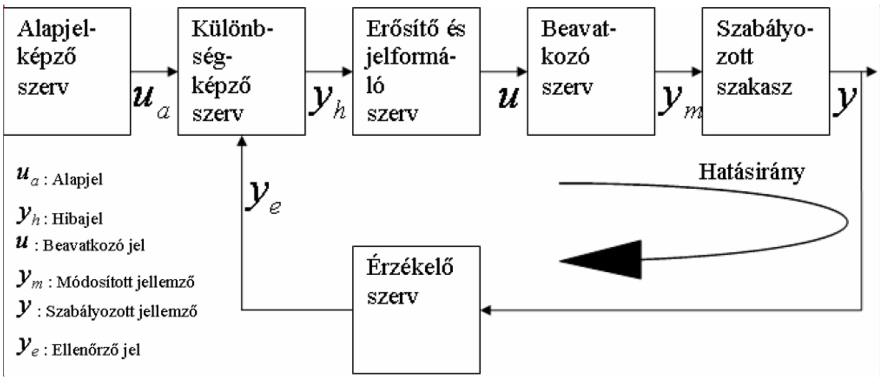
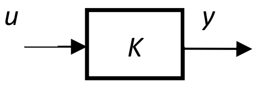
Szabályozástechnika **0.gyak** ellenőrző kérdések

1. Sorolja fel a szabályozási kör jeleit, és szerveit!



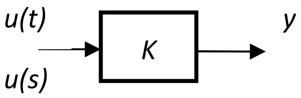
2. Mikor állásos–, arányos–, és integráló a szabályozás?

- arányos:



$$y = K * u$$

- integráló:

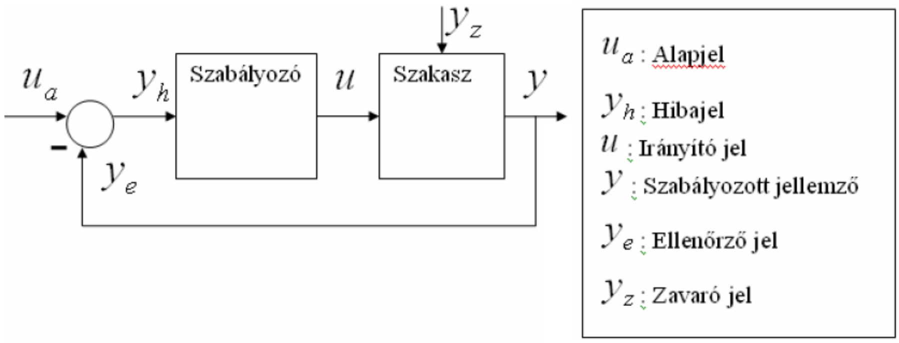


$$y(t) = \int u(t)dt$$

$$y(s) = \frac{1}{s}u(s)$$

- A kétállású ***állásos*** szabályozó kimenő jelének – miközben a bemenő jele befutja a működésének teljes intervallumát – két diszkrét értéke van.

3. Adja meg a szabályozás hatásvázlatát!



4. Mi a jelentősége az arányos szabályozás hurokerősítésének?

Ez szabja meg a statikus zavarelhárítás minőségét. $k = -tg\alpha * tg\beta > 0$, ahol *tgα* a folyamat sajátossága

5. *f(t)* abszolút integrálható–, belépő függvény. *L*{*f(t)*}=?, *L*{*df(t)/dt*}=?

$$L\{f(t)\} = F(s) = \int_0^\infty f(t)e^{-st}dt$$

$$L\left\{\frac{df(t)}{dt}\right\} = sL\{f(t)\} - f(0) = sF(s) - F(0)\,; \quad F(0)=0$$

6. Miért előnyös a *Laplace* transzformáció használata a lineáris rendszer analízisekor?

- algebrai kifejezésekkel dolgozhatunk
- nem kell differenciál egyenletet megoldani

7. Mit értünk a lineáris SISO tag *W(s)* átviteli függvénye alatt?

A kimenő jel *o(s) Laplace* transzformáltjának, és a bemenő jel *i(s) Laplace* transzformáltjának hányadosa zérus kezdeti feltételek mellett: *W(s)=o(s)/i(s)*. Az átviteli függvény a lineáris SISO tag differenciálegyenletének az s tartományban értelmezett alakja.

$$W(s) = \frac{o(s)}{i(s)}$$

8. Mit értünk a lineáris szabályozási rendszer aszimptotikus stabilitása alatt?

Ha a nyugalmi helyzetéből kimozdított, majd magára hagyott rendszer mozgása visszatér a nyugalmi helyzetébe, vagy annak a kimozdítás mértékétől függő környezetébe, akkor a rendszer aszimptotikusan stabilis (= kezdőérték függő stabilis).

9. Egy integráló tag bemenő jele *u(t)*=1*(t), y* kimenő jele a *t=0* időpontban *y(0)=0*. Írja fel a kimenő jel *y(t)* időfüggvényét!

$$y(t) = y(0) + \int u(t)dt = 0 + \int 1dt = t$$

10. Mit értünk az átviteli függvény tf, zpk, rpk alakjai alatt?

$$W(s) = \frac{G(s)}{H(s)} = \underbrace{\frac{g_0 s^m + g_1 s^{m-1} + \cdots + g_{m-1}s + g_m}{h_0 s^n + h_1 s^{n-1} + \cdots + h_{n-1}s + h_n}}_{tf\ alak} = \underbrace{\frac{g_0}{h_0}\frac{\prod_1^m (s - z_i)}{\prod_1^n (s - p_i)}}_{zpk\ alak} = \underbrace{\sum_1^n \frac{r_i}{s - p_i}}_{rpk\ alak}$$

$$G(s)\big|_{s=z_i} = 0, \quad H(s)\big|_{s=p_i} = 0, \quad k = \frac{g_0}{h_0}$$

11. Egy SISO tag átviteli függvénye *W(s)=y(s)/u(s)=10/(1+5s).* Írja fel a tag differenciálegyenletét!

$$5\frac{dy(t)}{dt} + y(t) = 10u(t)$$

12. Mire használható a MATLAB [r,p,k]=residue(G,H) függvénye?

Részlettörtekre bontáshoz használható. $\frac{\mathrm{G}}{\mathrm{H}} = \sum_{\mathrm{i}} \frac{\mathrm{r_i}}{\mathrm{s - p_1}} + \mathrm{k}$, ha egyszeresek a gyökök.

13. Írja fel a lineáris SISO dinamikus rendszer állapotegyenletét!

$$\frac{d}{dt}x(t) = Ax(t) + Bu(t)$$

$$y(t) = Cx(t) + Du(t)$$

14. Mit értünk a lineáris alaptagok alatt?

arányos-, integráló-, és összegző tag és differenciáló és holtidős

15. Mit értünk a lineáris szabályozás nyitott körének eredő átviteli függvénye alatt?

$$W_o = W_c * W_f$$

16. Adott a szabályozás nyitott körének $W_0(s)$ átviteli függvénye. Mi a zárt szabályozás aszimptotikus stabilitásának a feltétele?

Aszimptotikusan stabilis a zárt szabályozási rendszer, ha az $1+W_0(s)=0$ karakterisztikus egyenletének minden p_{Ri} gyökére ($W_R(s)$ minden p_{Ri} pólusára) a $real(p_{Ri})<0$ feltétel teljesül.

17. Mit fejez ki az alábbi képlet: $\Delta y=(\Delta y)_n/(1+k)$?

Azt mutatja meg, hogy ha egy zavarás szabályozá nélkül, a szabályozott jellemző Δy_n megváltozását idézi elő állandósult állapotban, akkor arányos szabályozást alkalmazva ez csupán fenti változást okoz.

Vagyis a zavarás hatása 1+k-ad részre csökken.

18. Mit jelent, és mikor alkalmazható a szuperpozíció tétele?

Ha u_1 bemenő jelre y_1 válasz, u_2 bemenő jelre y_2 válasz keletkezik, akkor a bemenő jelekből képzett $u=c_1 u_1+c_2 u_2$ gerjesztésre létrejövő válasz $y= c_1 y_1+c_2y_2$. A szuperpozíció tétel LR esetében alkalmazható (c_1 és c_2 állandók).

19. Mire használható a MATLAB [G,H]=ss2tf(A,B,C,D) függvénye?

Megadja az irányíthatósági kanonikus alakból a transzferfüggvényt.

(Állapotegyenletrendszerből átviteli függvényt számol.)

20. Mi a statizmus?

$$\frac{1}{|tg\alpha * tg\beta|}$$

Minél kisebb a statizmus, annál nagyobb a labilitás veszélye.

Szabályozástechnika **1.gyak** ellenőrző kérdések

1. Adja meg a lineáris tag rendszerjellemző függvényeit!

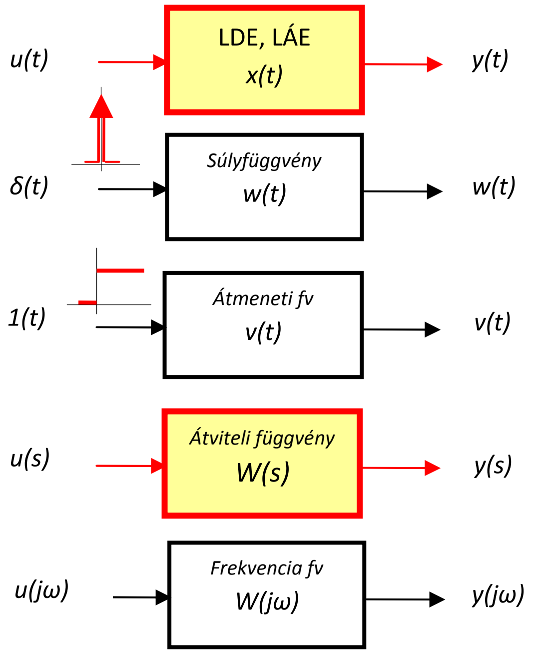
1.) A **differenciálegyenlet**, vagy az **állapotegyenlet, áviteli, ámeneti, súly és impulzus függvények is.**

2.) A **súlyfüggvény**: az *u(t)=δ(t) Dirac* deltára adott *y(t)=**w(t)*** válasz, zérus kezdeti feltételek mellett.

3.) Az **átmeneti függvény**: az *u(t)=1(t) egységugrásra* adott *y(t)=**v(t)*** válasz, zérus kezdeti feltételek mellett.

4.) Az **átviteli függvény**: a *w(t)* súlyfüggvény *L{w(t)}=**W(s)** Laplace* transzformáltja, vagy az *y(t)* kimenőjel és az *u(t)* bemenőjel *Laplace* transzformáltjainak ***W(s)**=y(s)/u(s)* hányadosa, zérus kezdeti feltételek esetén.

5.) A **frekvencia függvény**: a *w(t)* súlyfüggvény *F{w(t)}=**W(jω)** Fourier* transzformáltja,vagy az *u(t)* bemenőjel és az *y(t)* kimenőjel *Fourier* transzformáltjainak ***W(jω)**=y(jω)/u(jω)* hányadosa,zérus kezdeti feltételek esetén.



y(t): a **l**ineáris **d**ifferenciál**e**gyenlet, vagy a **l**ineáris **á**llapot**e**gyenlet megoldása

$$y(t)=\int_0^t w(t-\tau)u(\tau)d\tau$$

$$y(t)=u(0)v(t)+\int_0^t \frac{du(\tau)}{d\tau}v(t-\tau)d\tau$$

$$y(s)=W(s)u(s) \quad y(t)=L^{-1}\{y(s)\}$$

$$y(j\omega)=W(j\omega)u(j\omega) \quad y(t)=F^{-1}\{y(j\omega)\}$$

2. Mi a kapcsolat a *w(t)*, *v(t)* és *W(s)* rendszerjellemző függvények között?

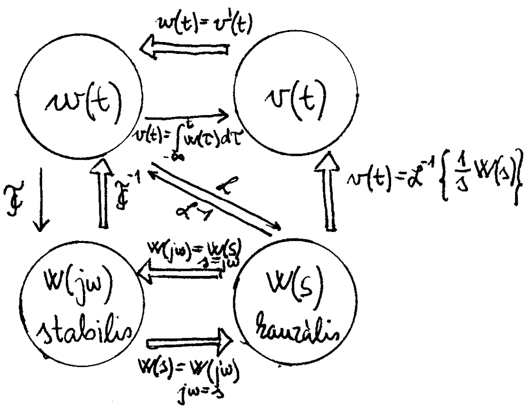
$$w(t)=\frac{dv(t)}{dt}$$

$$v(t)=\int_0^t w(t)dt$$

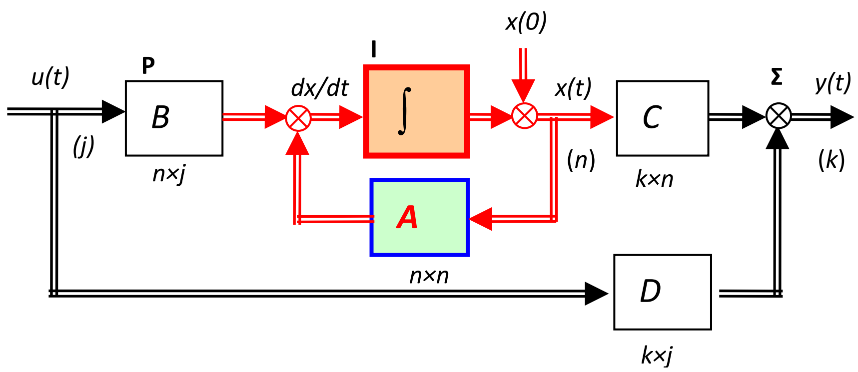
$$W(s)=L\{w(t)\}$$

$$L\{v(t)\}=v(s)=\frac{W(s)}{s}$$

$$W(j\omega)=W(s)\big|_{s=j\omega}$$



3. Adja meg az állapotegyenletével leírt tag hatásvázlatát!



4. Mit jelent az alábbi képlet *y(t)=L^{-1}{[C(sI–A)$^{-1}$B+D]u(s)}*

Kimenő jel időfüggvénye az átviteli függvény és a gerjesztés ismeretében az inverz L-el meghatározható

$$y(t)=L^{-1}\left\{\left[C\left(sI-A\right)^{-1}B+D\right]u(s)\right\}=L^{-1}\left\{W(s)u(s)\right\}$$, ahol W(s) a tag átviteli mátrixa

$f(t)=L^{-1}\{F(s)\}$	$F(s)=L\{f(t)\}$
$\delta(t)$	1
$1(t)$	$\frac{1}{s}$
t^k	$\frac{k!}{s^{k+1}}$
e^{at}	$\frac{1}{s-a}$
$1-e^{-at}$	$\frac{a}{s(s+a)}$
te^{-at}	$\frac{1}{(s+a)^2}$
$\frac{t^{k-1}}{(k-1)!}e^{-at}$	$\frac{1}{(s+a)^k}$
$\sin(\omega t)$	$\frac{\omega}{s^2+\omega^2}$
$\cos(\omega t)$	$\frac{s}{s^2+\omega^2}$

5. *L{f(t)}=F(s).* Hogyan lehet meghatározni az *f(t)=L^{-1}{F(s)}* időfüggvényt?

$$L^{-1}\left\{F(s)\right\}=f(t)=\frac{1}{2\pi j}\int_{c-j\infty}^{c+j\infty}F(s)e^{st}ds$$

6. *L{δ(t)}=?, L{1(t)}=?, L{e^{at}}=?, L{1–exp(–t/T)}=?*

$$L\{\delta(t)\}=1 \qquad L\{1(t)\}=\frac{1}{s}$$

$$L\{e^{at}\}=\frac{1}{s-a} \qquad L\{1-e^{-\frac{t}{T}}\}=\frac{1}{s\left(s+\frac{1}{T}\right)}$$

7. Adja meg a kéttárolós lengő tag (T_ξ tag) átviteli függvényét, ennek pólus–zérus eloszlását, és a differenciálegyenletét!

átviteli függvény *pólus – zérus eloszlás* *differenciálegyenlet*

$$\frac{k}{1+2\xi Ts+T^2s^2} \qquad p=\frac{-\xi\pm\sqrt{\left(1-\xi^2\right)}}{T} \qquad h_0\frac{d^2y}{dt^2}+h_1\frac{dy}{dt}+h_2y=g_2u$$

$$k=\frac{g_2}{h_2}\ \textit{átviteli tényező};\qquad T=\sqrt{\left(\frac{h_0}{h_2}\right)}\ \textit{idődőállandó};\qquad 2\xi\mathrm{T}=\frac{\mathrm{h}_1}{h_2},0<\xi<1\ \text{csillapítási tényező}$$

8. A *W(s)* átviteli függvény *G(s)* számlálójának fokszáma *m*, *H(s)* nevezőjének fokszáma *n*. Mikor realizálható *W(s)?*

Realizálható az átviteli függvény, ha *n≥m*.

9. 4*dy(t)/dt*+3*y(t)*=2*u(t), y(0)*=0*, u(t)*=1*(t), y(t)=?*

$$\begin{matrix} y(4s+3)=\frac{2}{s}u \\ W(s)=\frac{y}{u}=\frac{2}{s}\frac{1}{(4s+3)}\end{matrix} \Rightarrow \begin{matrix} m=2 \\ n=[4\quad 3\quad 0] \\ [r,p,k]=residue(m,n)\end{matrix} \Rightarrow y(t)=-\frac{2}{3}e^{-0{,}75t}+\frac{2}{3}$$

vagy: $$W(s)=\frac{y}{u}=\frac{2}{s}\frac{1}{(4s+3)} \Rightarrow \begin{matrix}\frac{A}{s}-\frac{B}{4s+3}=\frac{2}{s(4s+3)} \\ (4A-B)s+3A=2\end{matrix} \Rightarrow \begin{matrix}4A-B=0 \\ 3A=2\end{matrix} \Rightarrow \begin{matrix}A=\frac{2}{3} \\ B=4A=\frac{8}{3}\end{matrix} \Rightarrow \frac{\frac{2}{3}}{s}-\frac{1}{4}\frac{\frac{8}{3}}{s+\frac{3}{4}}$$

10. Mit értünk az átviteli függvény időállandós normálalakja alatt?

$$W(s)=\frac{G(s)}{H(s)}=k_0\,\frac{\prod_{l=1}^{m_1}(1+s\tau_l)\prod_{l=1}^{m_2}(1+2\mu_l\tau_{0l}s+\tau_{0l}^2s^2)}{s^i\prod_{l=1}^{n_1}(1+sT_l)\prod_{l=1}^{n_2}(1+2\xi_l T_{0l}s+T_{0l}^2s^2)}$$

i a típusszám

11. Mit jelent az átviteli függvény közvetlen felbontása?

Ha a tag P,I,Σ alaptagokból felépített hatásvázlatát a *W(s)* polinom/polinom alakjából állítjuk elő.

12. Mit jelent az átviteli függvény párhuzamos felbontása?

Ha a tag P,I,Σ alaptagokból felépített hatásvázlatát az átviteli függvény részlettörtes alakjából állítjuk elő.

13. Mi az állapotegyenlet irányíthatósági kanonikus alakja? *(integrátorok láncolata)*

A közvetlen felbontásból származik. Az az alak, mikor az állapotmátrixának első sorában a karakterisztikus polinom negatív együtthatói állnak. Ennek a jelentése pedig az, hogy az $x_i(t)$ állapotváltozó $dx_i(t)/dt$ sebessége az $x_{i-1}(t)$ állapotváltozótól függ ($dx_i(t)/dt=x_{i-1}(t)$, $i=2,3,\ldots n$), és csupán az x_1 állapotváltozó $dx_1(t)/dt$ állapotsebessége függ minden állapotváltozótól, hacsak a h_i ($i=1,2,\ldots n$), együtthatók valamelyike nem zérus.

$$A=\begin{bmatrix}-h_1 & -h_2 & -h_3 & \cdots & -h_{n-1} & -h_n\\ 1 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0\\ 0 & 1 & 0 & \cdots & 0 & 0\\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots\\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0\end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned}\frac{dx_1(t)}{dt}&=-h_1x_1(t)-h_2x_2(t)\cdots-h_nx_n(t)+f(u)\\ \frac{dx_2(t)}{dt}&=x_1(t)\\ &\vdots\\ \frac{dx_{n-1}(t)}{dt}&=x_{n-2}(t)\\ \frac{dx_n(t)}{dt}&=x_{n-1}(t)\end{aligned}$$

14. Mi az állapotegyenlet első kanonikus alakja? *(integrátorok párhuzamos kapcsolása)*

A párhuzamos felbontásból származik. Az *A* állapotmátrix – a *W(s)* párhuzamos (a részlettörteken alapuló) felbontásának eredményeként – most **diagonális**, főátlójában az egymástól különböző p_i sajátértékekkel.

$$\frac{d}{dt}\begin{bmatrix}x_1(t)\\ x_2(t)\\ \vdots\\ x_n(t)\end{bmatrix}=\underbrace{\begin{bmatrix}p_1 & 0 & \cdots & 0\\ 0 & p_2 & \cdots & 0\\ 0 & 0 & \vdots & 0\\ 0 & 0 & 0 & p_n\end{bmatrix}}_{A}\begin{bmatrix}x_1(t)\\ x_2(t)\\ \vdots\\ x_n(t)\end{bmatrix}+\underbrace{\begin{bmatrix}r_1\\ r_2\\ \vdots\\ r_n\end{bmatrix}}_{B}u(t)$$

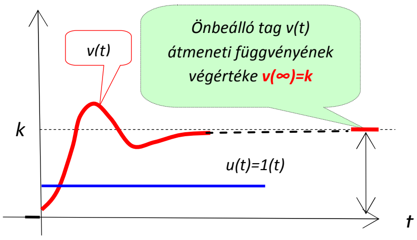
$$y(t)=\underbrace{\begin{bmatrix}1 & 1 & \cdots & 1\end{bmatrix}}_{C}\begin{bmatrix}x_1(t)\\ x_2(t)\\ \vdots\\ x_n(t)\end{bmatrix}+\underbrace{\begin{bmatrix}0\end{bmatrix}}_{D}u(t)$$

15. Mit érünk önbeálló–, és nem önbeálló tagok alatt?

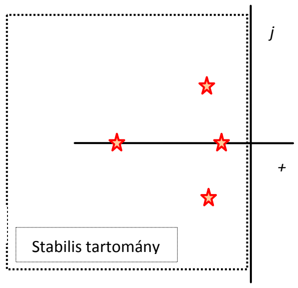
Önbeálló tagok:

röviden: $u(t)=u_0=$*állandó* bemenőjel hatására állandósult állapotban $y(t)_{t=\infty}=y(\infty)=y_0=$*állandó* értéket ad.

részletesebben: Az önbeálló (***arányos*** jellegű) lineáris tagok jellegzetes tulajdonsága, hogy átmenti függvényük **végértéke** $v(\infty)=k\neq 0$ **állandó** érték (k az önbeálló tag átviteli tényezője). Ennek jelentése az, hogy a bemeneten működtetett $u(t)=u_0 1(t)$ gerjesztés hatására keletkező $y(t)$ kimenő jel a tranziensek lejátszódása után egy $y(\infty)=ku_0$ állandó (de nem zérus) értékre beáll. Mindezekből az is következik, hogy az önbeálló tagnak értelmezhető az $y_0=y(u_0)=ku_0$ **statikus karakterisztikája**, amely az állandósult y_0 és u_0 közötti kapcsolatot egy grafikon alakjában fejezi ki. Ez a karakterisztika lineáris tag esetében egy (az u független változó koordináta tengelyével α szöget bezáró) k meredekséggel rendelkező, és az origón átmenő egyenes. Az önbeálló tag átviteli függvényének minden **pólusa** negatív, vagy negatív valós részű, vagyis az önbeálló tag aszimptotikusan stabilis. ***A zárt szabályozási rendszer u_a alapjele, és y szabályozott jellemzője közötti jelátviteli tulajdonságot is az önbeállóságnak kell jellemeznie, mivel állandósult állapotban a szabályozott jellemzőnek arányosnak kell lennie az y_A alapértéket megjelenítő alapjellel.*** Az önbeálló tag átmeneti függvényének jellegzetes grafikonja:



Önbeálló tag átmeneti függvénye



Az önbeálló tag minden pólusa az *s* komplex sík negatív valós részű (stabilis) félsíkján van:

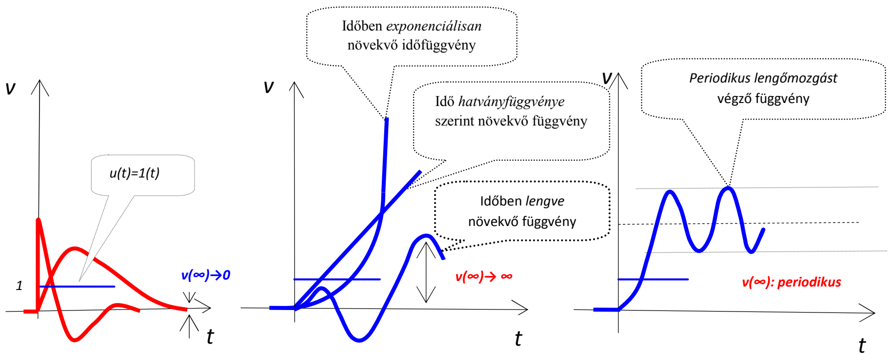
real(p)<0

Nem önbeálló tagok:

A nem önbeálló tagok jellegzetes tulajdonsága, hogy:

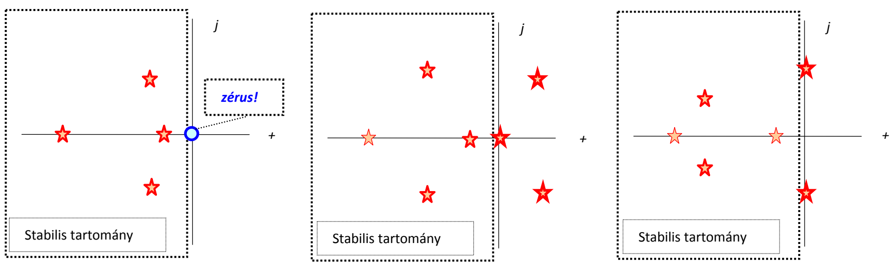
- átmeneti függvényük végértéke **zérus** (***differenciáló*** jellegű tagok), vagy
- átmeneti függvényük végértéke **végtelen** (***integráló*** jellegű tagok), vagy
- átmeneti függvényük kvázistacioner állapotban periodikus **lengő**mozgást végez (***lengő*** jellegű tagok).

A nem önbeálló tagokra a statikus karakterisztika nem értelmezhető, mivel ezek az állandó bemenő jelre és állandósult állapotban vagy zérus–, vagy pedig nem állandó kimenő jellel válaszolnak.



Differenciáló *jellegű* tagok ***Integráló*** *jellegű* tagok ***Lengő*** *jellegű* tagok

Nem önbeálló tagok átmeneti függvényei



A differenciáló jellegű tag minden pólusa az *s* komplex sík negatív valós részű (stabilis) félsíkján van, és **zérusa van az origóban**:

real(p)<0, z=0!

Az integráló jellegű tagnak pólusai vannak az *s* komplex sík negatív valós részű (stabilis) félsíkján, a sík pozitív valós részű (labilis) félsíkján, vagy az origóban :

real(p)<0, ***real(p)>0, p=0***

A lengő jellegű tagnak pólusai vannak az *s* komplex sík negatív valós részű (stabilis) félsíkján, és **egyszeres multiplicitású** pólusa van az *s* komplex sík képzetes tengelyén:

real(p)<0, ***real(p)=0***

16. Mi az átviteli mátrix?

A bemenetek és kimenetek közti kapcsolat.

$$\begin{bmatrix} y_1(s) \\ y_2(s) \\ \vdots \\ y_k(s) \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} W_{11}(s) & W_{12}(s) & \cdots & W_{1j}(s) \\ W_{21}(s) & W_{22}(s) & \cdots & W_{2j}(s) \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ W_{k1}(s) & W_{k2}(s) & \cdots & W_{kj}(s) \end{bmatrix}}_{A\,W(s)\ \text{átviteli mátrix}} \begin{bmatrix} u_1(s) \\ \vdots \\ u_j(s) \end{bmatrix}$$

$$y_i(s) = W_{i1}(s)u_1(s) + W_{i2}(s)u_2(s) + \ldots W_{ij}(s)u_j(s) \quad i:1,2,\cdots k$$

17. Hogyan lehet kiszámítani az *Φ(t)=e*^{At} alapmátrixot?

$$\Phi(t) = L^{-1}\{\Phi(s)\} = L^{-1}\left\{(sI-A)^{-1}\right\} = e^{At}$$

18. Mi a jelentősége az *A* állapotmátrix λ_i sajátértékeinek?

Nem csak vizsgálatra használható, de ez a definició, akkor stabil ha a sajátértékek negatív valósrészüek ez ekvivalens a karakterisztikus egyenlet gyökeivel.

Stabilitásvizsgálatra használhatók, ezek adják a rendszer pólusait.

19. Mire használható a MATLAB [y,t,x]=lsim(sys,u,t,x0) függvénye?

A lineáris rendszer adott u(t) gerjesztésre és x(0) kezdeti feltételre vonatkozó mozgásának számítása és ábrázolása.

20. Mi az állapotegyenletével jellemzett lineáris rendszer aszimptotikus stabilitásának általános feltétele?

Ha a det(sI-A)=0 karakterisztikus egyenletének minden pi gyöke negatív, vagy negatív valós részű.
Ha Φ(t) alapmátrixa t → ∞ esetén a zérus mátrixhoz tart.
Ha a sajátmozgása t → ∞ esetén az állapottér origójához tart.

21. Mi az állapottrajektória?

Az x(t) állapotvektor végpontjának mértani helye az n dimenziós állapottérben, miközben a rendszer mozgásban van.

22. Egy dinamikus rendszer állapotmátrixa *A*=5. Indokolja meg a rendszer labilis tulajdonságát!

5 sajátérték, tehát labilis, dx/dt=5x +……, pozitiv visszacsatolás….

23. Adja meg az egyenáramú motor u_k kapocsfeszültségre–, és m_T terhelő nyomatékra vonatkozó *ω(s)/*u_k*(s)*, *ω(s)/*m_T*(s)* átviteli függvényeit!

$$W_p(s) = \frac{k_p}{1+sT_m+s^2T_mT_v} = \frac{\omega_u(s)}{u_k(s)} \qquad W_z(s) = -\frac{k_z(1+sT_v)}{1+sT_m+s^2T_mT_v} = \frac{\omega_m(s)}{m_T(s)}$$

24. Mit jelent az alábbi képlet: *y(s)=[−*Z_v*(s)/*Z_B*(s)]u(s)* ?

A kimenőjel egy –Z_v(s)/Z_b(s)- re kapcsolt U(s) eredménye. Tudnom kéne honnan van!!!

25. A terheletlen (*m_T=0*) egyenáramú gép armatúrájára *u_k=állandó* feszültséget kapcsolunk. Adjunk magyarázatott arra, hogy állandósult állapotban az armatúra áram értéke miért zérus?

A motor működési elvéből következik (lásd 1. Füzet függelék), hogy a terheletlen gép $m_v=ci$ villamos nyomatéka a $\Theta d^2\omega(t)/dt^2=ci_a$ mozgásegyenletnek megfelelően gyorsítja a forgórészt. Az i_a áramot az u_k kapocsfeszültség és az $u_i=c\omega$ indukált feszültség különbsége hozza létre, és az u_i a szögsebesség növekedésével arányosan növekszik, aminek következtében az u_k-u_i csökken. Ennek eredményeként csökken az i_a áram, az m_v nyomaték, és így a gyorsulás is. Előbb−utóbb (elvileg a $t=\infty$−ben) az i_a áram zérussá válik. Ekkor a forgórész tovább nem gyorsul, és a gép egyenletes szögsebességgel forog. Tehát az i_a armatúraáram állandósult értéke zérus.

26. Mit értünk egy lineáris rendszer sajátmozgása, illetve gerjesztett mozgása alatt?

sajátmozgás: Az $x(0)\neq 0$ kezdeti feltételek által generált $x_s(t)$ mozgás $u(t)\equiv 0$ gerjesztés mellett.

gerjesztett mozgás: Az $u(t)\neq 0$ gerjesztés által generált $x_g(t)$ *mozgás* $x(0)\equiv 0$ kezdeti feltételek mellett.

$$x(t)=x_s(t)+x_g(t)$$

$$x_s(t)=e^{At}x(0)=\phi(t)x(0) \qquad x_g(t)=\int_0^t e^{A(t-\tau)}Bu(\tau)d\tau=\int_0^t \phi(t-\tau)Bu(\tau)d\tau$$

27. Hol vannak a *W(s)=G(s)/H(s)* átviteli függvényű rendszer *A* állapotmátrixának sajátértékei?

$$y(s)=v(s)=W(s)u(s)=\frac{G(s)}{H(s)}\frac{1}{s}$$

$$y(t)=v(t)=L^{-1}\left\{\frac{G(s)}{sH(s)}\right\}=\frac{G(0)}{H(0)}+\sum_{i=1}^{n}\frac{G(p_i)}{s\left.\frac{dH(s)}{ds}\right|_{s=p_i}}e^{p_it}$$

A p_i egymástól különböző és nem zérus pólusok, a *H(s)=0* karakterisztikus egyenlet $\lambda_i=p_i$ gyökei, amelyek egyébként a rendszer ***A*** állapotmátrixának sajátértékei.

28. Miért előnyös, ha a lineáris dinamikus rendszer *A* állapotmátrixa diagonális?

Az állapotváltozók nem függnek egymástól. (sajátértékek vannak a főátlóban.)

29. Aszimptotikusan stabilis lineáris rendszer paramétermátrixai *A, B, C, D*, a rendszer bemenő jele u_0*=állandó*. Adjuk meg az állapotváltozók x_0–, és a kimenő jel y_0 állandó értékeit!

$$x(t)=e^{At}x(0)+\int_0^t e^{A(t-\tau)}Bu(\tau)d\tau=\phi(t)x(0)+\int_0^t \phi(t-\tau)Bu(\tau)d\tau$$

$$y(t)=Cx(t)+Du(t) \qquad \text{és} \quad \phi(t)=e^{At} \quad \text{az} \quad \text{alapmátrix}$$

X(0)=x(0), y(0)=Cx(0)+Du_0

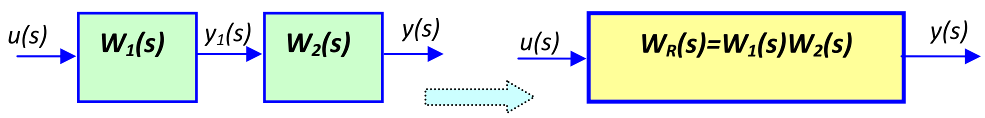
30. Az *n* rendszámú lineáris rendszer *A* állapotmátrixa zérus mátrix. Adjunk magyarázatott arra, hogy a rendszer miért nem lehet aszimptotikusan stabilis!

$$x(t)=x(0)+\int_0^t Bu(\tau)d\tau$$

$$y(t)=Cx(t)+Du(t) \qquad \text{és} \quad \phi(t)=1 \quad \text{az} \quad \text{alapmátrix}$$

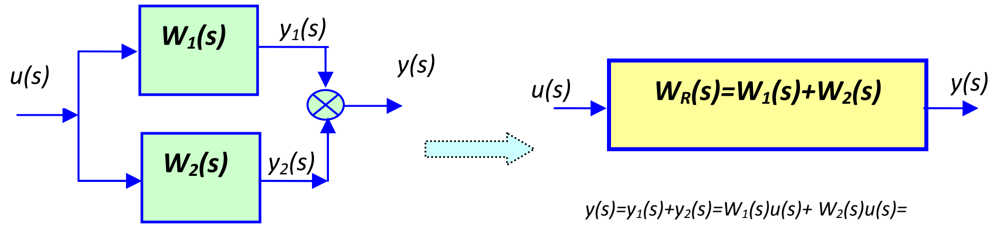
31. $W_1(s)$,$W_2(s)$ adott átviteli függvények. Hogyan kell kiszámítani a soros-, a párhuzamos-, és a visszacsatolást alkotó struktúrák eredő átviteli függvényeit? Indokoljuk meg, hogy soros-, és párhuzamos kapcsolás esetében az eredő struktúra is aszimptotikusan stabilis, ha $W_1(s)$,és $W_2(s)$ is rendelkezik ezzel a tulajdonsággal!

soros:



$y_1(s)=W_1(s)u(s)$; $y(s)=W_2(s)y_1(s)$ $\qquad$ $y(s)=W_2(s)y_1(s)=W_2(s)W_1(s)u(s)=W_R(s)u(s)$

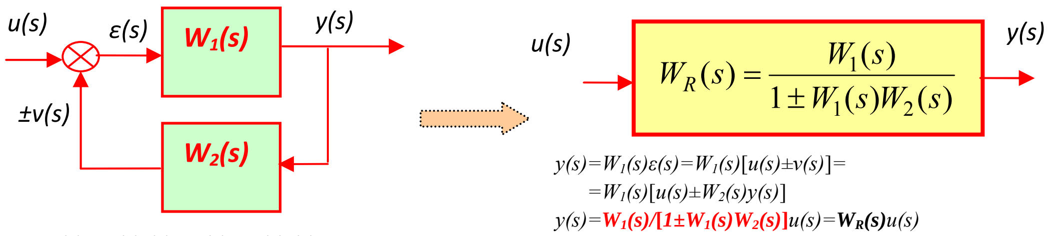
párhuzamos:



$y_1(s)=W_1(s)u(s)$; $y_2(s)=W_2(s)u(s)$

$y(s)=y_1(s)+y_2(s)=W_1(s)u(s)+W_2(s)u(s)=$
$=[W_1(s)+W_2(s)]u(s)=W_R(s)u(s)$

visszacsatolt:



$y(s)=W_1(s)\varepsilon(s)$; $v(s)=W_2(s)y(s)$
$\varepsilon(s)=u(s)\pm v(s)$

$y(s)=W_1(s)\varepsilon(s)=W_1(s)[u(s)\pm v(s)]=$
$=W_1(s)[u(s)\pm W_2(s)y(s)]$
$y(s)=W_1(s)/[1\pm W_1(s)W_2(s)]u(s)=W_R(s)u(s)$
+ *előjel:* ***negatív*** *visszacsatoláskor érvényes*
– *előjel:* ***pozitív*** *visszacsatoláskor érvényes*

32. $W_1(s)$, és $W_2(s)$ visszacsatolt struktúrát alkot. Mi az eredő rendszer aszimptotikus stabilitásának feltétele?

Stabilis a $W_R(s)=W_0(s)/[1+W_0(s)]$ eredő átviteli függvénnyel rendelkező **zárt** szabályozási rendszer, ha a nyitott kör $W_0(s)=W_c(s)W_p(s)$ eredő átviteli függvényéhez rendelhető $W_0(j\omega)$ teljes (negatív ω körfrekvenciákra kiterjesztett) frekvencia függvénye (*Nyquist* diagramja) annyiszor fogja körül az óramutató járásával ellentétes irányban a komplex sík $-1+j0$ pontját, ahány labilis pólusa van a $W_0(s)$ **nyitott** kör átviteli függvényének ($-\infty<\omega<\infty$).

Szabályozástechnika **2.gyak** ellenőrző kérdések

1. Mi a feltétele annak, hogy a $H(s)=det(sI-A)$ karakterisztikus polinom gyökeinek valós része negatív érték legyen($real(\lambda_i)<0$)? Hol vannak az s^5+1, és az $(s+1)^5$ polinomok gyökei? Melyik *Hurwitz* polinom?

Stabilis, aszimptotikusan stabilis rendszer szükséges.

A *Hurwitz* stabilitási kritérium szerint az $a_0s^3+a_1s^2+a_2s+a_3=0$ polinom mindhárom gyöke negatív valós résszel rendelkezik, ha:

- minden együttható azonos előjelű, valamint
- az együtthatókból képzett

$$H_\Delta=\begin{vmatrix} a_1 & a_3 & 0 \\ a_0 & a_2 & 0 \\ 0 & a_1 & a_3 \end{vmatrix}=a_3(a_1a_2-a_0a_3)>0$$

determináns nagyobb, mint zérus.

Az együtthatóra felírt feltételek alapján határozzuk meg a szabályozó T_i integrálási idejének azon értékét, amely mellett a zárt rendszer bármekkora $k_c>0$ mellett stabilis (strukturálisan stabilis zárt rendszer)!

Ez kell n dimre!!! És a következőre is.

2. **Lineáris rendszer karakterisztikus egyenlete:** *$det(sI–A)= a_0s^3+ a_1s^2+ a_2s+ a_3=0$*

Az a_0, a_1, a_2, a_3 együtthatókra vonatkozóan milyen feltételek mellett aszimptotikusan stabilis a rendszer? Hány integráló tag szerepelne a rendszer alaptagokból felépülő hatásvázlatán? 3 darab

Akkor aszimptotikusan stabilis, ha $a_i > 0$.

MIMO *SISO*

$$y(s) = W(s)u(s) = \begin{bmatrix} y_1(s) \\ y_2(s) \\ \vdots \\ y_k(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W_{11}(s) & W_{12}(s) & \cdots & W_{1j}(s) \\ W_{21}(s) & W_{22}(s) & \cdots & W_{2j}(s) \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ W_{k1}(s) & W_{k2}(s) & \cdots & W_{kj}(s) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1(s) \\ \vdots \\ u_j(s) \end{bmatrix} \qquad y(s) = W(s)u(s) = \frac{G(s)}{H(s)}u(s)$$

****

$$stabilitás\ \ vizsgálat: \quad \underbrace{\lim}_{t\to\infty}\phi(t)x(0) = 0 \quad ha \quad real(p_i) = real[eig(A)] < 0 \quad (i:\ 1,2,\cdots n)$$

$$\det(sI - A) = H(s) = 0 \Rightarrow a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \cdots + a_{n-1}s + a_n = 0 \qquad real(p_i) < 0$$

Hurwitz kritérium: $H(s)$ *Hurwitz polinom, ha*

$$a_i > 0; \quad H_\Delta = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & a_5 & a_7 & \cdots & 0 & 0 \\ a_0 & a_2 & a_4 & a_6 & \cdots & 0 & 0 \\ 0 & a_1 & a_3 & a_5 & \cdots & \cdots & \cdots \\ 0 & a_0 & a_2 & a_4 & \cdots & \cdots & \cdots \\ 0 & 0 & a_1 & a_3 & \cdots & \cdots & \cdots \\ 0 & 0 & a_0 & a_2 & \cdots & \cdots & \cdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \end{vmatrix} > 0; \quad H_{\Delta i} > 0$$

3. **Adjunk magyarázatot arra, hogy a lineáris rendszer *B, C*, és *D* paramétermátrixaitól miért nem függ a rendszer stabilitása!**

Mivel a rendszer stabilitását, és tranziens tulajdonságait a ***det(λI–A)=0*** karakterisztikus egyenletének λ_i gyökei (az *A* állapotmátrixának sajátértékei) határozzák meg.

4. **Mi a jelentősége a MATLAB lambda=eig(A) függvényének?**

Megadja az A mátrix sajátértékeit.

5. **A soros kompenzációs szabályozási rendszer átviteli függvényei $W_c(s)$, $W_p(s)$, $W_z(s)$. Az $u_z(s)$ zavaró jel a $W_z(s)$ átviteli függvényen keresztül a szabályozott jellemző hatásvonalában „támadja" a rendszert. Adjuk meg, hogy az $u(s)$ irányító jel, és az $y(s)$ szabályozott jellemző miként függ az $u_a(s)$ alapjeltől, és az $u_z(s)$ zavaró jeltől!**

$$y(s) = \frac{W_0(s)}{1 + W_0(s)}u_a(s) + \frac{W_z(s)}{1 + W_0(s)}u_z(s)$$

$$u(s) = \frac{W_c(s)}{1 + W_0(s)}u_a(s) - \frac{W_c(s)W_z(s)}{1 + W_0(s)}u_z(s)$$

6. **A szabályozás nyitott körének átviteli függvénye $W_0(s)=G_0(s)/H_0(s)$. Mi a zárt kör stabilitásának az általános feltétele?**

A nyitott kör $W_0(j\omega)$ átviteli függvényének ki kell elégítenie az általános és az egyszerűsített Nyquist stabilitási kritériumot.

$$W_0(s) = W_c(s)W_p(s) = \frac{G_c(s)G_p(s)}{H_c(p)H_p(s)} = \frac{G_0(s)}{H_0(s)} \qquad W_R(s) = \frac{W_0(s)}{1 + W_0(s)} = \frac{G_0(s)}{H_0(s) + G_0(s)}$$

$$1 + W_0(s) = 0 \quad \Rightarrow \quad 1 + \frac{G_0(s)}{H_0(s)} = 0 \quad \Rightarrow \quad H_0(s) + G_0(s) = 0 \quad \Rightarrow \quad real(p_{Ri}) < 0$$

Hurwitz, Nyquist stabilitási kritériumok.

7. **Adott a zárt szabályozási rendszert leíró állapotegyenlet A_R állapotmátrixa. Mi a zárt rendszer stabilitásának a feltétele?**

Az állapotmátrix minden λ_i sajátértéke a valós tengely negatív félsíkján legyen.

8. **Definiálja az általános *Nyquist* stabilitási kritériumot!**

Stabilis a $\boldsymbol{W_R(s)=W_0(s)/[1+W_0(s)]}$ eredő átviteli függvénnyel rendelkező **zárt** szabályozási rendszer, ha a nyitott kör $\boldsymbol{W_0(s) =W_c(s)W_p(s)}$ eredő átviteli függvényéhez rendelhető $\boldsymbol{W_0(j\omega)}$ teljes (negatív $\boldsymbol{\omega}$ körfrekvenciákra kiterjesztett) frekvencia függvénye (*Nyquist* diagramja) annyiszor fogja körül az óramutató járásával ellentétes irányban a komplex sík $\boldsymbol{-1+j0}$ pontját, ahány labilis pólusa van a $\boldsymbol{W_0(s)}$ **nyitott** kör átviteli függvényének ($-\infty<\omega<\infty$).

9. Definiálja az egyszerűsített *Nyquist* stabilitási kritériumot! Mikor alkalmazható ez a kritérium?

Stabilis a $W_R(s)=W_0(s)/[1+W_0(s)]$ eredő átviteli függvénnyel rendelkező **zárt** szabályozási rendszer, ha a **stabilis nyitott** kör $W_0(s) = W_c(s)W_p(s)$ eredő átviteli függvényéhez rendelhető $W_0(j\omega)$ teljes (negatív körfrekvenciákra kiterjesztett) frekvencia függvénye (*Nyquist* diagramja) **nem** fogja körül a komplex sík $-1+j0$ pontját ($-\infty<\omega<\infty$).

10. Mit értünk a fázistöbblet kritérium alatt?

Stabilis a $W_R(s)=W_0(s)/[1+W_0(s)]$ *eredő átviteli függvénnyel rendelkező* ***zárt*** *szabályozási rendszer, ha a* ***stabilis nyitott kör*** $W_0(s) = W_c(s)W_p(s)$ *eredő átviteli függvényéhez rendelhető* $W_0(j\omega)$ *frekvencia függvényének (Nyquist diagramjának)* $\varphi_t(\omega_c)= \pi+arcW_0(j\omega_c)$ *fázistöbblete (phase margin)* ***pozitív*** (*abs* $W_0(j\omega_c)=1$, $\varphi_t(\omega_c)>0$).

11. Mi a nyitott kör frekvencia függvényének vágási körfrekvenciája?

Az a körfrekvencia, ahol a $W_0(j\omega)$ helygörbe az egységsugarú körbe belép, a nyitott kör frekvencia függvényének ω_c **vágási körfrekvenciája** (*cut-off frekvency*).

$$\omega_c = \frac{\sqrt{\left[2\left(1-2\xi^2\right)\right]}}{T_0}$$

12. Mi a zárt rendszer átmeneti függvényének $\sigma(\%)$ túllendülése, és ez milyen kapcsolatban van a nyitott kör frekvencia függvényének a $\varphi_t(\omega_c)= \pi+\varphi(\omega_c)$ fázistöbbletével?

$$\sigma(\%) = 100\frac{v_{R\max} - v_R(\infty)}{v_R(\infty)}$$

, nagy fázistöbblet -> kis σ

13. A szabályozási rendszer felnyitott körének eredő átviteli függvénye $W_0(s) = \dfrac{1}{sT_0(sT_0+2\xi)}$ $\quad T_0>0 \quad 0<\xi<1$

Adja meg a zárt rendszer $W_R(s)$ eredő átviteli függvényét. Mit értünk az *i=1* típusú integrálszabályozás alatt?

$$W_R(s) = \frac{W_0(s)}{1+W_0(s)} = \frac{G_0(s)}{H_0(s)+G_0(s)}$$

14. Hogyan lehet felírni a lineáris alaptagokkal definiált zárt szabályozási rendszer eredő állapotegyenletét?

Az integrátorok bemenő jeleit válaztjuk állapotváltozónak, ezeket a jeleket és a kimenőket írjuk fel!

15. Milyen előnnyel járhat, ha arányos szabályozás helyett integrálszabályozást alkalmazunk?

Állandó alapjel mellett **a szabályozó mindaddig változtatja az *u* kimenő jelét** (ami egyben a folyamat bemenő jelét is jelenti), **amíg a hibajel zérussá nem válik**.

Integrálszabályozók teljesmértékű zavarelhárításra képesek, ha aszimptotikusan stabilis a rendszer és i>1.

16. Adja meg a PID szabályozó rendszerjellemző függvényeit!

$$W_c(s) = K_c\left(1+\frac{1}{sT_I}+\frac{sT_D}{1+sT}\right)$$

17. Mit értünk a lineáris SISO tag frekvencia függvénye alatt? Mi az amplitúdó menet, és mi a fázismenet?

amplitúdó menet: amplitúdó-körfrekvencia függvény $W(j\omega) = W(s)\big|_{s=j\omega,\omega=-\infty,\infty}$ ampl=|w(jω)| fázis =arc(w(jω))

fázismenet: fázisszög–körfrekvencia függvény

18. Mikor kör a frekvencia függvény *Nyquist* helygörbéje?

Akkor, ha a tag *W(jw)* frekvenciafüggvéye *jw*-nak lineáris törtfüggvénye, vagyis

$$W(jw) = \frac{a+b(jw)}{c+d(jw)}$$

19. Mit értünk a *Bode* diagramok aszimptotikus közelítései alatt?

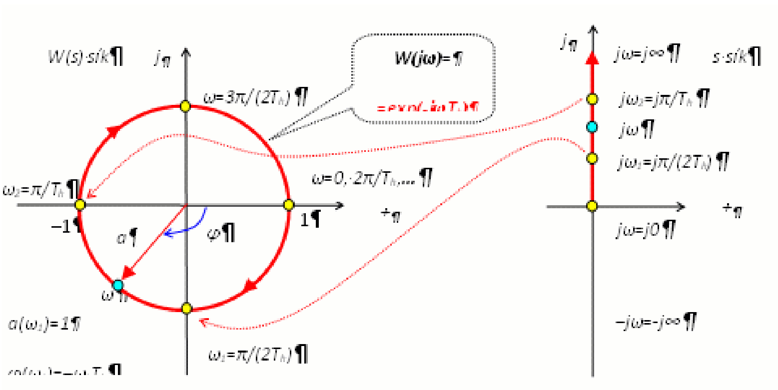
Az aszimptotikus *Bode* diagram amplitúdó menetének töréspontja az *ω=1/T=1* körfrekvencia értéknél van, és az amplitúdó menetet a holtidő nem befolyásolja. A *φ(ω)* fázismenet jelentősen függ a holtidő értékétől.

20. Adja meg a *W(s)=kexp(–sT_h)* átviteli függvényű holtidős tag *Nyquist* helygörbéjét és *Bode* diagramjait!

Különös fontossággal bír a holtidős tag tulajdonságait leíró *W(jω)* frekvencia függvény. A *W(jω)* most is a transzcendens *W(s)*–ből *s=jω* helyettesítéssel származtatható:

$$W(s) = e^{-sT_h} \quad \Rightarrow \quad W(j\omega) = e^{-j\omega T_h} \qquad a(\omega) = 1; \quad \varphi(\omega) = -\omega T_h$$

A *W(jω)=exp(–jωT_h)* frekvencia függvény egy egységsugarú kör egyenlete, ezért a *Nyquist* helygörbe:



A *W(s)=exp(–sT_h)* átviteli függvényű holtidős tag *Nyquist* helygörbéje

21. A szabályozás nyitott köre stabilis, minden pólusának valós része negatív. Lehet–e a zárt kör labilis, ha igen, milyen feltételek teljesülése mellett?

Stabilis (önbeálló) nyitott kör esetén a ***k*** körerősítésének **növelésével** elveszítheti stabilitási tartalékát, és a zárt kör egy k_{krt} kritikus körerősítés értéknél **labilissá** válhat. Labilis (nem önbeálló) nyitott kör a negatív visszacsatolású zárt szabályozással stabilizálható, ekkor általában a ***k*** körerősítés **növelésével** érhető el a zárt rendszer **stabilitása**.

22. A szabályozás nyitott köre labilis, van pozitív valós részű pólusa. Lehet–e a zárt kör stabilis, ha igen, milyen feltételek teljesülése mellett?

Általános Nyquist kritérium alapján!

23. Arányos szabályozás felnyitott körének eredő átviteli függvénye *W₀(s)=k.exp(–sT_h), k>0, T_h>0*. A körerősítés mekkora értékénél válik labilissá a zárt rendszer?

A negatív visszacsatolású zárt rendszer stabilitásának feltétele (az adott arányos szabályozás mellett): a *k* körerősítésnek az **egységnél kisebbnek kell lennie** (*k<1*). Ezért $k_{meg}\approx 1/2$, és a zavarás hatása a szabályozott jellemzőre zárt körben: $\Delta y=(\Delta y_n)/(1+k)= (\Delta y_n)/(1+0.5)= =2(\Delta y_n)/3$. Ez pedig igen „gyenge” zavarelhárítási képességet jelent.

24. Integrál szabályozás felnyitott körének eredő átviteli függvénye $W_0(s)=k_i exp(-sT_h)/s$, $k_i>0$, $T_h>0$. Adott T_h mellett k_i integrálási körerősítés mekkora k_{i60} értékénél van a nyitott kör $W_0(j\omega)$ frekvencia függvényének $\varphi_t(\omega_c)=60^0$ fázistöbblete?

$$a(\omega_c) = \frac{k_p}{\omega_c T_i} = 1 \qquad \varphi_t(\omega_c) = \pi - \frac{\pi}{2} - \omega_c T_h$$

$$\omega_c = \frac{\frac{\pi}{2} - \varphi_t}{T_h} \qquad \Rightarrow \quad T_i = \frac{k_p}{\omega_c} = \frac{k_p T_h}{\frac{\pi}{2} - \varphi_t}$$

$$\text{stabilitási határhelyzetben:} \quad \omega_{ckrt} = \frac{\pi}{2T_h} \qquad T_{ikrt} = \frac{2k_p T_h}{\pi}$$

$$60^0 \ \text{fázistöbblet mellett:} \quad \omega_{c60} = \frac{\pi}{6T_h} \qquad T_{i60} = \frac{6k_p T_h}{\pi}$$

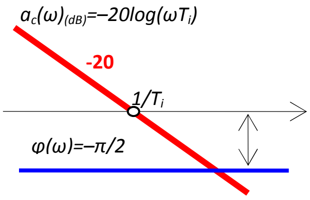
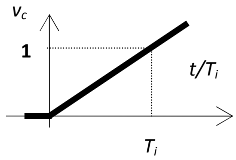
25. Holtidős tag transzcendens átviteli függvénye hogyan közelíthető algebrai törtfüggvénnyel?

Pade és Strejc közelítés:

$$W(s) = e^{-sT_h} \cong \frac{2 - sT_h}{2 + sT_h} = \frac{1 - s\frac{T_h}{2}}{1 + s\frac{T_h}{2}} \qquad W(s) = e^{-sT_h} \cong \frac{1}{(1 + s\frac{T_h}{k})^k}$$

Szabályozástechnika **3.gyak** ellenőrző kérdések

1. Adja meg az I szabályozó rendszerjellemző függvényeit!

Típus	***W_c(s)***	*Bode* diagram [$a_{c(dB)},\varphi$]	Átmeneti függvény
I	$K_c \frac{1}{sT_i}$		

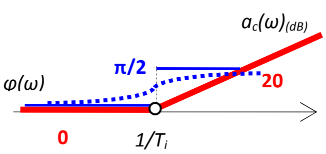
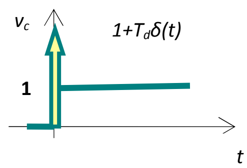
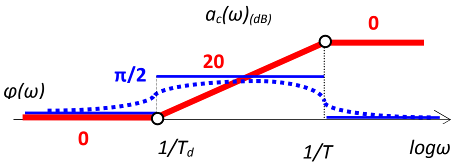
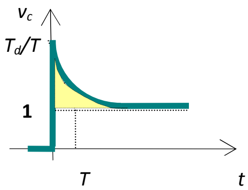
Név	h_0	h_1	h_2	g_0	g_1	g_2	*Differenciálegyenlet*	*Átviteli függvény* $[W(s)]$ $W(s)=y(s)/u(s)$	*Átmeneti függvény* $[v(t)]$ $v(t)=L^{-1}\{W(s)/s\}$
P	0	0	h_2	0	0	g_2	$h_2 y(t)=g_2 u(t)$	k	$k1(t)$
I	0	h_1	0	0	0	g_2	$h_1 \frac{dy}{dt}=g_2 u$	$\frac{k_i}{s}=\frac{1}{sT_i}$	$k_i t=\frac{t}{T_i}$
D	0	0	h_2	0	g_1	0	$h_2 y=g_1 \frac{du}{dt}$	$k_d s=sT_d$	$k_d\delta(t)=T_d\delta(t)$ *nem realizálható*
T	0	h_1	h_2	0	0	g_2	$h_1\frac{dy}{dt}+h_2 y=g_2 u$	$\frac{k}{1+sT}$	$k(1-e^{-\frac{t}{T}})$
T_ξ	h_0	h_1	h_2	0	0	g_2	$h_0\frac{d^2y}{dt^2}+h_1\frac{dy}{dt}+h_2 y=g_2 u$	$\frac{k}{1+2\xi Ts+T^2s^2}$	$k[1+\frac{e^{-\frac{\xi}{T}t}}{\sqrt{1-\xi^2}}\sin(\frac{\sqrt{1-\xi^2}}{T}t-arctg\frac{\sqrt{1-\xi^2}}{-\xi})]$
PD_i	0	0	h_2	0	g_1	g_2	$h_2 y=g_1\frac{du}{dt}+g_2 u$	$k(1+sT_d)$	$k[1+T_d\delta(t)]$ *nem realizálható*
PD	0	h_1	h_2	0	g_1	g_2	$h_1\frac{dy}{dt}+h_2 y=g_1\frac{du}{dt}+g_2 u$	$k\frac{1+sT_d}{1+sT}$	$k(1+\frac{T_d-T}{T}e^{-\frac{t}{T}})$ $T_d>T$
PI	0	h_1	0	0	g_1	g_2	$h_1\frac{dy}{dt}=g_1\frac{du}{dt}+g_2 u$	$k\frac{1+sT_i}{sT_i}$	$k(1+\frac{t}{T_i})$
O	h_0	0	h_2	0	0	g_2	$h_0\frac{d^2y}{dt^2}+h_2 y=g_2 u$	$k\frac{\omega_0}{s^2+\omega_0^2}$	$k(1-\cos\omega_0 t)$

2. A realizálható DT tag szabályozónak miért nem használható?

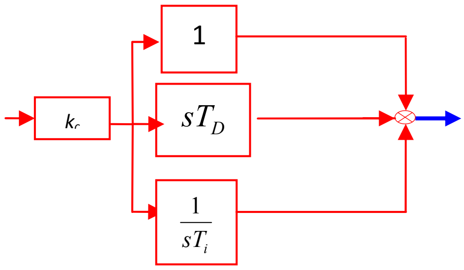
$$W_o(s)=\frac{sTd}{1+sT}$$

Állandó bemenő jelre, állandósult állapotban zérus jelet szolgáltat. Mindezek miatt a realizálható DT tagot is csak P vagy I taggal párhuzamosan kapcsolt struktúrában lehet (legalábbis a szabályozókban) felhasználni.

3. Átviteli függvényeivel, és *Bode* diagramjaival jellemezze a PD szabályozót!

Típus	***W_c(s)/k_c***	*Bode* diagram [$a_{c(dB)},\varphi$]	Átmeneti függvény [$v_c(t)$]
PD$_i$ *Ideális D csatorna miatt*	$1+sT_d$		
PD $T_d>T$	$\frac{1+sT_d}{1+sT}$		

4. **Adja meg a PID szabályozó lineáris alaptagokból felépített hatásvázlatát!**



5. **Milyen szempontok alapján célszerű megválasztani a PIPD szabályozó k_c, T_i, T_d, és T paramétereit?**

Ti -vel a folyamat legnagyobb időállandóját(T_1)-, Td -vel pedig a második legnagyobb időállandóját(T_2) célszerű kompenzálni, k_c úgy, hogy a töréspontoktól ω_c távol legyen, és a $T=T_d/10$

6. **Mit értünk a szabályozás rendszertechnikai méretezése alatt?**

A szabályozás rendszertechnikai tervezése alatt a $W_c(s)$ átviteli függvény meghatározását értjük, amelyet követnie kell egy szerkezeti–áramköri tervezési eljárásnak is.

7. **Mi a kapcsolat a nyitott kör $W_0(j\omega)$ frekvencia függvénye, és a zárt kör alapjelre vonatkozó $v_R(t)$ eredő átmeneti függvénye között?**

$$v(t) = L^{-1}\left\{\frac{1}{s}W(s)\right\}$$

8. **Mi a túlvezérlési arány?**

$u_t=u(0)/u(\infty)$

9. **Mit értünk a nyitott kör $W_0(j\omega)$ frekvencia függvényének fázistöbblete alatt?**

A fázistöbblet az a szög, amelynek zérussá válásával a zárt szabályozási rendszer a stabilitás határára kerül.

$$\varphi_t(\omega_c) = \pi + arcW_o(j\omega_c)$$

Ha a fázistöbblet zérussá válik, a zárt szabályozási rendszer a stabilitás~labilitás határhelyzetébe kerül.

10. **A nyitott kör $W_0(j\omega)$ frekvencia függvényének ω_c vágási körfrekvenciája hogy befolyásolja a T_Δ szabályozási időt?**

$3/\omega_c<T_\Delta<10/\omega_c$, tapasztalatok alapján

11. **Milyen következményekkel jár, ha a nyitott kör $W_0(j\omega)$ frekvencia függvényének amplitúdó többlete $a_{T(db)}$=0 dB?**

A rendszer a stabilitás határán van.

12. **Definiálja a zárt rendszer átmeneti függvényének $\sigma(\%)$ túllendülését! A túllendülés milyen kapcsolatban van a nyitott kör $W_0(j\omega)$ frekvencia függvényének a $\varphi_t(\omega_c)=\pi+\varphi(\omega_c)$ fázistöbbletével?**

$$\sigma(\%) = 100\frac{v_{R\max} - v_R(\infty)}{v_R(\infty)}$$, nagy fázistöbblet -> kis σ

ρ_t=60° -> túllend.<5%

ρ_t=30° -> túllend.<40-60%

ρ_t=45° -> túllend.<30-50%

13. **Mi a jelentősége a MATLAB [at,ft,wt,wc]=margin(a,f,w) függvényének?**

Megadja az amplitúdó-, fázistöbbletet és a körfrekvenciákat.

14. A soros kompenzációs szabályozási rendszerben a szabályozott folyamat, és a szabályozó átviteli függvénye:

$$W_p(s) = \frac{k_p}{(1+sT_1)(1+sT_2)(1+sT_3)} e^{-sT_h} \qquad k_p = 1 \quad T_1 = 100 \quad T_2 = 50 \quad T_3 = 25 \quad T_h = 12.5$$

$$W_c(s) = k_c \frac{(1+sT_i)(1+sT_d)}{sT_i(1+sT)}$$

Milyen elvek alapján kell megválasztani a szabályozó k_c, T_i, T_d, és T paramétereit?

- Ti -vel a folyamat legnagyobb időállandóját-, Td -vel pedig a második legnagyobb időállandóját célszerű kompenzálni.

$$T = \frac{tg\left[\left(\frac{\pi}{2} - \varphi_t\right) - \sum_{p=3}^{m} arctg(\omega_c T_p) - \omega_c T_h\right]}{\omega_c}$$

$$k_c = \frac{Tu_t}{k_p T_2}$$

-

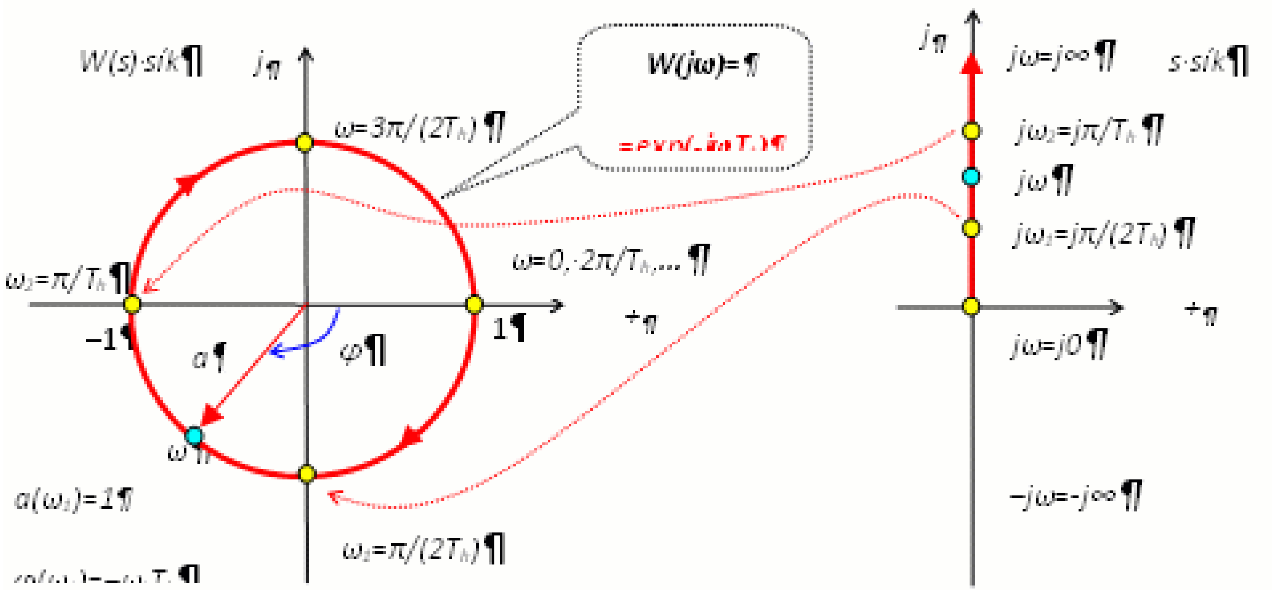
15. A $W_p(s)=k_p exp(-sT_h)$ átviteli függvényű folyamat szabályozásához miért célszerű $W_c(s)=1/(sT_i)$ átviteli függvényű integráló szabályozót alkalmazni?

Ha a nyitott kör jelkésleltetésében a holtidő a meghatározó, akkor az arányos(**P**) szabályozó helyett **integráló(I) szabályozó** alkalmazása a célravezető (az aszimptotikusan stabilis, *i≥1* típusú integrálszabályozás ugyanis teljes mértékű zavarelhárításra képes).

16. $W_0(s)=k exp(-sT_h)$, $T_h>0$. Indokolja meg a visszacsatolt szabályozás azon tulajdonságát, hogy $0<k<1$ esetben a zárt rendszer stabilis, és $v_R(t)$ átmeneti függvénye lengésekkel veszi fel a $v_R(\infty)=k/(1+k)$ végértékét!

$$\prod_1^n (1+sT_k) + ke^{-sTh} \cong \prod_1^n (1+sT_k) + k\frac{1}{(1+s\frac{T_h}{m})^m} \qquad \Rightarrow \qquad \left(1+s\frac{T_h}{m}\right)^m \prod_1^n (1+sT_k) + k = 0$$

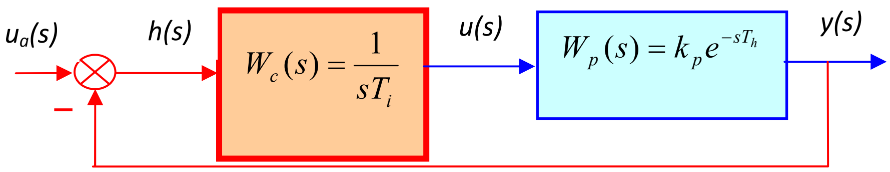
Ez utóbbi kifejezés *s*-nek (*n+m*) fokszámú polinomja, amelyre a *Hurwitz* kritérium már alkalmazható. Ha a folyamat kizárólag holtidő okozta jelkésleltetéssel rendelkezik, a k_{krt} kritikus körerősítés az egység. Annak igazolása, hogy $W_0(s)=k exp(-sT_h)$ nyitott kör $k_{krt}=1$ körerősítésnél négyszögjelet előállító oszcillátorként viselkedik a rendszer időtartományban történő analízise alapján egyszerűen megtehető. A karakterisztikus egyenlet analízise helyett a holtidős rendszerek stabilitásának vizsgálatára a *Nyquist* stabilitáskritérium alkalmas. Ha $W_0(j\omega)=k exp(-j\omega T_h)$, akkor ennek helygörbéje egy, az origót körbefogó *k* sugarú kör, ami *k>1* esetén végtelen sokszor fogja körül a **–1**+j0 pontot, miközben $-\infty<\omega<\infty$. Ezért ekkor $k_{krt}=1$.



A $W(s)=exp(-sT_h)$ átviteli függvényű holtidős tag *Nyquist* helygörbéje

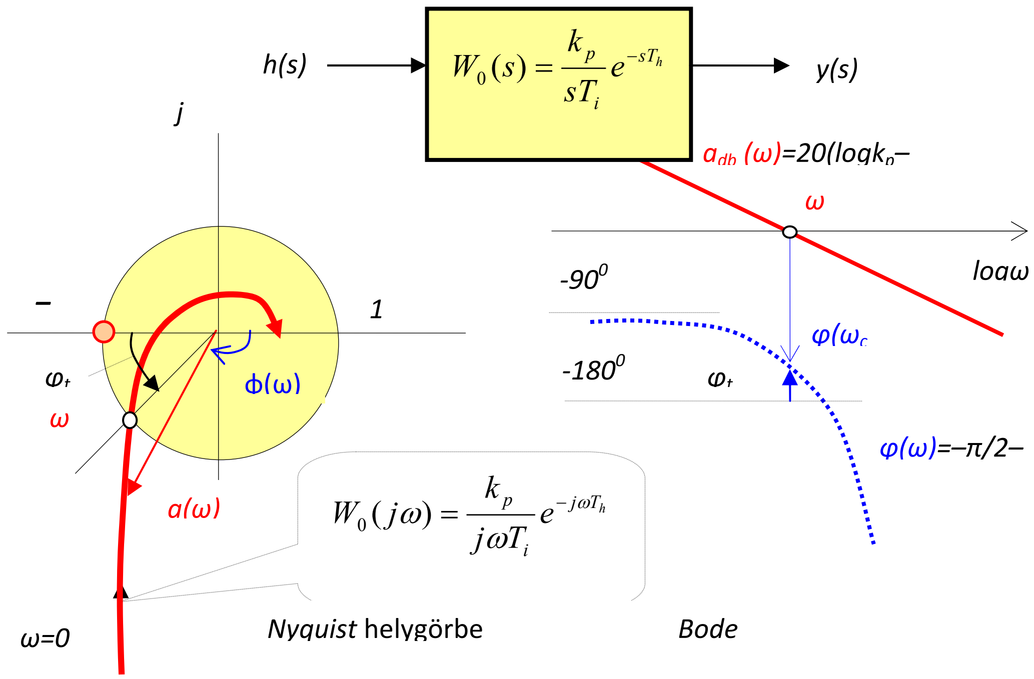
17. Az integrálszabályozás nyitott körének eredő átviteli függvénye $W_0(s)=k_i exp(-sT_h)/s$. A k_i integrálási körerősítés mekkora értéke mellett stabilis a zárt szabályozási rendszer?

Ha a nyitott kör jelkésleltetésében a holtidő a meghatározó, akkor az arányos (**P**) szabályozó helyett **integráló (I) szabályozó** alkalmazása a célravezető (az aszimptotikusan stabilis, $i \geq 1$ típusú integrálszabályozás ugyanis teljes mértékű zavarelhárításra képes).



Holtidős folyamat integráló szabályozóval

Az $i=1$ típusú szabályozási rendszer $sT_i + k_p exp(-sT_h) = 0$ karakterisztikus egyenlete transzcendens egyenlet, zérus helyeinek a száma végtelen. Ezért a stabilitás vizsgálatára most a *Nyquist* kritérium alkalmazása a megfelelő eljárás.

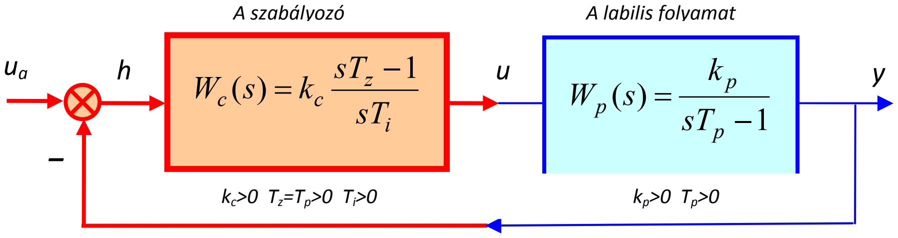


18. Mikor alkalmazunk egy adott folyamat szabályozásához PI–, vagy a PD szabályozót?

PD: ha a szabályozást gyorsítani akarjuk, PI hibaelhárítás és holtidős

19. Labilis folyamat soros kompenzációja során miért nem szabad a szabályozó zérusával a folyamat labilis pólusát kompenzálni?

Legyenek a labilis folyamat, és a hozzá illesztett póluskiejtést megvalósító szabályozó átviteli függvényei és a rendszer hatásvázlata:



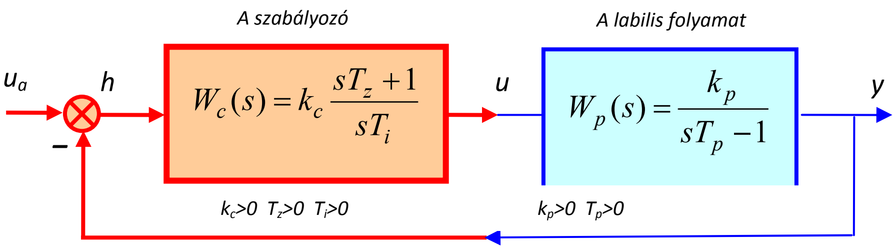
A szabályozó ilyen paramétereivel (***amikor a folyamat labilis pólusát a szabályozó „labilis" zérusával akarjuk mintegy kiejteni: $T_z=T_p$***) **a soros kompenzációt nem szabad megvalósítani!**

Soros kompenzációs szabályozási rendszer hatásvázlata

20. A folyamat soros kompenzációja során miért nem szabad a szabályozó pólusával a folyamat pozitív valós részű zérusát kompenzálni?

A *labilis pólus pozitív valós részű zérussal* történő kompenzálásának tilalma általános érvényű szabály.

A labilis folyamat szabályozása esetében megvalósítható soros kompenzáció:



Labilis folyamat soros kompenzációjának hatásvázlata

Lásd tantermi gyakorlatok3 15. 17 oldalak

21. Léptékhelyesen ábrázolja az [*(1+10s)/(1+2s)*]$^{(i-1)}$ átviteli függvényű szabályozó fázismeneteit i=1,2,3,4 esetekre!

Írja be a matlabba:
n=[10,1];
d=[2,1];
bode(n,d); utána n1=conv(n,n), d1=conv(d,d), bode(n1,d1); stb

22. A folyamat átviteli függvénye $W_p(s)=1/(sT)^2$, *T>0*. Tervezze meg a szabályozót olyan feltételek alapján, hogy a nyitott kor $W_0(s)$ átviteli függvényének típusszáma *i=2–*, a $\varphi_t(\omega_c)=\pi+\varphi(\omega_c)$ fázistöbblete pedig $\varphi_t(\omega_c)=\pi/4$ legyen.

23. Mit értünk a zárt rendszer frekvencia függvényének *M(ω)* és *α(ω)* görbéi alatt!

A zárt rendszer $M(\omega)=absW_R(j\omega)$ és $\alpha(\omega)=arcW_R(j\omega)$ görbéi .lásd tgyk3-ban

24. Mi a jelentősége a szabályozás rendszertechnikai tervezésében az *M(ω)* görbéknek?

A zárt rendszer frekvencia függvényére alapozott tervezés nehézkes eljáráshoz vezet, ezért a gyakorlati megoldásokban a problémát visszavezetjük **a nyitott kör frekvencia függvényének alapján történő tervezésre**. Erre az elvi lehetőséget az teremti meg, hogy a $W_R(j\omega)$ és a $W_0(j\omega)$ között egyértelmű függvénykapcsolat van.

25. Az *i*=1 típusú szabályozás nyitott körének átviteli függvénye:

$$W_0(s) = \frac{1}{sT_0(sT_0 + 2\xi)} \qquad T_0 > 0 \quad 0 < \xi < 1$$

Adjuk meg a zárt rendszer pólusait a komplex számsíkon! Adjuk meg a rendszer *M(ω)* görbéit.

F1 példa szt3 24. oldal

Szabályozástechnika **4.gyak** ellenőrző kérdések

1. Mit értünk az LTI rendszer állapotirányíthatósága alatt? Mik az állapotirányíthatóság feltételei?

Az *A, B, C, D* paramétermátrixaival leírt ***n***–ed rendű lineáris folyamat **állapotirányítható**, ha létezik olyan, korlátos–, és szakaszonként folytonos *u(t)* bemenő jel, amelynek segítségével az állapotváltozók egy $x(t_0)$ állapotból, $t_v – t_0 > 0$ véges idő alatt ($t_v > t_0$) egy tetszőlegesen előírt $x(t_v)$ állapotba átvihetők. Ennek matematikai feltétele, hogy az $C_0=[B \ AB \ \ldots A^{n-1}B]$ irányíthatósági (*conrollability*) mátrix rangja ***n***(a rendszer rendje) legyen.

2. Mit értünk az LTI rendszer állapotmegfigyelhetősége alatt? Mik az állapotmegfigyelhetőség feltételei?

Az *A, B, C, D* paramétermátrixaival leírt ***n***–ed rendű lineáris folyamat **megfigyelhető**, ha az *u(t)* bemenő jel, és az *y(t)* kimenőjel $t_0<t<t_v$ időintervallumban történő mérési eredményeinek feldolgozásából az állapotváltozóknak az $x(t_0)$ értéke meghatározható. Ennek matematikai feltétele, hogy a $O_b=[C^T \ A^TC^T \ \ \ldots(A^T)^{n-1}C^T \ ]$ megfigyelhetőségi (*observability*) mátrix rangja ***n*** legyen.

3. Mire használhatók a MATLAB `Co=ctrb(A,B);Ob=obsv(A,C)` függvényei?

ctrb: az állapotirányíthatósági tesztmátrix meghatarozására.
obsv: az állapotmegfigyelhetőségi tesztmátrix meghatározására.

4. Mire használható a MATLAB `[AT,BT,CT,DT,T]=canon(A,B,C,D,’modal’)` függvénye?

Állapotegyenlet kanonikus alakjának megfelelő paramétermátrixok és a T transzformációs mátrix meghatározására.

5. Mi jelenik meg a képernyőn az alábbi MATLAB utasítás hatására?

```
[at,bt,ct,dt,t]=canon([-1 0 0;0 -2 0;0 0 -3],[1 0 0]’;[1 0 0],0)
```

hiba!

erre adott választ:

[at,bt,ct,dt,t]=canon([-1 0 0;0 -2 0;0 0 -3],[1 0 0]',[1 0 0],0')

6. Indokoljuk meg LTI rendszer azon tulajdonságát, hogy az állapotirányíthatósága nem függ a *C, D* paramétermátrixaitól!

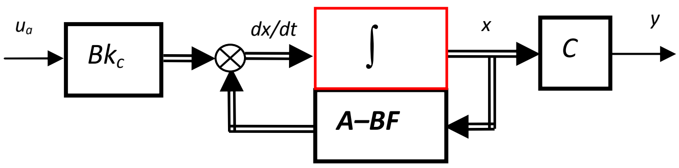
Mivel az állapotirányíthatósági tesztmátrixban csak az „A” és „B”-k szerepelnek.

7. Indokoljuk meg LTI rendszer azon tulajdonságát, hogy az állapotmegfigyelhetősége nem függ a *B, D* paramétermátrixaitól!

Mivel az állapotmegfigyelhetőségi tesztmátrixban csak az „A” és „C”-k szerepelnek.

8. Adja meg az állapotegyenletével jellemzett folyamat állapotvisszacsatolásának hatásvázlatát, nevezze meg a hatásvázlat jeleit! Mit kívánunk elérni a folyamat állapotváltozóinak, a bemenetre történő negatív visszacsatolásával?

A visszacsatolással befolyásolni akarjuk a pólusokat, időállandókat, tranziens viselkedést (állapotirányítani szeretnénk).



9. Az állapotvisszacsatolás megvalósíthatóságának milyen feltételei vannak?

Kell, hogy állapotirányítható (a folyamat minden *x(t)* állapotváltozója az *u(t)* bemenő jellel befolyásolható legyen) legyen, az *x(t)* állapotváltozók méréstechnikailag is hozzáférhetőek(megfigyelhetőek) legyenek.

10. Mit értünk az átviteli függvény közvetlen–, és párhuzamos felbontása alatt? Mikor alkalmazható a párhuzamos felbontás?

közvetlen: Ha a tag P,I,Σ alaptagokból felépített hatásvázlatát a *W(s)* polinom/polinom alakjából állítjuk elő.
párhuzamos: Ha a tag P,I,Σ alaptagokból felépített hatásvázlatát az átviteli függvény részlettörtes alakjából állítjuk elő.

11. Mi az állapotegyenlet irányíthatósági kanonikus alakja? Mi az állapotegyenlet első kanonikus alakja, és ennek milyen előnyös tulajdonságai vannak?

Irányíthatósági kanonikus alak: Azt az alakját, mikor az állapotmátrixának első sora a karakterisztikus polinomjának negatív együtthatóit tartalmazza.

Első kanonikus alak: A párhuzamos felbontásból származik. Az *A* állapotmátrix – a *W(s)* párhuzamos (a részlettörteken alapuló) felbontásának eredményeként – most diagonális, főátlójában az egymástól különböző p_i sajátértékekkel.

12. Az állapotvisszacsatolás tervezéséhez miért előnyös az állapotegyenlet irányíthatósági kanonikus alakjának a használata?

Ha a folyamat, illetve a visszacsatolt rendszer állapotegyenletei az *irányíthatósági kanonikus alakban* állnak rendelkezésünkre, akkor a rendszer méretezési előírásait tartalmazó $H_R(s)$=**det**[sI–(A–BF)]=0 karakterisztikus egyenlet együtthatóinak követelményrendszeréből az ***F*** vektor komponensei meghatározhatók.

13. Az LTI SISO rendszer differenciálegyenlete:

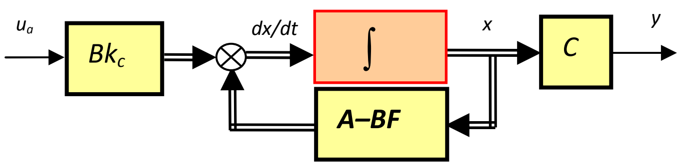
$$a_0\frac{d^3y(t)}{dt^3}+a_1\frac{d^2y(t)}{dt^2}+a_2\frac{dy(t)}{dt}+a_3y(t)=$$
$$=b_0\frac{d^3u(t)}{dt^3}+b_1\frac{d^{21}u(t)}{dt^2}+b_2\frac{du(t)}{dt}+b_3u(t)$$
$$a_0=1\quad a_1=6\quad a_2=11\quad a_3=6$$
$$b_0=2\quad b_1=8\quad b_2=-32\quad b_3=-128$$

Adja meg a rendszer *W(s)* átviteli függvényét, és ennek közvetlen felbontásával az állapotegyenletének irányíthatósági kanonikus alakját. Állapotirányíható–e, állapotmegfigyelhető–e a rendszer?

$$s^3y(t)+6s^2y(t)+11sy(t)+6y(t)=2s^3u(t)+8s^2u(t)-32su(t)-128u(t)$$
$$W(s)=\frac{2s^3+8s^2-32s-128}{s^3+6s^2+11s+6}$$

14. A *W(s)=1/(1+sT)* átviteli függvényű egytárolós arányos tagot mekkora *f* tényezőjű időkésés nélküli arányos taggal kell negatívan visszacsatolni ahhoz, hogy a *T* időállandó a tizedére csökkenjen? F=9

Az állapotvisszacsatolással a rendszer p_R pólusainak száma azonos marad a folyamat p pólusainak a számával, vagyis a folyamat állapotvisszacsatolásával az n rendszám nem változhat meg. A k_c tényezővel a rendszer eredő erősítése állítható be. A folyamat dc erősítése (átviteli tényezője) $k_p=-CA^{-1}B$, a rendszer eredő erősítése (átviteli tényezője) $k_R=-C(A-BF)^{-1}Bk_c$. Az állapovisszacsatolt **SISO** rendszer hatásvázlata:



15. Harmadrendű rendszer állapotegyenlete

$$\frac{d}{dt}\begin{bmatrix}x_1(t)\\x_2(t)\\x_3(t)\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}-6&-11&-6\\1&0&0\\0&1&0\end{bmatrix}\begin{bmatrix}x_1(t)\\x_2(t)\\x_3(t)\end{bmatrix}+\begin{bmatrix}1\\0\\0\end{bmatrix}u(t)$$
$$y(t)=\begin{bmatrix}-4&-54&-140\end{bmatrix}\begin{bmatrix}x_1(t)\\x_2(t)\\x_3(t)\end{bmatrix}+2u(t)$$

Adja meg a rendszer *A* állapotmátrixának λ_i sajátértékeit. Állapotvisszacsatolással keletkező rendszer A_R állapotmátrixának előírt λ_{Ri} sajátértékei az *A* sajátértékeinek kétszeresei ($\lambda_{Ri}=2\lambda_i$). Határozza meg az *F* visszacsatolás vektorát!

λ=eig(A); ujlanda=2*Landa; f=acker (A,B,ujlanda); Írja be a matlabba.

16. Mire használható az *Ackermann* képlet? Pólusáthelyezés

$$F=[0\,0\ldots0\,1]C_0^{-1}H_R(A)$$

17. Mire használható a MATLAB F=`acker(A,B,pR)` függvénye?

Az F állapotvisszacsatoló vektor meghatározására, ha a rendszer állapotirányítható.

18. Mi jelenik meg a képernyőn az alábbi MATLAB utasítás hatására F=`acker(-1,1,-10)`

F=9

Adja meg a folyamat állapotegyenletét, és karakterisztikus polinomját!

dx/dt=-x+u ????

19. Adja meg az állapotvisszacsatolt rendszer eredő állapotmátrixát!

$A_R = A - BF$

20. Az állapotegyenletével leírt LTI rendszer állapotváltozóit az *F* negatív visszacsatolással a bemenetre visszacsatoljuk. Mi lesz a visszacsatolt rendszer karakterisztikus polinomja?

$$\det[\lambda I-(A-BF)]=H_R(\lambda)=\lambda^n+h_{R1}\lambda^{n-1}+\ldots+h_{Ri}\lambda^{n-i}+\ldots+h_{R(n-1)}\lambda+h_{Rn}=$$

$$=\quad(\lambda-p_{R1})(\lambda-p_{R2})\ldots(\lambda-p_{Ri}\ldots(\lambda-p_{Rn})=0$$

21. Hogyan kell kiszámítani állapotvisszacsatolás esetében a dc erősítést helyreállító k_c átviteli tényezőt?

Ha az állapotvisszacsatolt rendszer dc erősítésére meg kívánjuk tartani a folyamat eredeti dc erősítését, akkor – az ***F*** meghatározását követően – a $k_R = -C(A-BF)^{-1}Bk_c = -CA^{-1}B = k_p$ feltételből k_c meghatározható.

22. Labilis rendszer lehet–e állapotirányítható, és állapotmegfigyelhető?

Igen, ha az irányíthatósági tesztmátrix rangja az állapotmátrix méretével azonos.

23. SISO tag átmeneti függvénye alapján milyen csoportokba sorolhatóak a jelátvivő tagok?

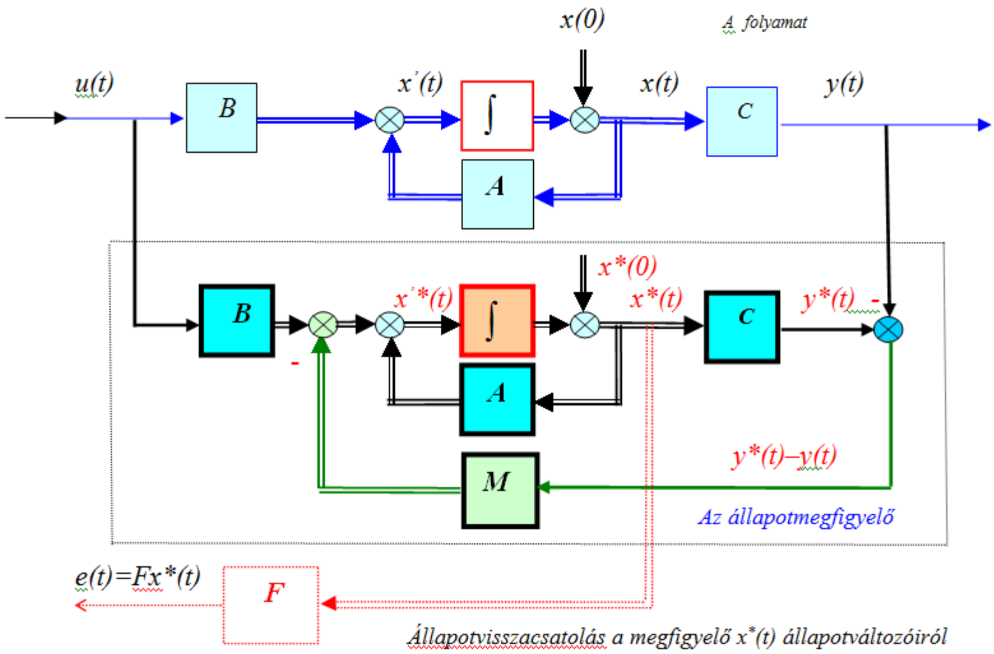
24. Az egyenáramú motor jelátviteli viszonyait leíró $W_p(s)=\dfrac{k_p}{1+sT_m+s^2T_mT_v}=\dfrac{\omega_u(s)}{u_k(s)}$ átviteli függvény önbeálló tagot jellemez ($k_p=10$, $T_m=20$, $T_v=1$). Állapotvisszacsatolással hogyan lehetne „felgyorsítani" a folyamatot?

Lásd géptermi gyakorlat 4 .1 első példa! Az integrálási terület alapján.

25. Az állapotirányítás megoldására milyen esetben kell alkalmazni állapotmegfigyelőt? Mi az állapotmegfigyelő feladata?

Állapotirányítást lehet megvalósítani akkor is, ha az állapotváltozók méréstechnikailag nem hozzáférhetők.

26. Adja meg az állapotmegfigyelővel megvalósított állapotirányítás hatásvázlatát!



27. Milyen szempontok alapján kell megválasztani a megfigyelő pólusait?

A megfigyelő p_M pólusait úgy célszerű megválasztani, hogy ezek a felgyorsított rendszer p_R pólusainál is gyorsabb tranzienseket eredményezzenek.

28. A megfigyelő méretezésére hogyan lehet felhasználni az *Ackemann* formulát?

Matematikai tétel értelmében a $\det[\lambda I-(A-MC)]$ karakterisztikus polinom p_{Mi} gyökei azonosak a $\det[\lambda I-(A^T-C^T\mathbf{M}^T)]$ polinom gyökeivel, és ez utóbbira az *Ackermann* képlet, vagy a MATLAB **acker** függvénye már felhasználható:

$$M^T=[0\ 0\ \ldots 0\ 1][C^T\ A^TC^T\ \ldots(A^T)^{n-1}C^T]^{-1}[(A^T)^n+h_{M1}(A^T)^{n-1}+\ldots+h_{Mn}I]$$

29. Az állapotvisszacsatolás esetében mitől függ a túlvezérlési arány?

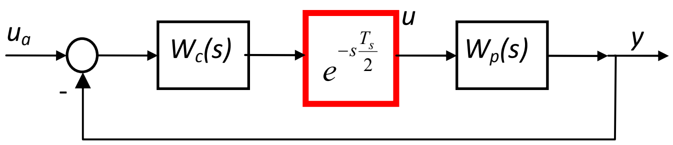
$$\frac{u(0)}{u(\infty)} = u_t = \left[1 + F(A - BF)^{-1} B\right]^{-1} = \frac{h_{Rn}}{h_n} = \prod_{i=1}^{n} \frac{p_{Ri}}{p_i}$$

30. Adjon leírást arról, hogy miket számít ki az alábbi MATLAB program?

```
T0=input('T0=');kszip=input('kszip=');      % T0>0,  0<kszip<1
Gp=1;Hp=[T0*T0 2*kszip*T0 1];              % A folyamat Wp(s)átviteli függvénye
step(Gp,Hp);pause;                         % A folyamat vp(t)átmeneti függvénye
[A,B,C,D]=tf2ss(Gp,Hp);                    % A folyamat állapotegyenlete
kszIR=input('kszIR=');                        % Az előírt csillapítási tényező 0<ksiR<1
pR=(-kszIR+sqrt(1-kszIR*kszIR)*i)/T0;         % Az előírt pR pólus
F=acker(A,B,[pR conj(pR)]);                   % Az állapotvisszacsatolás F vektora
kc=inv(C*inv(A-B*F)*B)*C*inv(A)*B;                % A kc erősítési tényező
step(A-B*F,B*kc,C,D);                   % A visszacsatolt rendszer v(t)átmeneti függvénye
```

Szabályozástechnika **5.gyak** ellenőrző kérdések

1. **Adja meg a hibrid szabályozási rendszer folytonos modelljét!**



2. **Adja meg a zérusrendű tartószerv átviteli függvényét!**

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

3. **Hogyan kell megválasztani a hibrid szabályozás T_s mintavételezési idejét a folytonos modell alapján?**

$T_s = \dfrac{\pi}{90\omega_c}\Delta\varphi_t$, ahol $\Delta\varphi_t$ a megengedhető fázistöbbletromlás(fok), ω_c a folytonos rendszer vágási körfrekvenciája.

4. **Melyek a hibrid rendszer diszkrét szabályozójának tervezési lépései a folytonos modell alapján?**

   1. Az adott $W_{p(s)}$- sel leírt folytonos folyamathoz tervezni kell egy *W*$W_c(s)=mc/nc$ átviteli függvényű folytonos szabályozót. A tervezés során az ω_c vágási körfrekvencia is meghatározásra kerül.
   2. A folytonos rendszer ω_c vágási körfrekvenciájának ismeretében (felvéve a megengedett fázistöbbletromlás értéket) meg kell határozni a T_s mintavételezési időt.
   3. T_s és $W_c(s)$ ismeretében meghatározható a szabályozó $W_{cd}(z)=mcd/ncd$ impulzusátviteli függvénye, ez egyben a diszkrét szabályozó szabályozási algoritmusát is jelenti. MATLAB támogatás: [mcd,ncd]=**c2dm**(mc,nc,Ts)
   4. A méretezés ellenőrzése a zárt szabályozás tulajdonságainak vizsgálatával, a rendszer diszkrét modelljének felhasználásával végezhető el.

5. **Mire használható a MATLAB [Gz,Hz]=c2dm(Gs,Hs,Ts,'zoh') függvénye?**

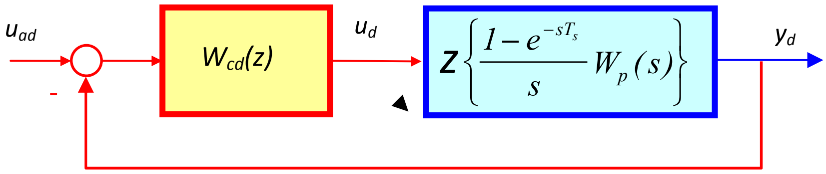
A *W(s)= Gs/Hs* folytonos átviteli függvény és a T_s mintavételezési idő ismeretében zérusrendű tartás mellett kiszámítja a *W(z)= Gz/Hz* impulzusátviteli függvényt.

6. **Az diszkrét tag impulzusátviteli függvényének ismeretében hogyan kell felírni a tag differenciaegyenletét?**

$$W_{cd}(z) = \frac{u_d(z)}{h_d(z)} = K_c\left(1 + \frac{1}{T_I}\frac{T_s}{z-1} + \frac{T_D}{T}\frac{z-1}{z-E}\right) = \frac{c_o + c_1 z^{-1} + c_2 z^{-2}}{1 + d_1 z^{-1} + d_2 z^{-2}} = \frac{G_{cd}(z)}{H_{cd}(z)}$$

$$u_d(k) = -d_1 u_d(k-1) - d_2 u_d(k-2) + c_o h_d(k) + c_1 h_d(k-1) + c_2 h_d(k-2)$$

7. **Adja meg a hibrid szabályozási rendszer diszkrét modelljét!**



8. **A folytonos folyamat átviteli függvénye $W_p(s)$. Hogyan lehet kiszámítani a folyamat $W_p(z)$ impulzusátviteli függvényét?**

$$W_p(z) = Z\{W_p(s)\}$$

9. **A folytonos folyamat $W_p(s)$ átviteli függvényének pólusai $p_1=-2$, $p_{2,3}=-1\pm j$. Adja meg a folyamat $W_p(z)$ impulzusátviteli függvényének a z_{p1} és $z_{p2,3}$ pólusait?**

$$p_1 = -\frac{1}{T_1}; p_2 = -\frac{1}{T_2}; p_3 = -\frac{1}{T_3} \Rightarrow z_1 = e^{-\frac{T_s}{T_1}}; z_2 = e^{-\frac{T_s}{T_2}}; z_3 = e^{-\frac{T_s}{T_3}}$$

10. **Adja meg a diszkrét integráló tag impulzusátviteli függvényét!**

$$W(z) = \frac{y(z)}{u(z)} = \frac{1}{z-1}$$

11. **Diszkrét jelátvivő tag impulzuátviteli függvénye $W(z)=10(z-0.9)/(z-1)$. Számítsa ki, és ábrázolja a tag $v(k)=Z^{-1}\{zW(z)/(z-1)\}$ átmeneti mintasorozatát!**

$$W(z) = \frac{10(z-0.9)}{(z-1)} \Rightarrow v(k) = Z^{-1}\left\{\frac{zW(z)}{(z-1)}\right\}$$

$$v(k) = Z^{-1}\left\{\frac{z}{(z-1)}\frac{10(z-0.9)}{(z-1)}\right\} = Z^{-1}\left\{\frac{10z^2-9z}{z^2-2z+1}\right\}$$

12. **Diszkrét jelátvivő tag impulzusátviteli függvénye $W(z)=10(z-0.9)/z$. Számítsa ki, és ábrázolja a tag $v(k)=Z^{-1}\{zW(z)/(z-1)\}$ átmeneti mintasorozatát!**

$$W(z) = \frac{10(z-0.9)}{z} \Rightarrow v(k) = Z^{-1}\left\{\frac{zW(z)}{(z-1)}\right\}$$

$$v(k) = Z^{-1}\left\{\frac{z}{(z-1)}\frac{10(z-0.9)}{z}\right\} = Z^{-1}\left\{\frac{10z-9}{z-1}\right\}$$

Laplace-transzfomáció Z-transzfomáció	
$X(z) = \sum_{k=0}^{\infty} x[k] z^{-k}$	
x[k]	X(z)
$\delta[k]$	1
$\varepsilon[k]$	$\frac{1}{1-z^{-1}} = \frac{z}{z-1}$
$a^k \varepsilon[k]$	$\frac{1}{1-az^{-1}} = \frac{z}{z-a}$
$A \cdot k \cdot a^k \varepsilon[k]$	$\frac{A \cdot a \cdot z^{-1}}{(1-az^{-1})^2} = \frac{A \cdot a \cdot z}{(z-a)^2}$
$\varepsilon[k-r] \cdot x[k-r]$	$X(z) \cdot z^{-r}$

13. **A diszkrét nyitott kör impulzusátviteli függvénye $W_0(z)$. Mi a zárt rendszer stabilitásának a feltétele?**

Ha az $F(z)=1+W_0(z)=0$ karakterisztikus egyenletnek kizárólag a komplex sík egységsugarú körének belsejében vannak a gyökei ($abs(z_i)<1$), akkor a rendszer stabilis.

14. **Állapotdifferencia egyenletével leírt diszkrét rendszer állapotmátrixa A_d. Mi a rendszer stabilitásának feltétele?**

A sajátértékek egységkörön belül legyenek.

15. **A diszkrét nyitott kör impulzusátviteli függvénye $W_0(z)$. Hogyan kell kiszámítani a diszkrét nyitott kör frekvencia függvényét?**

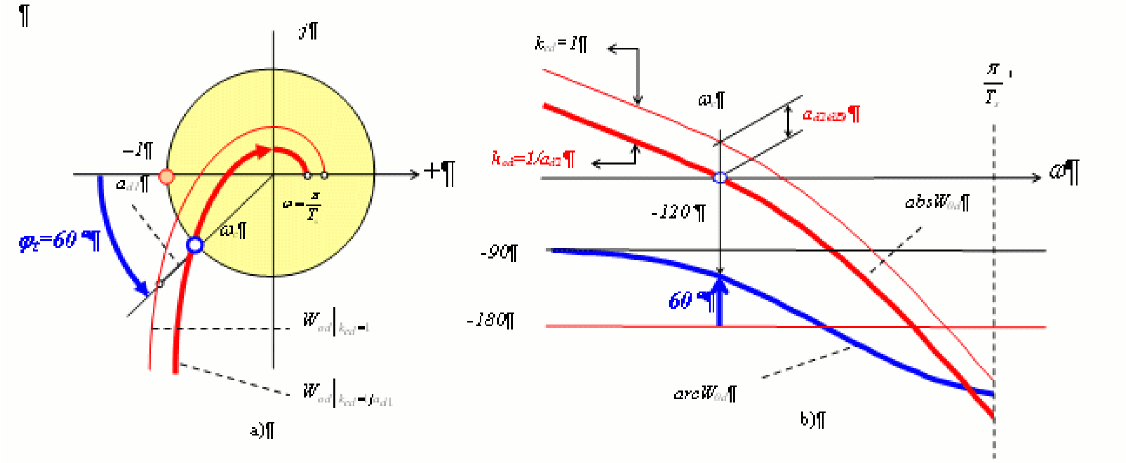
A szabályozásokat általában $\varphi_t(\omega_c)=\pi/3$ (60^0) fázistöbbletre szokás méretezni, mivel ekkor a zárt rendszer átmeneti függvényének a túllendülése *10%* alatt várható. A fázistöbblet feltételnek a betartásához szükséges, hogy az ω_c vágási körfrekvencián

$$\boxed{\begin{aligned} &abs W_{0d}(e^{j\omega_c T_s}) = 1 \\ &\pi + arc W_{0d}(e^{j\omega_c T_s}) = \varphi_t = \pi/3 \end{aligned}}$$

legyen

16. **A frekvencia módszer alapján történő méretezéshez az ω körfrekvenciának mekkora intervallumában kell ábrázolni a nyitott kör impulzusátviteli függvényének $W_0[exp(j\omega T_s)]$ frekvencia függvényét?**

A $k_{cd1}=1$ önkényes (de mint később látjuk célszerűen választott) felvételével és a **dbode** utasítás felhasználásával megkeressük a $\varphi_d(\omega)=arcW_{0d}$ fázismenetnek azt az ω értékét, amikor is ez a szög $\varphi_d(\omega)=-2\pi/3$ (-120^0). Ha ezt az ω értékét választjuk a nyitott kör ω_c vágási körfrekvenciájának, akkor a nyitott kör $\varphi_t(\omega_c)=\pi/3$ (60^0) fázistöbblettel fog rendelkezni. Ábrán szemléltetve:



A diszkrét nyitott kör *Nyquist* és *Bode* diagrammjai

17. **Milyen diszkrét szabályozót jellemez az alábbi impulzusátviteli függvény:** $W_c(z)=k_c\dfrac{z-z_{c1}}{z-1}\dfrac{z-z_{c2}}{z}$

Hogyan kell megválasztani a szabályozó z_{c1} és z_{c2} zérusainak értékeit?

Inpipd szabályozó , zc1=exp(p1*Ts), zc2=exo(p2*Ts), ahol p1 ill p2 a folyosos szakasz pólusai.

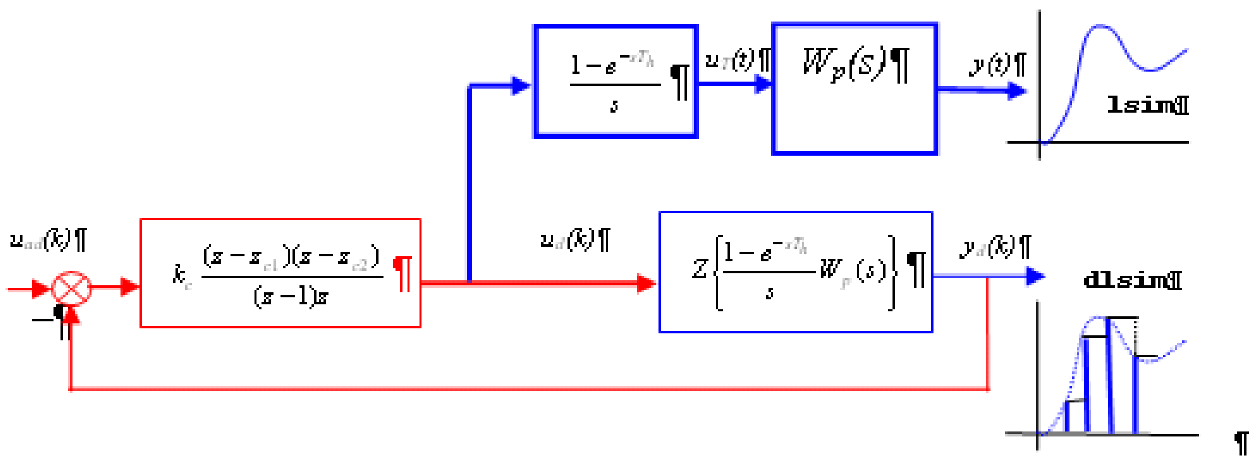
18. **Mire használható a MATLAB [a,f,w]=dbode(Gz,Hz,Ts) függvénye? Mi a *Nyquist* körfrekvencia?**

dbode: a $W_d(e^{j\omega Ts})$ amlitúdó- és fázismenetének kiszámítása és ábrázolása. $\omega_{nyquist}=\pi/T_s$

19. **Mire használható a MATLAB [y,x]=dlsim(Ad,Bd,Cd,Dd,u,x0) függvénye?**

dlsim: diszkrét renszer adott u_d mintasorozatra és *x(0)* kezdeti feltételre vonatkozó válaszának számítása és ábrázolása.

20. **A hibrid szabályozás diszkrét modelljének alapján hogyan lehet meghatározni a hibrid rendszer folytonos folyamatának *y(t)* szabályozott jellemzőjét?**



-