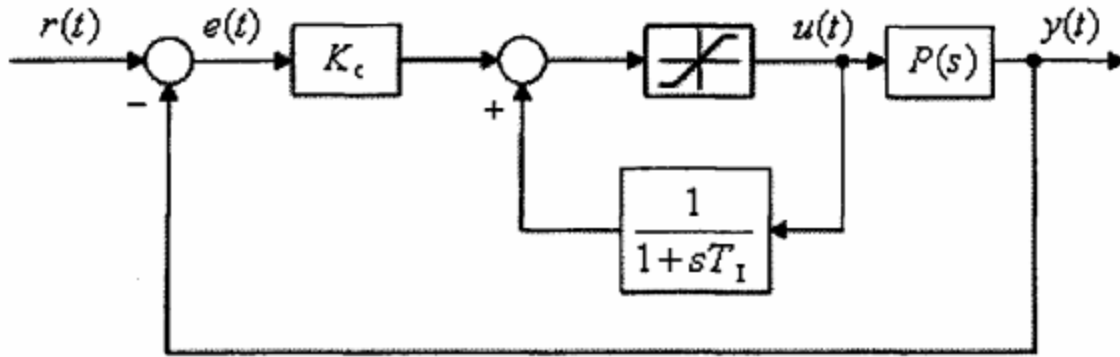


PI szabályozót megvalósító FOXBORO szabályozás hatásvázlata. Miért előnyös az alkalmazása, ha a szabályozó telítésbe kerül? (251. old.)



8.30. ábra FOXBORO szabályozó

$$C(s) = A_P \frac{1}{1 - \frac{1}{1 + sT_I}} = A_P \frac{1 + sT_I}{sT_I}$$

Ha nincs korlátozva:

Előny korlátozás esetén: Nincs “elintegrálódás”.

Adja meg az impulzusátviteli függvény definícióját. Adja meg a $P(s) = A / (1 + sT_1)$ egytárolós arányos tag impulzusátviteli függvényének kifejezését T_s mintavételezési idő mellett.

$$\frac{A}{1 + sT_1} \rightarrow \frac{A(1 - e^{-T_s/T_1})}{z - e^{-T_s/T_1}}$$

Ha $1/(1 + sT_1)$:

$$G(z) = \frac{1 - e^{-T_s/T_1}}{z - e^{-T_s/T_1}}$$

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

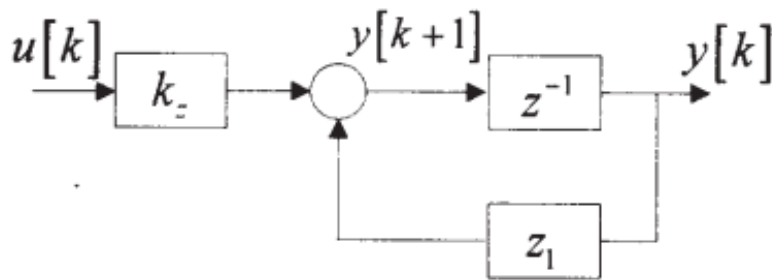
ahol $k_z = 1 - e^{-T_s/T_1}$ és $z_1 = e^{-T_s/T_1}$

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

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

A blokk-diagram:

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



Írja fel egy mintavételezett rendszer állapotegyenletét! Határozza meg az impulzusátviteli függvényt az állapotegyenlet paramétermátrixaiból!

$$\begin{cases} x[k+1] = F x[k] + g u[k] \\ y[k] = c^T x[k] + d u[k] \end{cases}$$

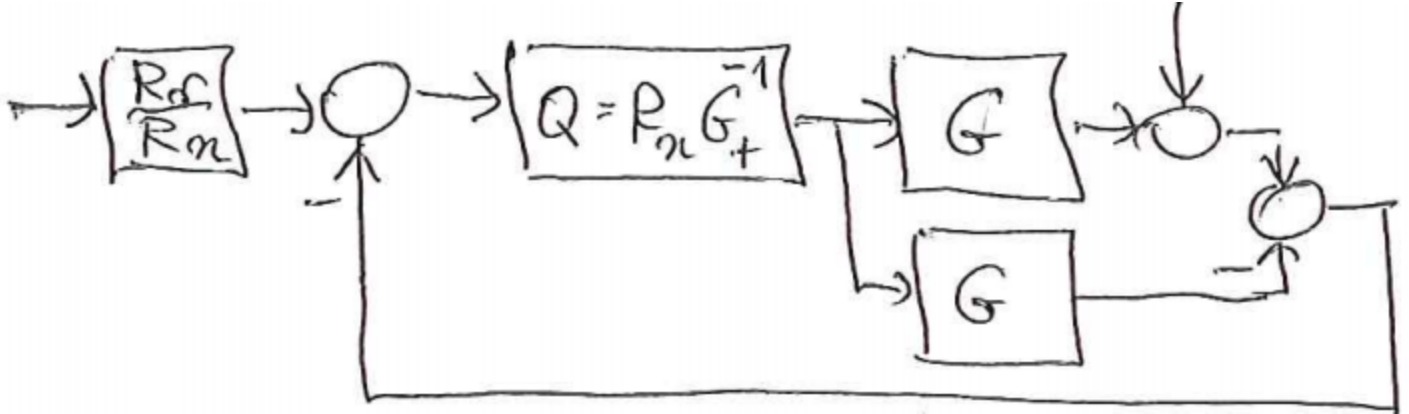
$$q \dot{x}[k] = F x[k] + g u[k]$$

$$(qI - F) x[k] = g u[k]$$

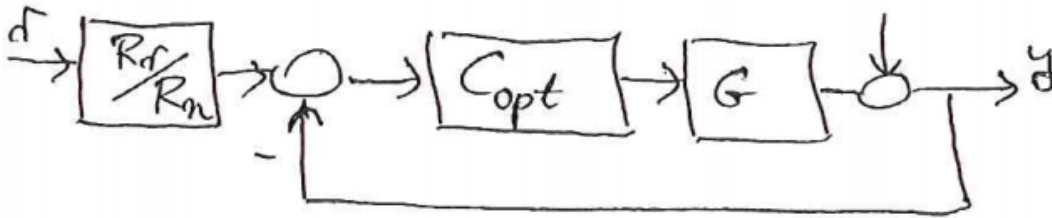
$$x[k] = (qI - F)^{-1} g u[k]$$

$$y[k] = \underbrace{[c^T (qI - F)^{-1} g + d]}_{G(q)} u[k]$$

Adja meg a diszkrét Youla paraméterezett szabályozás blokkvázlatának IMC (belső modellen alapuló) hatásvázlatát!



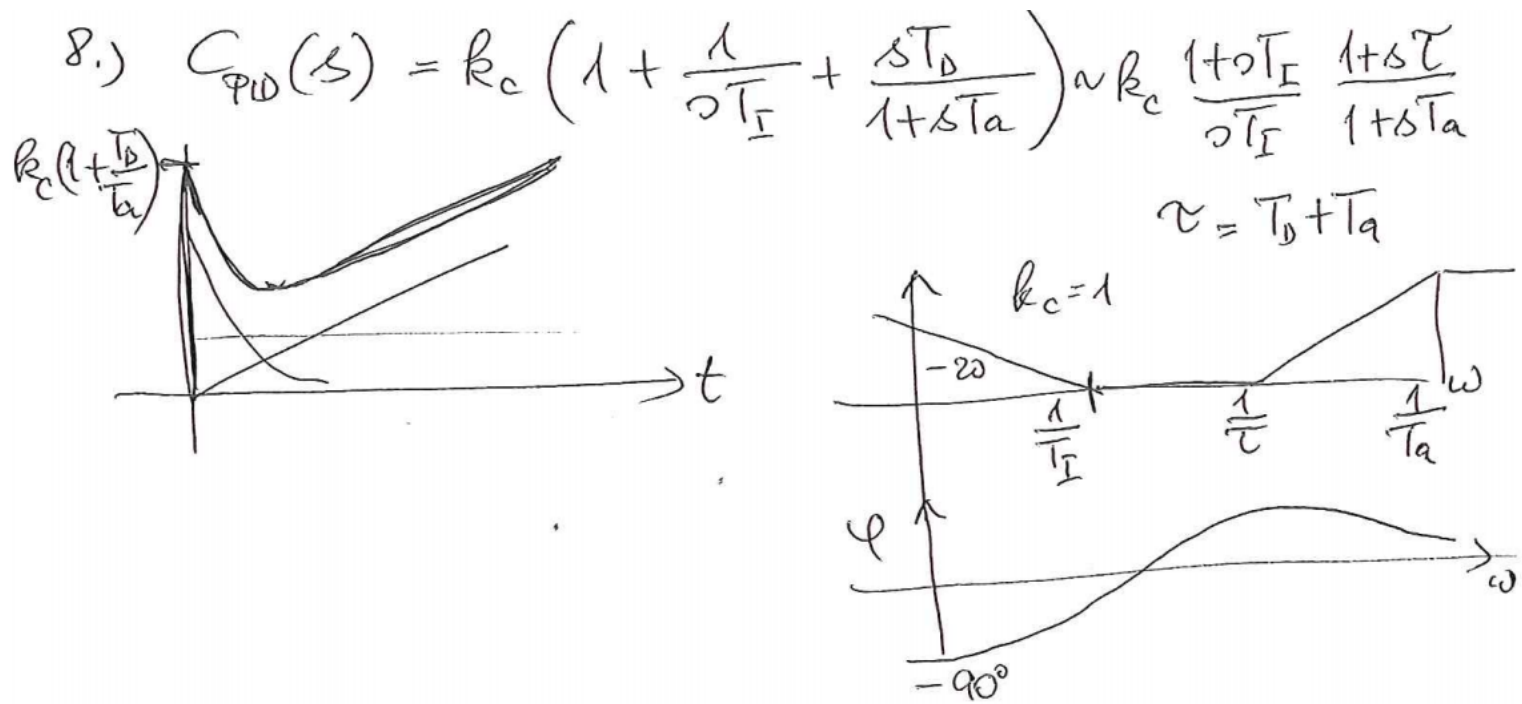
Adja meg a Youla paraméterezett szabályozás visszacsatolásos blokkvázlatát. Adja meg a Youla paraméter és a C_{opt} szabályozó kifejezését.



$$G = G_+ G_- z^{-d} ; \quad Q = P_n G_+^{-1} ; \quad C_{opt} = \frac{Q}{1 - QG} ;$$

$$C_{opt} = \frac{P_n G_+^{-1}}{1 - G_- z^{-d}}$$

Adja meg a folytonos PID szabályozó átviteli függvényét. Vázolja fel átmeneti függvényét (egyséssugrás válaszát) minőségileg helyesen. Mekkora a kimenőjel kezdeti értéke? Vázolja fel a szabályozó Bode diagramját (közelítő amplitúdó-körfrekvencia és fázis-körfrekvencia görbe).



Adja meg a diszkrét ideális PD szabályozó impulzusátviteli függvényét. A szabályozó bemenetén mintavételezett egységugrásjel hat. Határozza meg a szabályozó kimenőjelének kezdeti és végértékét. Adja meg a kimenőjel értékét az első 4 mintavételi pontban.

$$C(z) = k_c \frac{z - e^{-T_0/T_2}}{z} ; \quad u(0) = \lim_{z \rightarrow \infty} \frac{z}{z-1} k_c \frac{z - e^{-T_0/T_2}}{z} = k_c$$

$$u(t \rightarrow \infty) = \lim_{z \rightarrow 1} (1 - z^{-1}) \frac{z}{z-1} C(z) = k_c (1 - e^{-T_0/T_2})$$

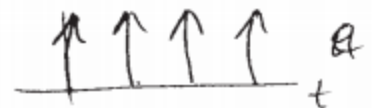
$$C_{PD}(z) = k_c \frac{z - a}{z} = \frac{u(z)}{e(z)} = k_c (1 - a z^{-1})$$

$$u(k) = k_c e(k) - k_c a e(k-1)$$

$$u(0) = k_c ; \quad u(1) = k_c - k_c a$$

$$u(2) = k_c - k_c a$$

$$u(3) = u(4) = k_c (1 - a)$$

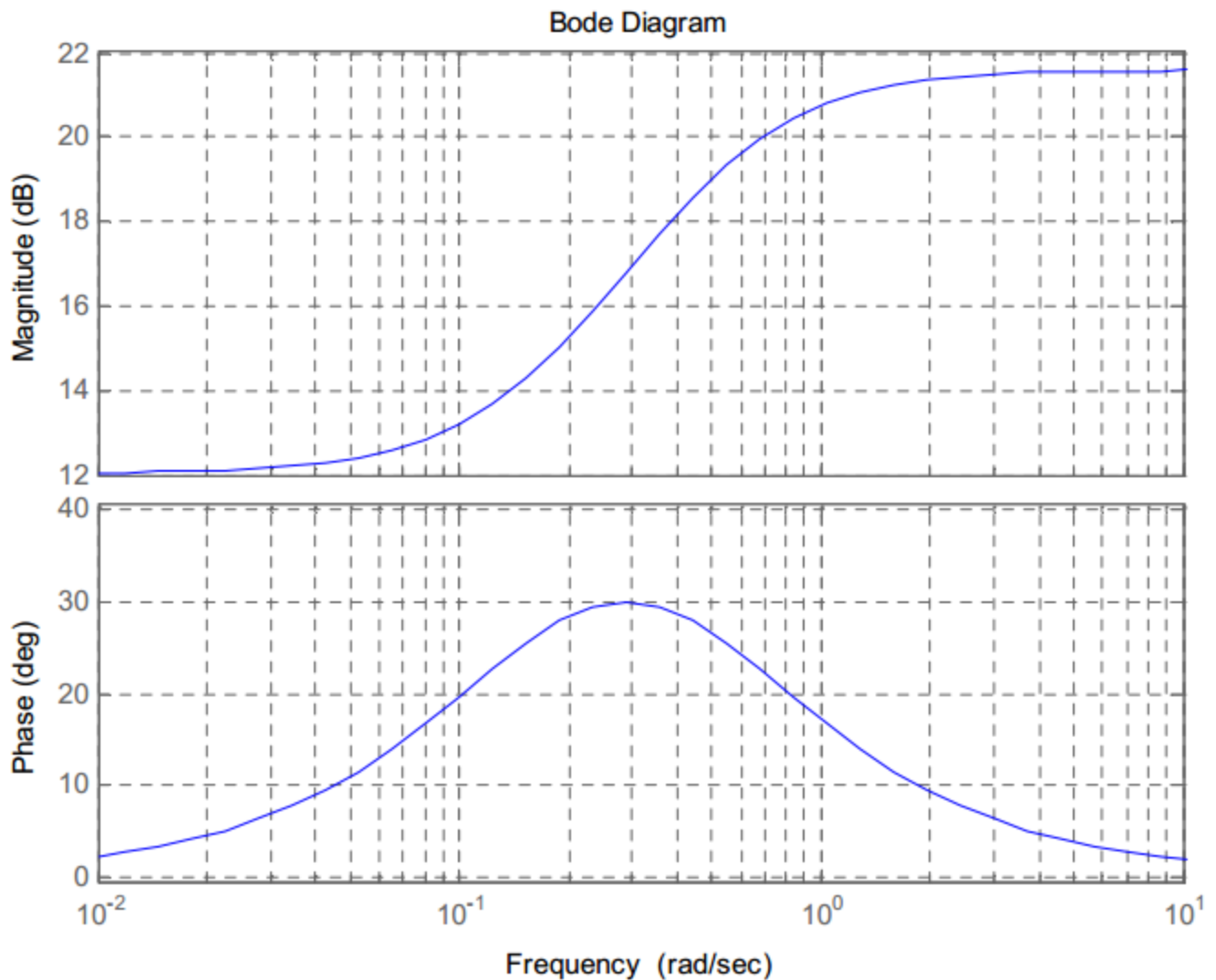


Adja meg a folytonos állapotmodellnek az állapotvektorra vonatkozó megoldását a komplex operátoros tartományban!

...

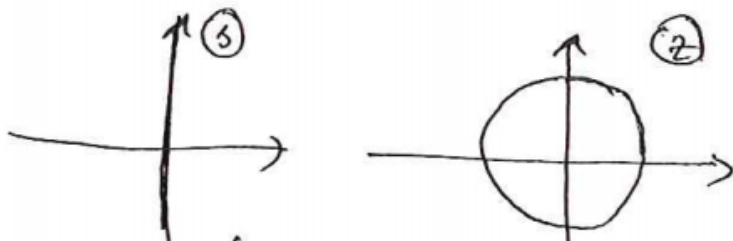
Vázolja fel az alábbi szabályozó közelítő Bode diagramját és átmeneti függvényét!

$$C_{PD}(s) = A_P \frac{1 + sT_D}{1 + s\frac{T_D}{5}}$$



Mi a z-transzformáció? Hova képezi le az s komplex sík imaginárius tengelyét?
Hogyan definiáljuk egy jel z-transzformáltját?

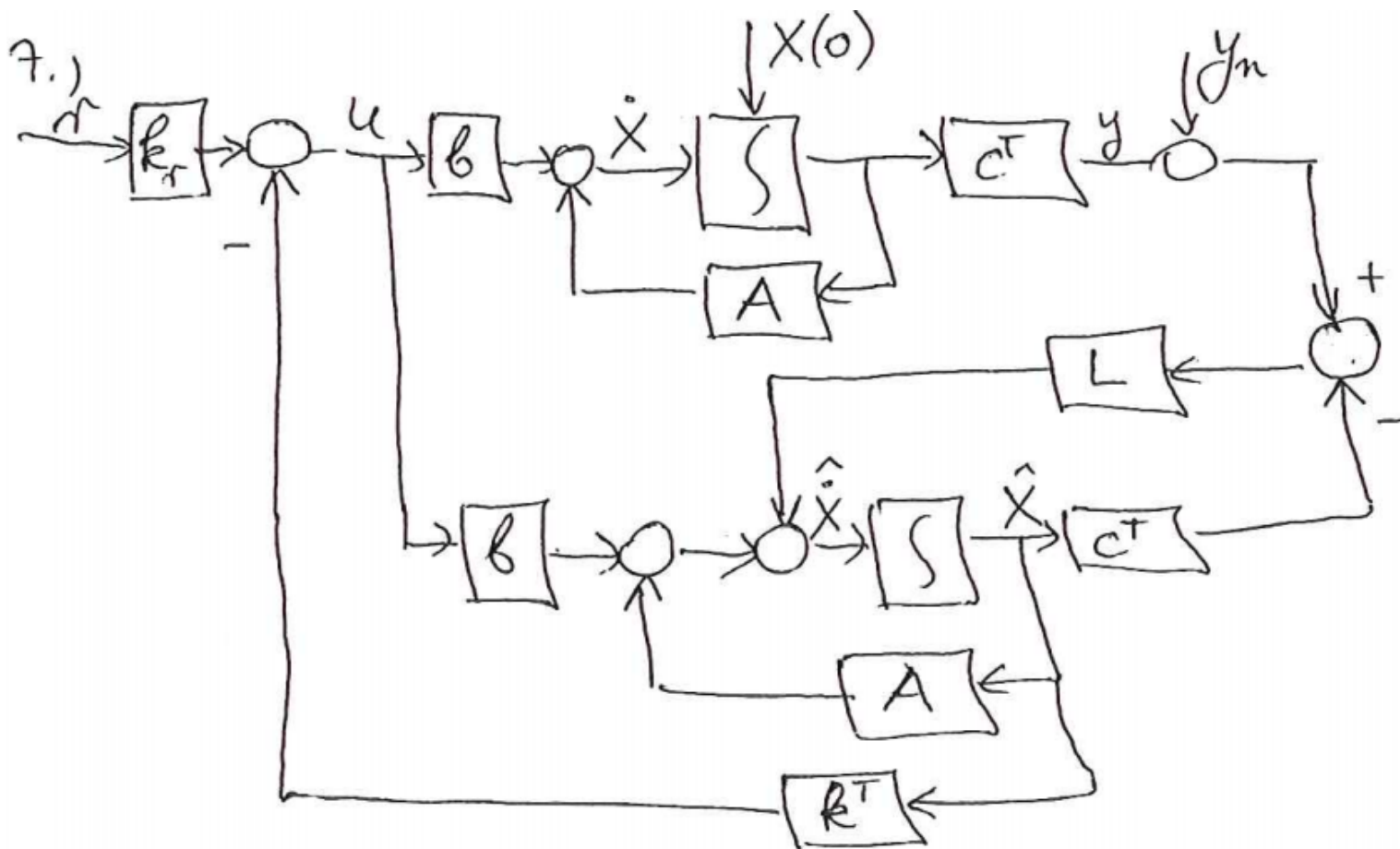
$$z = e^{sT_0}$$



Az imaginárius tengelyt a z -tartományban az egységnyi körbe képezi le.

$$y(z) = \sum_{i=0}^{\infty} y(iT_0) z^{-i}$$

Adja meg folytonos rendszerre az állapotbecsléssel kiegészített állapot visszacsatolásos szabályozás hatásvázlatát! Egy adott folyamat irányításához milyen szempontok alapján választjuk meg az állapotbecslő és az állapotvisszacsatoló hálózat paramétereit?



A folyamathoz képest a becslő hálózat kell a leggyorsabb legyen. Azután a szabályozás szintén gyorsabb kell legyen a folyamatnál.

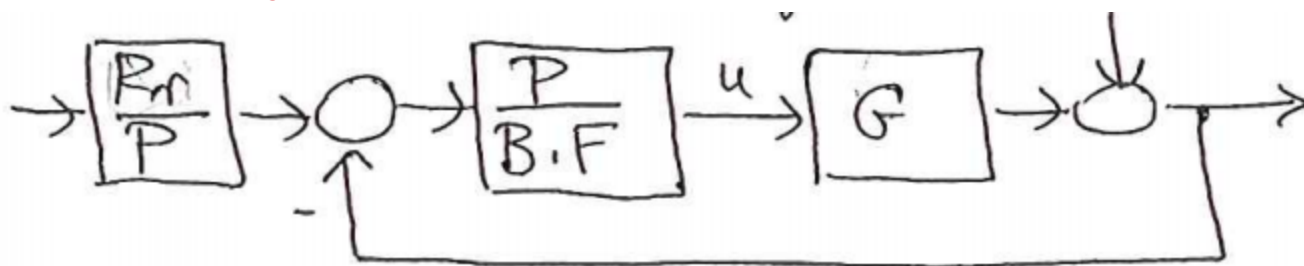
Állapothiba: $\tilde{x} = x - \hat{x}$

Állapotbecslés és becslési hiba differenciálegyenlete:

$$\begin{aligned} \dot{\hat{x}} &= A\hat{x} + bu + l(y - \hat{y}); \quad \dot{\tilde{x}} = (A - lc^T)\tilde{x}; \\ \hat{x} &= A\hat{x} + bu + lc^T\tilde{x} \end{aligned}$$

mivel $\dot{\tilde{x}} = \dot{x} - \dot{\hat{x}} = Ax + bu - A\hat{x} - bu - lc^T\tilde{x}$
 vagyis $\dot{\tilde{x}} = A\tilde{x} - lc^T\tilde{x}$

Predikciós szabályozás:



Speciális Diophantini egyenlet:

$$1 = A \cdot F + P \cdot z^{-d}$$

$(d-1)$ -edrendű $\quad (n-1)$ -edrendű

A lineáris folytonos rendszer állapotmátrixai: A , b , c^T , d . Adja meg a nyitott rendszer karakterisztikus egyenletét. Állapotvisszacsatolásos szabályozót alkalmazunk k^T visszacsatoló vektorral. Adja meg az állapotvisszacsatolásos rendszer blokk-diagramját és karakterisztikus egyenletét! Hogyan határozzuk meg az állapotvisszacsatoló vektort? (Ackermann összefüggés)

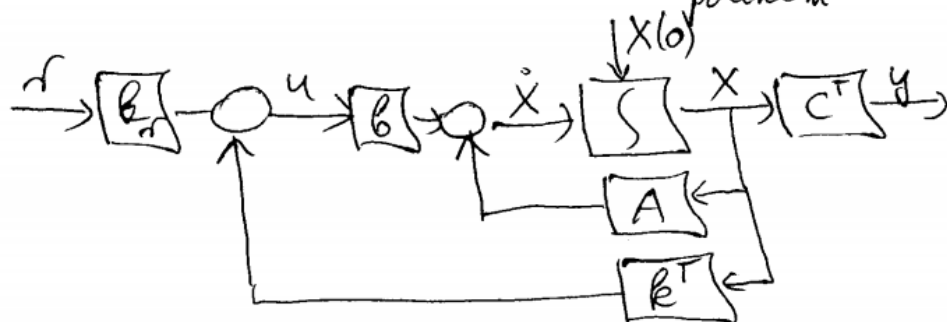
6.) Nyitott rendszer: $\det(sI - A) = 0$
 Zárt rendszer: $\det(sI - A + b k^T) = 0 = (s - s_1) \dots (s - s_n)$
 előző.

az Ackermann formulával: k^T

$$u = -k^T X \quad ; \quad \left(k^T = b_c^T M_c^{-1} R(A) = [0, 0, \dots, 1] M_c^{-1} \right)$$

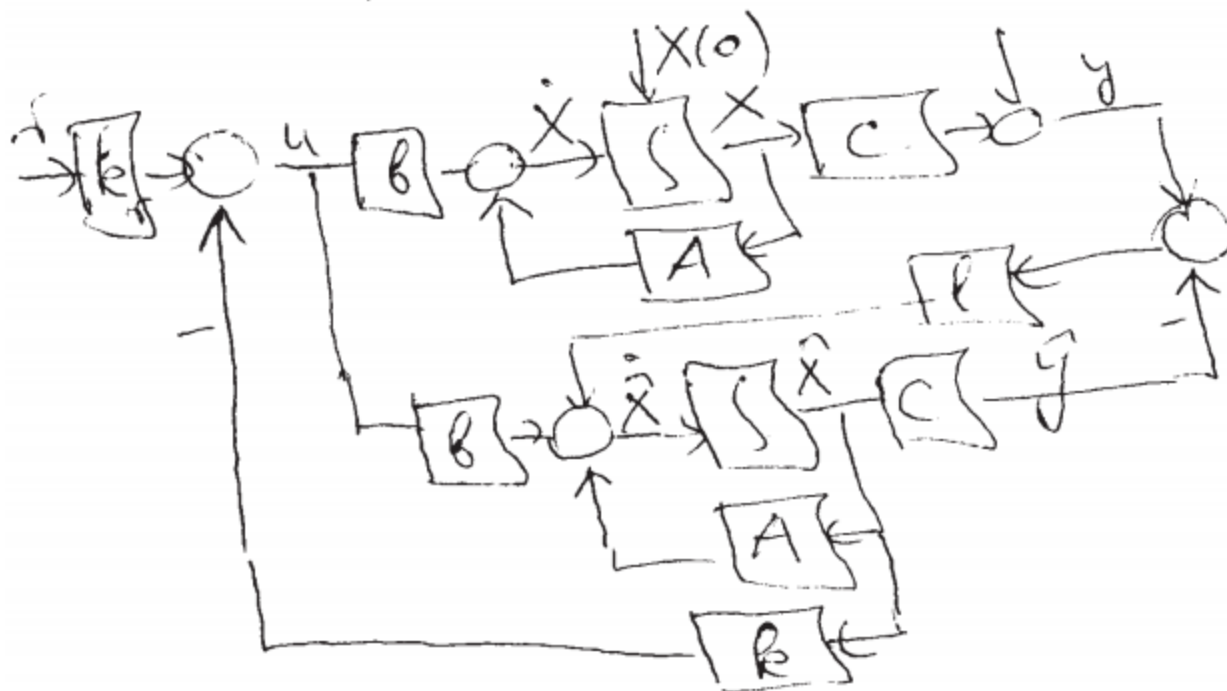
előző polinom

irányíthatósági matrix



Ha a rendszer nem irányítható ($\det(M_c) = 0$), akkor nem alkalmazható az Ackermann formula.

Módosult struktúra megfigyelő alkalmazásával:

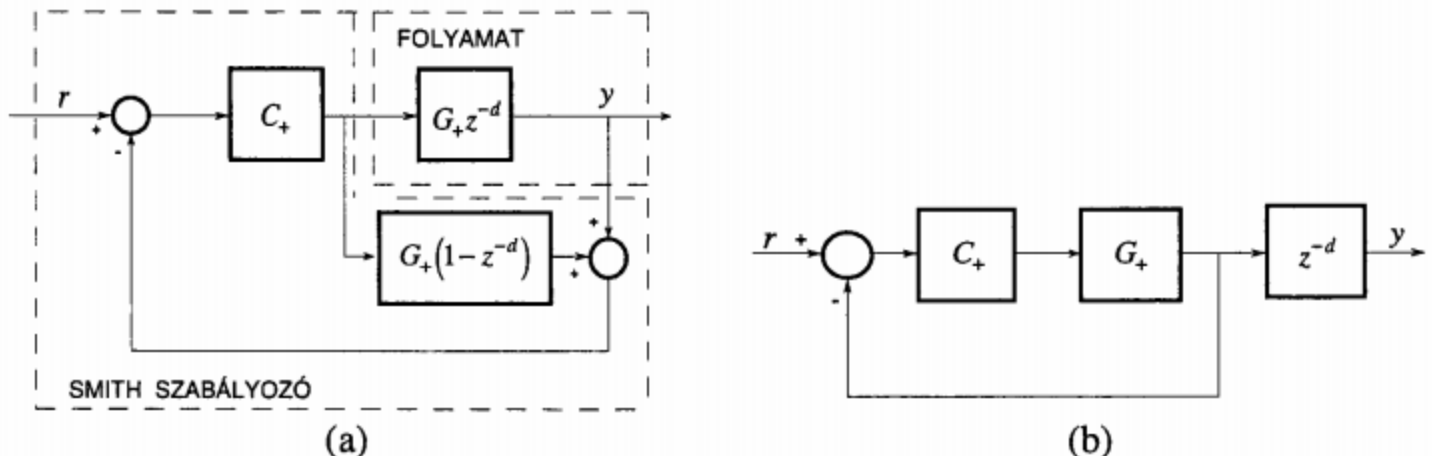


Mintavételes rendszerben ismertesse a SMITH prediktor szerinti tervezés elvét!

A mintavételes szabályozási körben tekintsünk egy egyszerű holtidős folyamatot a (12.1) nyomán

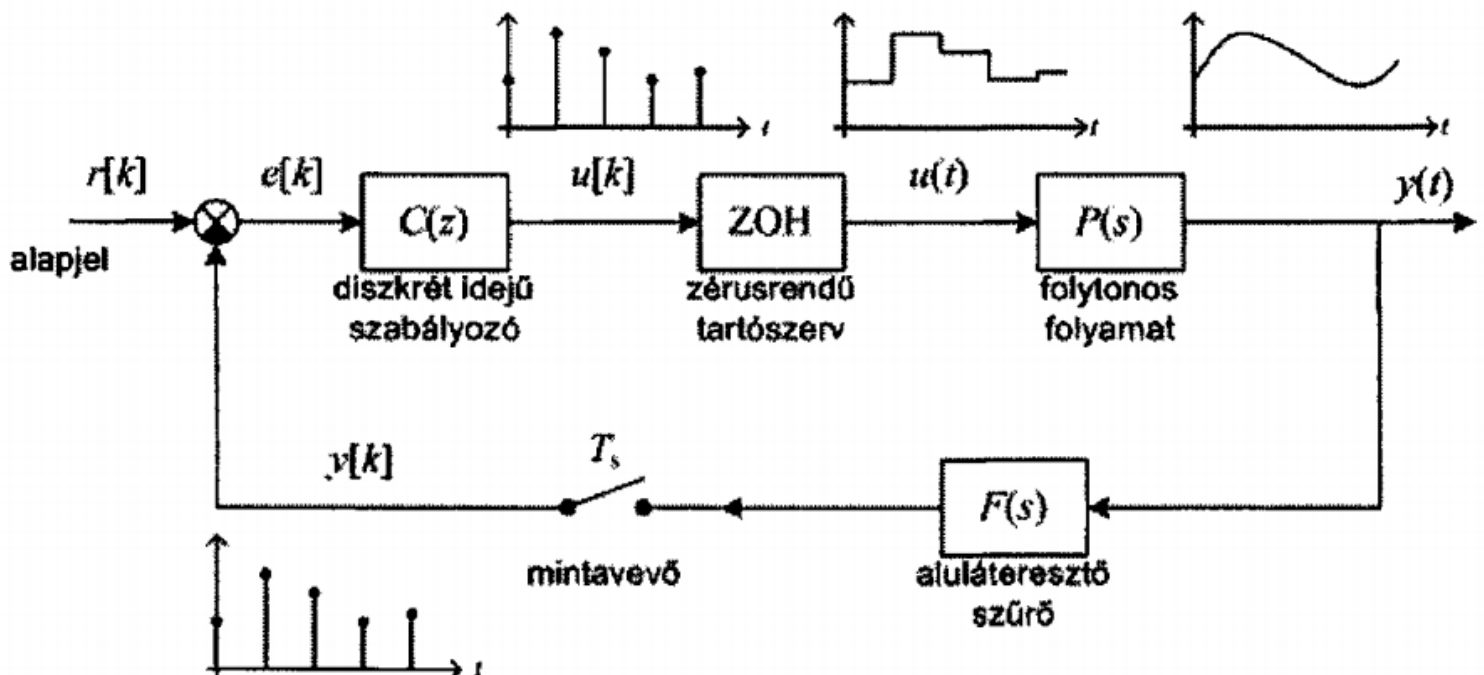
$$G(z^{-1}) = G_+(z^{-1})\overline{G}_-(z^{-1}) = G_+(z^{-1})G_-(z^{-1})z^{-d} \quad \text{röviden} \quad G = G_+ \overline{G}_- = G_+ G_- z^{-d} \quad (12.12)$$

ahol G_+ stabilis. A SMITH szabályozó 7.1. pontban bemutatott elvét a (12.12) DI folyamatra a 12.5a. ábrán megadott szabályozási körben mutatjuk be. Mivel a kör ekvivalens a 12.5b. ábra hatásvázlatával, itt célja nagyon jól látható: az eredeti holtidőt is tartalmazó zárt kört szétválasztani egy olyan zárt körre, amelyben nincs benne a holtidő, az ugyanis a körön kívül sorosan jelenik meg. Így a C_+ szabályozó a G_+ folyamathoz hagyományos (holtidőt nem figyelembevevő) módszerrel is tervezhető.



12.5. ábra A mintavételes SMITH szabályozó hatásvázlata

Vázoljon fel egy zárt mintavételes szabályozási rendszert, adja meg az egyes elemek funkcióját és vázolja fel a rendszer jeleinek jellegét! Milyen funkciókat lát el a digitális szabályozó?



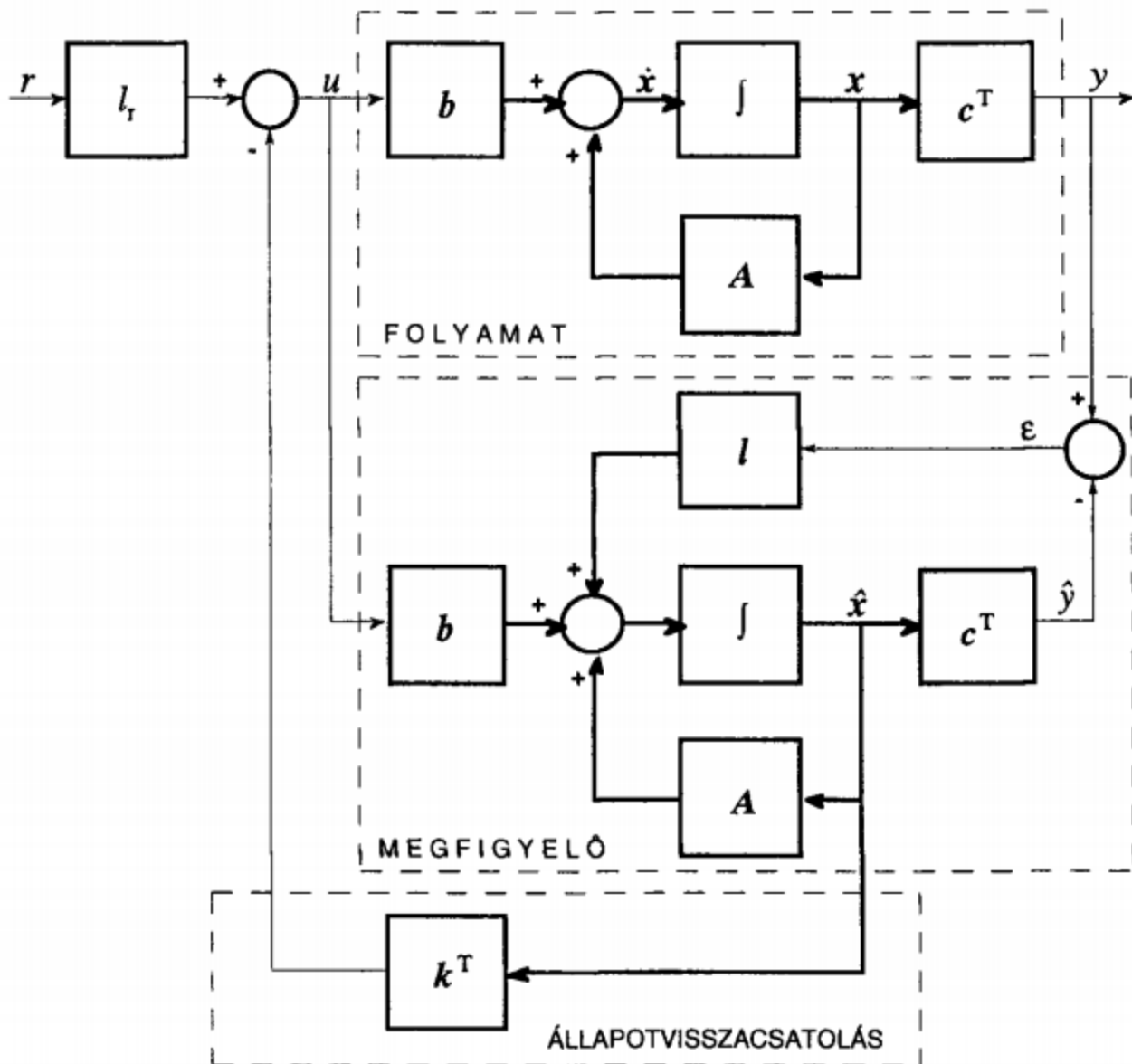
Mintavétel ($y[k]$)

$e[k]$ hibajel számítása ($e[k]=r[k]-y[k]$)

$u[k]$ bemenőjel számítása ($u[k]=f(e[k], e[k-1], e[k-2], \dots, u[k-1], u[k-2], \dots)$)

$u[k]$ kiadása a zérusrendű tartószervének (D/A).

Folytonos rendszerekre adja meg a megfigyelővel működő állapotviszacsatolás blokkvázlatát! Hogyan befolyásolják a zárt szabályozási kör előírt pólusai a megfigyelő dinamikáját?



Nem befolyásolják, független tőle.

T_s mintavételi időt feltételezve származtassa a folytonos kettős integrátor mintavételes állapotegyenleteit!

$$\mathbf{F} = e^{AT_s} = \begin{bmatrix} 1 & T_s \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad g = \int_0^{T_s} e^{A\lambda} d\lambda b = \begin{bmatrix} T_s^2/2 \\ T_s \end{bmatrix}$$

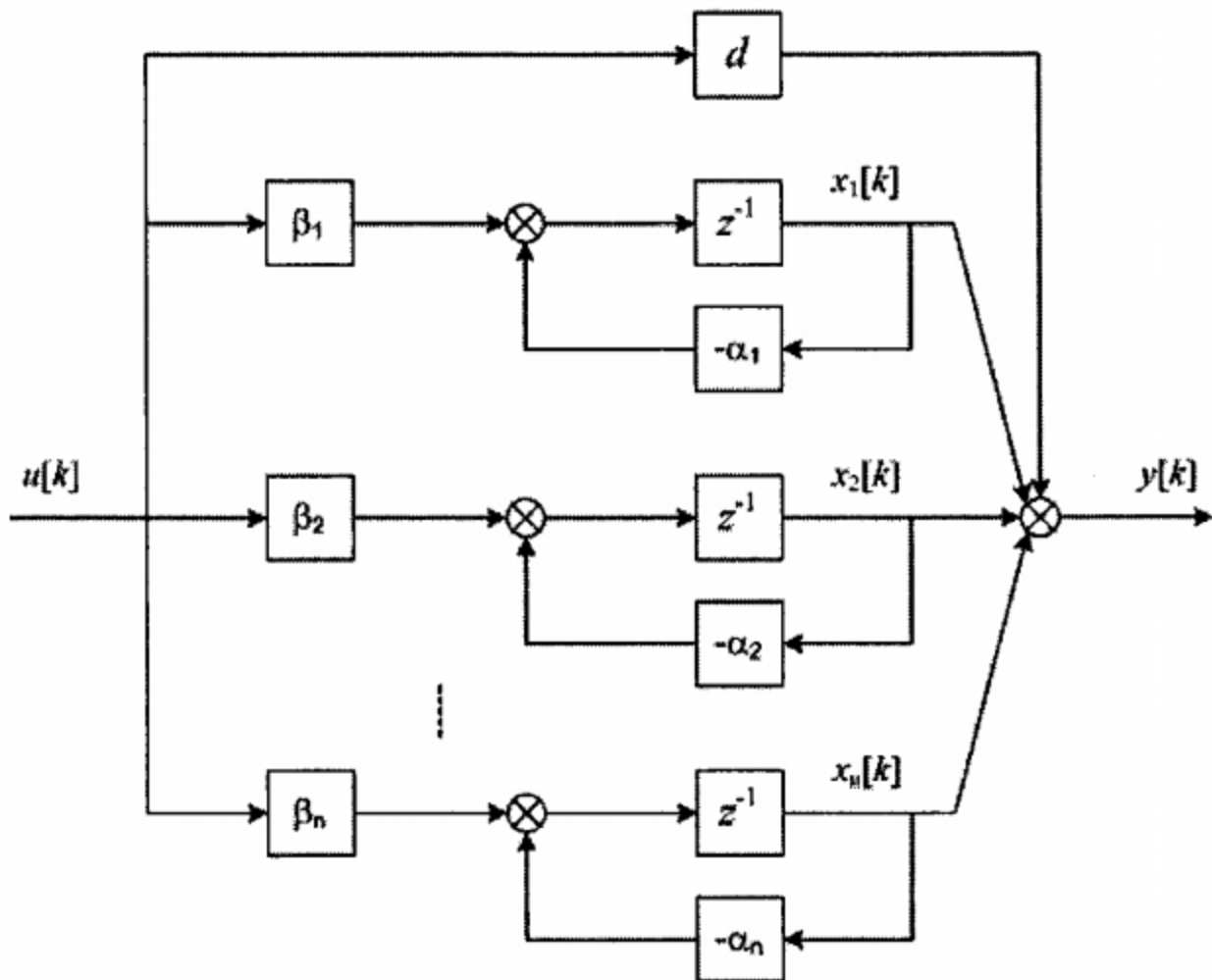
Számítsa ki az $x[k+1] = Fx[k] + gu[k]$ diszkrét állapotegyenlet F mátrixát és g vektorát a folytonos rendszer állapotegyenletének A mátrixából és b vektorából!

$$x[k+1] = Fx[k] + gu[k]$$

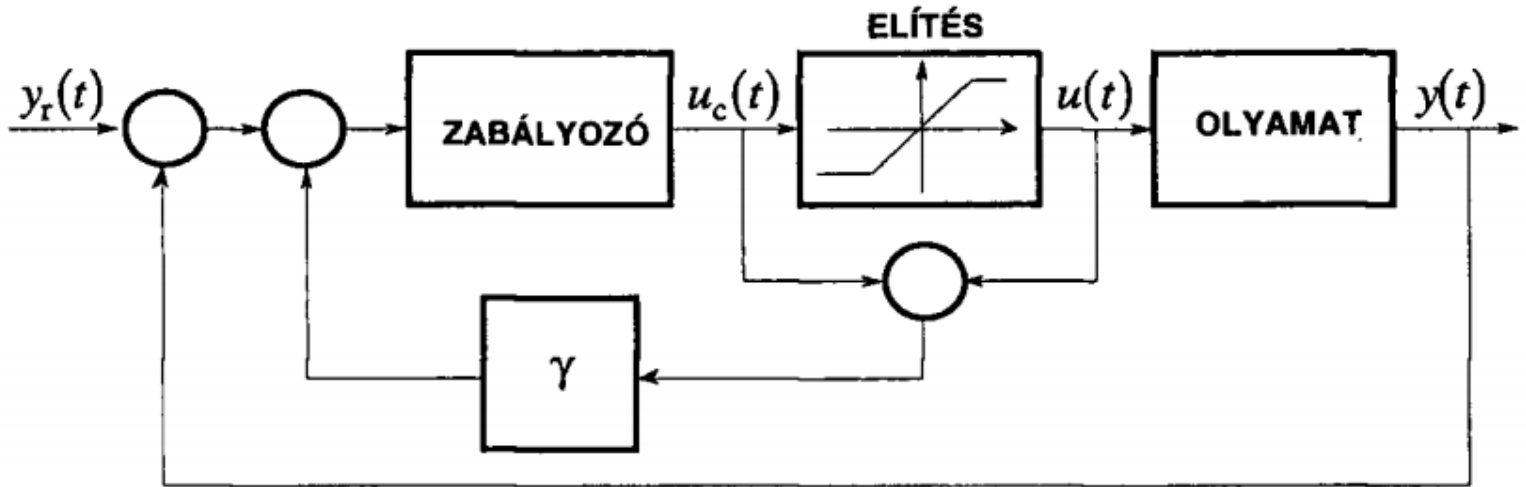
$$F = e^{AT_s} \quad ; \quad g = \int_0^{T_s} e^{A\lambda} d\lambda b$$

$$\text{Ha } A \text{ invertálható, } g = A^{-1}(e^{AT_s} - I)b$$

Egyszeres pólusokat feltételezve adja meg egy harmadrendű mintavételes rendszer párhuzamos kanonikus alakjának blokkvázlatát!



Adja meg az ARW (Antireset Windup, korlátozások kezelése) hatást realizáló bővített szabályozó blokkvázlatát. Ismertesse a működését.



A belső visszacsatolás addig működik, amíg a telítéses szakaszon vagyunk. Az $u = u_c$ feltételt igyekszik biztosítani. γ hangoló paraméter.

Adja meg a zérusrendű (nulladrendű) tartószerv átviteli függvényét!

$$P_{zoh}(s) = \frac{1 - e^{-sT_s}}{s}$$

Adja meg a $P(s) = K/s$ folyamat impulzusátviteli függvényét T_s mintavételi idő mellett zérusrendű tartószerv feltételezésével. A zárt mintavételes szabályozási körben egységnyi negatív visszacsatolást alkalmazunk. Adja meg a zárt kör stabilitásának feltételét.

$$G(z) = \frac{KT_s}{z-1} \quad \text{A karakterisztikus egyenlet: } 1 + \frac{KT_s}{z-1} = 0$$

$$z_1 = 1 - KT_s$$

$$|z_1| = |1 - KT_s| < 1 \quad \boxed{0 < KT_s < 2}$$

$$z - 1 + KT_s = 0$$

Adja meg egy folytonos szakasz zérusrendű tartószervvel együtt származtatott impulzusátviteli függvényének (a folytonos szakasz diszkretizált alakjának) összefüggését!

$G(z) = (1 - z^{-1}) Z\{v[k]\}$, ahol $v[k]$ a $P(s)$ folytonos szakasz átmeneti függvényének mintavételezett sorozata.

Adja meg az explicit és implicit korlátozások feltételeit optimalizáló módszerek esetén.

Explicit solvers: $x_{\min} \leq x \leq x_{\max}$

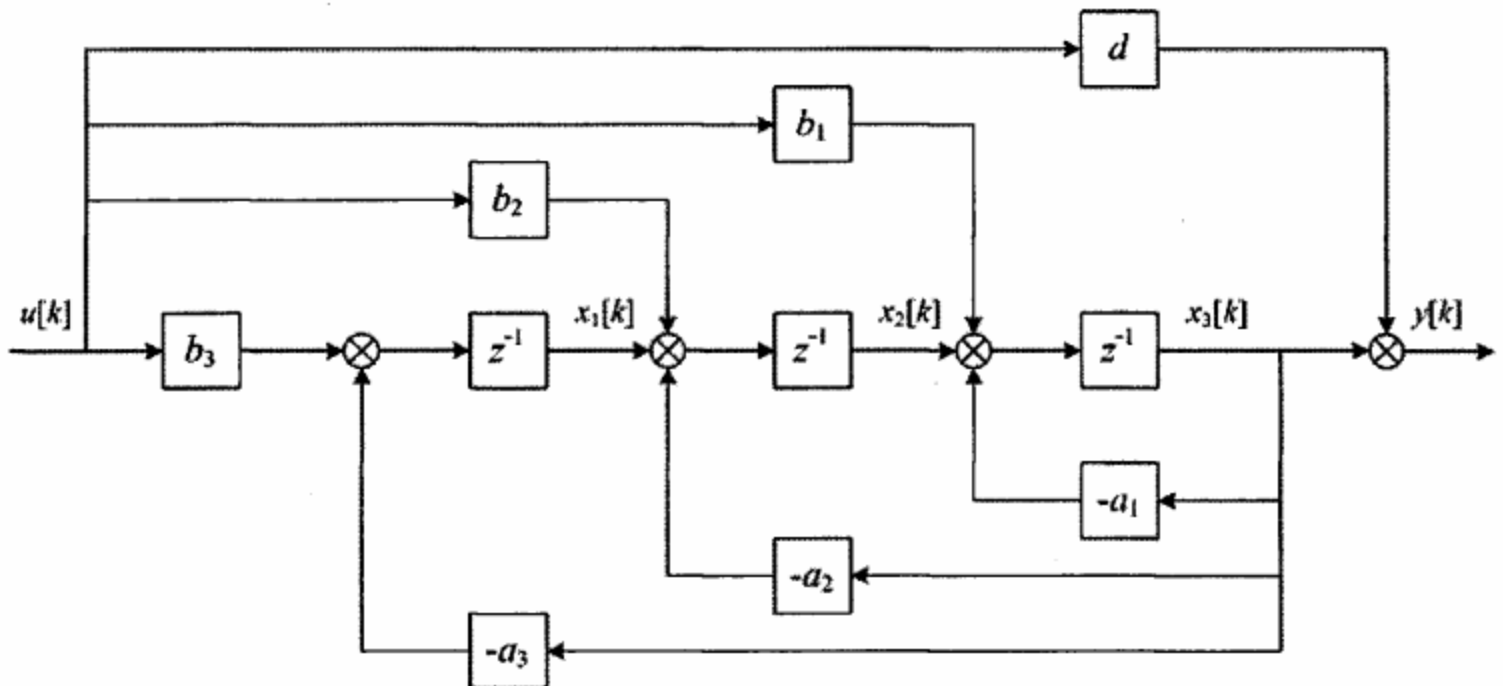
Implicit - " - : $g_j(x) \leq 0$, $j = 1, \dots, k$
 alatu.

(385. eld.)

$f(x)$ skalar - vektor fun. selbsterhaltend. heresebe sein.

$$G(z) = \frac{b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2}}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2}}$$

Vázolja fel a $\frac{1}{1+a_1z^{-1}+a_2z^{-2}}$ impulzusátviteli függvény egy megfigyelhető kanonikus állapotteres reprezentációjának blokkvázlatát és adja meg az állapotteres leírás $\{F, g, c^T, d\}$ paramétereit!



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

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

Hogyan vehető figyelembe egy T_d nagyságú holtidő hatása egy folytonos folyamat diszkrétizált modelljében, ha feltesszük, hogy a T_d holtidő egész számú többszöröse a T_s mintavételi időnek?

$$G(z)\big|_{\text{holtidővel}} = \frac{G(z)\big|_{\text{holtidő-nélkül}}}{z^d} \quad d = \frac{T_d}{T_s}$$

Kezdeti és végérték egységugrás alapjelre

$$\text{A beavatkozó jel kezdeti értéke: } \overline{u(+0)} = \lim_{s \rightarrow \infty} (s \cdot U(s)) = \lim_{s \rightarrow \infty} \left(s \cdot \frac{1}{s} \cdot \frac{C(s)}{1+L(s)} \right) = \lim_{s \rightarrow \infty} \left(\frac{C(s)}{1+L(s)} \right)$$

$$\text{A beavatkozó jel végértéke: } \overline{u(\infty)} = \lim_{s \rightarrow 0} (s \cdot U(s)) = \lim_{s \rightarrow 0} \left(s \cdot \frac{1}{s} \cdot \frac{C(s)}{1+L(s)} \right) = \lim_{s \rightarrow 0} \left(\frac{C(s)}{1+L(s)} \right)$$

$$\text{A kimeneti jel kezdeti értéke: } \overline{y(+0)} = \lim_{s \rightarrow \infty} (s \cdot Y(s)) = \lim_{s \rightarrow \infty} \left(s \cdot \frac{1}{s} \cdot \frac{L(s)}{1+L(s)} \right) = \lim_{s \rightarrow \infty} \left(\frac{L(s)}{1+L(s)} \right)$$

$$\text{A kimeneti jel végértéke: } \overline{y(\infty)} = \lim_{s \rightarrow 0} (s \cdot Y(s)) = \lim_{s \rightarrow 0} \left(s \cdot \frac{1}{s} \cdot \frac{L(s)}{1+L(s)} \right) = \lim_{s \rightarrow 0} \left(\frac{L(s)}{1+L(s)} \right)$$

Kezdeti érték: $u[0] = \lim_{z \rightarrow \infty} (U(z))$. Itt nincs semmilyen szorzó.

Végérték: $u[\infty] = \lim_{z \rightarrow 1} ((1 - z^{-1}) \cdot U(z))$.

Kezdeti érték: $v[0] = \lim_{z \rightarrow \infty} (Y(z)) = \lim_{z \rightarrow \infty} \left(\frac{z}{z-1} \cdot G(z) \right)$.

Végérték: $v[\infty] = \lim_{z \rightarrow 1} ((1 - z^{-1}) \cdot Y(z)) = \lim_{z \rightarrow 1} \left((1 - z^{-1}) \cdot \frac{z}{z-1} \cdot G(z) \right) = \lim_{z \rightarrow 1} (G(z))$.

IDEÁLIS SZABÁLYOZÓK

$$C_P(s) = k_c$$

$$C_I(s) = \frac{1 + T_I s}{(T_I) s}$$

$$C_{D-ideal}(s) = 1 + T_D s$$

$$C_{PI}(s) = k_c \frac{1 + T_I s}{(T_I) s}$$

$$C_{PD-ideal}(s) = k_c (1 + T_D s)$$

$$C_{PID-ideal}(s) = k_c \frac{(1 + T_I s)(1 + T_D s)}{(T_I) s}$$

$$C_P(z) = k_c$$

$$C_I(z) = \frac{z - z_1}{z - 1} = \frac{z - e^{-\frac{T_s}{T_I}}}{z - 1}$$

$$C_{D-ideal}(z) = \frac{z - z_2}{z} = \frac{z - e^{-\frac{T_s}{T_D}}}{z}$$

$$C_{PI}(z) = k_c \frac{z - z_1}{z - 1} = k_c \frac{z - e^{-\frac{T_s}{T_I}}}{z - 1}$$

$$C_{PD-ideal}(z) = k_c \frac{z - z_2}{z} = k_c \frac{z - e^{-\frac{T_s}{T_D}}}{z}$$

$$C_{PID-ideal}(z) = k_c \frac{z - z_1}{z - 1} \cdot \frac{z - z_2}{z} = k_c \frac{z - e^{-\frac{T_s}{T_I}}}{z - 1} \cdot \frac{z - e^{-\frac{T_s}{T_D}}}{z}$$

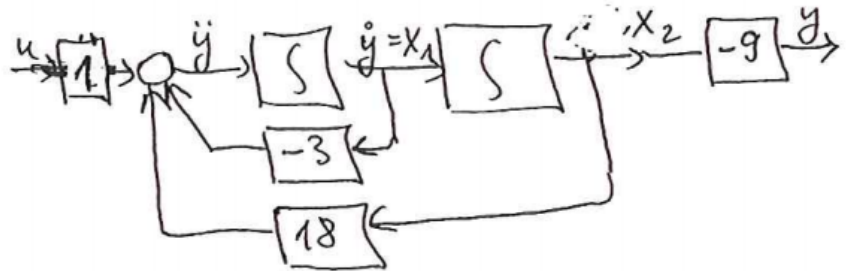
PÉLDÁK

Egy folytonos folyamat átviteli függvénye $P(s) = -9 / ((s+5) * (s-3))$. Adja meg a folyamat állapotegyenletét irányíthatósági kanonikus alakban. Adja meg a folyamatot stabilizáló állapotviszacsatoló k^T vektort. (A zárt rendszer pólusainak előírásánál a labilis pólust tükrözzön.)

$$P(s) = \frac{-9}{(s+6)(s-3)} = \frac{-9}{s^2 + 3s - 18} = \frac{y}{u} = \frac{-9}{s^2 + a_1 s + a_2}$$

$$\ddot{y} + 3\dot{y} - 18y = -9u$$

$$1) \begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -3 & 18 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} u$$



$$y = \begin{bmatrix} 0 & -9 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + 0 \cdot u$$

A karakterisztikus polinom a tükrözéssel legyen:

$$R(s) = (s+6)(s+3) = s^2 + 9s + 18 = s^2 + r_1 s + r_2$$

$$k^T = [r_1 - a_1 \quad r_2 - a_2] = [9 - 3 \quad 18 + 18] = [6 \quad 36]$$

Diszkrét Youla

$$G(z) = 0.02 \frac{(1 + 0.9z^{-1})z^{-1}}{(1 - 0.9z^{-1})(1 - 0.8z^{-1})} \cdot z^{-2}$$

$$G_-(z) = \frac{1 + 0.9z^{-1}}{1.9}; \quad G_+(z) = \frac{0.02 \cdot 1.9 z^{-1}}{(1 - 0.9z^{-1})(1 - 0.8z^{-1})}; \quad d = 2$$

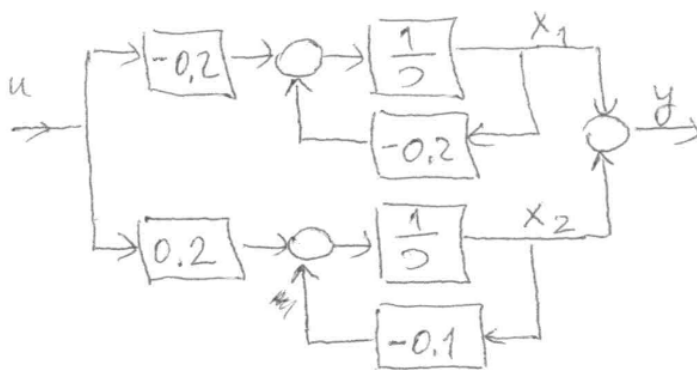
$$Q = R_n G_+^{-1} = \frac{0.8 z^{-1}}{1-0.2 z^{-1}} \frac{(1-0.9 z^{-1})(1-0.8 z^{-1})}{0.02 \cdot 1.9 z^{-1}} =$$

$$= \frac{40}{1.9} \frac{(1-0.9 z^{-1})(1-0.8 z^{-1})}{1-0.2 z^{-1}}$$

$$C(z) = \frac{Q}{1-QG} \quad F(z) = \frac{R_r}{R_n}$$

Résztörtekre bontás, folyamat állapotterjes modelje

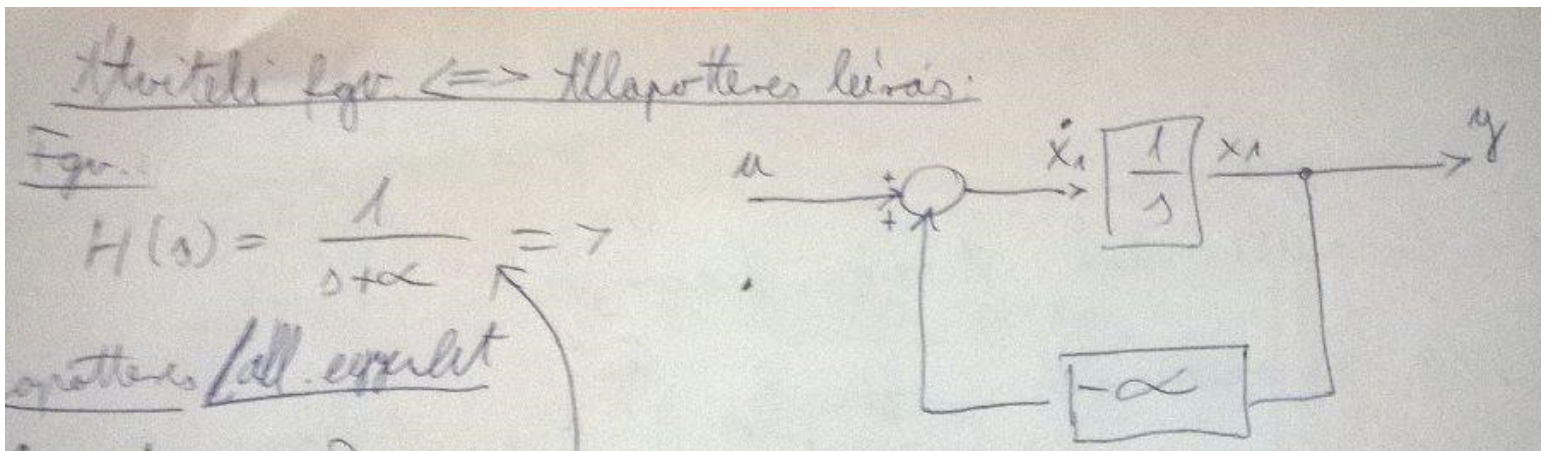
$$2.) \quad P(s) = \frac{1}{(1+5s)(1+10s)} = \frac{\alpha}{1+5s} + \frac{\beta}{1+10s}; \quad \begin{matrix} \alpha = -1 \\ \beta = 2 \end{matrix}$$



$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} -0.2 & 0 \\ 0 & -0.1 \end{bmatrix}}_A \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \underbrace{\begin{bmatrix} -0.2 \\ 0.2 \end{bmatrix}}_B u$$

$$y = \underbrace{\begin{bmatrix} 1 & 1 \end{bmatrix}}_{C^T} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \underbrace{0}_{d} u$$

Itt az ábra úgy jön ki hogy az alfás/bétás részt át kell alakítgatni így:



Adja meg a $P(s) = 1/s$ integráló tag impulzusátviteli függvényét $T_s = 2$ sec mintavételi mellett. Adja meg a tag differenciaegyenletét és kimenőjelét az első 4 mintavételi pontban, ha a bemenetét a mintavételezett egységugrással gerjesztjük.

$$G(z) = \frac{T_0}{z-1} = \frac{2}{z-1} = \frac{2z^{-1}}{1-z^{-1}} = \frac{y(z)}{u(z)}$$

$$y[k] = 2u[k-1] + y[k-1]$$

$$y[0] = 2$$

$$y[1] = 2 + 2 = 4$$

$$y[2] = 2 + 4 = 6$$

$$y[3] = 2 + 6 = 8$$

