A mintavételes Smith prediktor

1. A gyakorlat célja

Mintavételes Smith prediktor tervezése integráló jellegű holtidős folyamatokra. A szabályozás vizsgálata szimulációkkal.

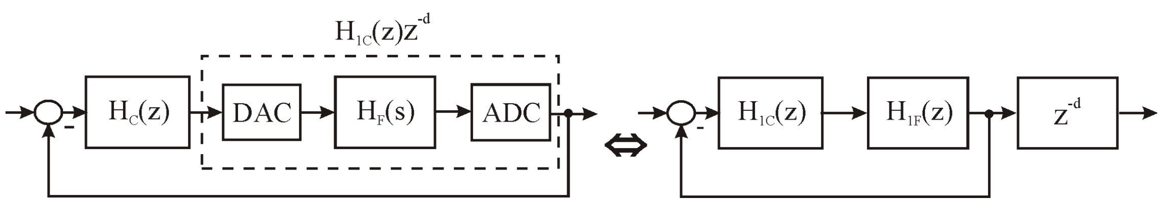
2. Elméleti bevezető

A Smith prediktor segítségével holtidős folyamatok szabályozásánál is előírt tranzienseket biztosíthatunk. A szabályozás tervezésénél abból indulhatunk ki, hogy az irányított folyamatban levő holtidő, miatt például egységugrás alapjelnél, a szabályozási hiba hatása biztosan nem jelenik meg az irányított folyamat kimenetén, amíg a holtidő el nem telik (és ezért a szabályozónak nincs információja a beavatkozó jelnek a kimenetre gyakorolt hatásáról). Így célszerű olyan szabályozót alkalmazni, amely garantálja, hogy a szabályozási kör úgy viselkedjen, mint egy jól megtervezett holtidő nélküli szabályozási rendszer, kiegészítve egy extra holtidős taggal.

Legyen a mintavételezett rendszer modellje: $H_F(z)=H_{1F}(z)\cdot z^{-d}$. A tervezés két lépésből áll

Az *első lépés*ben szabályozót tervezünk a holtidő nélküli $H_{F1}(z)$ folyamatnak. Alkalmazható az előírt modell alapú tervezés, tehát keressük azt a szabályozót, amely garantálja, hogy a szabályozási rendszer zárt körben úgy viselkedjen, mint egy előírt mintarendszer $H_{Ref1}(z)$. Ismert, hogy a szabályozó alakja ez esetben:

$$H_{1C}(z)=\frac{1}{H_{F1}(z)}\cdot\frac{H_{\mathrm{Re}f1}(z)}{1-H_{\mathrm{Re}f1}(z)} \qquad (1)$$



1 Ábra: Mintavételes Smith prediktor tervezése

A tervezés második lépése az 1 Ábra alapján:

$$H_0(z)=\frac{H_C(z)\cdot H_F(z)}{1+H_C(z)\cdot H_F(z)}=\frac{H_C(z)\cdot H_{1F}(z)\cdot z^{-d}}{1+H_C(z)\cdot H_{1F}(z)\cdot z^{-d}}=\frac{H_{1C}(z)\cdot H_{1F}(z)}{1+H_{1C}(z)\cdot H_{1F}(z)}\cdot z^{-d} \qquad (2)$$

$$H_C(z)\cdot H_{1F}(z)\cdot z^{-d}\left(1+H_{1C}(z)\cdot H_{1F}(z)\right)=H_{1C}(z)\cdot H_{1F}(z)\left(1+H_C(z)\cdot H_{1F}(z)\cdot z^{-d}\right)z^{-d}$$
$$H_C(z)\cdot\left(1+H_{1C}(z)\cdot H_{1F}(z)-H_{1C}(z)\cdot H_{1F}(z)\cdot z^{-d}\right)=H_{1C}(z)$$

A Smith prediktor modellje:

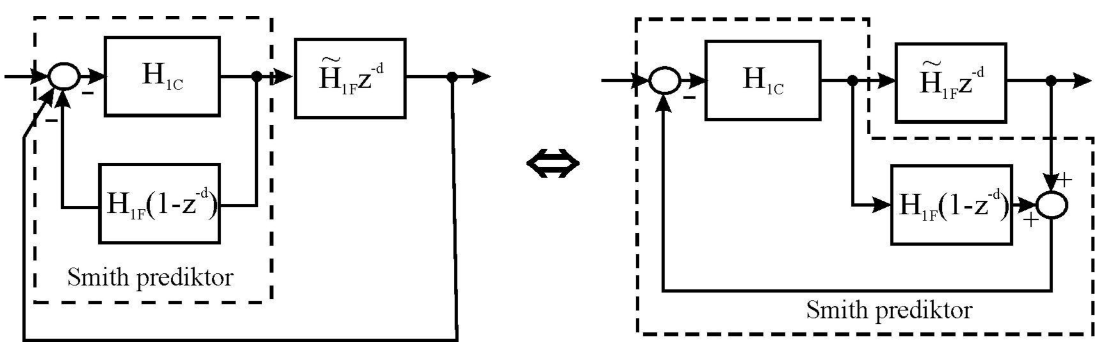
$$H_C(z)=\frac{H_{1C}(z)}{1+H_{1C}(z)\cdot H_{1F}(z)\cdot\left(1-z^{-d}\right)} \tag{3}$$

A Smith prediktor meglehetősen érzékeny az irányított folyamat paramétereinek megváltozására. Ha az irányított folyamat modellje $\tilde{H}_{1F}(z)$, miközben a szabályozót a $H_{1F}(z)$ modellel terveztük meg, a zárt rendszer átviteli függvénye:

$$H_0(s)=\frac{H_C(z)}{1+H_C(z)\cdot\tilde{H}_F(z)}\cdot\tilde{H}_F(z)$$
$$H_0(s)=\frac{\dfrac{H_{1C}(z)}{1+H_{1C}(z)\cdot H_{1F}(z)\cdot\left(1-z^{-d}\right)}}{1+\dfrac{H_{1C}(z)\cdot\tilde{H}_{1F}(z)\cdot z^{-d}}{1+H_{1C}(z)\cdot H_{1F}(z)\cdot\left(1-z^{-d}\right)}}\cdot\tilde{H}_{1F}(z)\cdot z^{-d}$$
$$H_0(s)=\frac{H_{1C}(z)}{1+H_{1C}(z)\cdot H_{1F}(z)\cdot\left(1-z^{-d}\right)+H_{1C}(z)\cdot\tilde{H}_{1F}(z)\cdot z^{-d}}\cdot\tilde{H}_{1F}(z)\cdot z^{-d}$$

$$H_0(s)=\frac{H_{1C}(z)\cdot\tilde{H}_{1F}(z)}{z^d+H_{1C}(z)\cdot H_{1F}(z)\cdot z^d+H_{1C}(z)\cdot\underbrace{\left(\tilde{H}_{1F}(z)-H_{1F}(z)\right)}_{Modellbizonytalanság}} \tag{4}$$

A zárt rendszer nevezője nagy d esetén magas fokszámú polinom lesz, ezért a rendszer pólusai viszonylag kis paraméterváltozások esetén is jelentősen módosulhatnak, megváltoztatva a rendszer tranziens viselkedését.
A (4) összefüggés alapján látszik, hogy a Smith prediktor valójában egy visszacsatolt rendszer. A prediktáló (jósló) tulajdonsága a módosított blokkrajz alapján látható. A $H_{1F}(z)\cdot\left(1-z^{-d}\right)$ komponens második tagja ’megjósolja’ és kompenzálja a holtidős folyamat kimenetét, (amennyiben $\tilde{H}_{1F}(z)\cong H_{1F}(z)$).



2 Ábra: Smith prediktor bizonytalanul ismert folyamatmodellel

A 2 Ábra alapján a beavatkozó jelben az alábbi formában jelenik meg a paraméterváltozások hatása:

$$u = H_C(z)\left(r - H_{1F}(z)\cdot u\right) = H_C(z)(r-y)$$

$$u = H_C(z)\left(r - \left(\tilde{H}_{1F}(z)\cdot z^{-d} + H_{1F}(z)\left(1-z^{-d}\right)\right)\cdot u\right) = H_C\left(r - H_{1F}(z)u + \underbrace{\left(H_{1F}(z) - \tilde{H}_{1F}(z)\right)\cdot z^{-d}\cdot u}_{\text{Hiba a paraméterváltozások miatt}} \right)$$

Tehát a Smith prediktor akkor alkalmazható jó eredménnyel, ha a folyamat struktúráját, paramétereit pontosan ismerjük.

3. A *mérés menete*

Feladat: Legyen az alábbi integrátort és holtidőt tartalmazó folyamat:

$$H(s) = H_1(s)e^{-s\tau} = \frac{K_F}{s(T_F s+1)}e^{-s\tau}$$

A folyamat paraméterei: $K_F=1$, $T_F=10$ másodperc (mp), $\tau=10$ mp. Tervezzünk a rendszernek mintavételes Smith prediktort úgy, hogy a zárt rendszer túllövése *4.3%*, szabályozási ideje $T_{2\%}=30$ mp legyen. A mintavételi periódus 1 másodperc legyen.

A tervezés lépései:

Vezessük be a következő jelöléseket:

A minatvételes referencia rendszer átviteli függvénye: $H_{ref1}(z) = \dfrac{B_{ref}(z)}{A_{ref}(z)}$

A folyamat átviteli függvénye: $H_{f1}(z) = \dfrac{B_f(z)}{A_f(z)}$

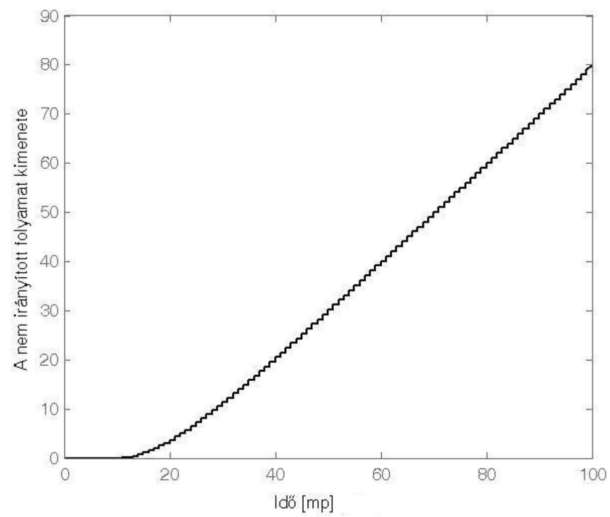
A holtidő nélküli rendszerre tervezett szabályozófüggvénye: $H_{1C}(z) = \dfrac{S(z)}{R(z)}$

A Simth prediktor átviteli függvénye átviteli függvénye: $H_C(z) = \dfrac{S_S(z)}{S_S(z)}$

A zárt rendszer átviteli függvénye átviteli függvénye: $H_0(z) = \dfrac{B_0(z)}{A_0(z)}$

1. Tervezzünk szabályozót a $H_1(s)$ holtidő nélküli rendszernek úgy, hogy a holtidő nélküli szabályozási rendszer teljesítse az előírt követelményeket. Alkalmazzuk a

referenciamodell alapú tervezés módszerét. Válasszuk referenciarendszernek (H_{ref1}) a másodfokú lengőrendszert az alábbi paraméterekkel $\xi = \sqrt{2}/2$ (közismert, hogy ez *4.3%* túllövésnek felel meg) és $\omega_n=4/(T_{2\%}\xi)=0.188$.
Mintavételezzük az irányított folyamatot leíró modellt és a referenciamodellt a holtidő tízedének megfelelő mintavételi periódussal $T=\tau/10=1$ mp ($d=10$). A mintavételezéshez a Matlab '*c2dm*' függvényét alkalmazhatjuk '*zoh*' paraméterezéssel. Vizsgáljuk a folyamat egységugrásra adott válaszát. A mintavételezett folyamat egységugrásra adott válasza a 3 Ábrán látható.



3 Ábra: A folyamat egységugrásra adott válasza

2. Határozzuk meg a holtidő nélküli folyamatra tervezett szabályozó átviteli függvényének számlálóját, nevezőjét. A bevezetett jelölések és az (1) összefüggés alapján:

$$H_{1C}(z) = \frac{S(z)}{R(z)} = \frac{A_f \cdot B_{ref}}{B_f \cdot (A_{ref} - B_{ref})}$$

A polinomokat a *conv* Matlab függvénnyel szorozhatjuk össze. Összeadásnál és kivonásnál, ha két polinom hossza nem egyenlő akkor a kisebb fokszámút fel kell tölteni zérókkal, hogy a fokszámuk megegyezzen.

3. Határozzuk meg a Simth prediktor átviteli függvényének számlálóját, nevezőjét. A bevezetett jelölések és az (3) összefüggés alapján:

$$H_C(z) = \frac{S_S(z)}{R_S(z)} = \frac{A_f \cdot S \cdot z^d}{A_f \cdot S \cdot z^d + B_f \cdot S \cdot (z^d - 1)}$$

4. Határozzuk meg a Simth prediktorral irányított zárt rendszer átviteli függvényének számlálóját, nevezőjét. A bevezetett jelölések és az (2) összefüggés alapján:

$$H_0(z) = \frac{B_0(z)}{A_0(z)} = \frac{B_f \cdot S_S}{A_f \cdot R_S \cdot z^d + B_f \cdot S_S}$$

5. A *dstep* utasítással vizsgálja a zárt rendszer válaszát, hogy teljesíti-e a szabályozási követelményeket.

6. Vizsgálja a Smith prediktor robusztosságát. A zárt rendszer átviteli függvényében módosítsa az A_f és B_f polinomok paramétereit és vizsgálja a rendszer válaszát.

4. Kérdések és feladatok

1. Mi az előnye a Smith prediktornak a klasszikus PID szabályozással szemben? Mi a hátránya a Smith prediktornak a klasszikus PID szabályozással szemben?
2. Írjon egy függvényt C nyelven, amely megvalósítja a Smith prediktort.
3. Valósítsa meg a Smith prediktoros szabályozási rendszert Simulink modellként a 2 Ábra alapján.