

<b>Elektronika 1. vizsga</b>	<b>2014. 01. 22.</b>	<b>1.</b> (20)	<b>2.</b> (20)	<b>3.</b> (30)	<b>4.</b> (30)	<b>Σ</b>
Név:	Neptun:					

1. Visszacatolt lineáris erősítők esetén mi a hurokátvieli (hurok erősítés, nyílthurkú átvitel) definíciója? Mi a fázisstartalék definíciója (egyértelmű rajz vagy képlet)? Mit mond a Nyquist stabilitás kritérium (rajz)? Mit mond a Bode stabilitás kritérium (rajz)?

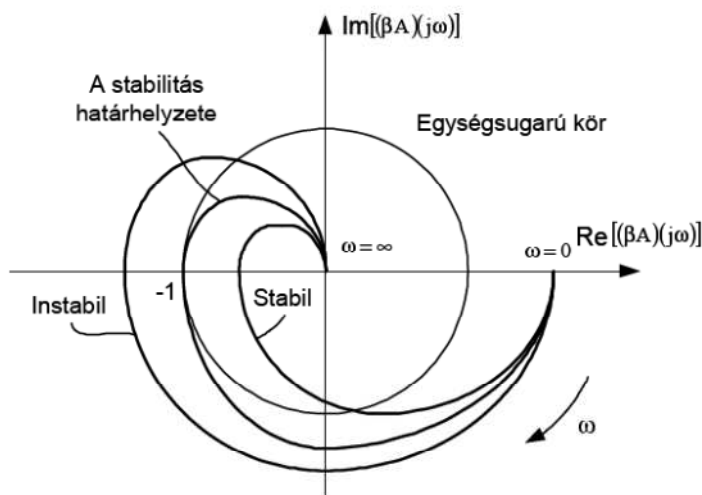
### MEGOLDÁS:

A hurokerősítés a "felvágott", nyílt hurok átviteli függvényének a mínusz egyszerűsége.

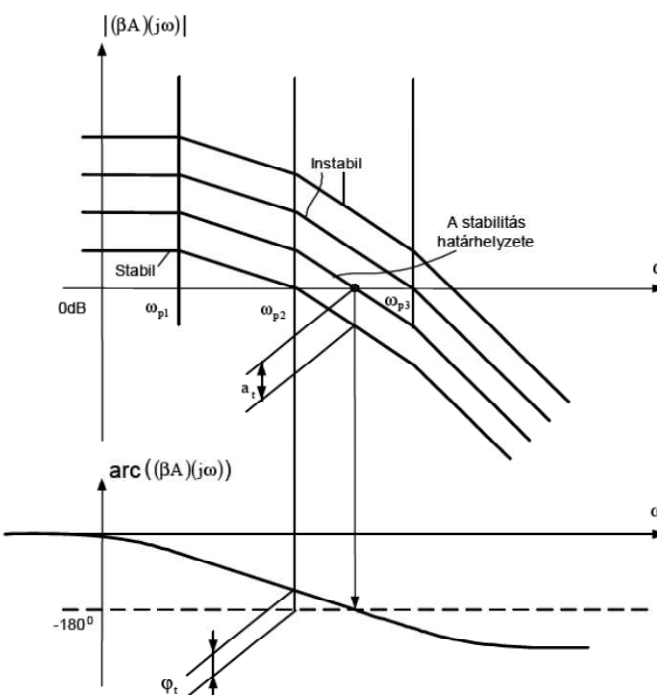
Fázis tartalék:  $\varphi_t = \varphi_{\text{hurokátvitel}}(\omega_c) - (-108^\circ)$ ,

ahol  $\omega_c : A_{\text{hurokátvitel}}(\omega_c) = 1$  és a hurokátvitel:  $(A\beta)(\omega) = A_{\text{hurok}}(\omega)e^{j\varphi_{\text{hurok}}(\omega)}$

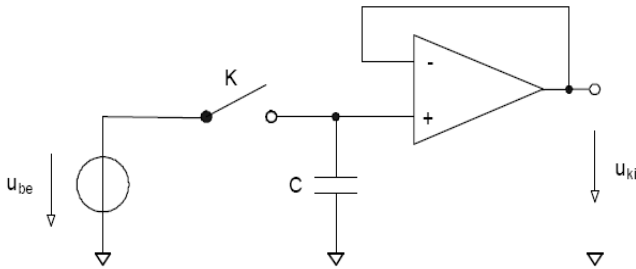
Nyquist (egyszerűsített) stabilitás kritérium: A visszacsatolt rendszer stabil, ha a nyílthurkú átvitel Nyquist diagrammja nem veszi körül a komplex sík -1 pontját.



Bode stabilitás kritérium: A visszacsatolt rendszer stabil, ha a nyílthurkú átvitel Bode fázis-frekvencia karakterisztikája  $\omega_c$  frekvencián még -180 fok felett van, ahol  $\omega_c$  az a frekvencia, ahol Bode amplitúdó frekvencia karakterisztika értéke egységnyi (ahol az amplitúdó karakterisztika a 0 dB-t metszi).



2.



A kapcsoló paraméterei:

$$R_{on} = 10 \text{ ohm}, \quad R_{off} = 10 \text{ kohm},$$

A kapcsoló  $t_0=0$ -ban záródik („vezet”,  $R=R_{on}$ ),

$t_1 = 100 \text{ ns}$ -ban nyitódik („nem vezet”

$R=R_{off}$ ).

A kondenzátor:  $C = 10 \text{ nF}$

feszültsége  $t=0$ -ban nulla:  $u_C(t=0) = 0 \text{ V}$

A bemenő feszültség:

$$U_{be}(t) = U_{in} \cdot 1(t), \quad U_{in} = 5 \text{ V}$$

a.) Rajzolja le a kondenzátor feszültségének  $u_C(t)$  időfüggvényét, töltsse ki az alábbi táblázatot (a műveleti erősítő minden szempontból ideális):

t	0	0.1 $\mu\text{s}$	0.1 ms	$\infty$
$u_C(t)$				

b.) Töltsse ki az alábbi táblázatot (a műveleti erősítő minden szempontból ideális):

t	0	0.1 $\mu\text{s}$	0.1 ms	$\infty$
$u_{ki}(t)$				

c.)  $t=\infty$ -ben mennyi a kimeneti feszültség értéke, ha a műveleti erősítő differenciális erősítése  $A=9$  és a műveleti erősítő minden más szempontból ideális?  $u_{ki}(t=\infty) = ?$

d.)  $t=\infty$ -ben mennyi a kimeneti feszültség értéke, ha a műveleti erősítő differenciális erősítése  $A=9$ , a differenciális bemeneti ellenállás  $R_{be}=100 \text{ kohm}$ , és a műveleti erősítő minden más szempontból ideális?

$$u_{ki}(t=\infty) = ?$$

### MEGOLDÁS:

A kondenzátor a kezdeti 0-ról 5V-ra töltődik, kezdetben a kis  $R_{on}$  ellenálláson keresztül  $\tau_1 = R_{on}C$  időállandóval, majd a nagy  $R_{off}$  ellenálláson keresztül  $\tau_2 = R_{off}C$  időállandóval, exponenciális függvény szerint.

kapcsoló zárva  $0 < t < 0.1 \mu\text{s}$ ,

$$\tau_{on} = R_{on}C = 10 \cdot 10^{-8} = 0.1 \mu\text{s},$$

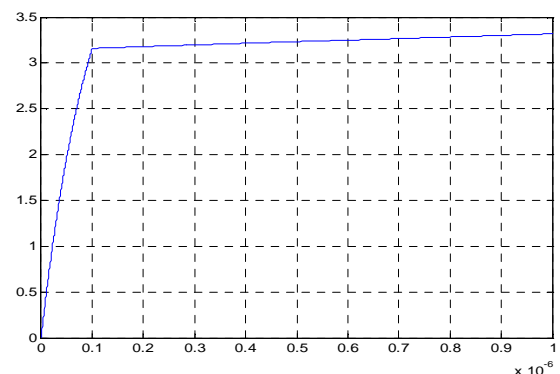
$$u_C(t) = U_{in}(1 - \exp(-t/\tau_{on}))$$

$$u_C(0) = 0; \quad u_C(t_1) = U_1 = 5(1 - 1/e) = 3,16 \text{ V}$$

kapcsoló nyitva  $0.1 \mu\text{s} < t$ ,

$$\tau_{off} = R_{off}C = 10^4 \cdot 10^{-8} = 0.1 \text{ ms}, \quad u_C(t) = U_1 + (U_{in} - U_1)(1 - \exp(-t/\tau_{off}))$$

$$u_C(\infty) = U_{in} = 5 \text{ V}; \quad u_C(t=1 \text{ ms}) = 3,16 + (5 - 3,16)(1 - \exp(-10^{-4}/10^{-4})) = 4,32 \text{ V}$$



t	0	0.1 $\mu\text{s}$	0.1 ms	$\infty$
$U_C(t)$	0 V	3,16 V	4,32 V	5 V

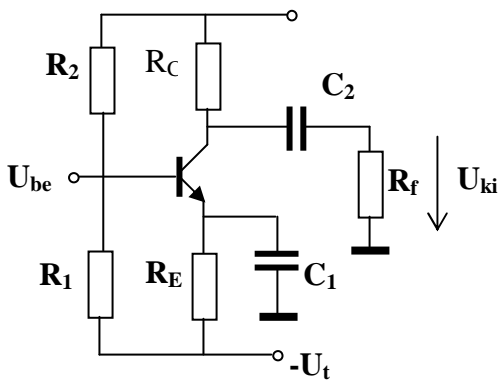
b)  $A = \infty \rightarrow \Delta u = 0 \rightarrow u_{ki}(t) = u_C(t)$

c)  $t=\infty$ -ben a kondenzátor töltése már állandó, árama nulla, szakadással veendő figyelembe.

$$u_{be} = u_C = (u_+ - u_-) + u_{ki} = \Delta u + u_{ki} = \frac{1}{A} u_{ki} + u_{ki} \Rightarrow u_{ki} = \frac{A}{1+A} u_{be} = 0.9 \cdot 5 = 4.5 \text{ V}$$

$$d) i_{be} = \frac{\Delta u}{R_{be}} = \frac{1}{AR_{be}} u_{ki} \quad u_{be} = R_{off} i_{be} + \frac{1}{A} u_{ki} + u_{ki} \Rightarrow u_{ki} = \frac{1}{1 + \frac{1}{A} + \frac{R_{off}}{AR_{be}}} = 4.4554$$

3.



Tápfeszültség:  $U_t = 10 \text{ V}$

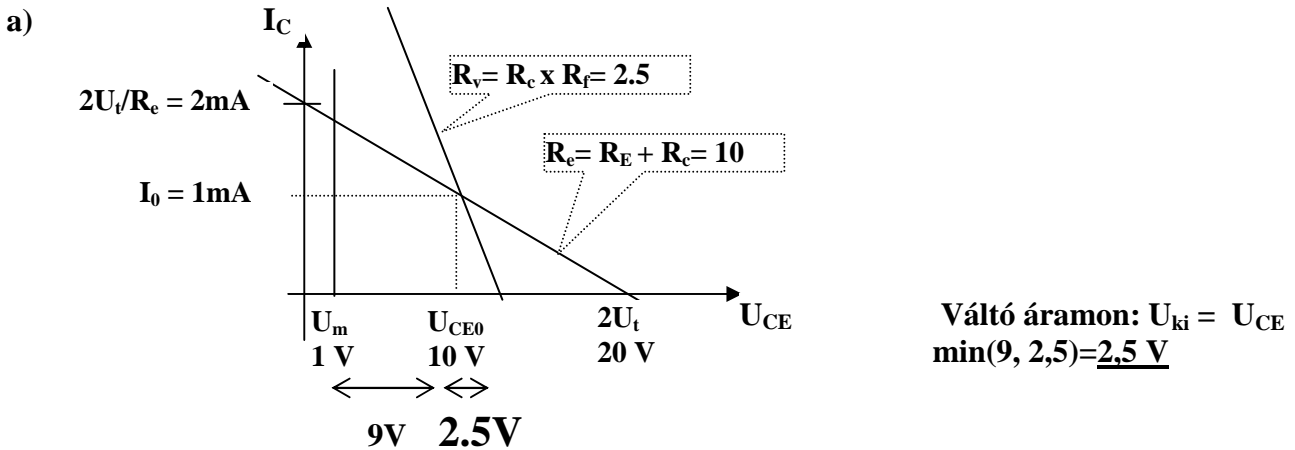
Ellenállások:  $R_E = R_C = R_f = 5 \text{ k}\Omega$   
 $R_1 = 10 \text{ k}\Omega, R_2 = 25,7 \text{ k}\Omega$

Kondenzátorok:  $C_1 \rightarrow \infty, C_2 \rightarrow \infty$

Tranzisztor: áramerősítés:  $A = 1, (B = \infty)$   
 bázis-emitter nyitó feszültség:  $U_{BE0} = 0.6 \text{ V}$   
 kollektor- emitter maradék feszültség:  $U_m = 1 \text{ V}$   
 emitter áram munkaponti értéke:  $I_{E0} = 1 \text{ mA}$

- Középfrekvencián a kimeneti szinuszos jelnek mekkora lehet a maximális amplitúdója?
- Mekkora a feszültség erősítés középfrekvenciás értéke?
- Ha  $C_1 \rightarrow \infty$ , és  $C_2 = 10 \mu\text{F}$ , akkor mennyi a 3 dB-es alsó határfrekvencia értéke?
- Ha  $C_2 \rightarrow \infty$ , és  $C_1 = 10 \mu\text{F}$ , akkor mennyi a 3 dB-es alsó határfrekvencia értéke?
- Ha  $C_2 = C_1 = 10 \mu\text{F}$ , akkor mennyi a 3 dB-es alsó határfrekvencia becsült értéke?
- Mekkora legyen  $R_E$  értéke ahhoz, hogy a tranzisztor munkaponti árama  $2 \text{ mA}$  legyen?

**MEGOLDÁS:**



b) FE alapkapcsolás:  $\frac{U_{ki}}{U_{be}} = -\frac{R_C \times R_f}{r_d} = -\frac{2,5k}{26} = -96,15$

c) Csatoló kondenzátor okozta felüláteresztő pólusa:

$$\omega_{c,p} = \frac{1}{C_2(R_C + R_f)} = \frac{1}{10^{-5} \cdot 10^4} = 10 \text{ r/s} = 10 \text{ rad/sec}$$

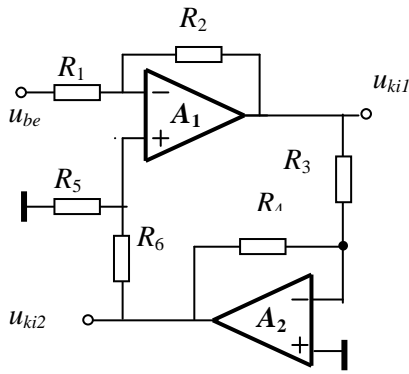
d) Emittre hidegítő kondenzátor okozta felüláteresztő pólusa:  $\omega_{E,p} = \frac{1}{C_1(R_{Eki} * R_E)}$

$$R_{Eki} = r_d \quad \omega_{E,p} = \frac{1}{C_1(r_d * R_E)} \cong \frac{1}{C_1 r_d} = \frac{1}{10^{-5} \cdot 26} \text{ r/s} = 3,85 \text{ krad/sec}$$

e) Alsó határfrekvencia:  $\omega_a = \max(\omega_{Cp}, \omega_{Ep}) = 3,85 \text{ krad/sec}$

f)  $\frac{R_1}{R_1 + R_2} 2U_t = U_{BE0} + R_E I_{E0} \rightarrow R_E = \frac{\frac{R_1}{R_1 + R_2} 2U_t - U_{BE0}}{I_{E0}} = \frac{\frac{10}{35,7} 20 - 0,6}{2} = 2,5 \text{ kohm}$

4.



- a.  $\frac{u_{ki1}}{u_{be}} = ?$ , ha A1 és A2 ideális és  
 $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = R_6 = R$ .
- b.  $\frac{u_{ki2}}{u_{be}} = ?$ , ha A1 és A2 ideális és  
 $R_1 = R_2 = R_3 = R_5 = R_6 = R$  és  $R_4 = \infty$ .
- c.  $U_{hibaki1} = ?$ , ha  $U_{offs1} = 1 \text{ mV}$ ,  $U_{offs2} = 0$ ,  $A1 = A2 = \infty$   
 továbbá  $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = R_6 = R$ .

d. Mekkora a hurok erősítés, ha A1 és A2 ideális és  $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = R_6 = R$  ?

e. Mekkora a hurok erősítés, ha  $A1 = \infty$  és  $A_2(s) = \frac{A_{20}}{1 + \frac{s}{\omega_0}}$  ahol  $A_{20} = 10^5$ , és  $\omega_0 = 10 \left[ \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right]$ ,

továbbá  $R_1 = R_2 = R_3 = R_5 = R_6 = R$  és  $R_4 = \infty$  ?

f. Az e. pont feltételei mellett mekkora  $\frac{u_{ki2}}{u_{be}}(\omega)$  3 dB-es határfrekvenciája?

**Megoldás:**

a.) Egyrészt  $u_{ki2} = -\frac{R_4}{R_3} u_{ki1} \Big|_{R_4 = R_3} = -u_{ki1}$ ,

másrészt  $u_{ki1} = -\frac{R_2}{R_1} u_{be} + \frac{R_5}{R_6 + R_5} \frac{R_2 + R_1}{R_1} u_{ki2} = -u_{be} + u_{ki2} \rightarrow \frac{u_{ki1}}{u_{be}} = -\frac{1}{2}$

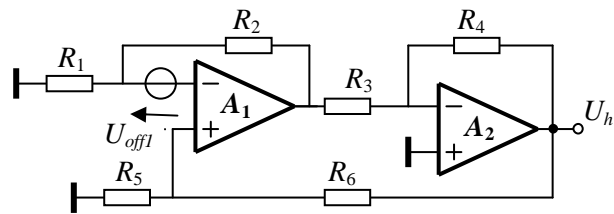
b.)  $R_4$  szakadás  $\rightarrow R_3$ -on nem folyik áram  $\rightarrow u_{ki1} = 0$ .

A1 bemenetén nulla feszültség:  $u_{be} \frac{R_2}{R_1 + R_2} = u_{ki2} \frac{R_5}{R_5 + R_6} \rightarrow \frac{u_{ki2}}{u_{be}} = 1$

c.)

A nem ideális  $A_1$  erősítőt helyettesítjük egy ideális erősítővel és egy feszültség generátorral.

Hasonlóan az a.) feladathoz, az  $A_2$  erősítése ebben az esetben is  $-1$ , így  $A_1$  kiemenetén a feszültség:  $-U_h$ .



$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = R_6 = R$

Az  $A_1$  negatív bemenetén lévő feszültséget szuperpozícióval számolva és tekintetbe véve, hogy ennek meg kell egyeznie a pozitív bemeneten lévő feszültséggel, írhatjuk:

$$U_{off1} - U_h \frac{R_1}{R_1 + R_2} = U_h \frac{R_5}{R_5 + R_6} \rightarrow U_{off1} - U_h \frac{1}{2} = U_h \frac{1}{2}$$

Ebből:

$$U_h = U_{off1} = 1 \text{ mV}$$

d.)

ube = 0, pl. A1 kimenetén felvágva a hurok átvitel:  $H = -\frac{u_{ki1}}{u_{ki1}^1}$

$$u_{ki1} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} \left( \frac{R_5}{R_5 + R_6} \left( -\frac{R_4}{R_3} u_{ki1}^1 \right) \right) = -u_{ki1}^1 \quad \rightarrow \quad \mathbf{H=1}$$

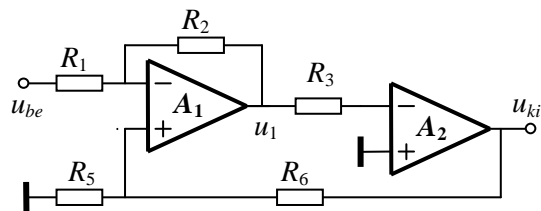
e) ube = 0, pl. A1 kimenetén felvágva a hurok átvitel:  $H = -\frac{u_{ki1}}{u_{ki1}^1}$

$$u_{ki1} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} \left( \frac{R_5}{R_5 + R_6} (-A_2 u_{ki1}^1) \right) = -A_2 u_{ki1}^1 \quad \rightarrow \quad \mathbf{H} = \frac{A_{20}}{1 + \frac{s}{\omega_0}}$$

f.)  $\frac{u_{ki}}{u_{be}}(s) = ?$ ,  $A_1$  ideális,  $R_4 = \infty$ , és  $A_2(s) = \frac{A_{20}}{1 + \frac{s}{\omega_0}}$  ahol  $A_{20} = 10^5$ , és  $\omega_0 = 10 \left[ \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right]$ ,  $\omega_p = ?$

Az  $A_2$  erősítése most **nem végtelen**, így  $A_1$  kimenetén az  $u_1$  feszültség, a b.) eset-től eltérően, most véges érték.

Az  $A_1$  negatív bemenetén lévő feszültséget számolva és tekintetbe véve, hogy ennek most is meg kell egyeznie a pozitív bemeneten lévő feszültséggel, írhatjuk:



$$u_{be} \frac{R_2}{R_1 + R_2} + u_1 \frac{R_1}{R_1 + R_2} = u_{ki} \frac{R_5}{R_5 + R_6} \quad \rightarrow \quad R_1 = R_2 = R_3 = R_5 = R_6 = R \quad \rightarrow \quad u_{be} \frac{1}{2} + u_1 \frac{1}{2} = u_{ki} \frac{1}{2}$$

Valamint:  $u_{ki} = -A_2(s)u_1$  (mert  $R_3$ -on nem folyik áram)

Ezekből:  $u_{be} - \frac{u_{ki}}{A_2(s)} = u_{ki}$

$$\frac{u_{ki}}{u_{be}}(s) = \frac{A_2(s)}{1 + A_2(s)} = \frac{A_0}{1 + s/\omega_0 + A_0} = A_{id} \frac{A_0}{1 + A_0} \frac{1}{1 + s/\omega_p}$$

Ahol:  $A_{id} = 1$   $\frac{A_0}{1 + A_0} \cong 1$

$$\omega_p = (1 + A_0)\omega_0 \cong A_0\omega_0 = 10^5 * 10 = 1 \text{ Mrad / sec}$$