Ogólne zasady projektowe URA

- Dynamika obiektu regulacji naturalnie ewoluuje w ciągłej dziedzinie czasu
- Obiekt jest liniowy
- Sterownik jest projektowany dla nominalnego liniowego zakresu pracy
- Brak istotnych zakłóceń pomiarowych
- Projektowanie sterownika w ciągłej dziedzinie czasu
- Sterownik będziemy dyskretyzować na koniec projektowania

Heurystycznyc warunek, którego spełnienie uzasadnia przyjęte założenia 5-6:

$$T_p \leqslant \frac{1}{\rho\,|s_{\max}|}, \qquad \rho \geqslant 5$$

S_max to biegun o największym module spośród zbioru biegunów transmitancji obiektu regulacji oraz transmitancji zaprojektowanego URA czasu ciągłego. Spełnienie tego warunku pozwala oczekiwać, że jakość sterowania w URA ze sterownikiem dyskretnym nie będzie istotnie odbiegać od jakości sterowania uzyskanej w równoważnym URA ze sterownikiem z ciągłej dziedziny czasu.

Ekstrapolator zerowego rzędu:

$$G_h(s) = \frac{1-e^{-sT_p}}{sT_p} \approx e^{-sT_p/2} \text{ (dla } T_p \ll 1)$$

Projektowanie URA 1DOF musi uwzględniać konieczność kompromisu między efektywnością tłumienia wpływu zewnętrznego zaburzenia, jakością odtwarzania sygnału referencyjnego, a także zachowaniem wystaraczającej odporności URA.

Projektowanie URA 2DOF pozwala na dekompozycję procesu projektowego, w którym tor sprzężenia zwrotnego projektuje się w celu uzyskania wystarczającej odporoności URA natomiast poszczególne tory sprzężenia wyprzedzającego projektuje się w celu komepnsacji wpływu zaburzenia i precyzyjnego odtwrzania sygnału referencyjnego.

Projektowanie URA 1DOF

- Metoda IMC/SIMC

Dekompozycja modelu stabilnego obiektu na część odwracalną i część wszechprzepustową (nieodwracalną)

$$G_o(s) = G_o^*(s)e^{-sT_o} = G_{oi}(s)G_{oa}(s)$$

Przyjąć żądaną postać transmitancji URA:

$$G_c(s) \triangleq \frac{Y_r(s)}{Y(s)} = \frac{G_R(s)G_o(s)}{1+G_R(s)G_o(s)} := G_F(s)G_{oa}(s)$$

$G_F(s) \triangleq \frac{1}{(1+sT_c)^n}$ jest dynamiką pomocniczą ($n > 0, T_c > 0$ – parametry projektowe)

Wyznaczyć transmitancję regulatora:

$$G_R(s) = \frac{G_F(s)}{1-G_F(s)G_{oa}(s)} \cdot \frac{1}{G_{oi}(s)}$$

Dla metody SIMC zaleca sie Tc=To. Założenie obu metod to stałość sygnału referencyjnego (lub odcinkami stały). Nastawy IMC dają bardzo dobrą jakość odpowiedzi w torze yr -> y, ale powolne tłumienie wpływu zaburzeń zewnętrznych. Nastawy wg metody SIMC poprawiają szybkości tłumienia wpłwu zaburzenia stałego przy zachowaniu wystarczającej odporności stabilności URA.

- Metoda lokowania biegunów

$$G_o(s) \triangleq K\frac{L_o^*(s)}{M_o^*(s)}e^{-sT_o} \approx K\frac{L_o(s)}{M_o(s)}, \qquad G_R(s) \triangleq \frac{L_R(s)}{M_R(s)}$$

$$G_c(s) = \frac{G_R(s)G_o(s)}{1+G_R(s)G_o(s)} = \frac{KL_R(s)L_o(s)}{M_R(s)M_o(s)+KL_R(s)L_o(s)} =: \frac{K_cL_c(s)}{M_c(s)}$$

$$M_c(s) := M_d(s) \quad \overset{(8)}{\Longrightarrow} \quad M_R(s)M_o(s)+KL_R(s)L_o(s) := M_d(s)$$

Md(s) to wielomian zadany/ projektowy. Położenie zer URA to skutek uboczny projektowania lokowania biegunów URA.

Wielomian z modami oscylacyjnymi:

$$M_d(s) \triangleq \underbrace{(s+\beta\xi\omega_0)^p}_{\text{bieguny nieznaczące}} \cdot \underbrace{(s^2+2\xi\omega_0 s+\omega_0^2)^m}_{\text{bieguny dominujące}}$$

Wielomian z biegunem wielokrotnym:

$$M_d(s) \triangleq \left(s+\frac{1.6(1.5+n)}{T_{s2\%}}\right)^n$$

- $\beta \in [2.0; 5.0]$ – współczynnik przesunięcia biegunów nieznaczących
  zbyt duża wartość β prowadzi do zbyt dużych wartości nastaw regulatora
- $\deg(M_d(s)) = (p+2m) := \deg(M_c(s)) \leftarrow$ określa rząd dynamiki $G_c(s)$
  określenie rzędu dynamiki URA wynika z przyjętej struktury transmitancji regulatora
- $\xi \in (0; 1]$ – względny współczynnik tłumienia
  przyjęcie $\xi \geqslant 1/\sqrt{2} \approx 0.707 \Rightarrow$ brak rezonansu w URA i $\kappa_{\%} < 5\%$; tłumienie krytyczne $\xi = 1 \Rightarrow \kappa_{\%} = 0$
- $\omega_0 > 0$ – pulsacja nietłumionych drgań własnych URA
  dla $\xi = 1$ pulsacja ω_0 określa szybkość odpowiedzi URA; w serwonapędach: $\omega_0 \leqslant \frac{\omega_r}{2}$, ω_r – pulsacja rezonansowa
- $T_{s\alpha\%}$ – czas ustalania odpowiedzi URA do tunelu $\alpha\%$
  aproksymacje: $\underbrace{T_{s1\%} \approx 5T_c}_{\text{dla } n=1}$, $\underbrace{\xi \approx 1 \Rightarrow T_{s2\%} \approx \frac{2\pi}{\xi\omega_0}}_{\text{dla } n=2}$, $\underbrace{\xi = \frac{1}{\sqrt{2}} \Rightarrow T_{s5\%} \approx \frac{3.35}{\xi\omega_0}}_{\text{dla } n=2}$

Projektowanie URA 2DOF

- Projektowanie sprzężenia wyprzedzającego FFr

$$Y(s) = \underbrace{\frac{G_o(s)(G_{\mathrm{FFr}}(s)+G_R(s)H_{\mathrm{FFr}}(s))}{1+G_o(s)G_R(s)}}_{G_c(s)}Y_r(s) + \underbrace{\frac{G_o(s)\left(\frac{1}{G_{o1}(s)}+G_{\mathrm{FFd}}(s)\right)}{1+G_o(s)G_R(s)}}_{G_d(s)}D(s)$$

Celem jest uzyskanie żeby Gc=Gc*, gdzie Gc* to rządana postać transmitancji. Mamy dwie reguły:

$$\boxed{H_{\mathrm{FFr}}(s) \triangleq G_c^*(s) \quad \wedge \quad G_{\mathrm{FFr}}(s) \triangleq \frac{1}{G_o(s)} G_c^*(s)}$$

$$\boxed{H_{\mathrm{FFr}}(s) \triangleq G_c^*(s) \left(\frac{G_o(s) G_R(s)}{1 + G_o(s) G_R(s)} \right)^{-1} \quad \wedge \quad G_{\mathrm{FFr}}(s) \triangleq 0}.$$

Jeżeli yref jest trajektorią różniczkowalną o znanych pochodnych to przyjmuje się Gc* równe 1.

$$H_{\mathrm{FFr}}(s) \overset{(12)}{=} G_c^*(s) \left(\frac{K_c L_c(s)}{M_c(s)} \right)^{-1} = \frac{1}{L_c(s)}, \quad \text{gdy} \quad G_c^*(s) := \frac{K_c}{M_c(s)}$$

- Projektowanie sprzężenia wyprzedzającego FFd

$$G_{\mathrm{FFd}}(s) \triangleq \frac{-1}{G_{o1}(s)}$$

Dyskretyacja równań sterownika

$$G_R(z) = G_R(s)|_{s:=f(z,T_p)}$$

$$f(z, T_p) = \begin{cases} (z-1)/T_p & \text{dla metody Eulera w przód (EF)} \\ (z-1)/(zT_p) & \text{dla metody Eulera wstecz (EB)} \\ \frac{2}{T_p}(z-1)/(z+1) & \text{dla metody Tustina (Tus)} \end{cases}$$

Korektor anty-windup