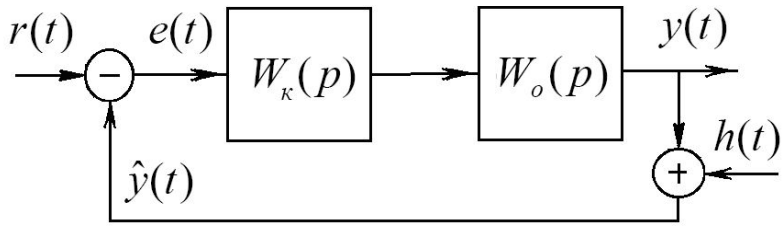

дБ
$L_{раз}(\omega)$
60
40
20
-20
$L_{раз}^{желл}(\omega)$
$\bar{L}_o(\omega)=L_o(\omega)+20\lg k_к$
ΔL
$-\Delta L$
$\lg\omega_c$
$\lg\omega$
-1
0
1
2
3
Область низких частот
Область средних частот
Область высоких частот


дБ
$L_{раз}(\omega)$
$W_к(s)=k_к\dfrac{(T_2s+1)(T_3s+1)}{(T_1s+1)(T_4s+1)}$
60
40
20
-20
$L_{раз}^{желл}(\omega)$
$\bar{L}_o(\omega)=L_o(\omega)+20\lg k_к$
ΔL
$-\Delta L$
$\lg\omega_c$
$\lg\omega$
-1
0
1
2
3
$\bar{L}_к(\omega)$


дБ
$L_{раз}(\omega)$
60
40
20
-20
$L_{раз}^{желл}(\omega)$
$\bar{L}_o(\omega)=L_o(\omega)+20\lg k_к$
ΔL
$-\Delta L$
$\lg\omega_c$
$\lg\omega$
-1
0
1
2
3
Область низких частот
Область средних частот
Область высоких частот

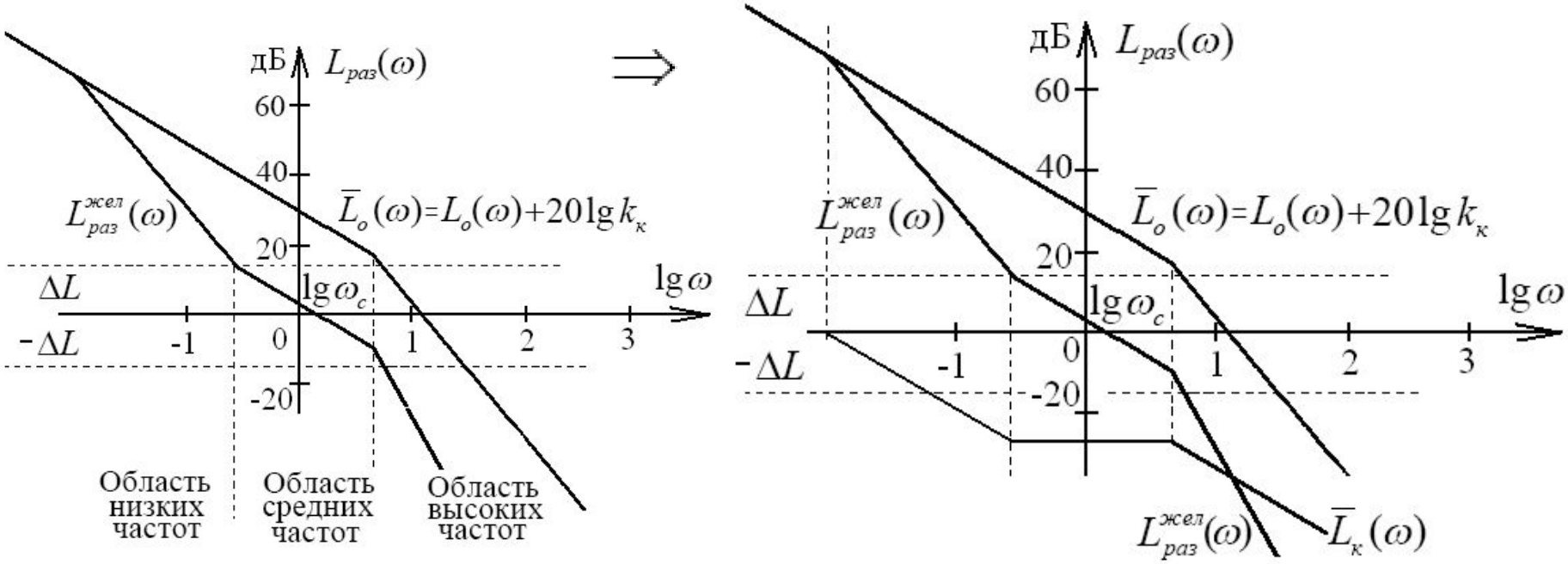

дБ
$L_{раз}(\omega)$
$W_к(s)=k_к\dfrac{(T_2s+1)}{(T_1s+1)}$
60
40
20
-20
$L_{раз}^{желл}(\omega)$
$\bar{L}_o(\omega)=L_o(\omega)+20\lg k_к$
ΔL
$-\Delta L$
$\lg\omega_c$
$\lg\omega$
-1
0
1
2
3
$\bar{L}_к(\omega)$

Фильтрация помех измерения в области высоких частот



$$\hat{y}(t) = y(t) + h(t)$$

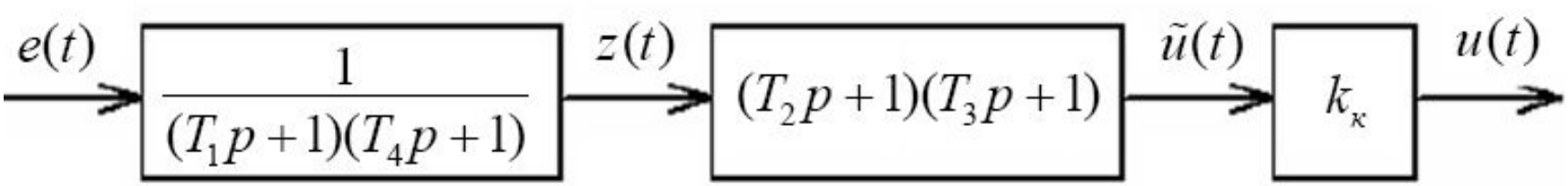
$$W_к(s) = k_к \frac{(T_2 s + 1)}{(T_1 s + 1)(T_3 s + 1)}$$



Юркевич В.Д.

Реализация корректирующего звена (управляемое каноническое представление)

$$u(t) = W_к(p)e(t) \qquad W_к(p) = k_к \frac{(T_2 p + 1)(T_3 p + 1)}{(T_1 p + 1)(T_4 p + 1)}$$



$$u(t) = k_к \tilde{u}(t)$$

$$\tilde{u}(t) = (T_2 p + 1)(T_3 p + 1) z(t)$$

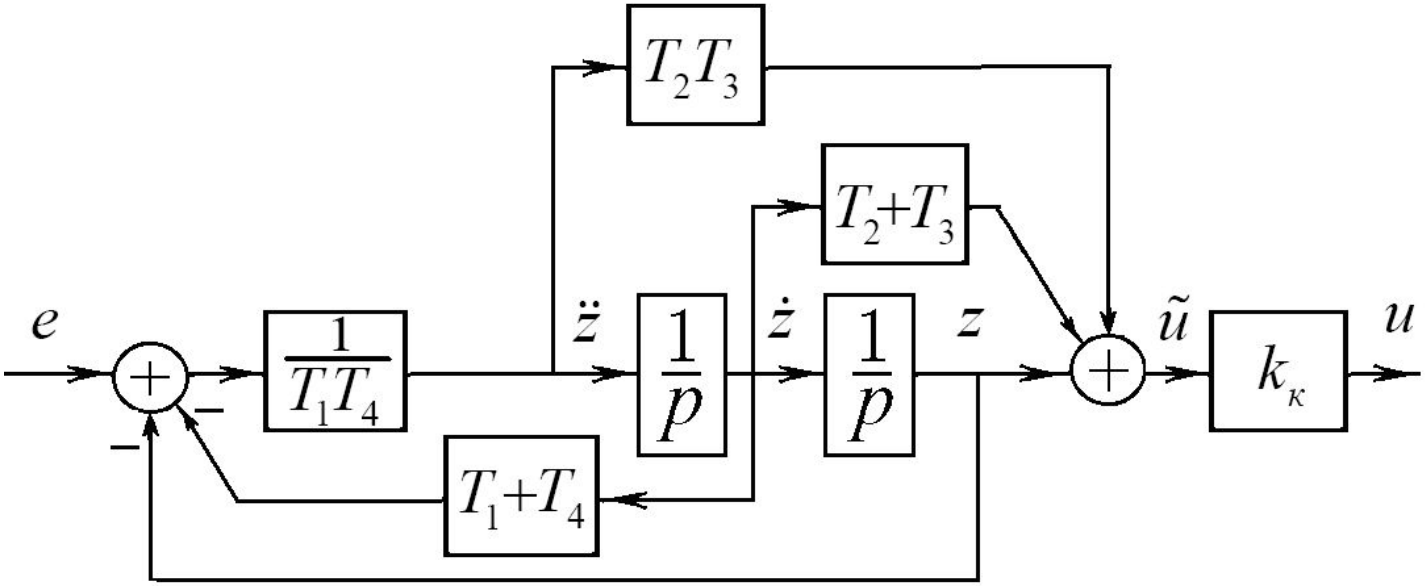
$$z(t) = \frac{1}{(T_1 p + 1)(T_4 p + 1)} e(t)$$

Реализация корректирующего звена (управляемое каноническое представление)

$$z(t) = \frac{1}{(T_1 p + 1)(T_4 p + 1)} e(t) \;\Rightarrow\; [T_1 T_4 p^2 + (T_1 + T_4) p + 1] z = e$$

$$T_1 T_4 z^{(2)} + (T_1 + T_4) z^{(1)} + z = e \;\Rightarrow\; z^{(2)} = \frac{1}{T_1 T_4}[e - (T_1 + T_4) z^{(1)} - z]$$

$$\tilde{u}(t) = (T_2 p + 1)(T_3 p + 1) z(t) \;\Rightarrow\; \tilde{u} = T_2 T_3 z^{(2)} + (T_2 + T_3) z^{(1)} + z$$



Реализация корректирующего звена (наблюдаемое каноническое представление)

$$u(t) = W_к(p)e(t) \qquad W_к(p) = k_к \frac{(T_2 p + 1)(T_3 p + 1)}{(T_1 p + 1)(T_4 p + 1)}$$

$$u(t) = k_к \tilde{u}(t) \qquad \tilde{u}(t) = \overline{W}_к(p)e(t) \qquad \overline{W}_к(p) = \frac{(T_2 p + 1)(T_3 p + 1)}{(T_1 p + 1)(T_4 p + 1)}$$

$$[T_1 T_4 p^2 + (T_1 + T_4)p + 1]\tilde{u}(t) = [T_2 T_3 p^2 + (T_2 + T_3)p + 1]e(t)$$

$$T_1 T_4 \ddot{\tilde{u}} + (T_1 + T_4)\dot{\tilde{u}} + \tilde{u} = T_2 T_3 \ddot{e} + (T_2 + T_3)\dot{e} + e$$

$$T_1 T_4 \ddot{\tilde{u}} + (T_1 + T_4)\dot{\tilde{u}} - T_2 T_3 \ddot{e} - (T_2 + T_3)\dot{e} = e - \tilde{u} = \dot{z}_1$$

$$T_1 T_4 \dot{\tilde{u}} + (T_1 + T_4)\tilde{u} - T_2 T_3 \dot{e} - (T_2 + T_3)e = z_1$$

$$T_1 T_4 \dot{\tilde{u}} - T_2 T_3 \dot{e} = z_1 - (T_1 + T_4)\tilde{u} + (T_2 + T_3)e = \dot{z}_2$$

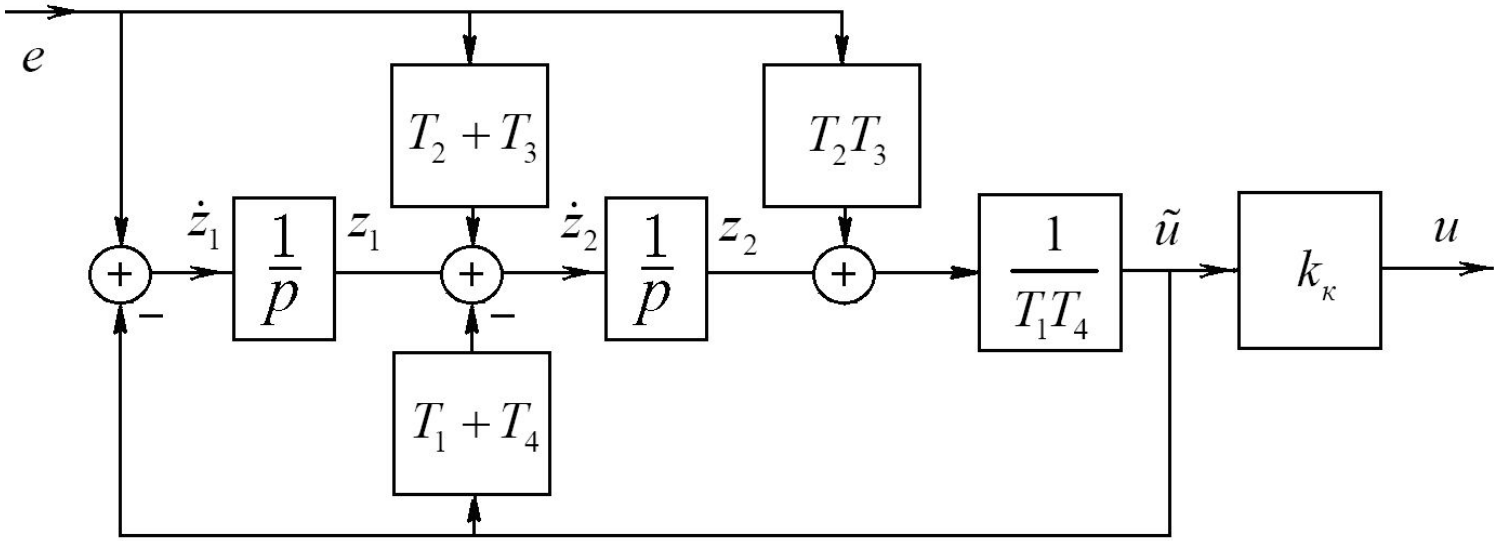
$$T_1 T_4 \tilde{u} - T_2 T_3 e = z_2 \longrightarrow \tilde{u} = \frac{1}{T_1 T_4}(z_2 + T_2 T_3 e)$$

Реализация корректирующего звена (наблюдаемое каноническое представление)

$$\dot{z}_1 = e - \tilde{u}$$

$$\dot{z}_2 = z_1 - (T_1 + T_4)\tilde{u} + (T_2 + T_3)e$$

$$\tilde{u} = \frac{1}{T_1 T_4}(z_2 + T_2 T_3 e)$$



Тема 13.
Модальный метод синтеза непрерывных систем