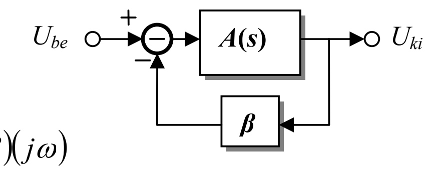
1.) Feladat Ismertesse a Nyquist stabilitási kritériumot (a Nyquist-diagram fogalma, a stabilitás határhelyzete, a Nyquist stabilitási kritérium, egy stabil és egy instabil rendszer Nyquist-diagramja)!

Megoldás:

A Nyquist stabilitás vizsgálattal a **nyitott** rendszer hurokerősítésének ismeretében vizsgálni tudjuk a **visszacsatolt (zárt)** rendszer stabilitását.



A nyitott rendszer átvitele (a hurokerősítés): $(A\beta)(j\omega)$

A zárt rendszer átvitele: $\dfrac{U_{ki}}{U_{be}}(j\omega)=\dfrac{A(j\omega)}{1+(A\beta)(j\omega)}$

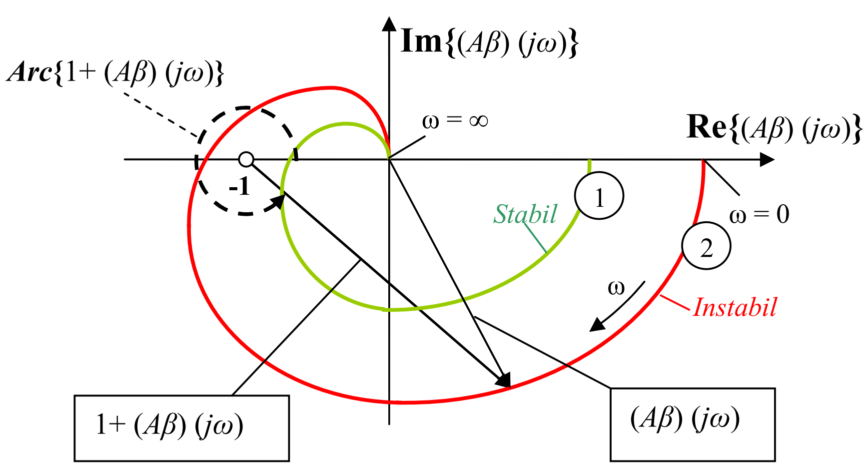
A zárt rendszer a stabilitás **határhelyzetében** akkor van, ha van olyan ω_1 frekvencia, amikor: $1+(A\beta)(j\omega_1)=0$ vagy: $(A\beta)(j\omega_1)=-1$

A Nyquist stabilitás vizsgálat:

1.) Kiszámítjuk és ábrázoljuk a komplex síkon az $(A\beta)(j\omega)$ hurokerősítés komplex értékét a valós ω paraméter $0\le\omega<\infty$ tartományában. (Ez a helygörbe)

2.) Megállapítjuk az $1+(A\beta)(j\omega_1)$ vektor fázisának változását a $0\le\omega<\infty$ tartományában: $\Delta\varphi=\underset{0\le\omega<\infty}{\Delta Arc}\{1+(A\beta)(j\omega)\}$

3.) A $\Delta\varphi=(k-n)\pi$ összefüggésből meghatározzuk n-et a **zárt rendszer** jobb félsíkra eső pólusainak számát. Ha n = 0, akkor a zárt rendszer **stabil**, ellenkező esetben **instabil**. (k: a nyílt rendszer jobb félsíkra eső pólusainak száma, ez általában ismert, tipikusan zérus)



Példa 1:

Legyen $k=0$. Az 1-es helygörbén a teljes fázisváltozás eredője zérus:

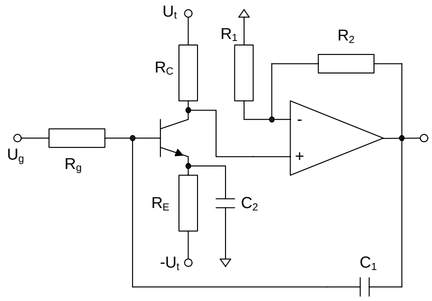
$\Delta\varphi=0=(0-n)\pi \quad\rightarrow\quad n=0 \quad\rightarrow$ **stabil**

Példa 2:

Legyen $k=0$. A 2-es helygörbén az összes fázisváltozás: teljes fordulat az óramutató járásával egyezően. $\Delta\varphi=-2\pi=(0-n)\pi \;\rightarrow\; n=2$

A zárt rendszerben így 2 db pólus van a jobb félsíkon, ezért a zárt rendszer **nem stabil**.

2.) Feladat Határozza meg az alábbi kapcsolás paramétereit! (A tranzisztor saját frekvenciafüggése elhanyagolható és a ME ideális)



a.) $I_{E0} = ?$,

b.) $U_{ki0} = ?$ (a kimeneti munkaponti feszültség),

c.) $\dfrac{u_{ki}}{u_g} = ?$,

d.) Mekkora a kapcsolás felső 3dB-es határfrekvenciája (ω_f)?

$R_1 = R_2 = R_g = 10$ kΩ, $R_E = 7{,}1$ kΩ, $R_C = 6{,}5$ kΩ,
$U_t = 15$ V, $C_1 = 47$ pF, $C_2 \to \infty$
$U_{BE0} = 0{,}6$V; $\beta = B = 99$

Megoldás:

a.) $I_{E0} = ?$ Munkapont meghatározásnál: $u_g = 0$

$$U_t = (1-A)I_{E0}R_g + U_{BE0} + I_{E0}R_E \quad \to \quad I_{E0} = \frac{U_t - U_{BE0}}{R_E + (1-A)R_g} = \frac{15-0.6}{7.1+0.1} \boxed{= 2\ mA}$$ 5p

b.) $U_{ki0} = ?$

$$U_{C0} = U_t - I_{C0}R_C = U_t - AI_{E0}R_C = 15 - 0.99 * 2 * 6.5 = 2.13\ V$$

$$U_{ki0} = U_{C0}\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) = 2.13 * \left(1 + \frac{10}{10}\right) \boxed{= 4.26V}$$ 5p

c.) $A_0 = \dfrac{u_{ki}}{u_g} = ?; \ \to \qquad A_0 = \dfrac{u_{ki}}{u_0} = L_0 A_{tr} A_{me}$ a $C_2 = 0$ feltétellel.

Ahol: $L_0 = \dfrac{u_b}{u_g} = \dfrac{R_{be}}{R_g + R_{be}} = \dfrac{(1+\beta)r_d}{R_g + (1+\beta)r_d}$ $\qquad r_d = \dfrac{U_T}{I_{E0}} = \dfrac{26mV}{2mA} = 13\Omega$

$$R_{be} = (1+\beta)r_d = 1.3k\Omega \qquad L_0 = \frac{R_{be}}{R_g + R_{be}} = \frac{1.3}{10+1.3} = 0.115$$

$$A_{tr} = \frac{u_c}{u_b} = -\alpha\frac{R_c}{r_d} = -\frac{\beta}{1+\beta}\frac{R_c}{r_d} = -0.99\frac{6500}{13} = -495$$

$$A_0 = L_0 A_{tr}\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) = L_0 A = -0.115 * 495 * 2 \boxed{= -113.85}$$ 5p

d.) Mekkora a kapcsolás felső 3dB-es határfrekvenciája, $\omega_f = ?$

Miller kapacitásként kezeljük a C_1 kapacitást: $C_p = (1-A)C_1$

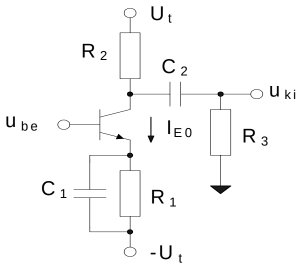
Ahol: $A = A_{tr}A_{me} = -495 * 2 = -990 \qquad C_p = (1-A)C_1 = 991 * 47 = 46.6\ nF$

Ezzel: $$\omega_f = \frac{1}{C_p(R_g \times R_{be})} = \frac{R_g + R_{be}}{C_p R_g R_{be}} = \frac{11.3 * 10^3}{46.6 * 10^{-9} * 1.3 * 10^7} \boxed{= 18.65\ krad/\sec}$$

$$f_f = \frac{\omega_f}{2\pi} = 2.97kHz$$ 5p

$$\frac{u_{ki}}{u_g}(s) = A_0 \frac{1}{1 + s/\omega_f}$$

3. Számítsa ki az alábbi kapcsolás kivezérelhetőségét!



$U_t = 15\,\mathrm{V}, \quad U_m = 1\,\mathrm{V}, \quad A = 1, \quad I_{E0} = 2\,\mathrm{mA}$

a.) $U_{ki}^{+} = ?, \quad C_1 \to \infty, \quad C_2 \to \infty$

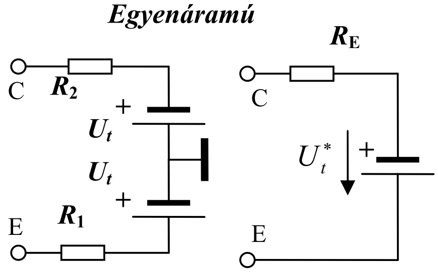
b.) $U_{ki}^{-} = ?, \quad C_1 \to \infty, \quad C_2 \to \infty$

c.) $U_{ki}^{+} = ?, \quad C_1 \to \infty, \quad C_2$ helyett rövidzár van a kapcsolásban

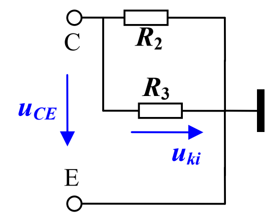
d.) $U_{ki}^{+} = ?, \quad C_1 = 0, \quad C_2 \to \infty$, nincsen C_1 a kapcsolásban

$R_1 = 5\,\mathrm{k\Omega}, \quad R_2 = 5\,\mathrm{k\Omega}, \quad R_3 = 5\,\mathrm{k\Omega},$

Megoldás: ***Egyenáramú*** ***Váltóáramú***



C: ***szakadás*** ***$R_E = R_1 + R_2$***

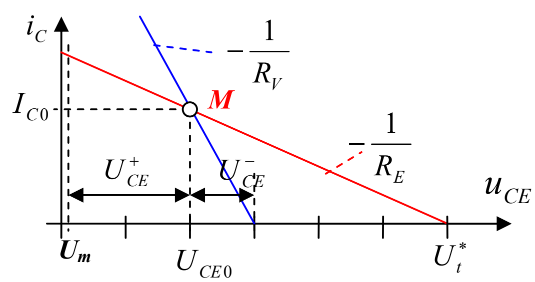


C: ***rövidzár*** ***$R_V = R_2 \times R_3$***

A redukált telep: $U_t^* = 2U_t = 30\ V$

Az egyenáramú ellenállás: $R_E = R_1 + R_2 = 10\ k\Omega$

A váltóáramú ellenállás: $R_V = R_2 x R_3 = 2.5\ k\Omega$



A munkaponti kollektor-emitter feszültség:

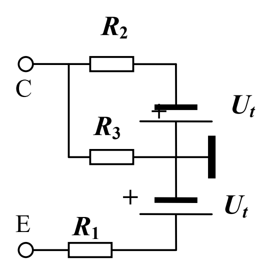
$U_{CE0} = U_t^* - I_{C0} R_E = 30 - 2 * 10 = 10\ V$

$U_{CE}^{+} = U_{CE0} - U_m = 10 - 1 = 9\ V$

$U_{CE}^{-} = I_{C0} R_V = 2 * 2.5 = 5\ V$

a.) $U_{ki}^{+} = U_{CE}^{+} \boxed{= 9\ V}$ 5p

b.) $U_{ki}^{-} = U_{CE}^{-} \boxed{= 5\ V}$ 5p



c.) $U_{ki}^{+} = ?, \quad C_1 \to \infty, \quad C_2$ helyett rövidzár van a kapcsolásban

A redukált telep: $U_t^* = U_t + U_t \dfrac{R_3}{R_2 + R_3} = 15 + 7.5 = 22.5\ V$

Az egyenáramú ellenállás: $R_E = R_1 + R_2 x R_3 = 7.5\ k\Omega$

A váltóáramú ellenállás: $R_V = R_2 x R_3 = 2.5\ k\Omega$

$U_{CE0} = U_t^* - I_{C0} R_E = 22.5 - 2 * 7.5 = 7.5\ V$ $\quad U_{ki}^{+} = U_{CE}^{+} = U_{CE0} - U_m = 7.5 - 1 \boxed{= 6.5\ V}$

5p

d.) $U_{ki}^{+} = ?, \quad C_1 = 0, \quad C_2 \to \infty$, nincsen C_1 a kapcsolásban

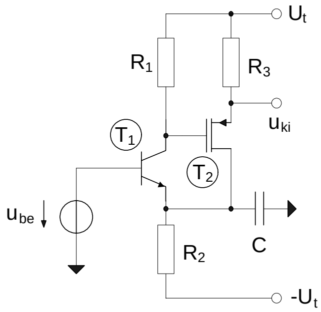
$R_E = R_1 + R_2 = 10\ k\Omega$ $\quad U_t^* = 2U_t = 30\ V$ $\quad R_V = R_1 + R_2 x R_3 = 7.5\ k\Omega$

$U_{CE0} = U_t^* - I_{C0} R_E = 30 - 2 * 10 = 10\ V$

$U_{CE}^{+} = U_{CE0} - U_m = 10 - 1 = 9\ V$

$$U_{ki1}^{+} = U_{CE}^{+} \frac{R_2 \times R_3}{R_1 + R_3 \times R_2} = 9 \frac{2.5}{5 + 2.5} \boxed{= 3\ V}$$ 5p

4. Határozza meg a következő kapcsolás kisjelű paramétereit!



T_1: n-p-n tranzisztor, β=B=99, $r_d = 26\,\Omega$,

T_2 : p csatornás növekményes MOS FET, S=1 mS

a.) A visszacsatolás típusa (C=0)

b.) $\dfrac{u_{ki}}{u_{be}} = ?$, ha $C \to \infty$,

c.) R_{be}=?, ha $C \to \infty$,

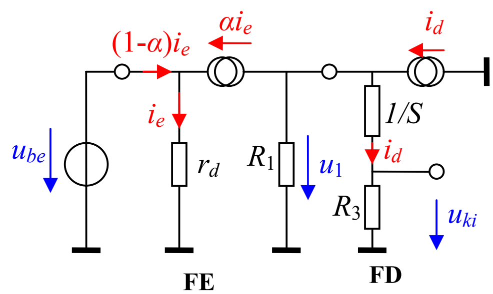
d.) $\dfrac{u_{ki}}{u_{be}} = ?$, ha C=0

$U_t = 12\,\text{V}, \quad R_1 = 8\,\text{k}\Omega, \quad R_2 = 6{,}7\,\text{k}\Omega, \quad R_3 = 2\,\text{k}\Omega$

Megoldás:

a.) A visszacsatolás típusa (C=0) Soros, negatív, áram-visszacsatolás 5p

b.) $\dfrac{u_{ki}}{u_{be}} = ?$, ha $C \to \infty$,



$$\alpha = \frac{\beta}{1+\beta} = \frac{99}{100} = 0.99$$

$$\frac{u_{ki}}{u_{be}} = \left(-\frac{\alpha R_1}{r_d}\right)\frac{R_3}{1/S + R_3} =$$

$$= -\frac{0.99 * 8000}{26}\frac{2}{1+2}\boxed{= -203}$$

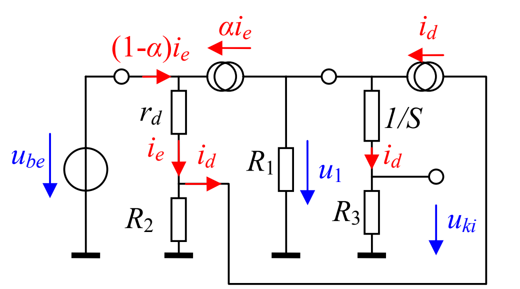
5p

c.) R_{be}=?, ha $C \to \infty$,

$$R_{be} = \frac{u_{be}}{i_{be}} = \frac{r_d i_e}{(1-\alpha)i_e} = \frac{r_d}{1-\alpha} = (1+\beta)r_d = 100 * 26 = 2600\ \ \Omega \boxed{= 2.6\ k\Omega}$$

5p

d.) $\dfrac{u_{ki}}{u_{be}} = ?$, ha C=0



1.) $u_{be} = i_e(r_d + R_2) - i_d R_2$

2.) $u_1 = -\alpha i_e R_1 = i_d(1/S + R_3)$

$$i_e = -i_d \frac{1/S + R_3}{\alpha R_1}$$

3.) $u_{ki} = i_d R_3$

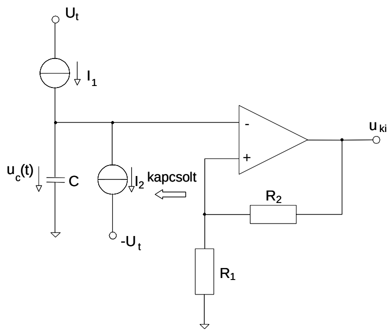
Ezekből: $$u_{be} = -i_d \frac{1/S + R_3}{\alpha R_1}(r_d + R_2) - i_d R_2 = -\frac{u_{ki}}{R_3}\left(\frac{1/S + R_3}{\alpha R_1}(r_d + R_2) + R_2\right)$$

$$\frac{u_{ki}}{u_{be}} = -\frac{\alpha R_1 R_3}{(1/S + R_3)(r_d + R_2) + \alpha R_1 R_2} = -\frac{A}{1 + A\beta} = -\frac{0.785}{1 + 0.785 * 3.35}\boxed{= -0.216}$$

Ahol: $$A = \frac{\alpha R_1}{r_d + R_2}\frac{R_3}{1/S + R_3} = \frac{0.99 * 8000}{6726}\frac{2}{1+2} = 0.785$$ 5p

$$\beta = \frac{R_2}{R_3} = \frac{6.7}{2} = 3.35$$

5. Határozza meg az alábbi komparátoros áramkör paramétereit!



$R_1 = R_2$, $U_{kiM} = -U_{kim} = 10$ V, C=200 nF

a.) Milyen áramkör látható az ábrán?

b.) $U_c(t) = ?$, I_1=1 mA, I_2=3 mA,

c.) $U_c(t) = ?$, I_1=1 mA, I_2=6 mA,

d.) T periódusidő=?, I_1=1 mA, I_2=3 mA

Az I_2 áram akkor van bekapcsolva, ha a komparátor kimenetén U_{kim} = -10 V feszültség van, egyébként I_2=0.

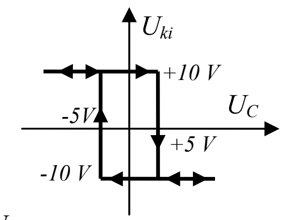
Megoldás:

a.) Milyen áramkör látható az ábrán? Az ábrán egy **astabil multivibrátort** látunk. 5p

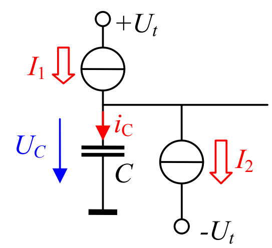
A hiszterézises komparátor karakterisztikája:

$$U_{Cm} = U_{kim}\frac{R_1}{R_1 + R_2} = -5\ V$$

$$U_{CM} = U_{kiM}\frac{R_1}{R_1 + R_2} = +5\ V$$



b.) $U_c(t) = ?$, I_1=1 mA, I_2=3 mA,



$$i_C = I_1 - I_2 = \begin{cases} 1mA & ha \quad U_{ki} = +10V \\ -2mA & ha \quad U_{ki} = -10V \end{cases}$$

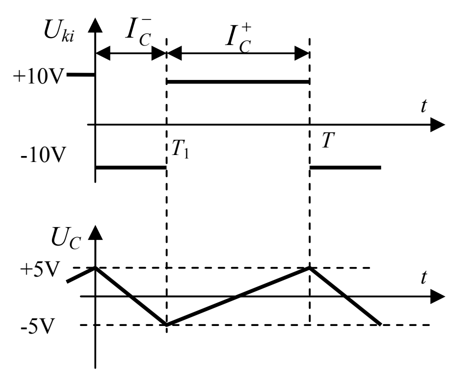
1.) $0 \le t < T_1$

Ha U_{ki} = -10 V, akkor $i_C(t) = I_C^- = I_1 - I_2 = -2\ mA$

$$U_C(t) = \frac{Q_C(t)}{C} = \frac{1}{C}\int_0^t I_C^- dt + U_{CM} = \frac{I_C^-}{C}t + U_{CM}$$

A t=T_1-ben éri el a komparátor átváltási szintjét.

$$U_C(T_1) = U_{Cm} = \frac{I_C^-}{C}T_1 + U_{CM}$$



2.) $T_1 \le t < T$

Ha U_{ki} = +10 V, akkor $i_C(t) = I_C^+ = I_1 - 0 = +1\ mA$

$$U_C(t) = \frac{Q_C(t)}{C} = \frac{1}{C}\int_{T1}^t I_C^+ dt + U_{Cm} = \frac{I_C^+}{C}(t - T_1) + U_{Cm}$$

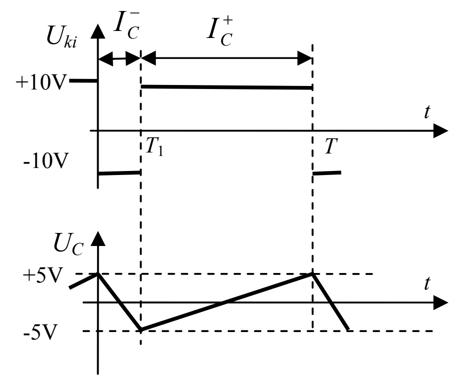
5p

A t=T-ben éri el a komparátor átváltási szintjét.: $U_C(T) = U_{CM} = \frac{I_C^+}{C}(T - T_1) + U_{Cm}$

Az egyes szakaszok időtartamai, a meredekségekkel (az áramok értékeivel) fordítottan arányosak.

c.) $U_c(t) = ?$, I_1=1 mA, I_2=6 mA,

1.) $0 \le t < T_1$



Ha U_{ki} = -10 V, akkor $i_C(t) = I_C^- = I_1 - I_2 = -5\ mA$

$$U_C(t) = \frac{Q_C(t)}{C} = \frac{1}{C}\int_0^t I_C^- dt + U_{CM} = \frac{I_C^-}{C} t + U_{CM}$$

A t=T_1-ben éri el a komparátor átváltási szintjét.

$$U_C(T_1) = U_{Cm} = \frac{I_C^-}{C} T_1 + U_{CM}$$

2.) $T_1 \le t < T$

5p

Ha U_{ki} = +10 V, akkor $i_C(t) = I_C^+ = I_1 - 0 = +1\ mA$

$$U_C(t) = \frac{Q_C(t)}{C} = \frac{1}{C}\int_{T1}^t I_C^+ dt + U_{Cm} = \frac{I_C^+}{C}(t - T_1) + U_{Cm}$$

A t=T-ben éri el a komparátor átváltási szintjét.: $U_C(T) = U_{CM} = \frac{I_C^+}{C}(T - T_1) + U_{Cm}$

d.) T periódusidő=?, I_1=1 mA, I_2=3 mA

$$U_C(T_1) = U_{Cm} = \frac{I_C^-}{C} T_1 + U_{CM} \rightarrow T_1 = C\frac{U_{Cm} - U_{CM}}{I_C^-} = 2*10^{-7}\ \frac{-5-5}{-2*10^{-3}} = 10^{-3}\ \sec = 1\ m\sec$$

$$U_C(T) = U_{CM} = \frac{I_C^+}{C}(T - T_1) + U_{CM}$$

$$T = C\frac{U_{CM} - U_{Cm}}{I_C^+} + T_1 = 2*10^{-7}\ \frac{5+5}{1*10^{-3}} + 1 = 3*10^{-3}\ \sec \boxed{= 3\ m\sec}$$

5p