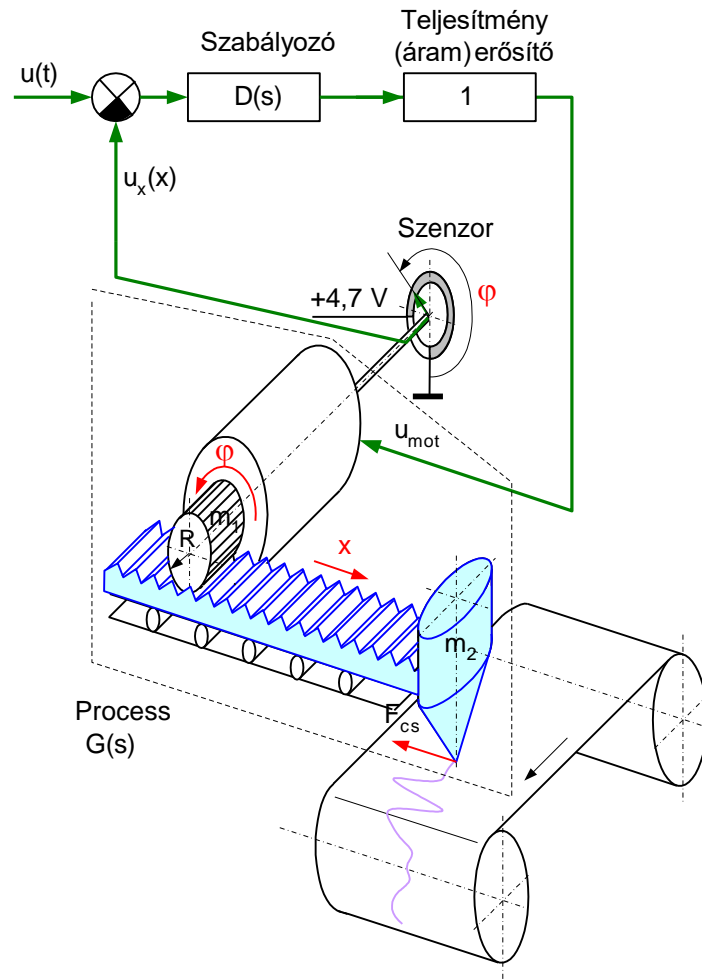


Szervo regisztráló

Az iparban és az egészségügyben még használnak olyan regisztráló műszereket, melyek közvetlenül papírra rajzolják (dokumentálják) a mért u feszültség időfüggvényét (pl. EEG). A problémát az jelenti, hogy egyrészt a mérendő jel energiája nagyon kicsi, amivel nem lehet meghajtani semmilyen eszközt. Másrészt a regisztráló toll és a papír között ébredő súrlódás, valamint az írószerkezet tömege kedvezőtlenül befolyásolja a regisztrálás pontosságát és dinamikáját. Megoldásul szabályozást alkalmaznak, melynek alapjele a mért u feszültség (például agyhullámok feszültsége), kimenete az írótoll x elmozdulása.



1. ábra.

Az ábrán bemutatott regisztráló berendezés írótollát egy DC motor mozgatja fogaskerék-fogasléc áttételen keresztül. A fogaskerék tömege $m_1=0,01$ kg, osztókör sugara $0,01$ m. A fogasléc és az írótoll együttes tömege $m_2=0,03$ kg. Az írótoll és a papír között ébredő súrlódás hatását sebességarányos csillapítással közelítjük, $k=0,25$ Ns/m arányossági tényezővel. Az írótoll pozícióját közvetett úton mérjük egy, a motor tengelyére szerelt lineáris karakterisztikájú forgó potenciométerrel. A potenciométer $3/4$ fordulatot képes elfordulni. Ennek megfelelően az írótoll mozgástartománya $0 \dots x \dots 0,75 \cdot 2 \cdot R \cdot \pi = 0,047$ m. A szenzor átviteli konstansa $1\text{V/cm}=100\text{V/m}$ (a mérhető legnagyobb feszültség $4,7$ V). A DC motor paraméterei: $A=30$ rad/sV; $B=3000$ rad/sNm, $T=0,01$ s, névleges kapocsfeszültség 10V .

Feladat analitikusan megtervezni a szabályozót, mely 5 % túllövést, 0,08 s beállási időt biztosít, zérus állandósult hibával.

MEGOLDÁS

A szenzor megtervezése

Ha tudjuk, hogy mekkora maximális feszültséget milyen széles szalagra szeretnénk regisztrálni, akkor megtervezhetjük a szenzort. Legyen a szalag szélessége 5 cm, a kihasználható szélesség 4,7 cm. Maximálisan 4,7 V feszültség mérésére számítunk. A szenzor $\frac{3}{4}$ motor tengely elfordulásra, azaz az író toll 0,047 m maximális elmozdulására 4,7 V feszültséget kell adjon. Vagyis a maximális szögelfordulás esetén a feszültségosztóból éppen annak tápfeszültsége jön ki. Következésképpen a feszültségosztót 4,7 V feszültséggel kell táplálni. Ekkor 1 cm író toll elmozdulásra 1 V a szenzor kimenő feszültsége, azaz a szenzor átviteli tényezője $V=100 \text{ V/m}$.

A rendszer blokkdiagramja

A minőségi követelményekből a zárt (eredő) rendszerre nézve

$D=0,7$ és

$$\alpha = \frac{4,6}{Dt_s} = \frac{4,6}{0,7 \cdot 0,08} = 82 \text{ rad/s}$$

A mozgó tömegek motor tengelyére redukált tehetetlenségi nyomatéka

$$J_{\text{red}} = \frac{1}{2} m_1 R^2 + m_2 R^2 = 0,01^2 (0,005 + 0,03) = 3,5 \cdot 10^{-6} \text{ kgm}^2$$

A motor megnövekedett időállandója

$$T^* = T + B J_{\text{red}} = 0,01 + 3000 \cdot 3,5 \cdot 10^{-6} = 0,0205 \text{ s}$$

A motort terhelő nyomaték a tömegek gyorsításából és a súrlódás legyőzéséből tevődik össze:

$$M_t = J_{\text{red}} \frac{d\omega}{dt} + (kR\omega)R, \text{ ami operátor tartományban } M_t(s) = J_{\text{red}} s \Omega(s) + kR^2 \Omega(s)$$

A DC motor szokásos egyenletébe helyettesítve a terhelést

$$\Omega(s) = \frac{A}{Ts + 1} U(s) - \frac{B}{Ts + 1} \Omega(s) (J_{\text{red}} s + kR^2)$$

A motor átviteli függvénye ezzel

$$\frac{\Omega(s)}{U(s)} = \frac{A}{T^* s + 1 + BkR^2}$$

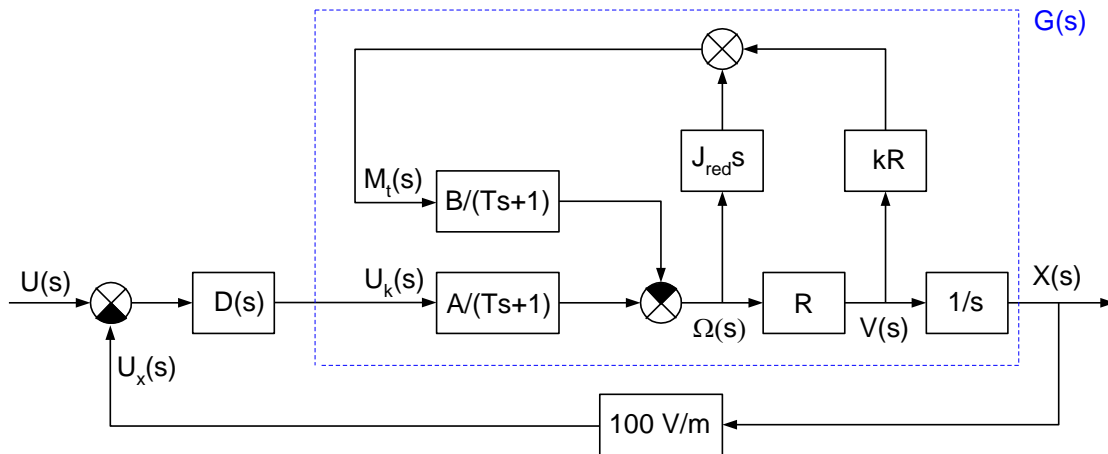
Az író toll elmozdulásának számításához a motor szögsebességét meg kell szorozni a fogaskerék sugarával, majd integrálni kell.

$$X(s) = R \Omega(s) / s$$

Ezzel a processz átviteli függvénye

$$G(s) = \frac{X(s)}{U(s)} = \frac{AR}{s[T^*s + 1 + BkR^2]} = \frac{30 \cdot 0,01}{s[0,0205s + 1 + 3000 \cdot 0,5 \cdot 10^{-4}]} = \frac{0,26}{s(0,0178s + 1)}$$

A rendszer blokkvázlatát a 2. ábrán láthatjuk.



2. ábra.

A szabályozó tervezése

A szabályozó tervezéséhez először a hurok tipizálását végezzük el:

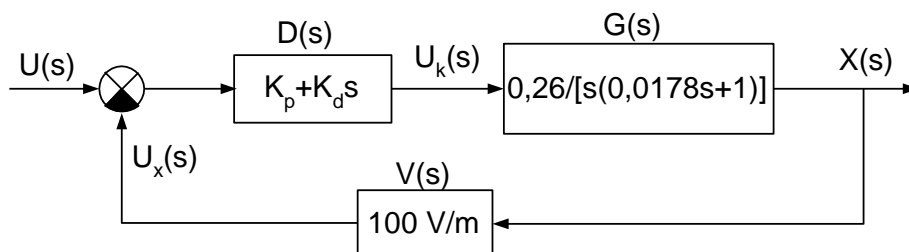
$$L_0(s) = G(s)V(s) = \frac{26}{s(0,0178s + 1)} = \frac{26}{s^1} \cdot \frac{1}{0,0178s + 1}$$

A hurok 1. típusú, tehát egyszeresen integráló. Ugrásfüggvény bemenet esetén az állandósult szabályozási eltérés zérus, ez a feltétel tehát magától teljesül. A szabályozóba nem kell további integráló tagot beépíteni.

Mivel két további feltételt kell teljesíteni (beállási idő és túllövés), ezért a szabályozónak legalább két paramétere állítható kell legyen. Válasszunk ennek megfelelően egy PD arányos-differenciáló szabályozót (a későbbiekben majd látjuk ennek a választásnak a hibáját):

$$D(s) = K_p + K_d s$$

A szabályozóval kiegészített rendszer blokkvázlata a 3. ábrán látható.



3. ábra.

A zárt szabályozási kör $Y(s)$ eredő átviteli függvénye

$$Y(s) = \frac{(K_p + K_d s) \frac{0,26}{s(0,0178s + 1)}}{1 + (K_p + K_d s) \frac{0,26 \cdot 100}{s(0,0178s + 1)}} = \frac{(K_p + K_d s) 0,26}{0,0178s^2 + (26K_d + 1)s + 26K_p}$$

A szabályozás dinamikája a kanonikus alakú karakterisztikus egyenlettől függ:

$$s^2 + \underbrace{(1461K_d + 56,2)}_{2D\alpha} s + \underbrace{1461K_p}_{\alpha^2} = 0$$

Először az arányos erősítést határozzuk meg:

$$1461K_p = 82^2 \rightarrow K_p = 4,6$$

A differenciáló tag erősítése pedig

$$1461K_d + 56,2 = 2 \cdot 0,7 \cdot 82 \rightarrow K_d = 0,051$$

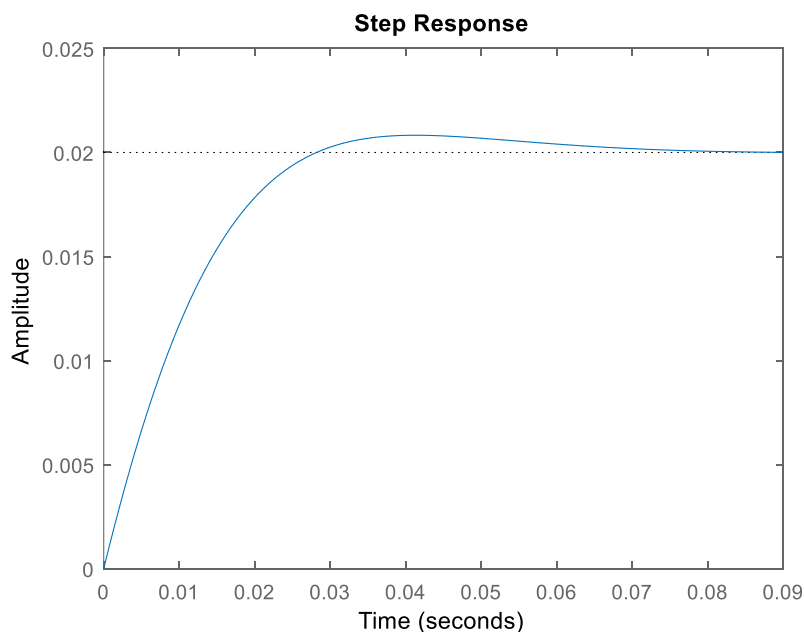
A szabályozó átviteli függvénye tehát

$$D(s) = 4,6 + 0,051s$$

A K_p és K_d értékét a rendszer eredő átviteli függvényébe helyettesítve

$$Y(s) = \frac{(K_p + K_d s) 0,26}{0,0178s^2 + (26K_d + 1)s + 26K_p} = \frac{1,196 + 0,0132s}{0,0178s^2 + 2,326s + 119,6}$$

Ellenőrzésül működtessünk 2V ugrásfüggvény bemenő jelet a rendszerre. Az írószerkezet elmozdulás-idő függvényét a 4. ábrán láthatjuk. Az írószerkezet az állandósult 0,02 m távolságot 0,08 s alatt, kb. 5% túllövással éri el.

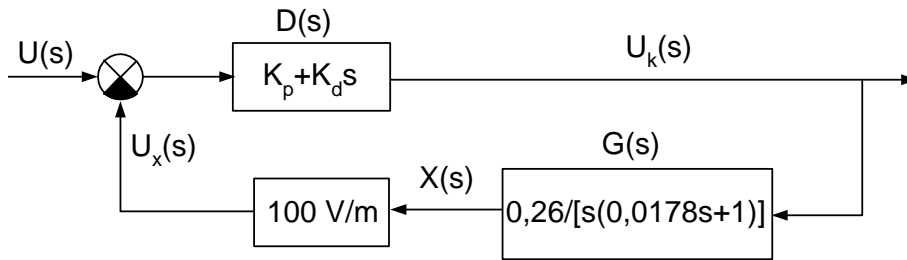


4. ábra.

Az átmeneti függvény tökéletesen teljesíti a minőségi követelményeket! Látszólag!

Ellenőrzés, módosítás

Ha meg akarjuk vizsgálni a szabályozó kimenő jelét (5. ábra),



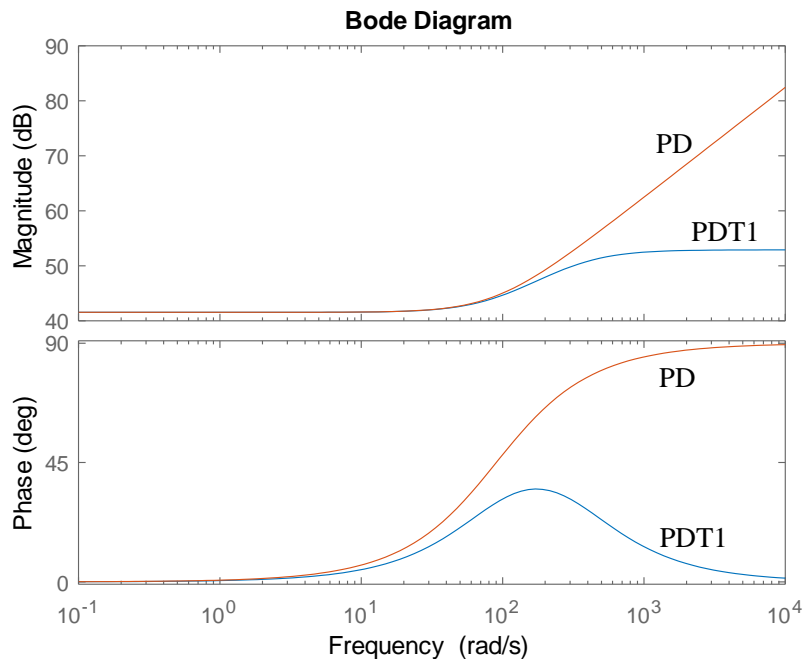
5. ábra. Blokkdiagram a szabályozó kimenetének vizsgálatához

a Matlab a következő hibaüzenetet írja ki:

„Cannot simulate the time response of models with more zeros than poles”

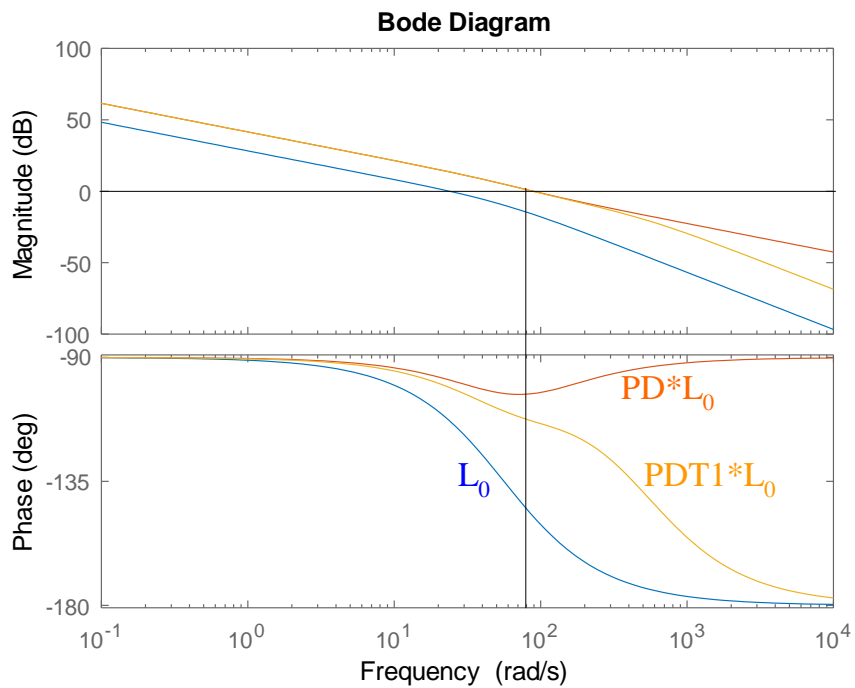
mivel az eredő átviteli függvény számlálója magasabb fokszámú, mint a nevezője. A deriváló hatás miatt a szabályozó az indulás pillanatában végtelen nagy feszültséget adna ki, ami lehetetlen.

A megoldás az, hogy PD szabályozó helyett PDT1 (azaz LEAD) szabályozót alkalmazunk (6. ábra). A PD szabályozó számlálóját változtatlanul hagyva, a nevezőbe $(\tau s+1)$ tényezőt írunk (egy pólust, azaz töréspontot viszünk be $\omega_t=1/\tau$ körfrekvencián) azért, hogy a szabályozó nagyfrekvenciás erősítését korlátozzuk.



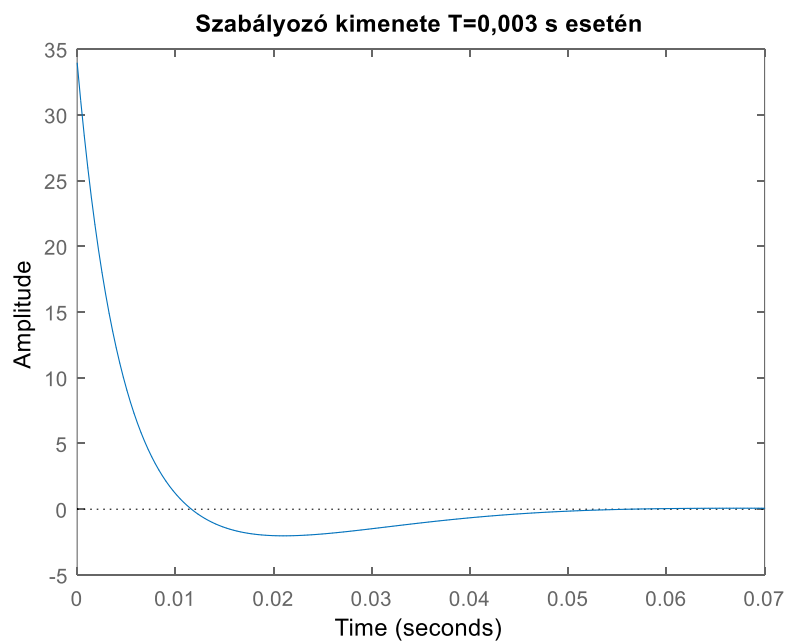
6. ábra.

Láthatóan az $\omega_c=82$ rad/s vágási frekvencia környékén az új pólus bevezetése nem okoz jelentős változást sem az erősítésben, sem a fázisben (6. ábra), ezért a beállítás alig változik.



6. ábra.

A szabályozó kimenete azonban már nem lesz végtelen az indulás pillanatában, hanem a 7. ábra szerint alakul.



7. ábra.