

Struktura układu regulacji

- UR jednoobwodowy

- przekaźnikowy

- ciągły

„silne” działanie regulatora
(duże K , małe T_i)

szybsze działanie
niestabilność

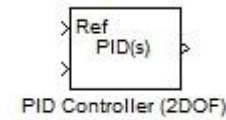
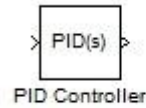
+

dodatkowe pętle wewnątrz obwodu regulacji
(częściowe eliminowanie stałej czasowej obiektu)

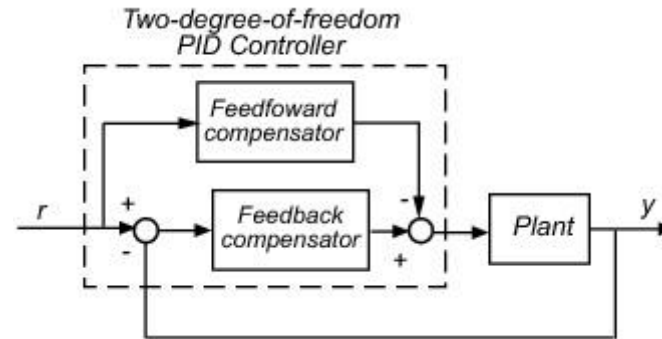
- **Wieloobwodowe układy regulacji**

- układy z wielkością pomocniczą
(dwie pętle regulacji, w każdej pętli regulator)
 -

1-2 regulatory



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



Feedforward compensator - PD,
Feedback compensator - PID

Własności:

- płynne śledzenie wartości zadanej
- dobre tłumienie zakłóceń

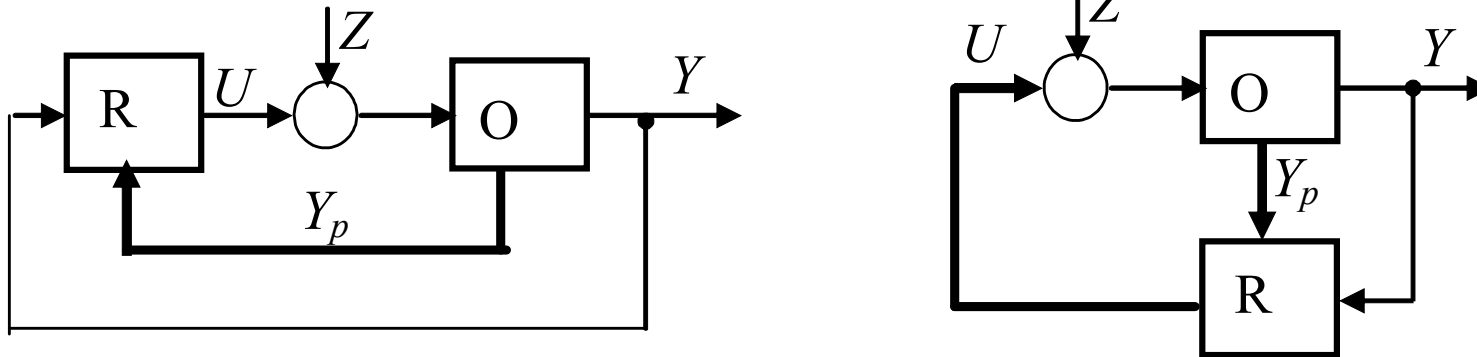
Projektowanie:

- 1) Feedforward – optymalizacja reakcji na zmianę w zadane
- 2) Feedback – odporność i tłumienie zakłóceń

Wieloobwodowe układy regulacji

1. Układ z pomocniczą wielkością regulowaną (kaskada)

Idea:



Pomocnicza wielkość regulowana Y_p

- pobierana w punkcie o małym opóźnieniu
- działa szybszy obwód pomocniczy

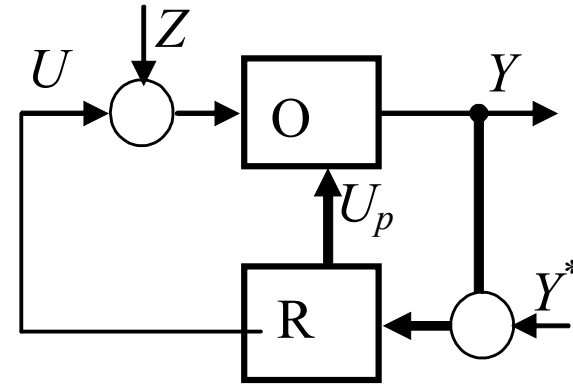
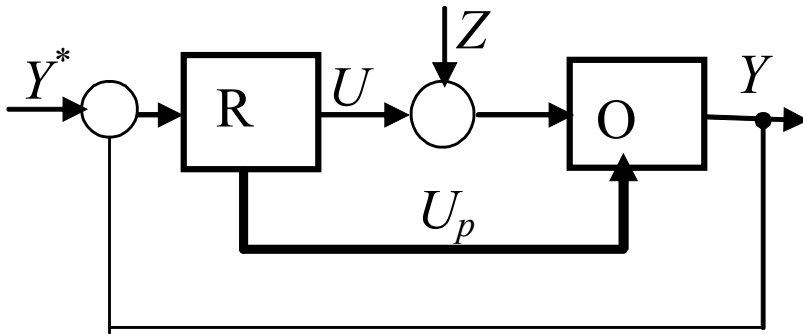
Własności:

- poprawia stabilność regulacji
- linearyzuje charakterystykę statyczną
- kompensuje wpływ zakłóceń

Wielobwodowe układy regulacji

2. Układ z pomocniczą wielkością sterującą

Idea:



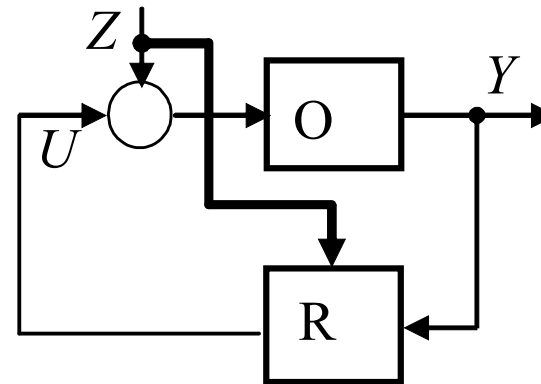
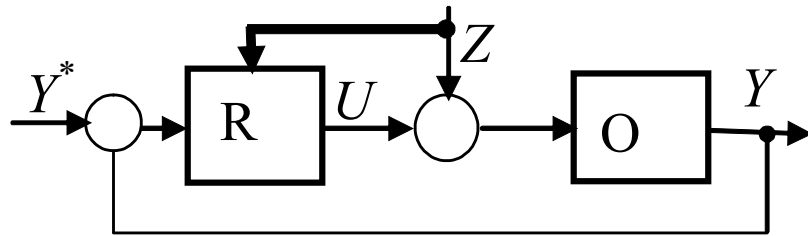
Pomocnicza wielkość sterująca U_p

- działanie u_p jest szybsze niż działanie podstawowej wielkości sterującej u

Wieloobwodowe układy regulacji

3. Układ z pomiarem zakłóceń

Idea:



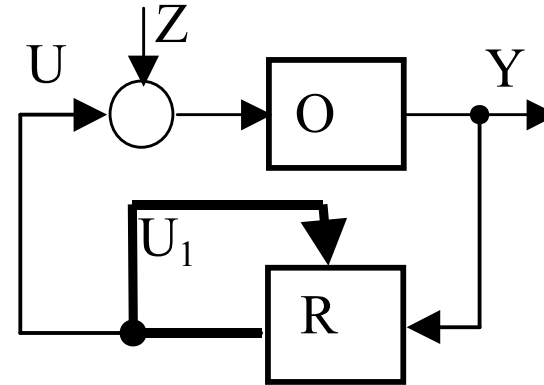
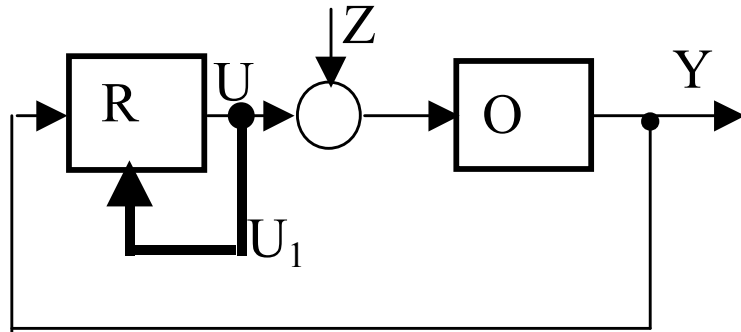
Pomiar zakłóceń Z

- przekazywany wprost do regulatora nie czekając aż ich wpływ uwidoczni się poprzez obiekt

Wieloobwodowe układy regulacji

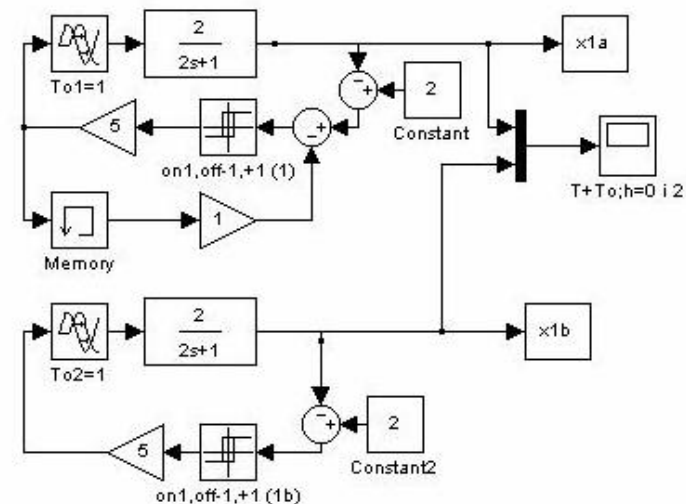
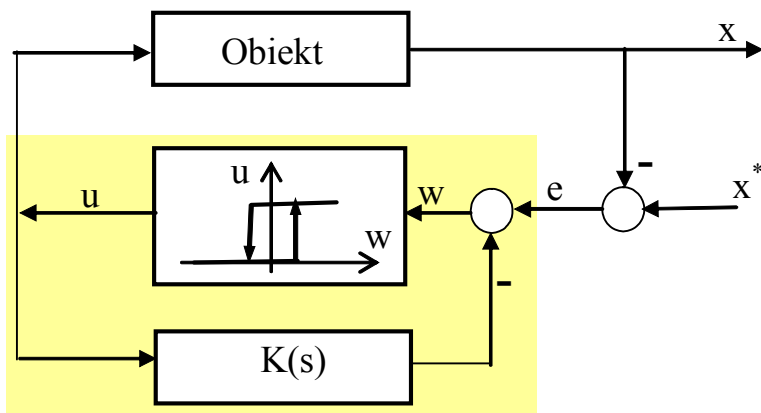
4. Układ ze sprzężeniem zwrotnym w regulatorze (korekcja)

Idea:



Wielkość pomocnicza wewnątrz regulatora

Przykład: Regulator 2 położeniowy z korekcją

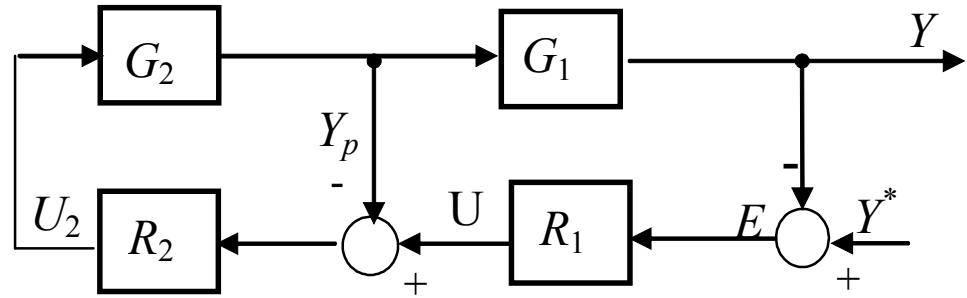
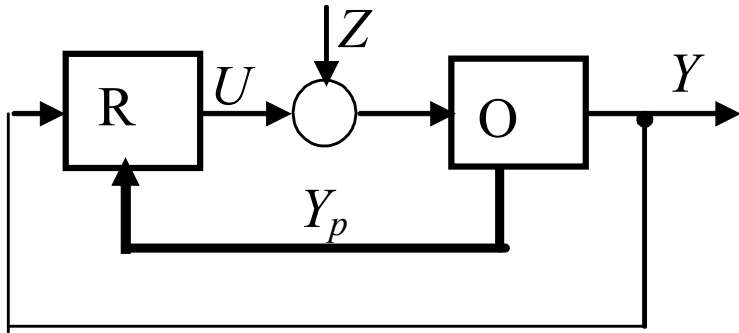


Wieloobwodowe układy regulacji

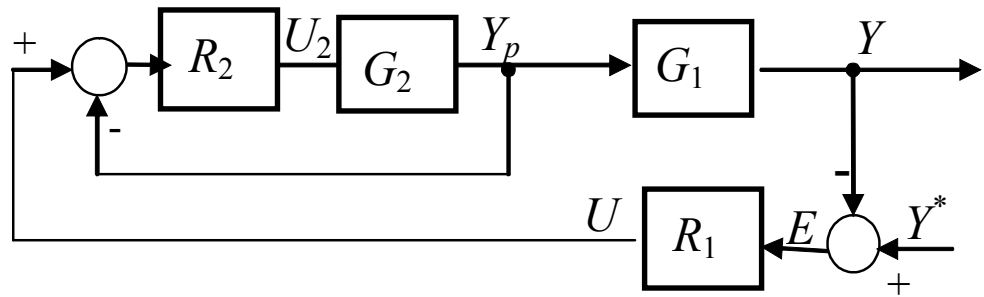
Układy regulacji z wielkością pomocniczą

1. pomocnicza wielkość regulowana y_p (kaskada)
2. pomocnicza wielkość sterująca u_p
3. pomiar zakłóceń z (jako wielkość pomocnicza)
4. wielkość pomocniczą wewnątrz regulatora

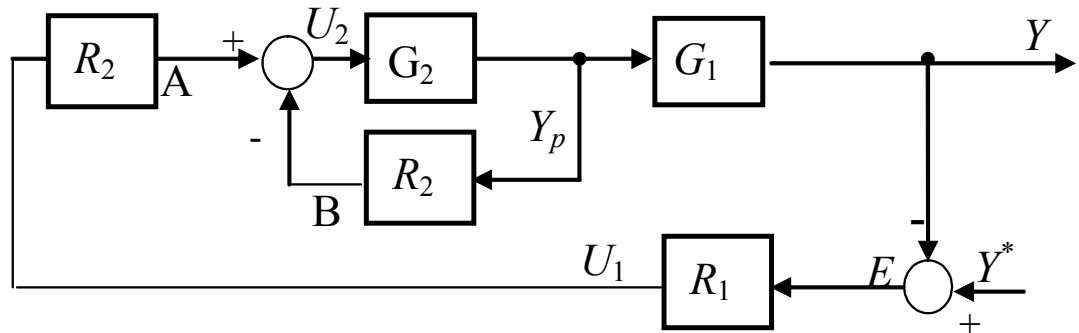
Regulacja kaskadowa



Sprzężenie korekcyjne R_2



Zał.: liniowe R_2

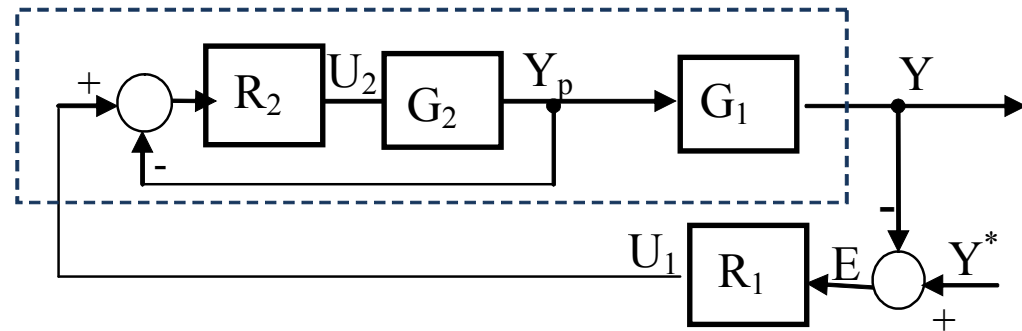


Regulacja kaskadowa

1) Neutralizacja własności dynamicznych części obiektu G_2 (korekcja)

Zał.: Liniowe R_2 i G_2

$$\frac{Y(s)}{U_1} = G_1(s) \frac{R_2(s)G_2(s)}{1 + R_2(s)G_2(s)}$$



- w paśmie częstotliwości, w którym $|R_2(j\omega)G_2(j\omega)| \gg 1$

jest $\frac{Y(s)}{U_1} \approx G_1(s)$ (własności części G_2 są „zneutralizowane”)

Dobór regulatorów i nastaw:

- regulator pomocniczy R_2 – wystarczy P (niezerowy uchyb nie ma znaczenia),
- regulator główny R_1 – zwykle PI (analogicznie jak w układach jednoobwodowych).

Matlab:

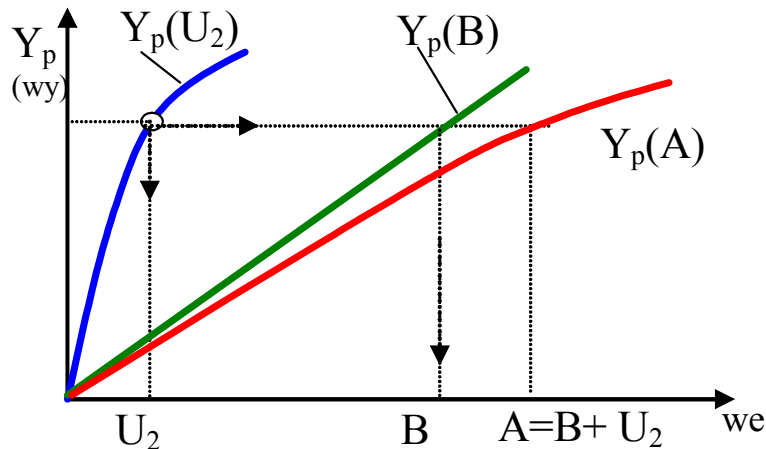
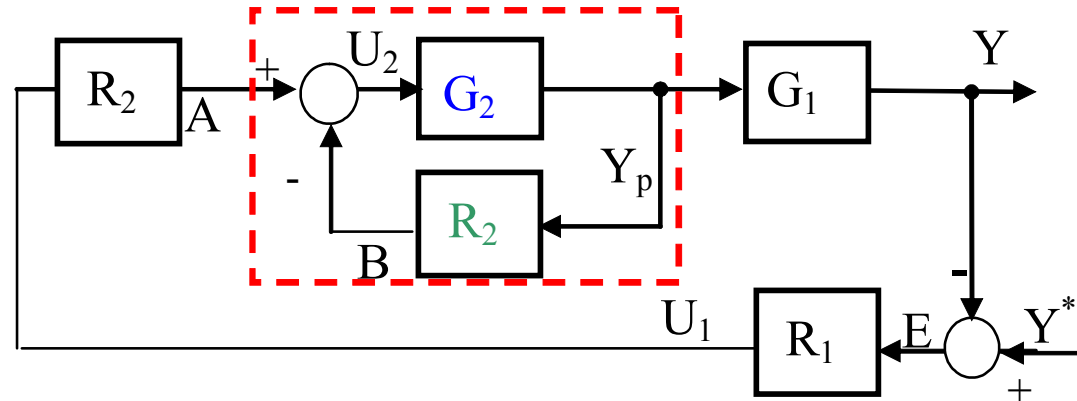
Regulacja kaskadowa

2) Linearyzacja charakterystyki statycznej obiektu

Zał.:

G_2 nieliniowe

$R_2 = K_{p2}$ (wystarczy $K_{p2} > 0$)



ch-ki pierwotne:

$Y_p(U_2)$ – ch-ka członu G_2

$Y_p(B)$ – odwrócona ch-ka regulatora $R_2 = K_{p2}$

$A = B + U_2$ – węzeł sumacyjny $U_2 = A - B$

ch-ka wypadkowa (zlinearyzowana)

$Y_p(A) = Y_p(B + U_2)$

Sposób wyznaczenia ch-ki wypadkowej:

- 1) dla każdego Y_p odczytać U_2
- 2) dla każdego Y_p odczytać B
- 3) dla każdego Y_p rysujemy $A = B + U_2$

Regulacja kaskadowa

3) Kompensacja zakłóceń

Zał.: dwa rodzaje zakłóceń

Z_2 – przed miejscem pomiaru (wpływają na Y_p)
 Z_1 – wpływają na Y_p dopiero po przejściu całego obwodu

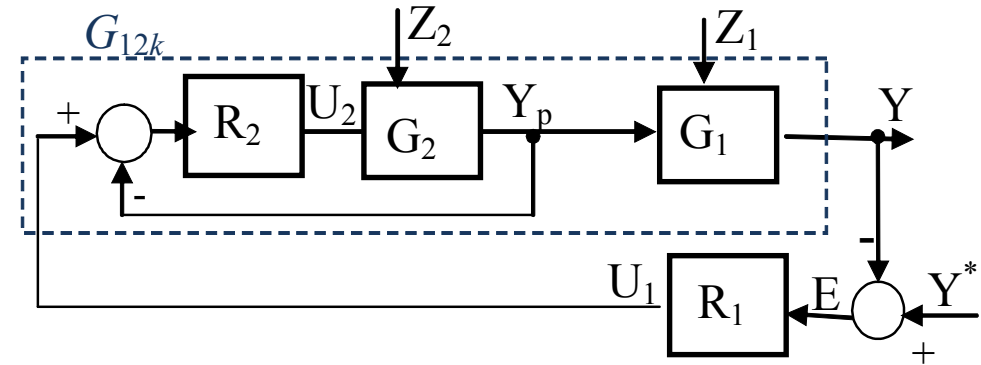
Badamy wskaźnik jakości:

$$\frac{E_{Z,r}(j\omega)}{E_{Z,b}(j\omega)} = \frac{1}{1 + G_R(j\omega)G_0(j\omega)}$$

$$\text{Dla } Z_1 \text{ jest: } q_1(j\omega) = \frac{1}{1 + R_1(j\omega)G_{12k}(j\omega)} = \frac{1}{1 + R_1(j\omega)G_1(j\omega) \frac{R_2(j\omega)G_2(j\omega)}{1 + R_2(j\omega)G_2(j\omega)}}$$

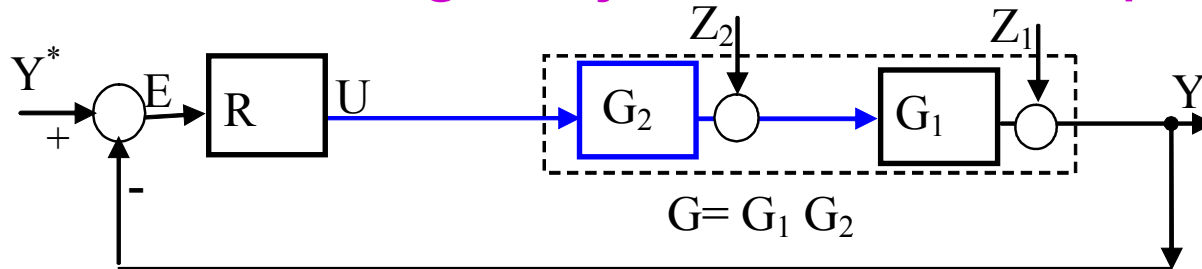
$$\text{Dla } Z_2 \text{ jest: } q_2(j\omega) = \frac{q_1(j\omega)}{1 + R_2(j\omega)G_2(j\omega)}$$

zakłócenia Z_2 są kompensowane silniej niż Z_1 ($1 + R_2G_2$) razy

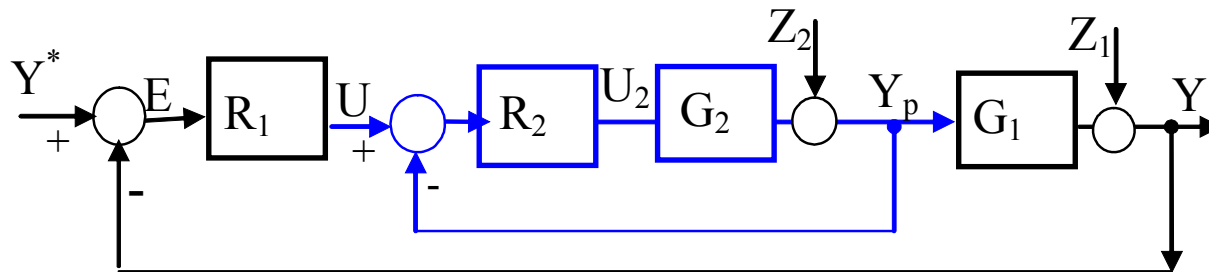


$$G_{12k}(s) = \frac{Y(s)}{U_1} = G_1(s) \frac{R_2(s)G_2(s)}{1 + R_2(s)G_2(s)}$$

Regulacja kaskadowa - projektowanie



$G_1 = \dots$
 $G_2 = \dots$
 opcje =
 $R = \text{pidtune}(G_1 * G_2, 'PI', \text{opcje})$



$G_1 = \dots$
 $G_2 = \dots$
 opcje1 =
 $R_2 = \text{pidtune}(G_2, 'PI', \text{opcje1})$

obiektK = feedback($G_2 * R_2$, 1)

opcje =

$R_1 = \text{pidtune}(\text{obiektK} * G_1, 'PI', \text{opcje})$

Porównanie własności pojedynczej pętli (sys1*) i kaskady (sys2*):

Zmiana w zadanej:

$$\text{sys1y} = \text{feedback}(G_1 * G_2 * R, 1)$$

$$\text{sys2y} = \text{feedback}(R_1 * \text{obiektK} * G_1, 1)$$

$$\text{step}(\text{sys1y}, 'r', \text{sys2y}, 'b')$$

Reakcja na zakłócenie Z1:

$$\text{sys1z1} = \text{feedback}(G_1, G_2 * R)$$

$$\text{sys2z1} = G_1 / (1 + G_2 * R_2 + G_1 * G_2 * R_1 * R_2)$$

$$\text{step}(\text{sys1z1}, 'r', \text{sys2z2}, 'b')$$

Matlab: Dobór nastaw wspomagany przez pidtune

<http://www.mathworks.com/help/control/ug/designing-cascade-control-system-with-pi-controllers.html>

Wieloobwodowe układy regulacji

Układy regulacji z wielkością pomocniczą

1. pomocnicza wielkość regulowana y_p (kaskada)
2. pomocnicza wielkość sterująca u_p
3. pomiar zakłóceń z (jako wielkość pomocnicza)
4. wielkość pomocniczą wewnątrz regulatora

Inne układy regulacji

Np. regulacja centralna i lokalna

Regulacja centralna i lokalna

Jak dodanie regulacji lokalnej zmienia dynamikę obiektu objętego pętlą regulacji centralnej?

Projektowanie złożonych systemów sterowania

- podejście „Bottom-Up”
 - podział systemy na oddzielne części
 - zalety: projektowanie i strojenie pętla po pętli
 - wady: problemy przy interakcji pętli
- podejście „Top-Down”
 - problem optymalizacyjny – analiza całego obiektu
 - techniki: optymalizacja, sterowanie w przestrzeni stanów