3. Tantermi gyakorlat

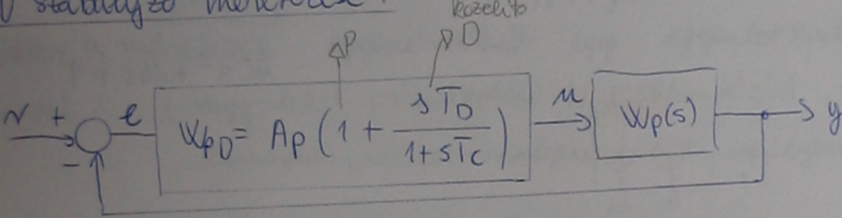
Folytonos idejű szabályzók tervezése + mintavételezés

- → Méretezési feladat folytonos időben
- → Mintavételezés
- → Diszkrét idejű szabályzó méretezése folytonos időben adott szabályzó alapján

demok mechanikai rendszerek esetében. ⇒ filmnézés :)

Szabályzás videók: - egyensúlyozás (inga)
- hajóldani egyensúly
- automata beparkolás

PD szabályzó méretezése:



Invertált ingát akarunk szabályozni.

$$W_P(s) = \frac{5}{s(1+0{,}1s)(1+s)}$$

A PD-szabályzót úgy méretezzük, hogy $\varphi_t = 60°$ teljesüljön.

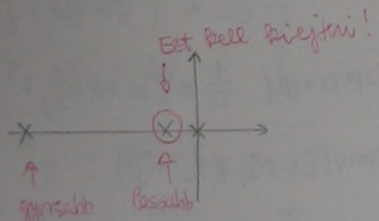
$$W_0(s) = W_{PD}(s) \cdot W_P(s) = A_P \frac{1+s(T_D+T_C)}{1+sT_C} \cdot \frac{5}{s(1+0{,}1s)(1+s)}$$

$K = 5A_P$

$i = 1$

↓

Nem lesz maradó hiba egységugrásnál



$$T_D + T_C = 1$$

$$\frac{T_D}{T_C} = N \sim 10$$

túlvezérlési arány, kezdetben nem nagyon túllövést engedélyezünk

Most legyen: $N = 5 \Rightarrow 5T_C + T_D = 1$; $T_C = \frac{1}{6}$ és $T_D = \frac{5}{6}$

A_P segítségével állítjuk be a fázistartalékot.

Matlabban nézzük a felnyitott kör Bode-jét:

phase: −120

frek: 1,98

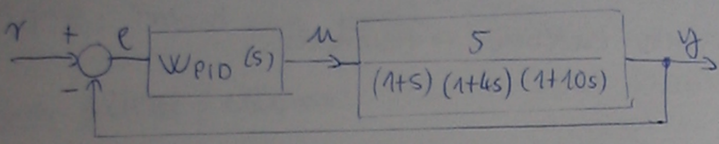
$A_P = 7{,}42\,dB$

Tehát a bode utasításból (ha $A_p = 1$) $\omega_c = 1,98 \frac{rad}{sec}$

$$A_p = \frac{1}{10^{\frac{7,42}{20}}} \Big\} \; 7,42\text{ dB - nek megfelelő erősítés}$$

$A_p = 0,4256 \Rightarrow$ Ekkor $\varphi_t = 60,5°$

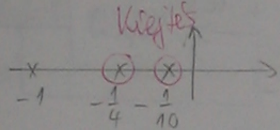
PID szabályzó méretezése, fsolve használata



$$W_0(s) = \frac{A_p}{T_I} \frac{s^2 T_I (T_D + T_C) + s(T_I + T_C) + 1}{s(1 + T_C s)} \cdot \underbrace{\frac{5}{(1+s)(1+4s)(1+10s)}}_{40s^2 + 14s + 1}$$

$K = \frac{5A_p}{T_I}$

$i = 1$



$N = 10$
$T_D = 10T_C$

$$\left.\begin{matrix} N=10 \\ T_D = 10T_C \end{matrix}\right\} \quad \begin{matrix} T_I \cdot 11\, T_C = 40 \\ T_I + T_C = 14 \end{matrix}$$

$T_C = 14 - T_I$

$T_I\, 11 (14 - T_I) = 60$

$-11 T_I^2 + 154 T_I - 40 = \emptyset$

Matlab:

>> szakasz = ...

T_i = roots([-11 154 -40])

$T_i = 13,73$
$0,2647$

$T_C = 14 - T_i = 0,2647$

$T_D = 10\,T_C = 2,647$

φ_t legyen most is 60°!

>> PID = tf($\frac{1}{T_i}$ * [40 14 1], conv([1 0], [Tc 1]))

>> bode (series(PID, szakasz))

Legyen 58° ⇒ −122 phase

frek = 0,474

Amp : −3,23 ⇒ $A_p = \frac{1}{10^{\frac{-3,23}{20}}} = 1,4504$

Ellenőrzés: PID-ben A_p-t átírni

majd margin a bode helyett : phase = 57,5°

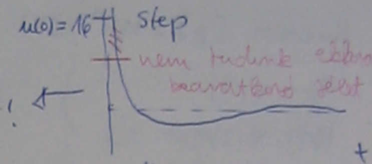
Vizsgáljuk meg a beavatkozó jelet, ha $r = 1(t)$?

Hogyan indul a beavatkozó jel?

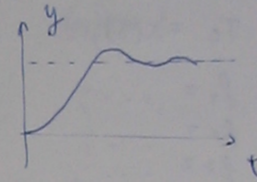
$$W_{ur}(s) = \frac{W_{PID}}{1 + W_0}$$

>> W_{ur} = feedback (PID, szabszt)

>> step (W_{ur})



pl.: Trabant nem gyorsul 100-ra 5mp. alatt!



Újabb feltétel / előírás:

$u(0) = U_{max} = 10$; A 16 helyett akarunk 10-et!

Ekkor a méretezés egyenértékű egy egyenletrendszer megoldásával! (Vagy lehet próbálkozni N csökkentésével, és többször végigszámolni, mikor milyen N-re, milyen u(0) van.)

$$\left.\begin{aligned} &\text{I.} \quad |W_0(j\omega_c)| = 1 \\ &\text{II.} \quad \pi + \arg W_0(j\omega_c) = \varphi_t \\ &\text{III.} \quad A_P\left(1 + \frac{T_D}{T_C}\right) = U_{max} \end{aligned}\right\} \text{fsolve}$$

$$\left.\begin{aligned} T_I(T_D + T_C) &= 40 \\ T_I + T_C &= 14 \end{aligned}\right\}$$

Itt nem határozzuk meg az N-t! Ki akarjuk számolni.

$$T_I = 14 - T_C$$

$$T_D = \frac{40}{14 - T_C} - T_C$$

Ez már egyszerűsítve van!

$$W_0(s) = \frac{A_P}{14 - T_C} \cdot \frac{5}{s(1 + sT_C)(1 + s)}$$

$$\text{I.} \quad \frac{A_P}{14 - T_C} \frac{5}{\omega_c\sqrt{1 + T_C^2\omega_c^2} + \sqrt{1 + \omega_c^2}} - 1 = 0$$

$$\text{II.} \quad \pi - \frac{\pi}{2} - \operatorname{atan}(\omega_c T_C) - \operatorname{atan}(\omega_c) - \frac{\pi}{3} = 0$$

III. $\underbrace{A_p\left(1+\frac{\frac{40}{14-T_c}-T_c}{T_c}\right)-10}_{F(x)}=\emptyset$ $\qquad X=[A_p, w_c, T_c]$

function [y] = myPID(x) $\qquad$ params = fsolve('myPID', [10*(14-1)/40 1 1]);

$A_p=x(1);$

$W_c=x(2);$

$T_c=x(3);$

$f_1= \ldots;$

$f_2= \ldots;$

$f_3= \ldots;$

$y=[f_1\ f_2\ f_3];$

$X=[A_p, w_c, T_c)$

$\frac{1}{T_c}$

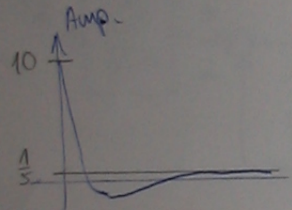
$A_p=$ params(1);

$T_c=$ params(3);

$T_i=14-T_c;$

$T_d=40/T_i-T_c;$

Ellenőrzés Matlabbal: Valóban 10-ről indul majd, de így lassabban áll majd be.



$\left(\text{atan}\left(\frac{Im}{Re}\right)=\text{atan}\left(\frac{w_cT_c}{1}\right)\right)$

A_p kezdőértéke: a III. egyenlet $T_c=1-x$.

Mintavételezés:

$W_c(s) \xrightarrow[\text{áttérés}]{} D_c(z)$

zero order hold
zérusrendű tartás

>> c2d

continuous $\quad$ discrete

>> PID_z = c2d(PID, Ts, 'zoh')

A mintavételezés alacsony frekvenciákon ~ holtidő $T_a=\frac{T_s}{2}$

A holtidő a fázismeneten ront.

W_c frekvencián ne rontson csak ~5° $\qquad T_s=\frac{0{,}2}{W_c}\cong 0{,}5$

-16- $\qquad \varphi_t$ lecsökken: 49,9° lesz

5. Gyakorlat

Folytonos idejű szabályozások tervezése állapottérben

Semmi nem használható
Vizsga is ilyen lesz!

1, Állapotegyenlet (felírása, transzformáció, kanonikus alakok)

2, Szabályzó tervezése / méretezése
- pólusáthelyezés állapot - visszacsatolás
- állapot megfigyelő
- alapjel figyelembe vétele
- terhelés becslő
- integráló hatás

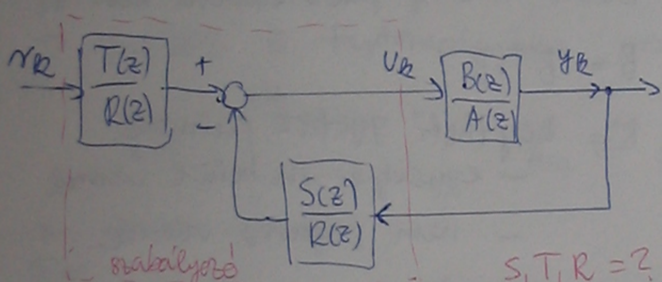
} opciók

} Ez lesz a jövő héten!

Ma a 4. gyakorlat lesz!

4. gyakorlat

Kétszabadságfokú szabályozás (tervezés diszkrét időben)



← Kimenet a motor tengelyének szög elfordulása

S, T, R = ?

Egyenáramú motorral pozíció szabályzás

Tervezés:

1, Mintavételi periódusidő meghatározása: $T_s = ?$

$T_s = \frac{0,2}{\omega_c}$ → Most még nincs ω_c, mert még nem terveztünk szabályzót.

Szakasz nevezőjének gyökeiből eredő állandók!

T = abs(1./roots(motor_tf.den{1}))

T = 0,006
0,0075
Inf

$T_{sum} = T_1 + T_2$ = 6 ms + 7,5 ms = T_{sum} = 13,5 ms

→

$\underline{w_c}$ legyen: $\frac{5}{T_{sum}} = 370{,}9 \ \frac{rad}{s} = w_c$

C2d
continuous discrete

$T_S = \frac{0{,}2}{w_c} = \underline{0{,}5 \text{ ms}}$

Diszkrét idejű átviteli fv.: $\Rightarrow$ motor_d = c2d(motor_tf, 0.5e-3, 'zoh')

Ez megadja az átviteli fv-t. $\rightarrow$ számlálója : $B(z)$
nevezője : $A(z)$

c2d alkalmazása T_s-sel, 'zoh'-hal $\Rightarrow$ $B(z)/A(z)$

2.) zárt kör: $D_{cl}(z) = \frac{BT}{AR+SB} = \frac{B_m}{A_m} \cdot \frac{A_o}{A_o}$

$R = B^+ \cdot \underbrace{(z-1)^l}_{\text{integrátorok}} R_1'$

$\uparrow$
csak stabil gyöke lehet! $\rightarrow$ Ezért a B-t faktorizálni kell!

$B = B^+ \cdot B^-$

B^+ = kiejthető gyökök tehmsok
– egységkörön belül vannak
– nem negatív valósak

B gyökei: roots(motor_d.num(1))
$-3{,}6$
$-0{,}258$ } mindkettő B^--ba kerül.

Ezért $B^- = B$! $B^+ = 1$

Bplusz = 1;
Bminusz = motor_d.num(1)

3.) l meghatározása

$D_0(z) = \frac{B}{A} \cdot \frac{S}{R} = \frac{BS}{AR} = \frac{BS}{A \cdot B^+ (z-1)^l \cdot R_1'}$

1db integrátor kell!
Mivel A-ban már van integrátor, ezért nem kell több.
Így $\underline{l=0}$

XI. 15. cs.
10. h

4.) $$\frac{\cancel{B^+}\cdot B^-\cdot T}{A\cancel{B^+}(z-1)^0\cdot R_1' + \cancel{B^+}SB^-} = \frac{B_m'\cdot B^-}{A_m}\cdot\frac{A_0}{A_0}$$

B_m

$$T = B_m'\cdot A_0$$

$$*.\quad (z-1)^0 A\cdot R_1' + SB^- = A_m\cdot A_0 \quad \leftarrow \boxed{D}$$

Diophantoszi egyenlet

Fokszámok meghatározása:

$gr\,A_m = 1 + gr\,B^- = 1+2 = 3$

$gr\,S = gr\,A + l - 1 = 3 + 0 - 1 = 2$

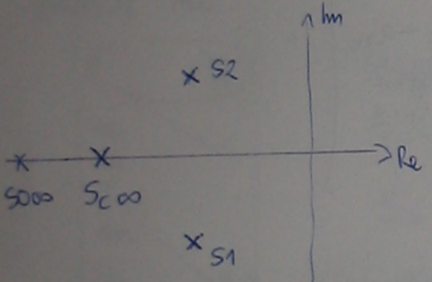
$gr\,A_0 = gr\,A + l - 1 - 0 = 2$

$gr\,R_1' = gr\,B^- = 2$

5.) A_0, A_m polinomok meghatározása

gyökök s tartományban $\rightarrow z = e^{sT_s} \rightarrow$

$\rightarrow$ gyökök z tartományban $\rightarrow$ poly $\rightarrow A_0, A_m$



$A_m \leftarrow s_1, s_2, s_{c\infty}$

↑ Most csak 1-szer pakoljuk be!

$A_0 \leftarrow s_{0\infty}$

$s_{12} = -\omega_0\xi \pm j\omega_0\sqrt{1-\xi^2}$; $\underbrace{\xi = \frac{\sqrt{2}}{2}}_{\text{Legyen}}$; $\omega_0 = \frac{5}{T_{sum}} =$

$\omega_0 = 370{,}94$

$s_1 = \dots$

$s_2 = conj(s1)$

conj = konjugált számítása

$s_{c\infty} = \max\{\omega_0, 1/\min\{T_1, T_2\}\}$

$s_{0\infty} = -5\max\{\omega_0, |s_{c\infty}|\}$ $\leftarrow$ még 5-ször balrább, mint $s_{c\infty}$.

scinf $= -370{,}9$

soinf $= -1{,}85\cdot 10^3$

$z_1 = \exp(s1 * 0{,}5\,e-3) = 0{,}869 + 0{,}1147\,i$

$z_2 = \dots$

$z_{cinf} =$

$z_{oinf} =$

} ezek mind az egységkörön belül vannak!

polynom létrehozása: $A_m = \mathrm{poly}([z_1 \; z_2 \; z_{cinf}])$

$A_0 = \mathrm{poly}([z_{oinf} \; z_{oinf}])$

ahányszor kell, ahány fokú volt!

6. Dioph. -egyenlet megoldása

$\bar{A} X + \bar{B} Y = C$

$X = 1 z^k + x_1 z^{k-1} + \dots + x_k$ ← monic

!

$Y = y_0 z^h + y_1 z^{h-1} + \dots + y_h$ ← nem Monic y_0 miatt

$$\begin{bmatrix} 1 & & \emptyset & b_0 & & \emptyset \\ a_1 & \ddots & & b_1 & \ddots & \\ a_2 & & & b_2 & & \\ \vdots & & 1 & \vdots & & b_0 \\ a_n & & & b_m & & \vdots \\ & \ddots & & & \ddots & \\ \emptyset & & a_n & \emptyset & & b_m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_k \\ y_0 \\ y_1 \\ \vdots \\ y_h \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_1 - a_1 \\ c_2 - a_2 \\ \vdots \\ c_n - a_n \\ c_{n+1} \\ c_{n+2} \\ \vdots \end{bmatrix}$$

Toeplitz (nemet, mint Hurwitz, de nem mint Nimitz, mert ez anyaholyó!)

$\underbrace{A(z-1)^{0}}_{\bar{A}} R_1^{*} + S \underbrace{B^-}_{\bar{B}} = \underbrace{A_m \cdot A_0}_{C}$

$R_1^{*} = z^2 + r_1 z + r_2$

$S = s_0 z^2 + s_1 z + s_2$

$$\begin{array}{c} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0{,}15e-5 & 0 & 0 \\ -2{,}86 & 1 & 0{,}58e-5 & \searrow & 0 \\ 2{,}71 & -2{,}86 & 0{,}14e-5 & \searrow & \searrow \\ -0{,}86 & 2{,}71 & 0 & \searrow & \searrow \\ 0 & -0{,}86 & 0 & 0 & \searrow \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_1 \\ r_2 \\ s_0 \\ s_1 \\ s_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -3{,}36 - (-2{,}86) \\ 4{,}4 - (2{,}71) \\ -2{,}79 - (-0{,}86) \\ 0{,}85 \\ -0{,}1 \end{bmatrix} \\ \uparrow \; * \qquad \uparrow \; 0 \end{array}$$

motor_d. den(1)*

°Bminus: itt az első $\emptyset$-akat elhagyjuk.

$C = \mathrm{conv}(A_0, A_m)$

A Toeplitz blokkokat, mátrixokat Matlabban valósítjuk meg. XI. 18. cs. 10.h

Megoldás: inv (M) * C' ← transzponálás

↑ Toeplitz mátrix

$R = B^{+} (z-1)^{l} R_1' = R_1'$

↑ példánkban

7.) B_m' meghatározása

$$1 = \frac{B_m' \cdot B^{-}(1)}{A_m(1)} \Rightarrow B_m' = \frac{A_m(1)}{B^{-}(1)}$$ polinom értéke 1 helyen.

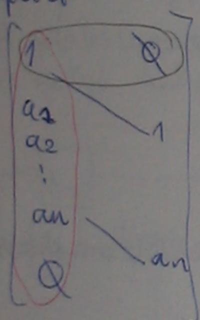
Bmv = sum (Am) / sum (Bminusz) = 587

↑ 1-et helyettesítünk!

$T = Bmv \cdot A_0 = 587 \quad -464{,}4 \quad 91{,}9$

$T = B_m' \cdot A_0$ VÉGE

Toeplitz-nek:



Meg kell adni az első oszlopot és az első sort neki!

És ő ezekből generálja a Toeplitz mátrixot!

5. gyakorlat

XI. 29a
12.h

Állapotteres szabályzók tervezése folytonos időben

1., példarendszer (mágneses lebegtetés)
2., állapotvisszacsatolás
3., alapjel figyelembevétele
4., megfigyelő tervezése
5., terhelés becslő } opció
6., integráló hatás }

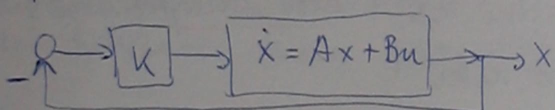
algebrai hasonlóság a folytonos és diszkrét idejű esetek között

1., 5gyak: maglev ábra: itt a golyó labilis helyzetben van.
Nem lineáris rendszer. Ezért linearizáljuk egy munkapont ($y = 1cm$) körül, és felépítünk egy linearizált modellt.

Maglev_gyak5.m lefuttatása

$$\dot{x} = Ax + Bu$$
$$y = Cx + Du$$

2., állapotvisszacsatolás:



$$\dot{x} = (A - BK)x$$

Ha A, B pár irányítható, akkor az Ackermann-képlet alkalmazható.
Ackermann még élő személy, BMW-nél fejlesztett.

Ackermann-képlet:

$$K = [0 \dots 0, 1]\, M_c^{-1} \cdot \varphi_c(A) \qquad n = \dim x$$

$$M_c = [B,\ AB,\ \dots\ A^{n-1}B] \text{ – irányíthatósági mátrix}$$

acker

φ_c = zárt kör karakterisztikus polinomja

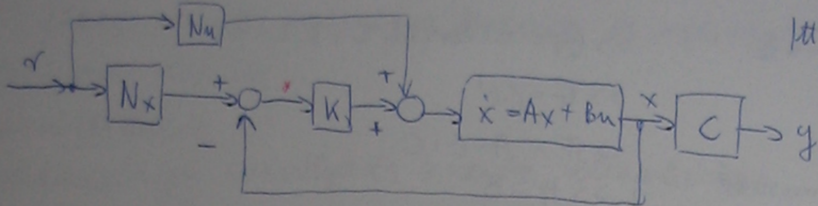
>> K = acker (A, B, [-20 -20 -20])

K = -48,15 -108,6 26

initial ← szimuláció

XI.29.(5)
12.h

3, Alapjel figyelembe vétele



Itt K már ismert!

Ha az alapjel az egységugrás, akkor állandósult állapotban:

$r(t) = 1(t)$

$y_\infty = 1$

* Itt Ø legyen

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & \emptyset \end{bmatrix} \begin{bmatrix} N_x \\ N_u \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \emptyset \\ 1 \end{bmatrix} \qquad \begin{bmatrix} N_x \\ N_u \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & \emptyset \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \emptyset \\ 1 \end{bmatrix}$$

N

inv

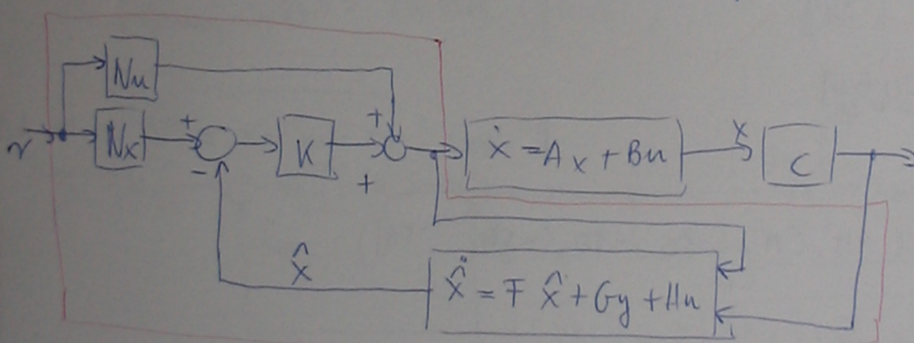
3db Ø kell, mert 3 dolog befolyásolja a működést

\>>Nx = N(1:3)

\>>Nu = N(4)

4, Állapot megfigyelő tervezése

A stabilizáláshoz nem kell így a 3 dolgot ismerni, elég egyedül a golyó helyzetét tudni. Ezt valósítja meg a megfigyelő.



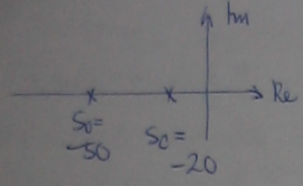
$\tilde x = \hat x - x$ becslés hibája

$$\left.\begin{aligned} H &= B \\ F &= A - GC \end{aligned}\right\} \rightarrow \dot{\tilde x} = F\tilde x$$

A, C pár teljesíti a megfigyelhetőségi feltételt

$F^T = \underline{A^T - C^T G^T}$ (algebrai hasonlóság: $\dot x = (\underline{A - BK})x$)

acker → G^T meghatározására



←

2-szer, 3-szor messzebb

Transzponálás: Matlabban!

>> Gt = acker(A', C', [-50 -50 -50])

>> G = Gt'

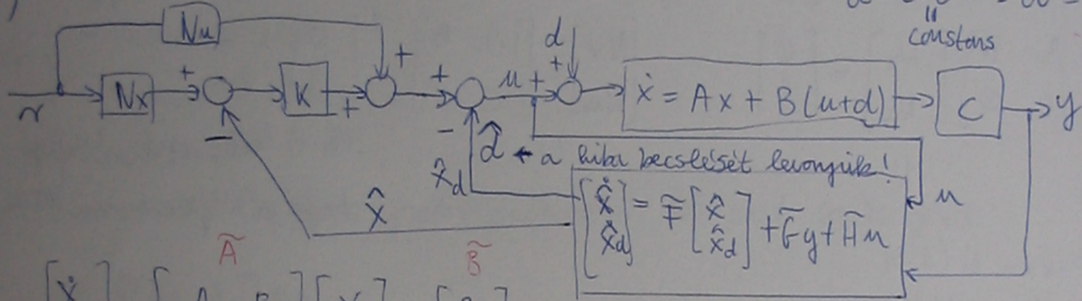
>> F = A - G·C

>> H = B

A nem lineáris rendszer és a linearizált rendszer között hiba van, ha eltávolodunk a munkaponttól. Erre megoldás:

5.) Terhelésbecslő

$d = \underset{\text{constans}}{cte} \rightarrow \dot{d} = \emptyset$



$$\begin{bmatrix}\dot{x} \\ \dot{x}_d\end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix}A & B \\ \emptyset & \emptyset\end{bmatrix}}_{\tilde{A}}\begin{bmatrix}x \\ x_d\end{bmatrix} + \underbrace{\begin{bmatrix}B \\ \emptyset\end{bmatrix}}_{\tilde{B}} u$$

$$y = \underbrace{[C \quad \emptyset]}_{\tilde{C}}\begin{bmatrix}x \\ x_d\end{bmatrix}$$

$$\tilde{H} = \tilde{B}$$

$$\tilde{F} = \tilde{A} - \tilde{G}\tilde{C}$$

↑ acker

>> Ah=[A B; 0 0 0 0]

>> Bh=[B; 0

>> Ch=[C 0]

$\tilde{F}$ 4x4-es mátrix, ezért 4-szer kell

>> Ght = acker(Ah', Ch', [-50 -50 -50 -50])

>> Gh = Ght'

>> Fh = Ah-Gh·Ch

>> Hh = Bh

Vagy terhelésbecslőt vagy integráló hatást kell számolni vizsgán Matlabban.

Simulink: maglev_terheles.mdl (1V külső zavar)

A zavart kiküszöböli a rendszer és 5-re áll be! Ez jó!

6. tantermi gyakorlat:

XII. 13 cs. 14.h

Diszkrét idejű szabályzó tervezése és implementálása

1, Méréseket végzünk

2, Identifikáció

3, diszkrétidejű szabályozás tervezése állapottérben
- állapotvisszacsatolás
- alapjel miatti korrekció
- állapotbecslő
- opció: terhelésbecslő
- opció: integráló hatás

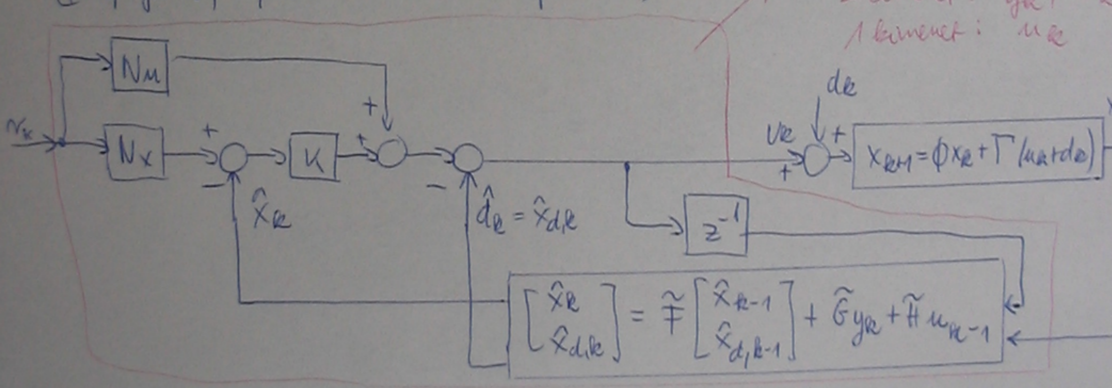
algebrai hasonlóság a folytonos idejű esettel

4, Implementálás

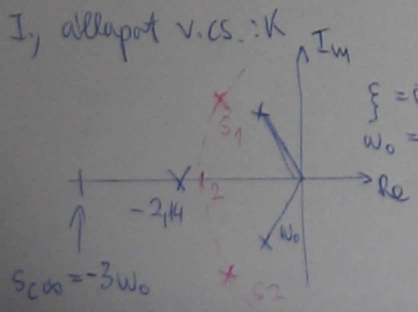
5, demonstráció – gyors prototípustervező környezet segítségével

$$x_{k+1} = \Phi x_k + \Gamma u_k$$
$$y_k = C x_k + D u_k$$

```
plant = ss(amx3331);
[Phi, Gamma, C, D] = ssdata(plant);
```



I., állapot v.cs.: K



$\xi = 0{,}44$

$\omega_0 = 0{,}813$

Zárt kör pólusai:

$w_0 = 2$

$\xi = \frac{\sqrt{2}}{2}$

$s_{c00} = -3w_0$

$z_i = e^{s_i T_s}$

$T_s = 0.01$

K ⇐ Ackermann-képlett acker

```
>> K = acker( Phi, Gamma, [z1, conj(z1, zc inf])
   K = 59   -29   14,3
```

II., Alapjel miatti korrekció : N_u, N_x

Ha $r_k = 1(t) \Rightarrow y_k = 1$ és $\boxed{K}$-val : $\emptyset$.

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

inv

```
>> N = inv([ Phi - eye(3,3)   gamma ; C 0]) · [0; 0; 0; 1]
>> Nx = N(1:3)
>> Nu = N(4)
```

III., Állapotbecslő és kihelés becslő : $\tilde{F}$, $\tilde{G}$, $\tilde{H}$

$d_{k+1} = d_k$ (állandó zavarás) $\quad x_{dk} = d_k$

$$\begin{bmatrix} x_{k+1} \\ x_{d,k+1} \end{bmatrix} = \overbrace{\begin{bmatrix} \Phi & \Gamma \\ \emptyset & 1 \end{bmatrix}}^{\tilde{\Phi}} \begin{bmatrix} x_k \\ x_{d,k} \end{bmatrix} + \overbrace{\begin{bmatrix} \Gamma \\ \emptyset \end{bmatrix}}^{\tilde{\Gamma}} u_k$$

$$y_k = \underbrace{\begin{bmatrix} C & \emptyset \end{bmatrix}}_{\tilde{C}} \begin{bmatrix} x_k \\ x_{d,k} \end{bmatrix}$$

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

$\tilde{x}_{d,k} = \hat{x}_{d,k} - x_{d,k}$

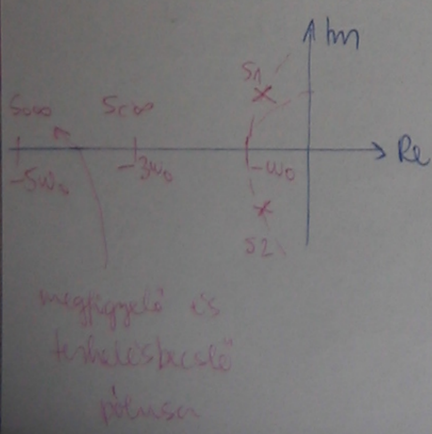
$$\begin{bmatrix} \tilde{x}_{k+1} \\ \tilde{x}_{d,k+1} \end{bmatrix} = \tilde{F} \begin{bmatrix} \tilde{x}_k \\ \tilde{x}_{d,k} \end{bmatrix}$$

$\tilde{G}$ = Ackermann-képlet

$\tilde{H} = \tilde{\Gamma} - \tilde{G}\tilde{C}\tilde{\Gamma}$

$\tilde{F} = \tilde{\Phi} - \tilde{G}\tilde{C}\tilde{\Phi}$

$\tilde{F}^T = \tilde{\Phi}^T - \tilde{\Phi}^T\tilde{C}^T\tilde{G}^T$




```
>> Phih = [Phi Gama; 0 0 0 1]
>> Gamah = [Gama ; 0]
>> Ch = [C 0]
>> Ght = acker( Phih', Phih' · Ch', [zinf zinf zinf zinf])
>> Gh = Ght'
>> Hh = Gammah - Gh · Ch · Gammah
>> Fh = Phih - Gh · Ch · Phih
```