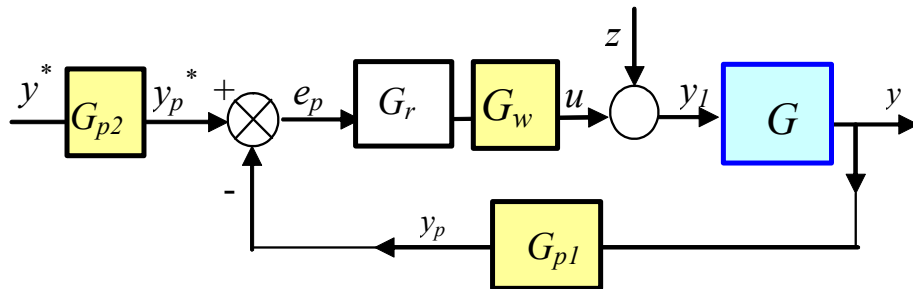
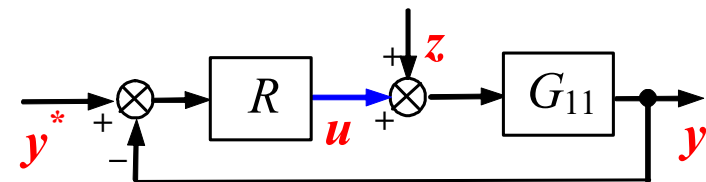
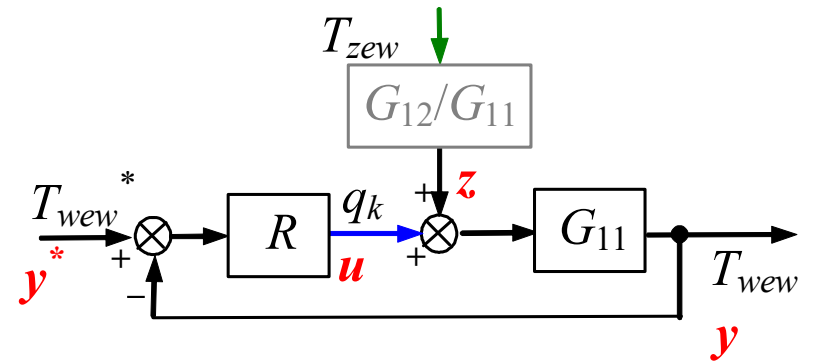
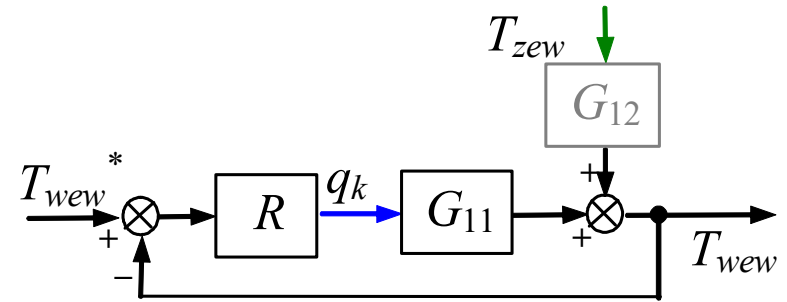
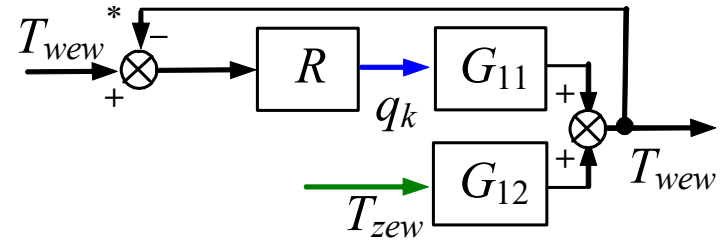
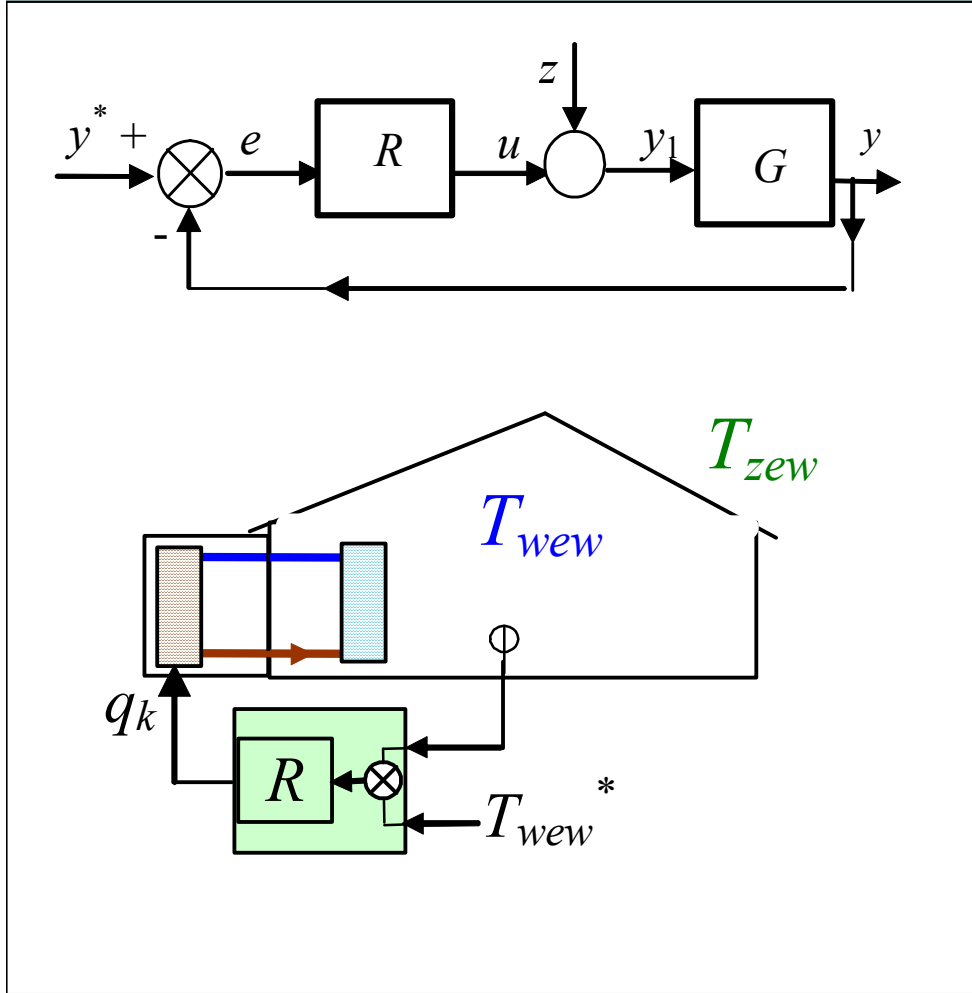
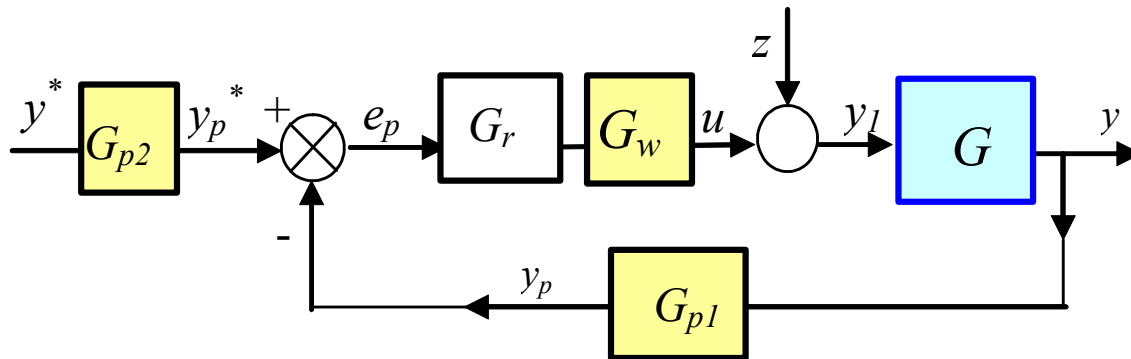


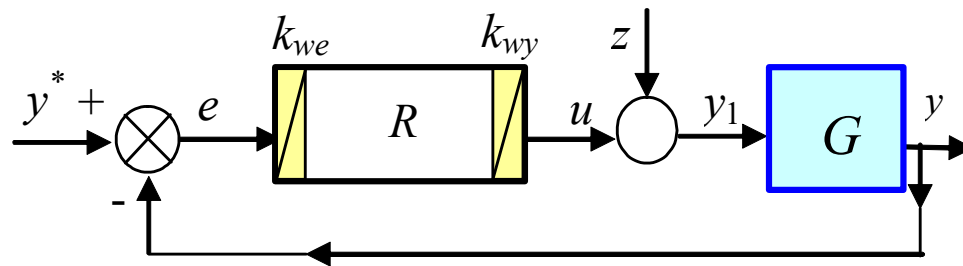
Układ regulacji rzeczywiste i teoretyczne



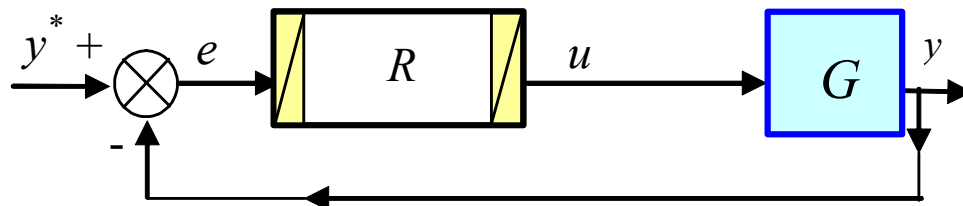
Układ regulacji rzeczywiste i teoretyczne



G_{p1} – przetwornik pomiarowy
 G_{p2} – przetworniki w. zadanej
 G_w – elementy wykonawcze
 z – zakłócenia na obiekcie
 z_p – zakłócenia przetwornika p.

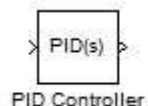


Układ teoretyczny z zakłóceniami



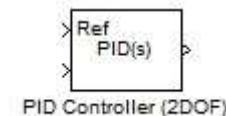
Układ teoretyczny bez zakłóceń

Matlab: Simulink – bloki PID

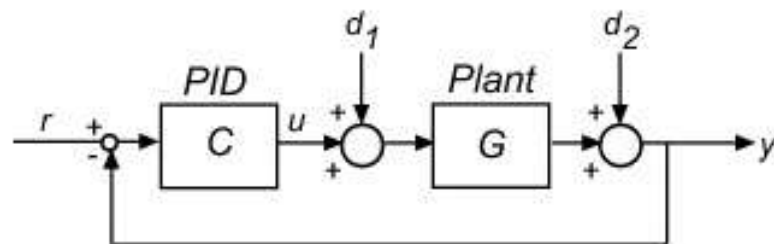


PID Controller

Two-degree-of-freedom
PID Controller
(PID Controller 2DOF)

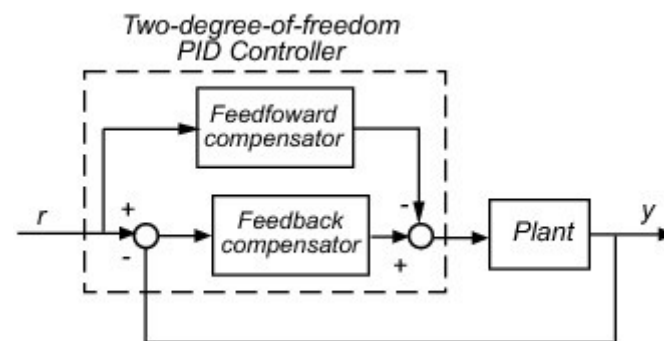


Funkcja PID Tuner



Charakterystyki (step, bode) dla:

• Reference tracing	$\frac{y}{r} = \frac{CG}{1+CG}$
• Controller effort	$\frac{u}{r} = \frac{C}{1+CG}$
• Input disturbance Rejection	$\frac{y}{d_1} = \frac{G}{1+CG}$
• Output disturbance Rejection	$\frac{y}{d_2} = \frac{1}{1+CG}$
• Open-loop	CG
• Plant	G

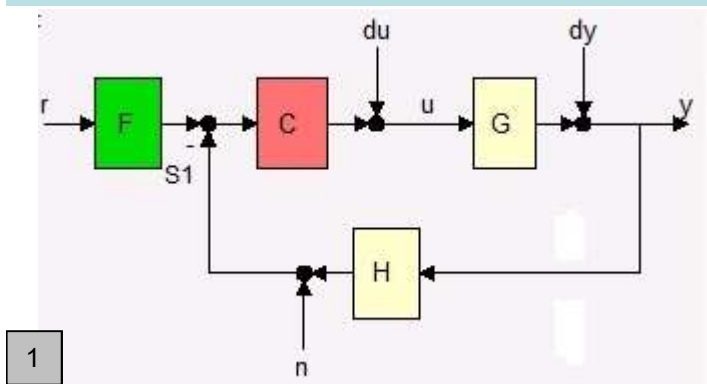


Feedforward compensator - PD,
Feedback compensator - PID

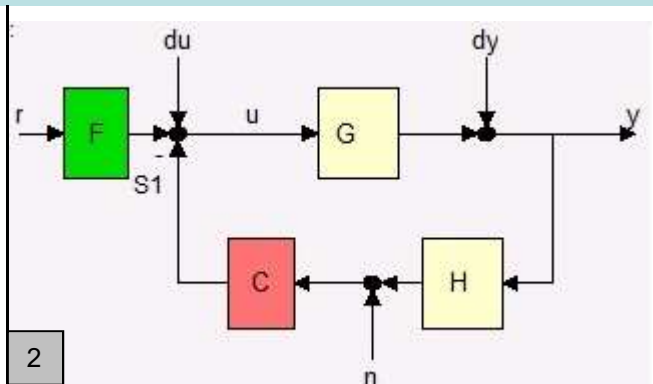
Własności:

- płynne śledzenie wartości zadanej
- dobre tłumienie zakłóceń

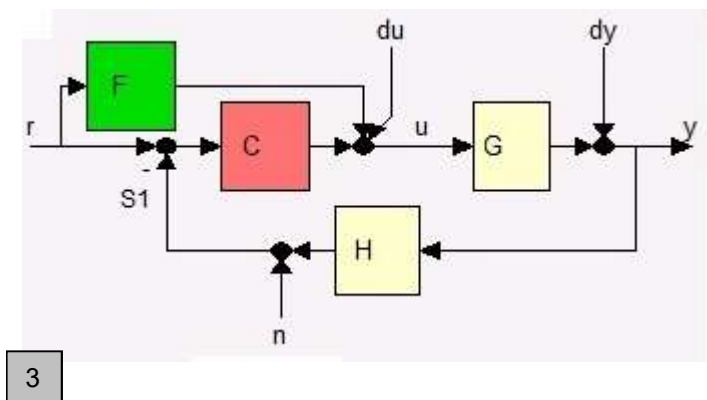
Matlab: SISO Design (LTI Object) – proponowane struktury



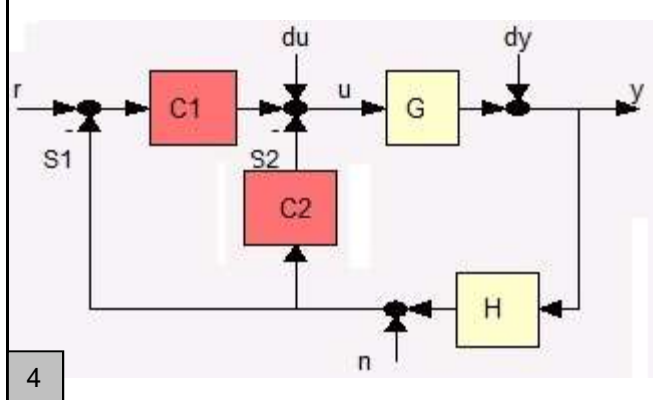
1



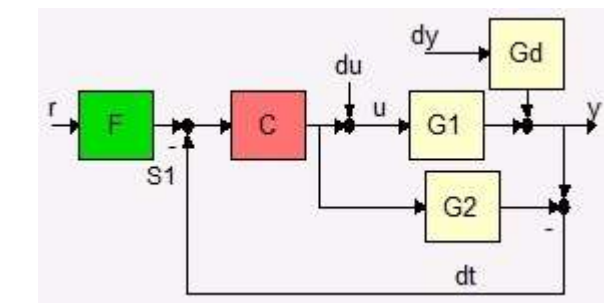
2



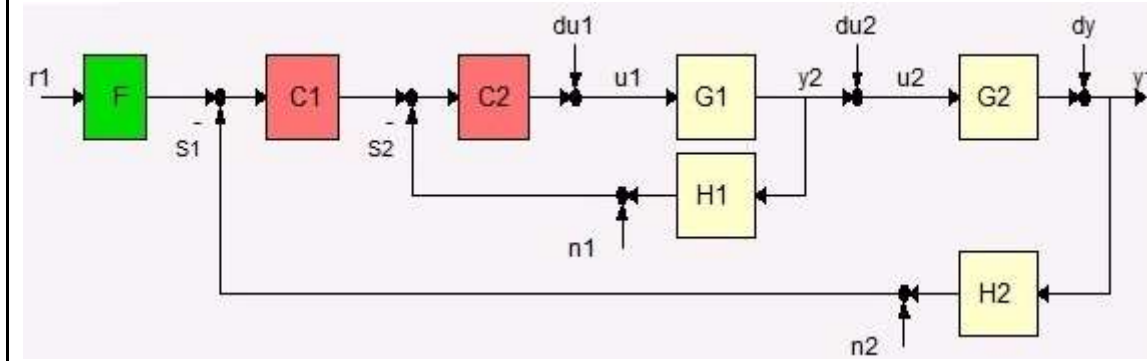
3



4



5



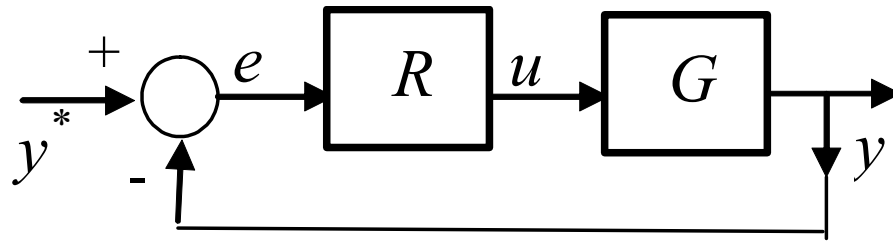
6

F – filtr wejściowy
 C – kompensator (regulator)
 G – obiekt

r – w.zadana
 y – zmienna procesowa

- 1) Układ regulacji
- 2) Układ korekcji
- 3) Regulacja PID 2DOF
- 4) .
- 5) .
- 6) Kaskada

Transmitancje układu regulacji ciągłej (bez zakłóceń)



$$\begin{cases} Y(s) = G(s)U(s) \\ U(s) = R(s)E(s) \\ E(s) = Y^*(s) - Y(s) \end{cases}$$

$$\frac{Y}{Y^*} = G_z = \frac{RG}{1 + RG} \quad \text{t.układu zamkniętego}$$

$$Y(s) = \frac{R(s)G(s)}{1 + R(s)G(s)} Y^*(s)$$

$$\frac{E}{Y^*} = G_e = \frac{1}{1 + RG} \quad \text{t.uchybowa}$$

$$E(s) = \frac{1}{1 + R(s)G(s)} Y^*(s)$$

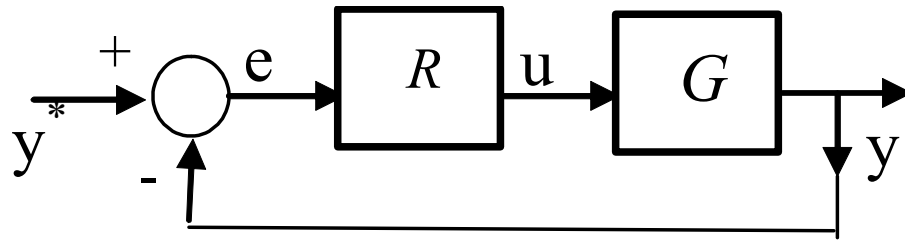
$$G(s) = \frac{L_o(s)}{M_o(s)}$$

$$G_z = \frac{L_o(s)L_R(s)}{M_o(s)M_R(s) + L_o(s)L_R(s)}$$

$$R(s) = \frac{L_R(s)}{M_R(s)}$$

$$G_e = \frac{M_o(s)M_R(s)}{M_o(s)M_R(s) + L_o(s)L_R(s)}$$

Własności układu zamkniętego: 1) stabilność



$$G_e = \frac{E}{Y^*} = \frac{1}{1 + RG}$$

$$G_z = \frac{Y}{Y^*} = \frac{RG}{1 + RG}$$

$$G(s) = \frac{L_o(s)}{M_o(s)}$$

$$G_e = \frac{M_o(s)M_R(s)}{M_o(s)M_R(s) + L_o(s)L_R(s)}$$

$$R(s) = \frac{L_R(s)}{M_R(s)}$$

$$G = \frac{K}{(Ts + 1)^2}$$

$$G_e = \frac{(Ts + 1)^2 T_i s}{(Ts + 1)^2 T_i s + K(K_p T_i s + 1)}$$

$$R = K_p + \frac{1}{T_i s}$$

$$T_i T^2 s^3 + 2T_i T s^2 + T_i (KK_p + 1)s + KK_p T_i s + K = 0$$

Metody analizy:

- a) Rozwiązanie r.charakterystycznego
- b) Kryteria Routha, Hurwitza

Własności układu zamkniętego: 2) uchyb statyczny (stan ustalony)

$$\begin{bmatrix} E(s) \\ Y(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G_e(s) & G_{ez}(s) \\ G_z(s) & G_{yz}(s) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} Y^*(s) \\ Z(s) \end{bmatrix}$$

$$E(s) = G_e(s)Y^*(s) + G_{ez}(s)Z(s)$$

$$Y(s) = G_z(s)Y^*(s) + G_{yz}(s)Z(s)$$

wartości początkowe

$$e_0 = \lim_{t \rightarrow 0} e(t) = \lim_{s \rightarrow \infty} sE(s)$$

$$y_0 = \lim_{t \rightarrow 0} y(t) = \lim_{s \rightarrow \infty} sY(s)$$

wartości końcowe

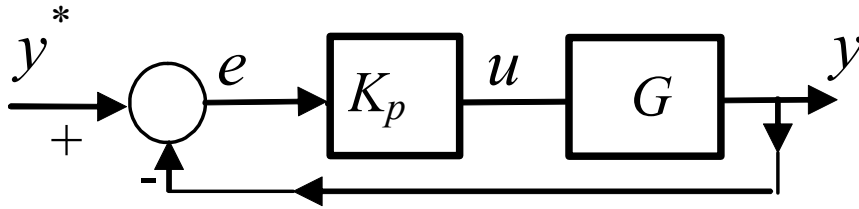
$$e_k = \lim_{t \rightarrow \infty} e(t) = \lim_{s \rightarrow 0} sE(s)$$

$$y_k = \lim_{t \rightarrow \infty} y(t) = \lim_{s \rightarrow 0} sY(s)$$

uchyby statyczny $e_s = \lim_{s \rightarrow 0} sE(s)$

$$e_s = \lim_{s \rightarrow 0} s(G_e Y^* + G_{ez} Z)$$

Regulator ciągły P



$$\begin{array}{l}
 G(s) = \frac{L_G(s)}{M_G(s)} \\
 R(s) = K_p
 \end{array}
 \left| \begin{array}{l}
 G_z = \frac{Y}{Y^*} = \frac{RG}{1+RG} \\
 G_z(s) = \frac{L_G(s)}{M_G(s) + K_p L_G(s)}
 \end{array} \right.
 \begin{array}{l}
 G_e = \frac{E}{Y^*} = \frac{1}{1+RG} \\
 G_e(s) = \frac{M_G(s)}{M_G(s) + K_p L_G(s)}
 \end{array}$$

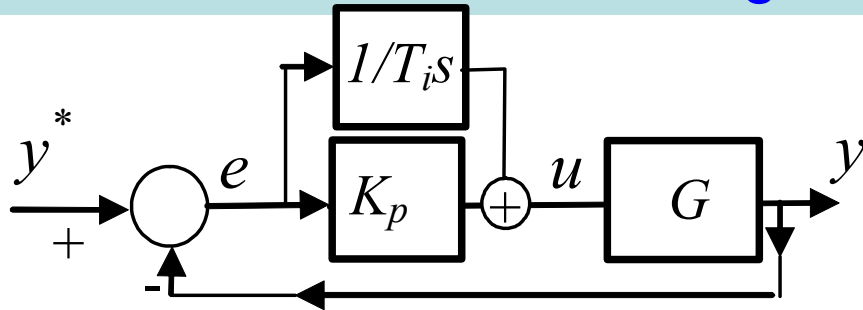
Uchyb regulacji w stanie ustalonym: $e_s = \lim_{t \rightarrow \infty} e(t) = \lim_{s \rightarrow 0} sE(s) = \lim_{s \rightarrow 0} sG_e(s)Y^*(s)$

- dla stałej wartości zadanej: $y^*(t) = y_k^* \rightarrow Y^*(s) = \frac{y_k^*}{s}$ jest $e_s = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{M_G(s)y_k^*}{M_G(s) + K_p L_G(s)}$

- oraz obiektu inercyjnego: $G(s) = \frac{k}{Ts + 1}$ jest $e_s = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{(Ts + 1)y_k^*}{Ts + 1 + K_p k} = \frac{y_k^*}{1 + K_p k} \neq 0$

Uchyb regulacji w stanie ustalonym $e_s = 0$ tylko jeśli $M(s=0) = 0$
(całkowanie na obiekcie)

Regulator ciągły PI



$$G(s) = \frac{L_G(s)}{M_G(s)}$$

$$R = K_p + \frac{1}{T_i s} = \frac{K_p T_i s + 1}{T_i s}$$

$$G_e = \frac{E}{Y^*} = \frac{1}{1 + RG}$$

$$G_e = \frac{M_G(s) T_i s}{M_G(s) T_i s + L_G(s) L_R(s)}$$

Uchyb regulacji w stanie ustalonym: $e_s = \lim_{t \rightarrow \infty} e(t) = \lim_{s \rightarrow 0} sE(s) = \lim_{s \rightarrow 0} sG_e(s)Y^*(s)$

- dla: $y^*(t) = y_k^* \rightarrow Y^*(s) = \frac{y_k^*}{s}$ jest $e_s = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{M_G(s) T_i s \cdot y_k^*}{M_G(s) T_i s + L_R(s) L_G(s)}$

- oraz: $G(s) = \frac{k}{T_s + 1}$ jest $e_s = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{(T_s + 1) T_i s \cdot y_k^*}{(T_s + 1) T_i s + (K_p T_i s + 1) k} = 0$

Uchyb regulacji w stanie ustalonym $e_s = 0$ - tym samym $y_k = y_k^*$
(jeśli tylko stopień licznika < stopnia mianownika)

1) Stabilność:

- *zapewnić stabilność (dobór nastaw)*
 - a) zastosowanie gotowych wzorów (metody Zieglera-Nicholsa i inne)
 - b) rozwiązanie r.charakterystycznego układu zamkniętego
 - c) kryteria Routha, Hurwitza dla r.ch. układu zamkniętego

....
- *zapas stabilności (np. na charakterystykach częstotliwościowych)*

2) Jakość:

- błąd statyczny
 - a) $e_s \neq 0$ dla P, $e_s = 0$ dla PI (obliczanie wartości końcowej e_s)
- błędy dynamiczne (błąd maksymalny, czas regulacji, ...)
- wrażliwość na zmianę nastaw

Jakość UR na różnych etapach projektowania

1. Założenia projektowe
 - zakładana określona jakość UR
2. Dobór nastaw
 - wybór metody doboru nastaw:
 - powinna zapewnić stabilność - czy zapewnia? (na modelu, na obiekcie)
 - „obiecuje” pewną jakość
3. Ocena jakości
 - wybór wskaźników jakości
 - błędy statyczne i dynamiczne
 - wskaźniki bezpośrednie i całkowite
 - zapas stabilności, wrażliwość na zmianę nastaw
4. Optymalizacja
 - poprawa dokładności
 - przyspieszenie reakcji:
 - realność (przebieg CV)
 - wpływ na zapas stabilności

