Szervomotor pozíciószabályozása

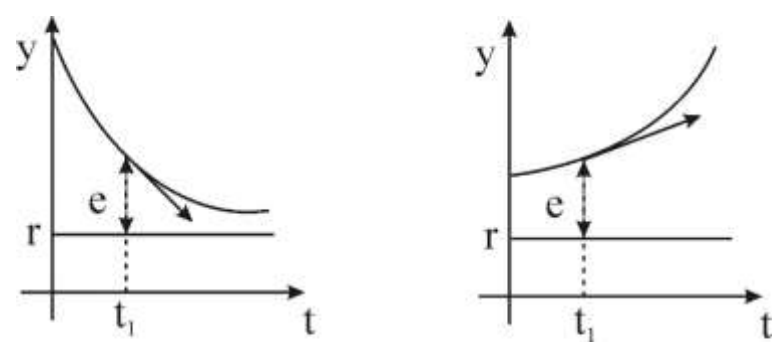
1. A gyakorlat célja

Egyenáramú szervomotor pozíciószabályozásának tervezése. A pozíció irányítási algoritmus megvalósítása valós időben. A pozíció szabályozás tranziensének archiválása, grafikus megjelenítése.

2. Elméleti bevezető

A PD szabályozó

A Proporcionális - Deriváló kialakítás figyelembe veszi a hiba változását is. A deriváló csatorna a hiba változásából következtet a hiba tendenciájára, jövőbeli alakulására és a szabályozó ezt is figyelembe veszi a beavatkozó jel számításánál.
A 1 Ábra a szabályozási hiba (*e*) lehetséges alakulását szemlélteti. Mindkét esetben a $t=t_1$ pillanatban az aktuálisan mért hiba értéke megegyezik, de az első esetben a folyamat kimenete közeledik az alapjelhez, a második esetben a folyamat kimenete távolodik az alapjeltől. A PD szabályozó a két esetben másképp reagál: a kiszámított beavatkozó jel nagyobb lesz abban az esetben, amikor a kimenet távolodik az alapjeltől, figyelembe véve a hibafüggvény irányát az aktuális szabályozási pillanatban.



1. Ábra: A hiba változása

A beavatkozó jel számításánál a hiba tendenciáját a hiba deriváltjával jellemezzük:

$$u(t) = K_P\left(e(t) + T_d \frac{de}{dt}\right), \quad K_P, T_d > 0 \tag{1}$$

$T_d > 0$ paraméter a deriválási idő.
A szabályozó átviteli függvénye:

$$u(s) = K_P\left(e(s) + T_d\, s e(s)\right)$$
$$H_{PD}(s) = \frac{u(s)}{e(s)} = K_P\left(1 + T_d\, s\right) \tag{2}$$

Látszik, hogy az átviteli függvény nem kauzális, így az ideális folytonos idejű PD szabályozó nem megvalósítható.
A mintavételes kialakításnál a deriváló csatorna megvalósításához a hátratartó differencia közelítést alkalmazhatjuk.

$$\frac{de}{dt} \cong \frac{e_k - e_{k-1}}{T} \tag{3}$$

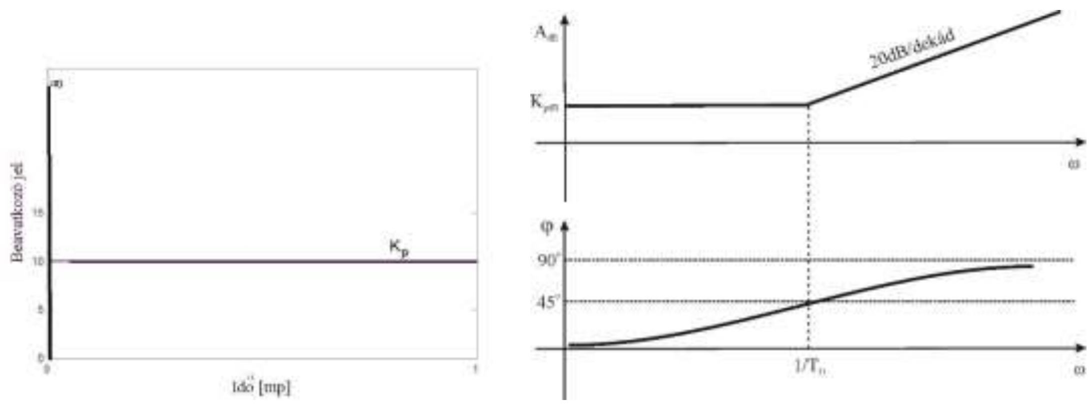
T a mintavételi periódust jelöli.
A (3) alapján a beavatkozó jel számítása a *k*-ik mintavételben:

$$u_k = K_P \cdot \left(e_k + T_d\, \frac{e_k - e_{k-1}}{T}\right) \tag{4}$$

A mintavételes approximáció átviteli függvényének felírásához a *Z* transzformáltat alkalmazhatjuk:

$$u_k = K_P\left(1 + \frac{T_d}{T}\right)e_k - K_P\, \frac{T_d}{T}\, e_{k-1} = q_0 e_k + q_1 e_{k-1}$$
$$u(z) = q_0 e(z) + q_1 z^{-1} e(z)$$
$$H_{PD}(z) = \frac{u(z)}{e(z)} = \frac{q_0 z + q_1}{z} \tag{5}$$

Látszik, hogy a mintavételes átviteli függvény már kauzális, miközben a folytonos nem. Ez azért lehetséges, mert a mintavételes átvitel nem az ideális PD, hanem a PD szabályozó approximációját modellezi, a felírásához a (2) approximációt alkalmaztuk.
A folytonos ideális PD szabályozó egységugrásra adott válasza és Bode diagramja a 2 Ábrán látszik. A deriváló csatorna miatt a *t=0* időpillanatban a beavatkozó jel végtelen nagy értéket vesz fel. A Bode diagram alapján látszik, hogy a szabályozó a nagyfrekvenciás jeleket felerősíti, a nemkauzális jelleg miatt a nagyfrekvenciák tartományában az erősítés végtelenül növekszik. Mivel a zajok általában a magas frekvenciák tartományában jelentkeznek, a PD szabályozó zajérzékeny. Ha nagy mérési zajokkal kell számolni, nem célszerű a deriváló csatornát alkalmazni.

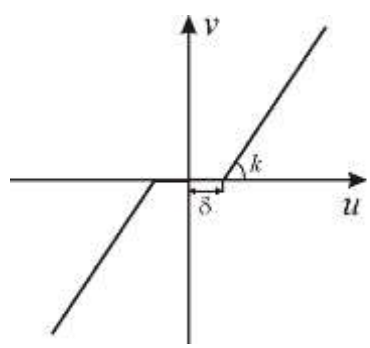


2 Ábra: Az ideális PD szabályozó egységugrásra adott válasza és Bode diagramja

Holtsáv és kompenzálása

A holtsáv nemlinearitás statikus átvitelét (*u* bemenet, *v* kimenet) a 3 Ábra mutatja. A kimenet addig nem változik, amíg a bemenet abszolút értéke nem éri el a holtsáv szélességét (δ). Ha *u* abszolút értéke nagyobb mint δ, a kimenet a bemenet függvényében *k* meredekséggel, lineárisan nő.

$$v = D(u) = \begin{cases} k(u-\delta), & u > \delta \\ 0, & |u| \le \delta \\ k(u+\delta), & u < -\delta \end{cases} \tag{6}$$



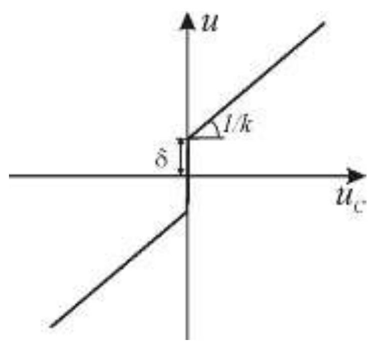
3 Ábra: Holtsáv

A holtsáv mechanikai rendszerekben általában a súrlódás miatt jelenik meg. Feltételezzük, hogy a súrlódást a Coulomb súrlódási modell írja le. A Coulomb súrlódás értéke (τ_C) konstans, csak a sebesség előjelétől függ. Ugyanakkor az álló mechanikai rendszer sebessége (ω) csak akkor válik nullánál nagyobbá, ha a rá ható - például egy motor által kifejtett – nyomaték (τ) nagyobb lesz, mint a Coulomb súrlódás értéke:

$$\tau_C = \begin{cases} F_C \, sign(\omega), \ \tau \geq F_C \\ \tau, \ \tau < F_C \end{cases} \tag{7}$$

$F_C>0$ Coulomb súrlódási együttható.
Feltételezzük, hogy az irányított rendszer bemenete a motorra adott felszültség (U), kimenete a mechanikai rendszer ω sebessége. Ha a motor rotorjának ellenállása R és nyomatékállandója k_τ, akkor elhanyagolva a motor elektromos időállandóját a motor által kifejtett nyomaték $\tau=(k_\tau /R)U$. Tehát a mechanikai rendszer sebessége nulla marad mindaddig, amíg a bemeneti felszültség el nem éri a $\delta=(R/k_\tau)F_C$ értéket. Azután a sebesség a bemeneti feszültséggel arányosan nő.
A holtsáv kompenzálásához a szabályozó kimeneti jelét a holtsáv inverzével módosítjuk (lásd 10.32 Ábra). A holtsáv inverzének statikus átvitele (u_C bemenet, u kimenet):

$$u = DI(u_C) = \begin{cases} \dfrac{u_C + k\delta}{k}, \quad u_C > 0 \\ 0, u_C = 0 \\ \dfrac{u_C - k\delta}{k}, \quad u_C < 0 \end{cases} \tag{8}$$



4 Ábra: Holtsáv inverze

Ha a holtsáv nemlinearitás bemenete a holtsáv inverzének kimenete, akkor a holtsáv bemenete mindig δ–nál nagyobb lesz. Az u kimenetet, a pozitív tartományban, az alábbi módon számíthatjuk:

$$v = D(u) = D(DI(u_C)) = k\left(\frac{u_C + k\delta}{k}\right) - \delta = u_C \tag{9}$$

A könnyen belátható, hogy $v=u_C$ negatív tartományban is érvényes.
Tehát ha a holtsáv bemenetét módosítjuk a holtsáv inverzével. a két átvitel sorban ekvivalens az egységnyi erősítővel, a holtsáv inverze kompenzálja a holtsáv hatását.

3. A mérés menete

3.1 A pozíciószabályozás tervezése

Legyen a motor dinamikáját leíró egyenlet:

$$J\ddot{\alpha} + A_m\dot{\alpha} = K_u u \tag{8}$$

ahol J jelöli a terhelés tehetetlenségi nyomatékát, A_m az elektromágneses állandója, K_u a bemeneti feszültség erősítése.
A motor átviteli függvénye:

$$H_M(s) = \frac{\alpha(s)}{u(s)} = \frac{K_u}{s(Js + A_m)} \tag{9}$$

A (9) és (2) összefüggések alapján, a $T_d = J/A_m$ választással a nyílt rendszer:

$$H_N(s) = K_P(T_d s + 1)\frac{K_u}{s(Js + A_m)} = \frac{K_u K_P}{A_m s} \tag{10}$$

A zárt rendszer:

$$H_o(s) = \frac{H_N(s)}{1 + H_N(s)} = \frac{1}{\frac{A_m}{K_u K_P}s + 1} \tag{11}$$

Látszik, hogy minél nagyobb a szabályozó erősítése a rendszer válasza annál gyorsabb. Ugyanakkor a folyamatban levő integrátor miatt egységugrásra garantált a nulla állandósult állapotbeli hiba.

3.2. A pozíciószabályozás megvalósítása

Előkészítés:
A pozíciószabályozáshoz az előírt pozíciót a DESIRED POSITION ablakelemből olvassuk be radián/másodperc mértékegységben. A proporcionális erősítést és a deriválási időt a *KP* és *TD* csúszkákról olvassuk le a *getTextboxVal(string box, out int val)* függvénnyel. A *TD* csúszkáról leolvasott értéket el kell osztani 1e4-gyel, a KP értékét pedig 100-zal.

PD implementálása:
Az implementáláshoz először a sebességszabályozási hibát számítjuk ki: $e_k = \alpha_{ref} - \alpha_k$. A beavatkozó jel kiszámításához az (4) összefüggést alkalmazzuk.

Beavatkozó jel kiküldése:
A holtsáv kompenzálásához először a nyílt hurkú teszt segítségével mérjük meg a holsáv szélességét (δ). A kapott értékkel módosítsuk a beavatkozó jelet:

$$\textit{if } (uk>0)\ uk \mathrel{+}= \delta$$
$$\textit{if } (uk<0)\ uk \mathrel{-}= \delta$$

A beavatkozó jel kiküldésénél annak értékét limitálni kell +/- 5000 mV közé.
A kiküldés az alábbi módon történik: Kiküldjük a beavatkozó jel abszolút értékét az Advantech kártya feszültségkimenetén majd a beavatkozó jel előjelének függvényében kiküldjük a motornak az irány bitet (0-s kimeneti port 0-s bitje). Pozitív beavatkozó jel esetén 1-et, negatív beavatkozó jel esetén 0-t küldünk ki.

4. Kérdések és feladatok

1. Tesztelje a programot úgy, hogy nem alkalmazza a beavatkozó jel kiküldésénél holtsáv kompenzálását. Hogyan módosul a pozíciószabályozási hiba?
2. Módosítsa a programot úgy, hogy az előírt pozíció ne konstans legyen, hanem lineárisan nőjön 360 fok/másodperc meredekséggel. Mennyi az így elérhető pontosság?