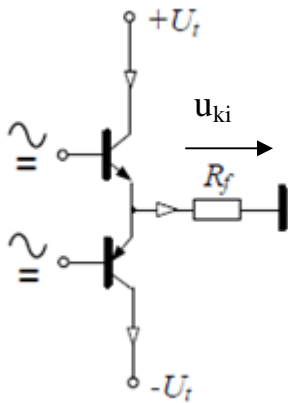


Elektronika 1.	vizsga	2015. 06. 10.	1.	2.	3.	4.	5	Σ
Név:		Neptun:						

1. feladat

Rajzolja le a bipoláris, komplementer tranzisztorokból felépülő ellenütemű végfokozatot! Feltételezzük, hogy a végfokozat „B” osztályú és a kimeneti jel U_k amplitúdójú szinuszos feszültség, $u_{ki}(t) = U_k \sin(\omega t)$. Mekkora U_k lehetséges maximális értéke, hogyan függ a telepfeszültségtől, a tranzisztor kollektor-emitter maradék feszültségétől és a terhelő ellenállástól? Rajzolja le közös léptékű idő-tengelyek felett a kimenő feszültséget és az egyik tranzisztor kollektor-emitter feszültségét, áramát és a tranzisztor pillanatnyi disszipációs teljesítményét! Mekkora $U_k = U_{kDmax}$ kimeneti amplitúdónál melegeznek legjobban a tranzisztorok?

Megoldás:



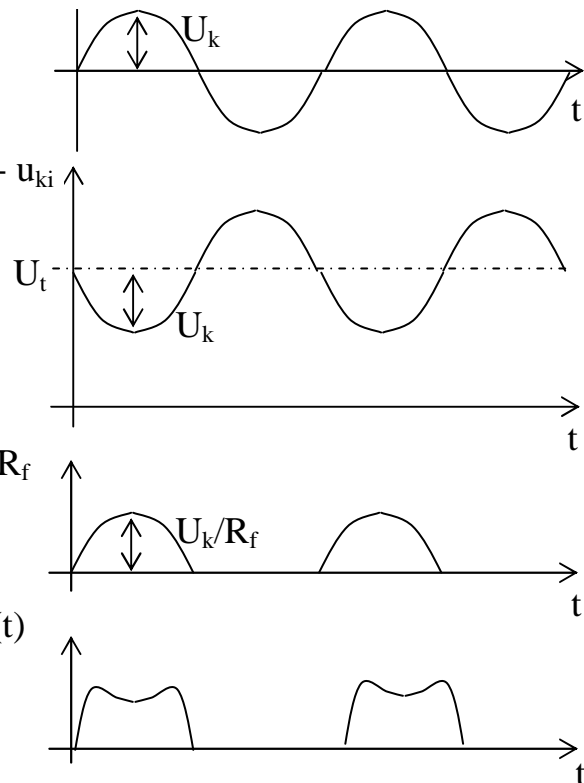
$$u_{ki}(t) = U_k \sin(\omega t) \quad u_{ki}(t)$$

$$U_{kmax} = U_t - U_m$$

$$u_{CE1}(t) = U_t - u_{ki}$$

$$i_{C1}(t) = u_{ki}(t)/R_f$$

$$P_{tr1}(t) = u_{CE1}(t) i_{C1}(t)$$



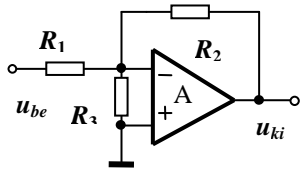
A maximális tranzisztor disszipációhoz tartozó kezérlési amplitúdó meghatározása:

$$P_{Dtr}(U_k) = \overline{u_{CE1}(t) i_{C1}(t)} = \frac{1}{T} \int_0^{T/2} (U_t - U_k \sin(\omega t)) \frac{U_k}{R_f} \sin(\omega t) dt = \frac{U_t U_k}{R_f} \frac{1}{T} \int_0^{T/2} \sin(\omega t) dt - \frac{U_k^2}{R_f} \frac{1}{T} \int_0^{T/2} \sin^2(\omega t) dt$$

$$P_{Dtr}(U_k) = \frac{1}{\pi} \frac{U_t}{R_f} U_k - \frac{1}{4} \frac{1}{R_f} U_k^2$$

$$P_{Dtr} \text{ max : } U_k = U_{kDmax} : \quad \frac{d}{dU_k} P_{Dtr}(U_k) = 0 \quad \frac{1}{\pi} \frac{U_t}{R_f} = \frac{1}{2} \frac{1}{R_f} U_k \quad \rightarrow \quad U_{kDmax} = \frac{2}{\pi} U_t$$

2. feladat



$$R_1 = 1 \text{ k}\Omega, R_2 = 9 \text{ k}\Omega, R_3 = 3 \text{ k}\Omega,$$

a.) Határozza meg a feszültség erősítést, ha a műveleti erősítő ideális, $A = \infty$!

$$u_{ki}/u_{be} = -9$$

b.) Mennyi a kimeneti hibafeszültség, ha $A = \infty$ és a bemeneti offset feszültség $U_{offbe} = 10 \text{ mV}$!

$$|u_{kihiba}| = 130 \text{ mV}$$

c.) Határozza meg a feszültség erősítést, ha $A = A_0 = 10^6$!

$$u_{ki}/u_{be} \approx -9$$

d.) Ha $A(s) = \frac{A_0}{(1+s/\omega_1)(1+s/\omega_2)}$, $A_0 = 10^6$; $\omega_1 = 5 \text{ r/s}$, $\omega_2 = 1 \text{ Mr/s}$, akkor mekkora legyen R_3 értéke

ahhoz, hogy az u_{ki}/u_{be} erősítés maximális lapos legyen ($\zeta = 1/\sqrt{2}$)?

$$R_3 = \infty$$

Megoldás:

$$a.) \frac{u_{ki}}{u_{be}} = -\frac{R_2}{R_1} = -9$$

$$b.) u^+ = u^- = U_{offbe} \rightarrow u_{kihiba} = U_{offbe} \left(1 + \frac{R_2}{R_1 \times R_3} \right) = 10 \left(1 + \frac{9}{0.75} \right) = 130 \text{ mV}$$

$$c.) u^- = -u_{ki} / A$$

$$\frac{u_{be} - (-u_{ki} / A)}{R_1} + \frac{u_{ki} - (-u_{ki} / A)}{R_2} + \frac{0 - (-u_{ki} / A)}{R_3} = 0$$

$$\frac{u_{be}}{R_1} = -\left(\frac{u_{ki} / A}{R_1} + \frac{u_{ki}}{R_2} + \frac{u_{ki} / A}{R_2} + \frac{u_{ki} / A}{R_3} \right) = -\frac{1}{A} \left(\frac{u_{ki}}{R_1} + \frac{u_{ki}(1+A)}{R_2} + \frac{u_{ki}}{R_3} \right)$$

$$\frac{u_{be}}{u_{ki}} = -\frac{R_2}{R_1} \frac{A}{1 + \frac{R_2}{R_1 \times R_3} + A} = -\frac{R_2}{R_1} \frac{A \frac{R_1 \times R_3}{R_2 + R_1 \times R_3}}{1 + A \frac{R_1 \times R_3}{R_2 + R_1 \times R_3}} = -9 \frac{10^6 \frac{0.75}{9.75}}{1 + 10^6 \frac{0.75}{9.75}} \approx -9$$

Másik megoldás:

$$\beta = \frac{R_1 \times R_3}{R_1 \times R_3 + R_2} = \frac{0.75}{9.75} = 0.077 \rightarrow \frac{u_{ki}}{u_{be}} \Big|_{A=A_0} = \frac{u_{ki}}{u_{be}} \Big|_{A=\infty} \frac{\beta A_0}{1 + \beta A_0} \approx -9$$

d.) Visszacatolt erősítés a műveleti erősítő két pólusa esetén:

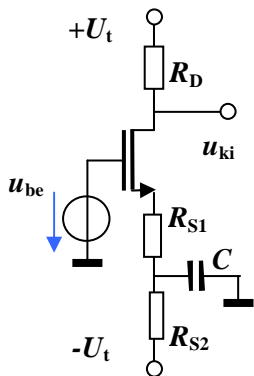
$$\frac{u_{ki}}{u_{be}} \Big|_{A = \frac{A_0}{(1+s/\omega_1)(1+s/\omega_2)}} = \frac{u_{ki}}{u_{be}} \Big|_{A=\infty} \frac{\beta A_0}{1 + \beta A_0} \frac{1}{1 + 2\zeta \frac{s}{\omega_0} + \left(\frac{s}{\omega_0} \right)^2}$$

$$\text{ahol } \beta = \frac{R_1 \times R_3}{R_1 \times R_3 + R_2} \text{ és } \zeta = \frac{1}{2} \frac{1}{\sqrt{1 + \beta A_0}} \left(\sqrt{\frac{\omega_2}{\omega_1}} + \sqrt{\frac{\omega_1}{\omega_2}} \right) \approx \frac{1}{2} \frac{1}{\sqrt{\beta A_0}} \sqrt{\frac{\omega_2}{\omega_1}} \Big|_{\text{max lap..}} = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$\beta = \frac{1}{1 A_0} \frac{\omega_2}{\omega_1} = 0.1 \rightarrow 0.1 = \frac{R_1 \times R_3}{R_1 \times R_3 + 9} \rightarrow R_1 \times R_3 = 1 = \frac{1 \cdot R_3}{1 + R_3} \rightarrow R_3 = \infty$$

3. feladat

$U_t = 10 \text{ V}$, $R_D = 6 \text{ k}\Omega$, $R_{S1} = 3 \text{ k}\Omega$
MOSFET paramétereit: $I_{D00} = 4 \text{ mA}$, $U_P = 4 \text{ V}$



a.) Mennyi a tranzisztor munkaponti árama, ha $R_{S2} = 1 \text{ k}\Omega$?

$$I_{D0} = 1 \text{ mA}$$

b.) Mennyi a tranzisztor záró irányú kivezérelhetősége, ha $R_{S2} = 17 \text{ k}\Omega$,

$$I_{D0} = 0,25 \text{ mA} \text{ és ha } C = 0 \text{ (nincs kondenzátor) ? } U_{DS}^- = 6,5 \text{ V}$$

c.) Mennyi a kimeneti záró irányú kivezérelhetősége, ha $R_{S2} = 17 \text{ k}\Omega$,

$$I_{D0} = 0,25 \text{ mA} \text{ és ha } C = \infty . U_{ki}^- = 1,5 \text{ V}$$

d.) Mekkora a kisjelű feszültség erősítés, ha $R_{S2} = 17 \text{ k}\Omega$,

$$I_{D0} = 0,25 \text{ mA} \text{ és ha } C = \infty . u_{ki} / u_{be} = -1,2$$

Megoldás:

a.) $U_t = U_{GS0} + I_{D0}(R_{S1} + R_{S2}),$

$$I_{D0} = \begin{cases} I_{D00} \left(\frac{U_{GS0} - U_P}{U_P} \right)^2 & \text{ha } U_{GS} > U_P \\ 0 & \text{ha } U_{GS} \leq U_P \end{cases}$$

$$U_t = U_{GS0} + \frac{I_{D00} R_S}{U_P^2} (U_{GS0} - U_P)^2,$$

$$U_{GS0}^2 - 7U_{GS0} + 6 = 0, \quad U_{GS0} = \frac{7 + \sqrt{49 - 24}}{2} = 6 \text{ V}$$

$$I_{S0} = I_{D0} = \frac{U_t - U_{GS0}}{R_S} = \frac{10 - 6}{4} = 1 \text{ mA}$$

b.) Egyenáramú lezárás: $R_e = R_d + R_{S1} + R_{S2} = 26 \text{ k}\Omega$, $U_e = 2U_t = 20 \text{ V}$

Váltóáramú lezárás: $R_v = R_d + R_{S1} + R_{S2} = 26 \text{ k}\Omega$

Munkaponti áram: $I_{D0} = 0,25 \text{ mA}$

$$U_{DS}^- = R_v I_{D0} = 26 / 4 = 6,5 \text{ V}$$

c.) Egyenáramú lezárás: $R_e = R_d + R_{S1} + R_{S2} = 26 \text{ k}\Omega$, $U_e = 2U_t = 20 \text{ V}$

Váltóáramú lezárás: $R_v = R_d + R_{S1} = 9 \text{ k}\Omega$

Munkaponti áram: $I_{D0} = 0,25 \text{ mA}$

$$U_{DS}^- = R_v I_{D0} = 2,25 \text{ V}, \quad \text{kimeneti leosztás: } U_{ki}^- = \frac{R_D}{R_D + R_{S1}} U_{DS}^- = \frac{6}{6 + 3} \frac{9}{4} = 1,5 \text{ V}$$

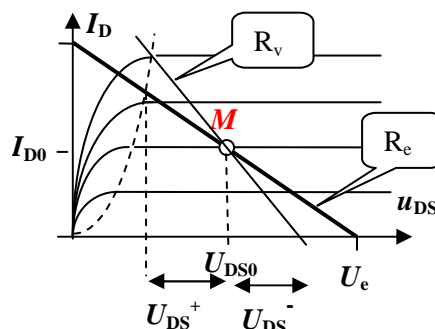
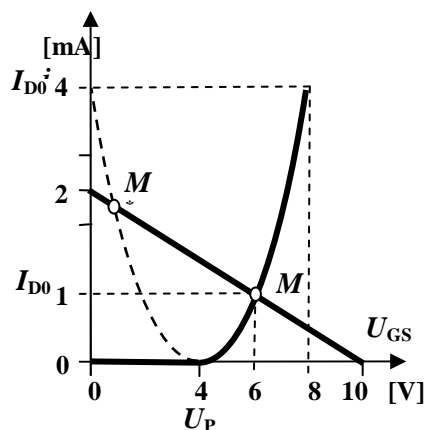
d.) Földelt source-ú erősítő, átblokkolatlan R_{S1} source-köri ellenállással: $\frac{u_{ki}}{u_{be}} = -\frac{R_D}{\frac{1}{S} + R_{S1}}$

ahol a tranzisztor munkaponti meredekségé a tranzisztor munkaponti adataiból kapjuk:

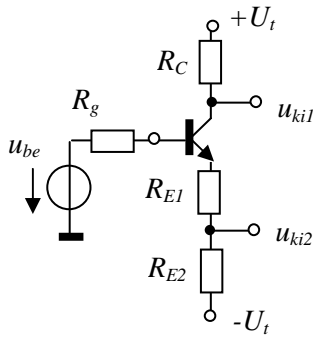
$$I_{D0} = I_{D00} \left(\frac{U_{GS0} - U_P}{U_P} \right)^2 = 4 \left(\frac{U_{GS0} - 4}{4} \right)^2 = 0,25 \quad \rightarrow \quad U_{GS0} - 4 = 1 \quad \rightarrow \quad U_{GS0} = 5 \text{ V}$$

$$S = 2 \frac{I_{D0}}{U_{GS0} - U_P} = 2 \frac{0,25}{5 - 4} = 0,5 \text{ mA/V}$$

$$\frac{u_{ki}}{u_{be}} = -\frac{6}{\frac{1}{0,5} + 3} = -\frac{6}{5} = -1,2$$



4. feladat



Az áramkör adatai: $U_t = 10 \text{ V}$, $R_{E1} = 4,79 \text{ k}\Omega$, $R_{E2} = 4,81 \text{ k}\Omega$,
 $R_C = 4,81 \text{ k}\Omega$, $R_g = 2 \text{ k}\Omega$,

A tranzisztor adatai: $U_{BE0} = 0,6 \text{ V}$, $B = \beta = \infty$

a.) Határozza meg a kimenetek munkaponti feszültségeit!

$$U_{ki10} = \mathbf{5,29 \text{ V}}$$

$$U_{ki20} = \mathbf{-5,29 \text{ V}}$$

b.) Mekkora az 1. kimenetre a kisjelű feszültségerősítés?

$$u_{ki1} / u_{be} = \mathbf{-0,4997}$$

c.) Mekkora az 2. kimenetre a kisjelű feszültségerősítés?

$$u_{ki2} / u_{be} = \mathbf{+0,4997}$$

d.) Mekkora a tranzisztor disszipációs teljesítménye, ha az 1. kimeneten a munkaponti feszültségre szuperonálódott $U = 1,5 \text{ V}$ amplitúdójú szinusz van?

$$P_{Dtr} = \mathbf{5,067 \text{ mW}}$$

Megoldás:

a.) Munkapont: $u_{be} = 0$, $U_t = U_{BE0} + (R_{E1} + R_{E2})I_{E0} \rightarrow I_{E0} = I_{C0} = \frac{U_t - U_{BE0}}{R_{E1} + R_{E2}} = \frac{9,4}{9,6} = 0,979 \text{ mA}$

$$r_d = \frac{U_T}{I_{E0}} = 26,55 \Omega$$

$$U_{ki10} = U_t - R_C I_{C0} = 10 - 4,81 \cdot 0,979 = 5,29 \text{ V}, \quad U_{ki20} = -U_t + R_{E2} I_{C0} = -5,29 \text{ V}$$

b.) Földelt emitteres fokozat: $\frac{u_{ki1}}{u_{be}} = -\frac{R_C}{r_d + R_{E1} + R_{E2}} = -\frac{4,81}{0,026 + 9,6} = -0,4997$

c.) Földelt kollektoros fokozat: $\frac{u_{ki2}}{u_{be}} = \frac{R_{E2}}{r_d + R_{E1} + R_{E2}} = \frac{4,81}{0,026 + 9,6} = 0,4997$

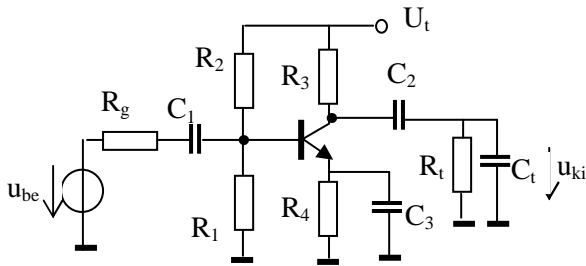
d.) $u_{ki1}(t) = U_{ki10} + U \sin(\omega t)$,

$$u_{CE}(t) = 2U_t - (R_C + R_{E1} + R_{E2})I_{E0} - \frac{U}{R_C}(R_C + R_{E1} + R_{E2})\sin(\omega t) = 5,89 - 4,494 \sin(\omega t) [\text{V}]$$

$$i_C(t) = I_{E0} + \frac{U}{R_C} \sin(\omega t) = 0,979 + 0,312 \sin(\omega t) [\text{mA}]$$

$$P_{Dtr} = \overline{u_{CE}(t)i_C(t)} = \overline{(5,89 - 4,494 \sin(\omega t))(0,979 + 0,312 \sin(\omega t))} = 5,77 - 4,494 \cdot 0,312 \cdot \overline{\sin(\omega t)^2} = 5,59 - 0,701 = 5,067 \text{ mW}$$

5. feladat



Az áramkör adatai:

$$U_t = 15 \text{ V}, R_1 = 10 \text{ k}\Omega, R_2 = 10 \text{ k}\Omega,$$

$$R_4 = 6,9 \text{ k}\Omega, R_3 = 5,2 \text{ k}\Omega,$$

$$R_g = 5 \text{ k}\Omega, R_t = 5,2 \text{ k}\Omega, C_t = 10 \text{ pF}$$

$$C_1 = 10 \mu\text{F}, C_2 = 10 \mu\text{F}, C_3 = \infty$$

Tranzisztor:

$$U_{BE0} = 0,6 \text{ V}, B = \beta = \infty, C_{bc} = 20 \text{ pF}, C_{be} = 2 \text{ pF}$$

a) Határozza meg a munkaponti áramot!

$$I_{E0} = \mathbf{1 \text{ mA}}$$

b) Mekkora a középfrekvenciás erősítés, ha a kis- és nagyfrekvenciás hatásokat elhanyagoljuk?

$$u_{ki}/u_{be} = \mathbf{-50}$$

c) Határozza meg az alsó határ frekvenciát!

$$\omega_a = \mathbf{10 \text{ r/s} = 1,6 \text{ Hz}}$$

d) Határozza meg a felső határ frekvenciát!

$$\omega_f = \mathbf{1,8 \text{ Mr/s} = 287 \text{ kHz}}$$

Megoldás:

a) $U_{B0} = R_1/(R_1+R_2) U_t = 7,5 \text{ V}$ $U_{E0} = U_{B0} - U_{BE0} = 6,9 \text{ V}$ $I_{E0} = U_{E0}/R_4 = 1 \text{ mA}$
 $r_d = U_T/I_{E0} = 26 \Omega$

b) C_1, C_2, C_3 : rövidzár, C_{be}, C_{bc}, C_t : szakadás

bemeneti leosztás: $R_{12} = R_1 \times R_2 = 5 \text{ k}\Omega$, $R_{12} / (R_g + R_{12}) = 0,5$

FE erősítés: $-(R_3 \times R_t)/r_d = -100$,

$$U_{ki}/U_{be} = -50$$

c) C_1 csatoló miatt: $\omega_{a1} = 1/(C_1(R_g + R_{12})) = 10 \text{ rad/sec} = 1,6 \text{ Hz}$

C_2 csatoló miatt: $\omega_{a2} = 1/(C_2(R_3 + R_t)) = 9,62 \text{ rad/sec} = 1,53 \text{ Hz}$

alsó határfrekvencia: $\max(\omega_{a1}, \omega_{a2}) = 1,6 \text{ Hz}$

d)

C_{be}, C_t : párhuzamos terhelő kapacitások a bemeneten és kimeneten:

C_{bc} : $A = -100$ erősítést áthidaló kapacitás, Miller hatás: 101-szeres a bemeneten, 1-szeres a kimeneten:

A bemeneten létrejövő törésponti frekvencia:

$$\omega_{f1} = \frac{1}{C_{p1} R_{p1}} = \frac{1}{(C_{be} + (1 - (-100))C_{bc})(R_g * R_{12})} = 1,8 \text{ Mrad/sec} = 287 \text{ kHz}$$

A kimeneten létrejövő törésponti frekvencia:

$$\omega_{f2} = \frac{1}{C_{p2} R_{p2}} = \frac{1}{(C_{bc} + C_t)(R_3 * R_t)} = 32,05 \text{ Mrad/sec} = 5,1 \text{ MHz}$$

Felső határfrekvencia: $\min(\omega_{f1}, \omega_{f2}) = 1,8 \text{ M rad/sec} = 287 \text{ kHz}$