SZABÁLYOZÁSTECHNIKA 2. ZÁRTHELYI, A csoport
2011.05.13. 90 perc

Név	Neptun kód	Kurzus, Gyakorlatvezető	Összpontszám

1. Egy folytonos, merev (egységnyi) visszacsatolású szabályozási körben a szakasz átviteli függvénye $P(s)=\frac{4}{s^2}$.

a./ Egységnyi szabályozóval stabilis-e a zárt szabályozási kör? Válaszát indokolja.

b./ Kompenzálja a szabályozást egy egységnyi átviteli tényezőjű közelítő PD szabályozóval, amelynek túlvezérlési aránya 10, és a számlálójában lévő időállandóból adódó töréspont a Bode diagramban az a./ pontban megadott rendszer vágási körfrekvenciájának fele.
Adja meg a szabályozó átviteli függvényét.

c./ Írja fel a felnyitott kör átviteli függvényét. Vázolja fel a felnyitott kör közelítő Bode diagramját (abszolútérték és fázisszög diagram). Jelölje be a fázistöbbletet.
Adja meg a fázistöbblet analitikus kifejezését!

d./ Sebességugrás alapjelre adja meg a beavatkozójel kezdeti és végértékét! **4 pont** ☐

2. Hogyan módosul egy szabályozási kör fázistöbblete, ha a szakasz egy T_d nagyságú soros holtidős taggal egészül ki?

3 pont ☐

3. Kéttárolós, stabilis holtidős folyamatot mintavételes póluskiejtéses PIPD szabályozóval zárt körben irányítunk. (A PD hatás ideális.)
Írja fel a hurokátviteli függvényt, ha a T_d holtidő egész számú többszöröse a T_s mintavételi időnek ($T_d = d \cdot T_s$)!
(Segítség: holtidő nélkül a folyamat impulzusátviteli függvénye: $G(z)=\frac{m_1 z + m_2}{(z-z_1)(z-z_2)}$) **4 pont** ☐

4. Folytonos rendszerre adja meg az állapotvisszacsatolásos szabályozás blokkvázlatát. **3 pont** ☐
Adja meg a folyamat illetve az állapotvisszacsatolt rendszer karakterisztikus egyenletét.
Hogyan határozható meg az állapotvisszacsatoló vektor?

5. Feladat: Adott egy diszkrét szakasz, $G(z)=\frac{0.04\,(z+0.8)}{(z-1.02)\,(z-0.6)}$. A mintavételezési idő $T_s = 0.5$.
Tervezzen soros diszkrét PI szabályozót a szakaszhoz. Legyen a szabályozó átviteli tényezője 1.
Adja meg a szabályozó impulzusátviteli függvényét. **4 pont** ☐

6. Egy mintavételes szabályozó impulzusátviteli függvénye $C(z)=\frac{U(z)}{E(z)}=\frac{3(z-0.5)}{2(z-0.25)}$.
Adja meg a szabályozó átviteli tényezőjének értékét.
Egységurás alakú $e[k]$ hibajel esetén adja meg az $u[k]$ bemenőjel értékét a $k = 0,1,2,3$ időpillanatokra!
Milyen jellegű ez a szabályozó? **4 pont** ☐

7. Adja meg blokkvázlat formájában a $G(z)=\frac{4z-3.4}{z^2-1.6z+0.63}$ impulzusátviteli függvénnyel rendelkező rendszer párhuzamos kanonikus alakját! **4 pont** ☐

8. Legyen az irányítandó folytonos folyamat zérusrendű tartószervvel együtt képzett diszkrét idejű átviteli függvénye $G(z)=0.05\frac{z+0.6}{(z-0.6)^2}$. $R_r(z)=\frac{0.1}{z-0.9}$ és $R_n(z)=\frac{1}{z}$ esetén határozza meg a $Q(z)$ Youla-paraméter értékét úgy, hogy a folytonos rendszer kimenőjelében ne legyenek lengések a mintavételi pontok között. $Q(z)$ alapján adja meg a $C(z)$ soros szabályozó impulzusátviteli függvényét. Adja meg az alapjelet szűrő impulzusátviteli függvényt is.

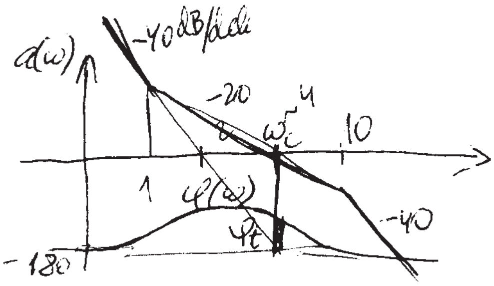
4 pont ☐

SZABÁLYOZÁSTECHNIKA 2. ZÁRTHELYI, A csoport MEGOLDÁS
2011.05.13.

1. a./ Egységnyi szabályozóval a szabályozás a stabilitás határán van.
(A felnyitott kör Nyquist diagramja a negatív valós tengelyen halad, átmegy a -1 ponton.)

b./ $C(s)=\dfrac{1+s}{1+0.1s}$

c./ $L(s)=\dfrac{4(1+s)}{s^2(1+0.1s)}$



$\omega_c \approx 4$

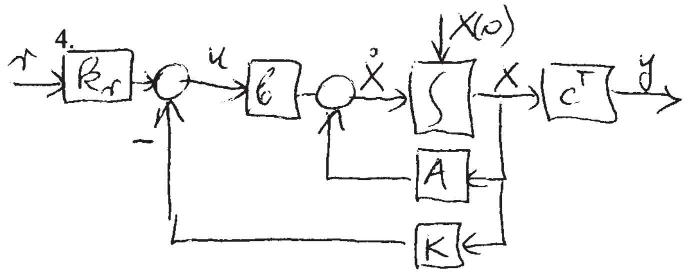
$\varphi_t = 180-180+arctg\omega_c - arctg0.1\omega_c = arctg\omega_c - arctg0.1\omega_c$

d./ $u(0)=0$; $u(\infty)=0$.

2. Csökken $\omega_c T_d$ (radiánban értendő) értékkel.

3. $G_d(z)=\dfrac{m_1 z+m_2}{(z-z_1)(z-z_2)z^d}$ $C(z)=\dfrac{K(z-z_1)(z-z_2)}{z(z-1)}$ $L(z)=\dfrac{K(m_1 z+m_2)}{z^{d+1}(z-1)}$

4.



$u=-KX$

A folyamat karakterisztikus egyenlete: $\det(s\mathbf{I}-\mathrm{A})=0$

Az állapotvisszacsatolt rendszer karaterisztikus egyenlete: $\det(s\mathbf{I}-\mathrm{A}+bK)=0$

Előírjuk a zárt rendszer pólusait, biztosítsanak gyorsabb működést (legyenek balra a rendszer pólusainál).

$\det(s\mathbf{I}-\mathrm{A}+bK)=(s-s_1)(s-s_2)\ldots(s-s_n)$ Ebből K meghatározható (Ackermann formula).

5. A diszkrét PI szabályozó átviteli függvénye: $C(z)=k_c\dfrac{z-z_i}{\text{z-1}}$. A szakasz pólusai: $p=[1.02 \quad 0.6]$.

A diszkrét PI szabályozóval a legnagyobb pólust kell kiejteni. Ebben az esetben ezt nem lehet megtenni, mert a legnagyobb pólus labilis, mivel nagyobb, mint 1. A labilis pólust egy azonos nagyságú, de ellentétes előjelű zérussal kell kompenzálni.

A labilis pólus: $z_1=e^{s_1T_s}=e^{\frac{T_s}{T_1}}$, $p_1=s_1=\dfrac{\ln z_1}{T_s}=\dfrac{\ln(1.02)}{0.5}=0.0396$, $T_1=-\dfrac{1}{s_1}=-25.25$

A kompenzáló stabilis zérus: $s_1=-0.0396$, $T_1=25.25$, $z_1=e^{-\frac{T_s}{|T_1|}}=e^{-\frac{0.5}{25.25}}=0.9804$

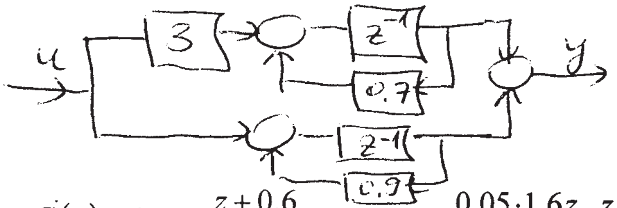
A szabályozó tehát: $C(z)=k_c\dfrac{z-0.9804}{\text{z-1}}=\dfrac{z-0.9804}{\text{z-1}}$

6. A szabályozó átviteli tényezője: $k_c=C(z=1)=\dfrac{3\cdot(1-0.5)}{2\cdot(1-0.25)}=1$

$u[k]=(3e[k]-1.5e[k-1]+0.5u[k-1])/2$

$u[0]=1.5 \quad u[1]=1.125 \quad u[2]=1.0313 \quad u[3]=1.0078$ Közelítő PD.

7. $G(z) = \dfrac{4z-3.4}{z^2-1.6z+0.63} = \dfrac{3}{z-0.7} + \dfrac{1}{z-0.9} = \dfrac{3z^{-1}}{1-0.7z^{-1}} + \dfrac{z^{-1}}{1-0.9z^{-1}}$



(A blokk diagram nélkül is elfogadjuk.)

8. $G(z) = 0.05\dfrac{z+0.6}{(z-0.6)^2} = G_+ G_- = \dfrac{0.05\cdot 1.6z}{(z-0.6)^2}\cdot\dfrac{z+0.6}{1.6z}$

$$Q(z) = \frac{R_n}{G_+} = \frac{(z-0.6)^2}{0.05\cdot 1.6z^2}$$

$$C(z) = \frac{Q}{1-QG} = \frac{\dfrac{(z-0.6)^2}{0.05\cdot 1.6z^2}}{1-\dfrac{(z-0.6)^2}{0.05\cdot 1.6z^2}\cdot\dfrac{0.05(z+0.6)}{(z-0.6)^2}} = \frac{\dfrac{(z-0.6)^2}{0.05\cdot 1.6z^2}}{1-\dfrac{z+0.6}{1.6z^2}} = 20\frac{(z-0.6)^2}{1.6z^2-z-0.6}$$

$$F(z) = \frac{R_r}{R_n} = \frac{0.1z}{z-0.9}$$

SZABÁLYOZÁSTECHNIKA 2. ZÁRTHELYI, B csoport

2011.05.13. 90 perc

Név	Neptun kód	Kurzus, Gyakorlatvezető	Összpontszám

1. A $P(s)=\dfrac{e^{-5s}}{1+10s}$ holtidős egytárolós szakaszhoz tervezzen PI szabályozót $\varphi_t = 60^\circ$ fázistöbbletre.
Adja meg a szabályozó átviteli függvényét!
Adja meg a felnyitott kör átviteli függvényét. Mekkora a vágási körfrekvencia?

Egységugrás alapjelre mekkora a beavatkozójel kezdeti és végértéke? **4 pont** ☐

2. Folytonos rendszerekre vázolja fel az állapotmegfigyeléssel kiegészített állapotvisszacsatolás hatásvázlatát!
Adja meg az állapothiba kifejezését.

Adja meg az állapotbecslés és a becslési hiba differenciálegyenletét! **4 pont** ☐

3. Hogyan vehető figyelembe egy T_d nagyságú holtidő hatása egy folytonos folyamat diszkretizált modelljében,

ha feltesszük, hogy a T_d holtidő egész számú többszöröse a T_s mintavételi időnek? **3 pont** ☐

4. Vázolja fel egy mintavételes szabályozás felépítését. Jelölje be a jeleket.

Milyen funkciókat lát el a digitális szabályozó? **3 pont** ☐

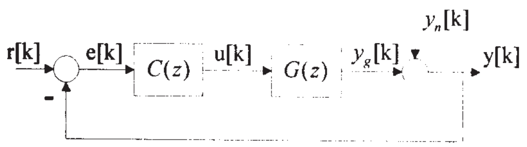
5. Adja meg a $P(s)=\dfrac{1}{1+sT_1}$ átviteli függvénynek megfelelő $G(z)$ impulzusátviteli függvényt

zérusrendű tartószerv feltételezésével. A mintavételezési idő T_s. **4 pont** ☐
Adja meg a diszkrét modellt megvalósító algoritmust (differenciaegyenlet).
Ábrázolja a diszkrét rendszer blokk-diagramját.

6. Feltételezve, hogy egy diszkretizált folyamat $G = G_+G_-z^{-d}$ alakú, határozza meg
egy 2DOF mintavételes szabályozási rendszerben az F előszűrő és a C soros szabályozó értékét úgy,
hogy $\dfrac{Y(z)}{Y_n(z)} = 1 - R_nG_-z^{-d}$ és $\dfrac{Y(z)}{Y_r(z)} = R_rG_-z^{-d}$ teljesüljön.

$y_n \equiv 0$ esetén írja fel u bemenőjel kifejezését az y_r alapjel függvényében! **4 pont** ☐

7. Adott egy zárt diszkrét szabályozási kör:



A folyamat impulzusátviteli függvénye: $G(z)=\dfrac{0.02(z+0.9)}{(z-0.8)(z-0.9)}$.

a./ Adja meg a folyamat átviteli tényezőjét.
b./ Adja meg a póluskiejtéses PI szabályozó impulzusátviteli függvényét $k_c = 1$ átviteli tényezővel.
c./ Zérus bemenőjel és egységugrás kimeneti zavarás esetén adja meg a kimenőjel és a beavatkozó jel kezdeti és

végértékét. **4 pont** ☐

8. Adott egy diszkrét szakasz impulzusátviteli függvényével: $G(z)=\dfrac{0.04\,(z+0.8)}{(z-1.02)\,(z-0.6)}$.

A mintavételezési idő $T_s = 0.5$. Alkalmazzon diszkrét állapotvisszacsatolást a szakasz stabilizálására.

A diszkrét zárt rendszer dinamikáját a $T_1 = 5,\ T_2 = 2$ időállandók határozzák meg.

Adja meg a $\mathbf{k}$ állapotvisszacsatoló vektort. **4 pont** ☐

SZABÁLYOZÁSTECHNIKA 2. ZÁRTHELYI, B csoport MEGOLDÁS 2011.05.13.

1. A szabályozó átviteli függvénye:

$$C(s)=k_c\frac{1+10s}{10s};\quad L(s)=k_c\frac{1+10s}{10s}\cdot\frac{e^{-5s}}{1+10s}=\frac{k_c}{10s}e^{-5s}$$

A fázisszögre:

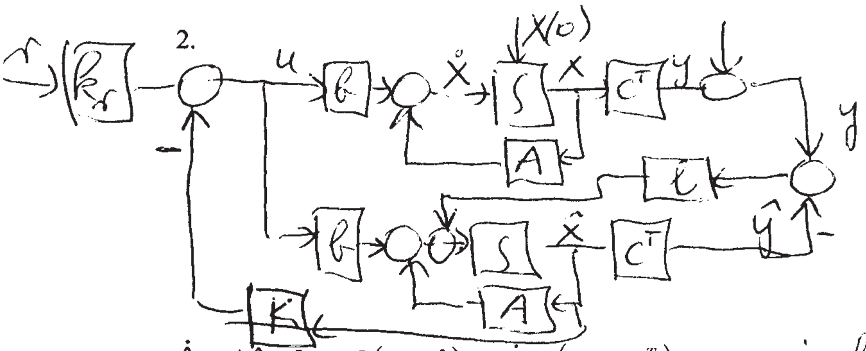
$$-\frac{\pi}{2}-5\omega_c=-\frac{2\pi}{3}\Rightarrow\omega_c=\frac{\pi}{30}$$

Az abszolút érték ω_c-nél egységnyi.

$$\frac{k_c}{10\omega_c}=1\quad\Rightarrow k_c=10\omega_c=\frac{\pi}{3}$$

A beavatkozójel kezdeti és végértéke: $u(0)=k_c;\quad u(\infty)=1$

2.



Az állapothiba:

$\tilde{x} = x - \hat{x}$

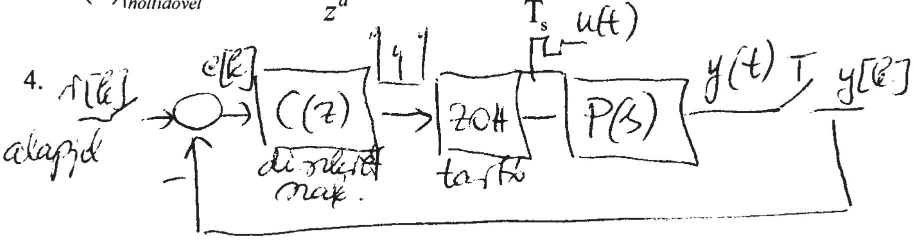
$\dot{\hat{\mathbf{x}}}=\mathbf{A}\hat{\mathbf{x}}+\mathbf{b}u+\mathbf{l}(y-\hat{y})$; $\dot{\tilde{\mathbf{x}}}=(\mathbf{A}-\mathbf{l}\mathbf{c}^T)\tilde{\mathbf{x}}$, mivel $\dot{x}-\dot{\hat{x}}=Ax+bu-A\hat{x}-bu-lc^T\tilde{x}$

$\dot{\hat{x}}=A\hat{x}+bu+lc^T\tilde{x}$

vagyis $\dot{\tilde{x}}=A\tilde{x}-lc^T\tilde{x}$

3. $G(z)\big|_{holtidővel}=\dfrac{G(z)\big|_{holtidő-nélkül}}{z^d}$ d= $\dfrac{T_d}{T_s}$

4.



Mintavétel (y[k])
e[k] hibajel számítása (e[k]=r[k]-y[k])
u[k] bemenőjel számítása (u[k]=f(e[k], e[k-1], e[k-2], …,u[k-`], u[k-2],…))
u[k] kiadása a zérusrendű tartószervének (D/A).

5. Az egytárolós arányos tag impulzusátviteli függvénye: $G(z)=\dfrac{1-e^{-T_s/T_1}}{z-e^{-T_s/T_1}}$.

A diszkrét modellt megvalósító algoritmus:

$$G(z)=\frac{Y(z)}{U(z)}=\frac{k_z}{z-z_1}=\frac{k_z z^{-1}}{1-z_1 z^{-1}}$$

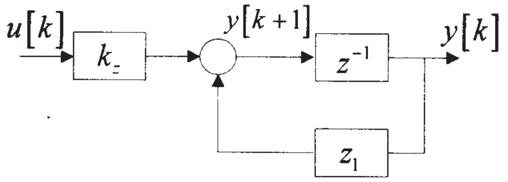
ahol $k_z=1-e^{-T_s/T_1}$ és $z_1=e^{-T_s/T_1}$

$$Y(z)1-Y(z)z_1z^{-1}=U(z)k_zz^{-1}$$

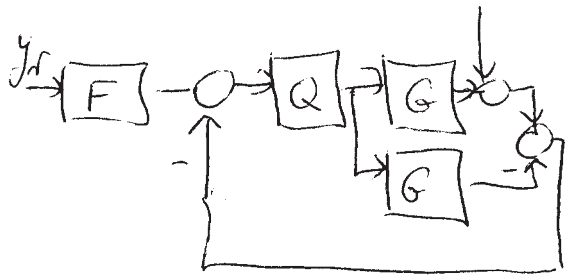
$$y[k] = z_1 y[k-1] + k_z u[k-1]$$

A blokk-diagram:

$$y[k+1] = z_1 y[k] + k_z u[k],$$



6. $C(z) = \dfrac{Q}{1-QG}$ $\quad$ $Q = \dfrac{R_n}{G_+}$ $\quad$ $F = \dfrac{R_r}{R_n}$, $u = FQy_r$



(Az ábra nélkül is elfogadjuk.)

7. A diszkrét PI szabályozó impulzusátviteli függvénye:

a./ A folyamat átviteli tényezője:

$$G(z=1) = \frac{0.02(1+0.9)}{(1-0.8)(1-0.9)} = \frac{0.02\cdot 1.9}{0.2\cdot 0.1} = 1.9$$

b./ A PI szabályozó impulzusátviteli függvénye:

$$C(z) = \frac{z-0.9}{z-1}$$

c./ $y(0) = 1;\quad y(\infty) = 0;\quad u(0) = -1;\quad u(\infty) = -1/1.9$

8. $G(z) = \dfrac{0.04\,(z+0.8)}{(z-1.02)\,(z-0.6)} = \dfrac{0.04\,z+0.032}{z^2-1.62z+0.612z} = \dfrac{B(z)}{z^2+a_1z+a_2}$, $a_1 = -1.62$, $\quad a_2 = 0.612$

A diszkrét zárt rendszer pólusai: $z_1 = e^{\frac{T_s}{T_1}} = e^{\frac{0.5}{5}} = 0.9048$, $z_2 = e^{\frac{T_s}{T_1}} = e^{\frac{0.5}{2}} = 0.7788$

A diszkrét zárt rendszer karakterisztikus egyenlete:

$$R(z) = (z-z_1)(z-z_2) = (z-0.9048)(z-0.7788) = z^2 - 1.684\,z + 0.7047 = z^2 + r_1z + r_2$$

A $\mathbf{k}$ visszacsatoló vektort a következőképpen kapjuk:

$$\mathbf{k} = [r_1 - a_1 \quad r_2 - a_2] = [-1.684 + 1.62 \quad 0.7047 - 0.612] = [-0.0636 \quad 0.0927]$$