1. Mi a folytonosidejű SISO időinvariáns lineáris rendszer felnyitott kör $W_0(s)$ átviteli függvényének szabályozástechnikában szokásos általános alakja? Hogyan értelmezzük a felnyitott kör körerősítését és típusszámát? Legyen a felnyitott kör átviteli függvénye $W_0(s) = \frac{9}{s(s+1)}$. Adja meg a zárt körben keletkező állandósult hiba értékét egységugrás és sebességugrás alapjelek esetén!

$$W_0(s) = \frac{k}{s^i} \cdot \frac{\prod_i (1+s\tau_i) \cdot \prod_j (1+2\mu_j \cdot \tau_j \cdot s + \tau_j^2 s^2)}{\prod_k (1+s\tau_k) \cdot \prod_l (1+2\mu_l \cdot \tau_l \cdot s + \tau_l^2 \cdot s^2)}$$

felnyitott kör átv. fg. (1 pont)

$$W_0(s) = \frac{9}{s(s+1)}$$

k	körerősítés paramétere (1 pont)
i	típusszám paramétere (1 pont)
0	állandósult hiba egységugrás alapjelnél (1 pont)
$1/9$	állandósult hiba sebességugrás alapjelnél (1 pont)

$i = 1$

$\varepsilon(t) \to 0$

$t \cdot \varepsilon(t) \to \frac{1}{k} = \frac{1}{9}$

$k = 9$

2. A felnyitott kör $W_0(s)$ átviteli függvénye legyen $W_0(s) = \frac{0.3(1+10s)}{s(1+0.1s)(1+0.02s)}$. Rajzolja fel a felnyitott kör $a_{dB}(\omega)$ <u>aszimptotikus</u> amplitúdó jelleggörbéjét és határozza meg az abból következő ω_c vágási frekvenciát! Adja meg fázistartalék számítására szolgáló kifejezést a megadott átviteli függvény esetén! Döntse el, hogy stabil-e a zárt kör (válaszát indokolja)!

$$W_0(s) = \frac{0{,}3(1+10s)}{s \cdot (1+0{,}1s)(1+0{,}02s)}$$

$k = 0{,}3$, $i = 1$

$\sqrt[i]{k} = \sqrt[1]{0{,}3} = 0{,}3$ [rad/s]

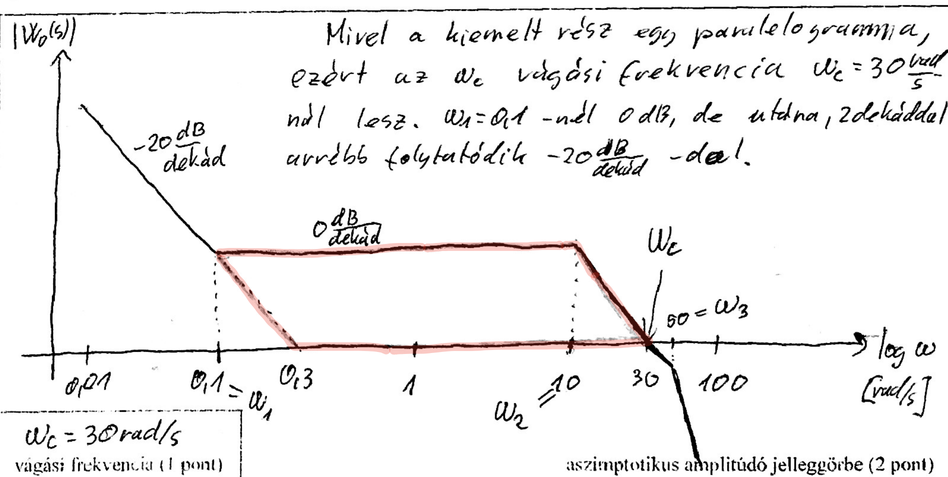
törés pontok

$\omega_1 = 0{,}1$ r/s ↑

$\omega_2 = 10$ r/s ↓

$\omega_3 = 50$ r/s ↓

Mivel a kiemelt rész egy paralelogramma, ezért az ω_c vágási frekvencia $\omega_c = 30 \frac{rad}{s}$ -nél lesz. $\omega_1 = 0{,}1$ -nél 0 dB, de utána, 2 dekáddal arrébb folytatódik $-20\frac{dB}{dekád}$ -dal.



$\omega_c = 30\,rad/s$

vágási frekvencia (1 pont)

aszimptotikus amplitúdó jelleggörbe (2 pont)

$\varphi_t = 90° + \arctg(300) - \arctg(3) - \arctg(0{,}6) \approx 78°$; $\arctg(300) \approx 90°$, $\arctg(3) \approx 71°$, $\arctg(0{,}6) \approx 31°$ → ez nem kell

fázistartalék számítása (1 pont)

$\varphi_t > 0°$, ezért a rendszer stabil

stabilis/labilis indoklással (1 pont)

$$\varphi(\omega) = -90° + \arctg(10\omega) - \arctg(0{,}1\omega) - \arctg(0{,}02\omega)$$

↑ integrátor miatt

$$\varphi_t = \varphi(\omega_c) + 180° = 180° - 90° + \arctg(10 \cdot 30) - \arctg(0{,}1 \cdot 30) - \arctg(0{,}02 \cdot 30)$$

Bode-kritérium: $\varphi_t > 0° \Rightarrow$ stabil a rendszer

Legyen egy szakasz diszkrétidejű átviteli függvénye $D(z)=\dfrac{0{,}3z+0{,}2}{z^2+0{,}7z+0{,}1}$! Véges beállási idejű $D_c(z^{-1})$ szabályozót kívánunk alkalmazni. Adja meg az elsőfokú $L(z^{-1})$ korrekciós polinom együtthatóit, ha $u_{max}=2{,}5$! (Segítség: a szakasz számlálójának és nevezőjének negatív hatványok szerint rendezett alakjából kell kiindulni.) Hol lesznek a zárt szabályozási kör pólusai dead-beat szabályozásnál?

$$D(z)=\frac{0{,}3\cdot z+0{,}2}{z^2+0{,}7z+0{,}1}=\frac{0{,}3\cdot z^{-1}+0{,}2\cdot z^{-2}}{1+0{,}7\cdot z^{-1}+0{,}1\cdot z^{-2}}=\frac{b_0\cdot z^{m-n}+\ldots+b_{m-1}\cdot z^{-(n-1)}+b_m\cdot z^{-n}}{1+a_1\cdot z^{-1}+\ldots+a_{n-1}\cdot z^{-(n-1)}+a_n\cdot z^{-n}}$$

a_0

$$u_{max}=l_0\cdot a_0 \Rightarrow l_0=\frac{u_{max}}{a_0}=\frac{2{,}5}{1}=2{,}5$$

$$l_1=\frac{1}{B(1)}-l_0=\frac{1}{0{,}5}-2{,}5=2-2{,}5=-0{,}5$$

$$l_0=L_0$$

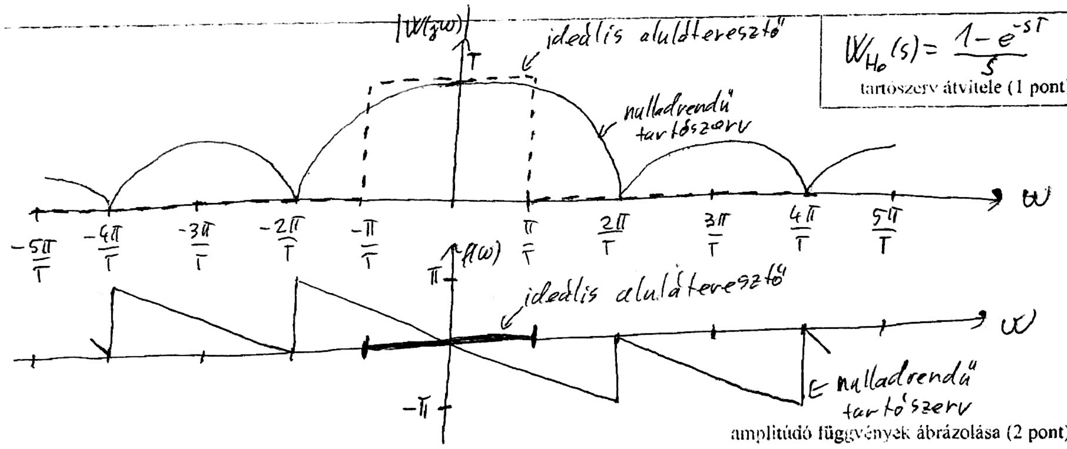
$$l_1=L_1$$

$L_0=2{,}5$ L0 értéke (2 pont)
$L_1=-0{,}5$ L1 értéke (2 pont)
origó (FIR)   zárt kör pólusainak helye (1 pont)

4. Adja meg a nulladrendű tartószerv $W_{H_0}(s)$ átviteli függvényét! Ábrázolja a tartószerv amplitúdó függvényényét ω-ban lineáris léptékben, és tüntesse fel a rajzon az ideális aluláteresztő szűrő amplitúdó és fázis függvényeit is. Miért használunk tartószervet az ideális aluláteresztő szűrő helyett?

$$W_{H_0}(s)=\frac{1-e^{-sT}}{s}$$

tartószerv átvitele (1 pont)



amplitúdó függvények ábrázolása (2 pont)

Az ideális aluláteresztő nem kauzális, ugyanis viselkedésekor jövőbeli értékeket is figyelembe vesz, ezért nem realizálható. A nulladrendű tartó azonban realizálható, és kicsi T esetén kb. azonos tulajdonságokkal bír.

tartószervhasználatának indokai (2 pont)

$$|W_{H_0}(j\omega)|=T\cdot\left|\frac{\sin\left(\frac{\omega T}{2}\right)}{\frac{\omega T}{2}}\right| \qquad \varphi(\omega)=-\frac{\omega T}{2}+\arg\left(\frac{\sin\left(\frac{\omega T}{2}\right)}{\frac{\omega T}{2}}\right)$$

Fogalmazza meg folytonosidejű $\Sigma = (A, B, C, D)$ SISO rendszert feltételezve a pólusáthelyezési feladatot állapot-visszacsatolás esetén, és adja meg a megoldás meghatározására szolgáló Ackermann-képletet a benne szerelő elemek magyarázatával! Adja meg a zárt rendszer hatásvázlatát az állapotvisszacsatolás és <u>mérhető</u> állapot estén!

$\dot{x} = A_x + Bu \quad , u = -k\cdot x$

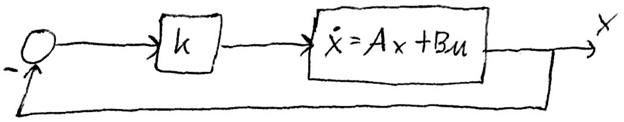
$\dot{x} = A_x - B\cdot k\cdot x = (A - Bk)\cdot x$ sajátértékei egy adott $f_c(s)$ gyökei

pólusáthelyezési feladat (2 pont)

$K = [0 \dots 0\ 1]\cdot M_c^{-1}\cdot f_c(A)$

$M_c = [B, AB, \dots A^{n-1}\cdot B]$

Ackermann-képlet és elemei (2 pont)



zárt rendszer hatásvázlata (1 pont)

6. Adja meg az LTI rendszerek irányíthatósági és megfigyelhetőségi mátrixainak általános alakját. Az irányíthatósági és a megfigyelhetőségi mátrixok felírása alapján döntse el, hogy a

$$\frac{d}{dt}\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -9 & 14 \\ -4 & 6 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 2 \\ 1 \end{bmatrix} u \quad \Rightarrow \underline{\underline{A}} = \begin{bmatrix} -9 & 14 \\ -4 & 6 \end{bmatrix} \quad \underline{\underline{B}} = \begin{bmatrix} 2 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$y = [0 \quad 1]\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} \qquad \underline{C} = [0 \quad 1] \qquad n = 2$$

állapotegyenlettel adott rendszer irányítható-e, illetve megfigyelhető-e!

$M_c = [B \quad AB] = \begin{bmatrix} 2 & -4 \\ 1 & -2 \end{bmatrix}$ $\det = 2\cdot(-2) + (1\cdot 4) = 0$

$\Downarrow$

$\mathrm{rank}(M_c) \neq n$

$M_o = \begin{bmatrix} C \\ C\cdot A \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -4 & 6 \end{bmatrix}$ $\det = 0\cdot 6 + 4 = 4$

számítások:

$A\cdot B = \begin{bmatrix} -9 & 14 \\ -4 & 6 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} 2 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2\cdot(-9)+1\cdot 14 \\ 2\cdot(-4)+1\cdot 6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -4 \\ -2 \end{bmatrix}$

$C\cdot A = [0 \quad 1]\begin{bmatrix} -9 & 14 \\ -4 & 6 \end{bmatrix} = [-4 \quad 6]$

$0\cdot(-9) + 1\cdot(-4) = -4$ $\qquad 0\cdot 14 + 1\cdot 6$

$M_o = \begin{bmatrix} C \\ C\cdot A \\ \vdots \\ C\cdot A^{n-1} \end{bmatrix}$

általános megfigyelhetőségi mátrix (1 pont)

$M_c = [B \quad A\cdot B \dots A^{n-1}\cdot B]$

általános irányíthatósági mátrix (1 pont)

$M_o = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -4 & 6 \end{bmatrix}$ $\mathrm{rank}(M_o) = \mathrm{rank}(A) = 2$

a rendszer Megfiggelhető

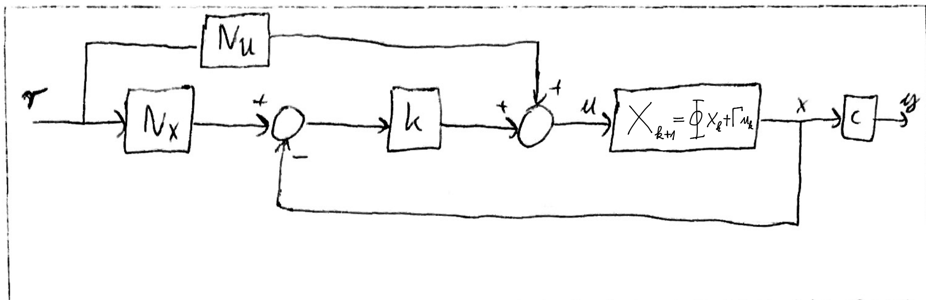
adott rendszer megfigyelhetőségi mátrixa és következtetés (1 pont)

$M_c = \begin{bmatrix} 2 & -4 \\ 1 & -2 \end{bmatrix}$ $\mathrm{rank}(M_c) \neq \mathrm{rank}(A) = 2$

a rendszer nem Irányítható

adott rendszer irányíthatósági mátrixa és következtetés (2 pont)

Diszkrét idejű állapotteres szabályozás tervezésekor milyen erősítéseken keresztül és milyen struktúrában vehető figyelembe az alapjel hatása? Adja meg a beavatkozó jel figyelembe vételének hatásvázlatát és az N_x és N_u erősítések számításának szabályát, ha egységugrás alapjelet feltételezünk! Ugyanesak egységugrás alapjel mellett számítsa ki a beavatkozó jel végértékét, ha $N_x = [1 \quad 0{,}5 \quad -2]^T$ és $N_u = 3$.



alapjel figyelembe vételének hatásvázlata (2 pont)

$$\begin{bmatrix} N_x \\ N_u \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Phi - I & \Gamma \\ C & 0 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

erősítések számítása (2 pont)

$u_\infty = 3$

beavatkozó jel végértéke (1 pont)

$u_\infty = r \cdot N_u$ $\quad r = 1 \rightarrow$ mert egységugrás az alapjel : $\quad u_\infty = 3 \cdot 1 = 3$

[Ha kezdeti értéket kérdezik:

$u_0 = r \cdot N_u + K \cdot N_x \cdot r$]

meg lesz adva

8. Vezesse le, hogy a $D(z) = \dfrac{b_1 z + b_2}{z^2 + a_1 z + a_2} = \dfrac{b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2}}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2}} = \dfrac{Y(z)}{U(z)}$ átviteli függvényű, diszkrétidejű rendszer identifikációja $y(t) = \varphi^T(t)\vartheta$ alakú lineáris paraméterbecslési feladatra vezet, kihasználva, hogy $z^{-k}x(t) = x(t-k)$ (a mintavételi idő 1 sec). Adja meg a felírásban található $\varphi^T(t)$ és ϑ vektorok elemeit is!

$$\varphi^T(t) = [-y(t-1) \quad -y(t-2) \quad u(t-1) \quad u(t-2)]$$

$\varphi^T(t)$ (3 pont)

$$u \cdot (b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2}) = Y \cdot (1 + a_1 \cdot z^{-1} + a_2 \cdot z^{-2})$$

$$b_1 \cdot u(t-1) + b_2 \cdot u(t-2) = y(t) + a_1 y(t-1) + a_2 \cdot y(t-2)$$

$$y(t) = -a_1 \cdot y(t-1) - a_2 \cdot y(t-2) + b_1 \cdot u(t-1) + b_2 \cdot u(t-2)$$

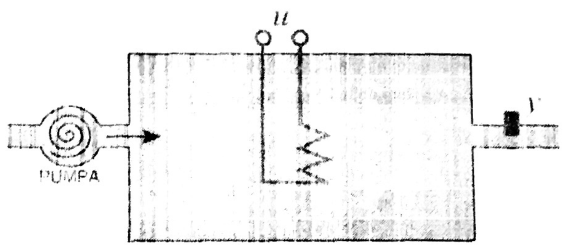
$$y(t) = \varphi^T(t) \cdot \vartheta$$

$$\vartheta = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ b_1 \\ b_2 \end{bmatrix}$$

ϑ (2 pont)

1. feladat

Egy technológia működtetéséhez egy áramoltatott komponens hőmérsékletének előírt értéken tartása a feladat. A beavatkozó szerv egy elektronos fűtőegység, amelynek egy munkaponti értékéhez képesti teljesítménye a szabályozott szakasz módosított jellemzője (u), a szabályozott jellemző pedig az áramoltatott komponens hőmérsékletének munkaponti értékétől mért eltérése (v.ö. ábra). Az elektronos fűtőegység és a hőátadás egyaránt egytárolós tagokként jellemezhetőek így az együttes átviteli függvény



$$W(s) = \frac{2}{(2s+1)(11s+1)},$$

amelyhez PI típusú analóg szabályozót tervezünk. A φ_t fázistöbblet értéke előírt $\varphi_t \approx 60^\circ$, és gyors működésre törekszünk. A megtervezett analóg szabályozót egységugrás ekvivalens $D_{PI}(z)$ mintavételes szabályozóként implementáljuk $T_s = 0.1\,\text{sec}$ mintavételi idő mellett. A tervezést az alábbi lépésekben kell elvégezni

1. Ejtse ki a szabályozó zérushelyével a domináns (nagyobb) időállandót és $A_p = 1$ erősítés esetén határozza meg a $W_0(s) = W(s)W_{PI}(s)$ felnyitott kör ω_c vágási frekvenciáját és φ_t fázistöbbletét!

T_I (kiejtésből)

$T_i = 11$

(2 pont)

φ_t (pontos)

$\varphi_t = 71^\circ$

(2 pont)

ω_c

$\omega_c = 0{,}172\ \frac{rad}{s}$

(2 pont)

$W(s) = \frac{2}{(2s+1)(11s+1)}$ $\quad W_{PI}(s) = A_p\left(1 + \frac{1}{sT_i}\right) = A_p \cdot \frac{sT_i + 1}{sT_i}$

$T_i =$ a leglassabb pólus $= 11$ $\quad W_0(s) = W(s) \cdot W_{PI}(s)$

>> margin(W0);

↓

$\varphi_t = 71^\circ$

$\omega_c = 0{,}172\ \frac{rad}{s}$

2. Keresse meg azt a beállítást, amely mellett a felnyitott kör fázistöbblete az előírt $\varphi_t \approx 60^\circ$ értékű lesz (legalább 0,2° pontossággal)! Adja meg a feltételeket kielégítő analóg szabályozó $W_{PI}(s)$ átviteli függvényét és benne az A_p, T_I paraméterek numerikus értékével!

>> margin (W0); % fázis görbén megkeresem

% a -120°-hoz tartozó frekvenciát, majd az

% amplitúdó görbén megnézem az erősítést

↓

-5,31 dB

>> $A_p = 10$^(5,31/20) % $A_p = 1{,}8429$

>> $W_{PI} = W_{pi} * A_p$

A_p

$A_p = 1{,}8429$

(3 pont)

$W_{PI}(s)$ szabályzó átviteli függvénye

$W_{PI} = \frac{20.27s + 1{,}843}{11s}$

(4 pont)

3. Határozza meg a megtervezett $W_{PI}(s)$ analóg szabályozó egységugrás ekvivalens $D_{PI}(z)$ mintavételes közelítését az előírt T_s mintavételi idő mellett és írja fel a hozzá tartozó differenciaegyenletet!

>> Dz = c2d(Wpi, 0,1, 'zoh')

$$D_z = \frac{1{,}843z - 1{,}826}{z-1} = \frac{U(z)}{E(z)}$$

$E(z)\cdot 1{,}843\cdot z - E(z)\cdot 1{,}826 = U(z)\cdot z - U(z)$

$U(z) = U(z)\cdot z^{-1} + E(z)\cdot 1{,}843 - E(z)1{,}826z^{-1}$

$D_{PI}(z)$ szabályzó átviteli függvénye
$D_{PI}(z) = \frac{1{,}843z - 1{,}826}{z-1}$
(2 pont)
Differencia egyenlet
$u_k =$ $u[k-1] + 1{,}843\cdot e[k] - 1{,}826\cdot e[k-1]$
(5 pont)

2. feladat

A szabályozott szakasz egy gyengén csillapított kéttárolós lengőtag, amelynek átviteli függvénye $W(s) = \frac{1}{1+0.1s+s^2}$. A *DAC* és *ADC* átalakítókkal kiegészített szakaszhoz **2-szabadságfokú** (feedforward+feedback) mintavételes szabályozót tervezünk, amelynek mintavételi ideje $T_s = 0.2\,\text{sec}$. A zárt rendszer referenciamodelljét folytonos időben specifikáljuk a domináns póluspár $\xi = 0.7$ csillapításával és $\omega_0 = 1\,\text{sec}^{-1}$ csillapítatlan sajátfrekvenciájával. A statikus pontosság biztosítására a **szabályozónak integrátort is kell tartalmaznia**. A kauzalitási feltételek betartásakor az $A_0(z)$ megfigyelő (observer) polinom feleljen meg a folytonos időben specifikált $\xi_{obs} = 0.7$ és $\omega_{obs} = 3\,\text{sec}^{-1}$ paraméterű megfigyelő póluspárnak. A tervezést a következő lépésekben kell elvégezni:

1. Határozza meg a szabályozott szakasz $D(z) = \frac{B(z)}{A(z)}$ diszkrétidejű átviteli függvényét, ha a DAC átalakító nulladrendű tartószervvel modellezhető! Adja meg a tervezéshez szükséges $B(z) = B^+(z)B^-(z)$ faktorizációt ($B^+(z)$ monik, azaz a legnagyobb hatványú tag együtthatója egy)!

>> D = c2d(W, Ts, 'zoh')

>> B = D.num{1}
>> B = B(2:end)
>> A = D.den{1}
>> roots(B) % ans = -0,9933

$D(z) = \frac{B(z)}{A(z)} = \frac{0{,}0198z + 0{,}01967}{z^2 - 1{,}941z + 0{,}9802}$ (2 pont)	
$B^-(z) =$ B (2 pont)	
$B^+(z) =$ 1 (2 pont)	

$B^- = B$ (−0,9933 nem kiejthető, mert tisztán valós, negatív)

$B^+ = 1$ (mert ez monik)

2. Határozza meg a referencia modell, a szabályozó és a megfigyelő polinomjainak fokszámát a kauzalitási feltételek és a specifikációk betartása mellett, kis fokszámú polinomokra törekedve! Segítség:

$gr A_m = 1 + gr B^- + \{1/0\}$; $gr S = gr A + l - 1$; $gr A_0 = gr A + l - 1 - \{1/0\}$; $gr R_1' = gr B^-$

$gr B^- = 1$
$gr A = 2$

$grA_m =$ 2 (1 pont)	$grS =$ 2 (1 pont)
$grA_0 =$ 2 (1 pont)	$grR_1' =$ 1 (1 pont)

$grA_m = 1 + 1 + 0 = 2$
$grS = 2 + 1 - 1 = 2$
$grA_0 = 2 + 1 - 1 - 0 = 2$
$grR_1' = 1$

atlab kód:

```
>>AA = conv(A, [1 -1]);
>>BB = B;
>>CC = conv(Am, A0);
```

```
>> atilde = AA';
>> btilde = [BB zeros(1,2)]';
>> brow = zeros(1,3)
```

```
>> Dmat = [atilde toeplitz(btilde, brow)];
>> Dvec = [CC(2:4)' - AA(2:end)'; CC(end)];
>> RS = inv(Dmat)*Dvec
>> R1v = [1 RS(1)]; >> S = RS(2:end)
```

3. Határozza meg a folytonos időben előírt $\xi, \omega_0, \xi_{obs}, \omega_{obs}$ értékek esetén a zárt rendszer referencia modellje nevezőjében a domináns póluspárnak megfelelő $A_m(z)$, és a megfigyelő póluspárnak megfelelő $A_0(z)$ másodfokú faktorokat diszkrét időben!

$$s_{1,2} = -\omega_0 \cdot \xi \pm j \cdot \omega_0 \cdot \sqrt{1-\xi^2} = -0{,}7 \pm 0{,}7141j \implies z_{1,2} = \exp(s_{1,2} \cdot T_s)$$

$$s_{obs_{1,2}} = -\omega_{obs} \cdot \xi_{obs} \pm j \cdot \omega_{obs} \cdot \sqrt{1-\xi_{obs}^2} = -2{,}1 \pm 2{,}1424j \qquad z_{0_{1,2}} = \exp(s_{obs_{1,2}} \cdot T_s)$$

$A_m(z) =$ (2 pont)	$z^2 - 1{,}721 \cdot z + 0{,}7558$
$A_0(z) =$ (2 pont)	$z^2 - 1{,}1953 \cdot z + 0{,}4317$

>> Am = poly([z1, z2])

>> A0 = poly([z01, z02])

4. Határozza meg a szabályozó polinomjainak együtthatóira felírható diophantoszi egyenlet megoldását és B'_m értékét!

Ⓘ Diophantoszi egyenlet: $\underbrace{A \cdot (z-1)^{\ell}}_{AA \leftarrow \text{monik}} \cdot R_1' + \underbrace{B^-}_{BB \leftarrow \text{nem monik}} \cdot S = \underbrace{A_m \cdot A_0}_{CC \leftarrow \text{monik}}$

Ⓘⓘ

$AA = z^3 + a_1 \cdot z^2 + a_2 \cdot z + a_3$

$BB = b_0 \cdot z + b_1$

$CC = z^4 + c_1 \cdot z^3 + c_2 \cdot z^2 + c_3 \cdot z + c_4$

$S = s_0 \cdot z^2 + s_1 \cdot z + s_2$ ← nem monik

$R_1' = r_1$ ← monik

Ⓘⓘⓘ

$$\begin{array}{cccc} \begin{pmatrix} 1 & b_0 & 0 & 0 \\ a_1 & b_1 & b_0 & 0 \\ a_2 & 0 & b_1 & b_0 \\ a_3 & 0 & 0 & b_1 \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} r_1 \\ s_0 \\ s_1 \\ s_2 \end{pmatrix} & = & \begin{pmatrix} c_1 - a_1 \\ c_2 - a_2 \\ c_3 - a_3 \\ c_4 \end{pmatrix} \\ \uparrow \text{②} \quad \underbrace{\qquad}_{③} & \uparrow ① & & \uparrow ④ \end{array}$$

① $R_1' : r_1$, majd alá S-ek

② Mivel ①-es mátrix 4 hosszú ezért 4x4-es lesz, ki kell tölteni a-val

③ b_0, b_1 van, mert gr $B^- = 2$, a többi nulla

④ ez így van, mindig C-A

(*)

$S(z) =$ (3 pont)	$9{,}0822 z^2 - 17{,}7237 z + 8{,}3497$
$R_1'(z) =$ (3 pont)	$z - 0{,}1653$
B'_m (2 pont)	$= 0{,}881$

$B'_m = \dfrac{A_m(1)}{B^-(1)}$ >> Bmv = polyval(Am, 1)/polyval(B, 1);

5. Adja meg a szabályozó $R(z)$, $T(z)$ polinomjait is, illetve a szabályozó differencia-egyenletét *numerikusan*:

```
>> R = conv([1 -1], R1v)
>> T = Bmv*A0
```

$T(z) =$ (2 pont)	$0{,}881 z^2 - 1{,}053 z + 0{,}3803$
$R(z) =$ (2 pont)	$z^2 - 1{,}1653 z + 0{,}1653$
$u_k =$ (4 pont)	