Holtidős rendszerek irányítása Smith prediktorral

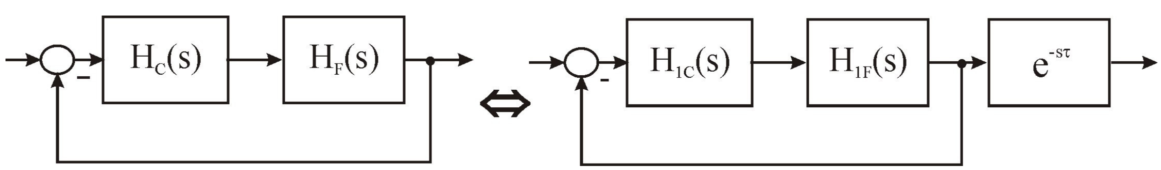
A Smith prediktor segítségével holtidős folyamatok szabályozásánál is előírt tranzienseket biztosíthatunk. A szabályozás tervezésénél abból indulhatunk ki, hogy az irányított folyamatban levő holtidő, miatt például egységugrás alapjelnél, a szabályozási hiba hatása biztosan nem jelenik meg az irányított 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 az irányított folyamat modellje: $H_F(s) = H_{F1}(s) \cdot e^{-s\tau}$.

A szabályozó tervezés két lépésből áll. Az *első lépés*ben szabályozót tervezünk a holtidő nélküli $H_{F1}(s)$ 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 $H_{Ref1}(s)$. Ismert, hogy a szabályozó alakja ez esetben:

$$H_{1C}(s) = \frac{1}{H_{F1}(s)} \cdot \frac{H_{\mathrm{Re}f1}(s)}{1 - H_{\mathrm{Re}f1}(s)} \tag{6.23}$$

A $H_{1C}(s)$ ismeretében, a *második lépésben* szabályozót tervezünk a holtidős rendszernek úgy, hogy a holtidős szabályozási rendszernek ugyanaz a válasza legyen, mint az első lépésben megtervezett szabályozási rendszernek, csak τ holtidő késleltetéssel (lásd 6.19 Ábra).



Hiba! Nincs ilyen stílusú szöveg a dokumentumban.**.1 Ábra: A Smith prediktor tervezése**

Egyenlővé téve a zárt rendszereket kapjuk a Smith prediktor modelljét:

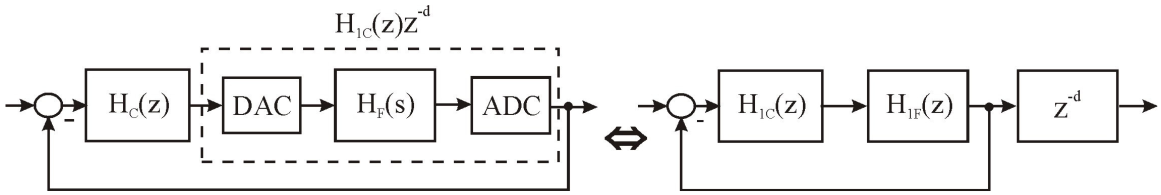
$$H_0(s) = \frac{H_C(s) \cdot H_F(s)}{1 + H_C(s) \cdot H_F(s)} = \frac{H_C(s) \cdot H_{1F}(s) \cdot e^{-s\tau}}{1 + H_C(s) \cdot H_{1F}(s) \cdot e^{-s\tau}} = \frac{H_{1C}(s) \cdot H_{1F}(s)}{1 + H_{1C}(s) \cdot H_{1F}(s)} \cdot e^{-s\tau}$$

$$H_C(s) \cdot H_{1F}(s) \cdot e^{-s\tau}\left(1 + H_{1C}(s) \cdot H_{1F}(s)\right) = H_{1C}(s) \cdot H_{1F}(s)\left(1 + H_C(s) \cdot H_{1F}(s) \cdot e^{-s\tau}\right)e^{-s\tau}$$

$$H_C(s) \cdot \left(1 + H_{1C}(s) \cdot H_{1F}(s) - H_{1C}(s) \cdot H_{1F}(s) \cdot e^{-s\tau}\right) = H_{1C}(s)$$

$$H_C(s) = \frac{H_{1C}(s)}{1 + H_{1C}(s) \cdot H_{1F}(s) \cdot \left(1 - e^{-s\tau}\right)} \tag{6.24}$$

Mivel a modell holtidős tagot is tartalmaz, analóg módon (műveleti erősítővel, passzív RLC hálózattal) nem valósítható meg. Mintavételesen azonban könnyű a holtidőt megvalósítani, ugyanis a holtidő d mintavételnyi késleltetést jelent (lásd (6.7) összefüggés). Ezért a gyakorlatban a mintavételes Smith prediktor elterjedt. Legyen a mintavételezett rendszer modellje: $H_F(z) = H_{1F}(z)\cdot z^{-d}$. A tervezés ugyanúgy történik, mint folytonos esetben. (lásd 6.20 Ábra)



Hiba! Nincs ilyen stílusú szöveg a dokumentumban.**.2 Ábra: Mintavételes Smith prediktor tervezése**

Mintavételes esetben ugyanolyan alakban kapjuk a Smith prediktort, mint folytonos esetben:

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

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

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

$$H_C(z) = \frac{H_{1C}(z)}{1+H_{1C}(z)\cdot H_{1F}(z)\cdot\left(1-z^{-d}\right)} \tag{6.25}$$

1.1.1. A Smith prediktorral megvalósított szabályozás robusztussága

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:

$$H_0(s) = \frac{H_C(z)}{1+H_C(z)\cdot\tilde{H}_F(z)}\cdot\tilde{H}_F(z)$$

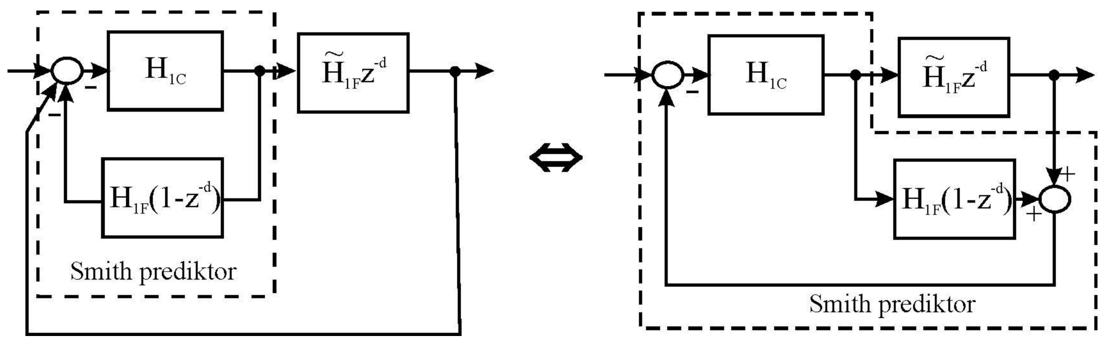
$$H_0(s) = \frac{\dfrac{H_{1C}(z)}{1+H_{1C}(z)\cdot H_{1F}(z)\cdot\left(1-z^{-d}\right)}}{1+\dfrac{H_{1C}(z)\cdot\tilde{H}_{1F}(z)\cdot z^{-d}}{1+H_{1C}(z)\cdot H_{1F}(z)\cdot\left(1-z^{-d}\right)}}\cdot\tilde{H}_{1F}(z)\cdot z^{-d}$$

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

$$H_0(s) = \frac{H_{1C}(z) \cdot \tilde{H}_{1F}(z)}{z^d + H_{1C}(z) \cdot H_{1F}(z) \cdot z^d + H_{1C}(z) \cdot \underbrace{\left(\tilde{H}_{1F}(z) - H_{1F}(z)\right)}_{Modellbizonytalanság}} \tag{6.26}$$

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 (6.25) 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 $\tilde{H}_{1F}(z) \cong H_{1F}(z)$).



Hiba! Nincs ilyen stílusú szöveg a dokumentumban.**.3 Ábra: Smith prediktor bizonytalanul ismert folyamatmodellel**

A 6.21 Ábra alapján a beavatkozó jelben az alábbi formában jelenik meg a paraméterváltozások hatása:

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

$$u = H_C(z)\left(r - \left(\tilde{H}_{1F}(z) \cdot z^{-d} + H_{1F}(z)\left(1 - z^{-d}\right)\right) \cdot u\right) = H_C\left(r - H_{1F}(z)u + \underbrace{\left(H_{1F}(z) - \tilde{H}_{1F}(z)\right) \cdot z^{-d} \cdot u}_{Hiba\ a\ paraméterváltozások\ miatt}\right) \tag{6.27}$$

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