

Hallgató neve:

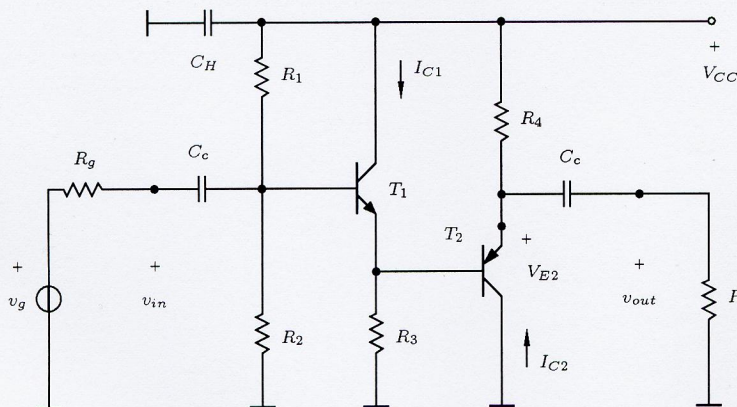
NEPTUN kódja:

Csoportja:

1. FELADAT

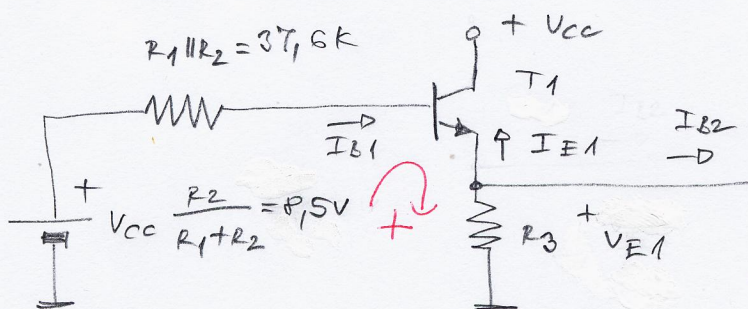
Az alábbi erősítőben használt *npn* és *pnp* bipoláris tranzisztorok adatai:

T_1	$V_{BE1,A} = 0,7 \text{ V}$ és $\beta_1 = 19$
T_2	$V_{BE2,A} = -0,7 \text{ V}$ és $\beta_2 = 49$



$$\begin{aligned}
 R_1 &= 53 \text{ k}\Omega \\
 R_2 &= 130 \text{ k}\Omega \\
 R_3 &= 6,2 \text{ k}\Omega \\
 R_4 &= 5,1 \text{ k}\Omega \\
 R_g &= R_t = 10 \text{ k}\Omega \\
 C_c &= C_H = 100 \text{ }\mu\text{F} \\
 V_{CC} &= 12 \text{ V}
 \end{aligned}$$

- (1.1) A megadott mérőirányok mellett határozza meg a T_1 és T_2 tranzisztorok munkaponti adatait, azaz az I_{C1} , I_{C2} és a földponthoz képest mért V_{E2} értékeket.
- (1.2) Határozza meg a T_1 és T_2 tranzisztorok adott munkapontához tartozó kisjelű modell paramétereinek értékét.
- (1.3) Rajzolja fel az erősítő kisjelű modelljét.

MEGOLDÁS(1.1) T_1 BAZISKÉPÉNEK THEVENIN EKVIVALENSÉVEL

HÁROM ISMERETLEN LEJEL:

- $-T_1$, PL I_{B1}
- $-T_2$, PL I_{B2}
- $-T_1-T_2$ -öt összekapcsolva, PL V_{E1}

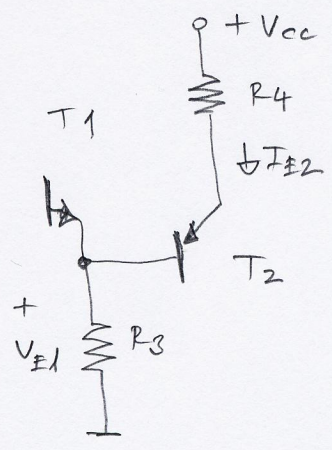
$$-V_{CC} \frac{R_2}{R_1+R_2} + (R_1 \parallel R_2) I_{B1} + V_{BE1,A} + V_{E1} = 0 \quad (1-1)$$

$$V_{E1} = -(I_{E1} + I_{B2}) R_3$$

$$I_{E1} = -(\beta_1 + 1) I_{B1}$$

$$(1-1) \quad (1-2) \quad \left. \begin{aligned} &(\beta_1 + 1) R_3 I_{B1} - R_3 I_{B2} - V_{E1} = 0 \end{aligned} \right\} \quad (1-2)$$

T₂ - RE FELIRT EGYENLET



$$-V_{cc} + I_{E2} R_4 - V_{BE2,A} + V_{E1} = 0$$

$$I_{E2} = -(\beta_2 + 1) I_{B2}$$

$$-V_{cc} - (\beta_2 + 1) R_4 I_{B2} - V_{BE2,A} + V_{E1} = 0 \quad (2-1)$$

Az (1-1), (1-2) és (2-1) egyenletek

$$(R_1 \parallel R_2) I_{B1} + V_{E1} = V_{cc} \frac{R_2}{R_1 + R_2} - V_{BE1,A}$$

$$(\beta_1 + 1) R_3 I_{B1} - R_3 I_{B2} - V_{E1} = 0$$

$$-(\beta_2 + 1) R_4 I_{B2} + V_{E1} = V_{cc} + V_{BE2,A}$$

MATRIX ALAKBAN

$$\begin{pmatrix} 37,6 & 0 & 1 \\ 124 & -6,2 & -1 \\ 0 & -255 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_{B1} \\ I_{B2} \\ V_{E1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 7,82 \\ 0 \\ 11,2 \end{pmatrix}$$

$$V_{E1} = \frac{\begin{vmatrix} 37,6 & 0 & 7,82 \\ 124 & -6,2 & 0 \\ 0 & -255 & 11,2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 37,6 & 0 & 1 \\ 124 & -6,2 & -1 \\ 0 & -255 & 1 \end{vmatrix}} = \frac{-2,604 - 247,268}{-200 - 31,520 - 9,588} = 5,97 \text{ V}$$

$$\begin{vmatrix} 37,6 & 0 & 1 \\ 124 & -6,2 & -1 \\ 0 & -255 & 1 \end{vmatrix}$$

$$\underline{I_{C1}} = \frac{V_{cc} \frac{R_2}{R_1 + R_2} - V_{BE1,A} - V_{E1}}{R_1 \parallel R_2} \beta_1 = \underline{0,94 \text{ mA}}$$

$$\underline{I_{C2}} = -\frac{\beta_2}{\beta_2 + 1} I_{E2} = -\frac{\beta_2}{\beta_2 + 1} \frac{V_{CC} - (V_{E1} + V_{BE2,A})}{R_4}$$

$$= -\frac{\beta_2}{\beta_2 + 1} \frac{V_{CC} - V_{E1} + V_{BE2,A}}{R_4} = \underline{-1,02 \text{ mA}}$$

$$\underline{V_{E2}} = V_{CC} - I_{E2} R_4 = V_{CC} + \frac{\beta_2 + 1}{\beta_2} R_4 I_{C2} = \underline{6,69 \text{ V}}$$

KÖZELÍTŐ HESOLDÁS, FELTÉTEL ALAPÁN

FELTÉTEL: $|I_{B2}| \ll |I_{E1}| \Rightarrow V_{E1} \approx -I_{E1} R_3$

EKKOR T_1 MUNKAPONTJÁRA T_2 NINCST HATÁSSAL.

$$-V_{CC} \frac{R_2}{R_1 + R_2} + (R_1 \parallel R_2) I_{B1} + V_{BE1,A} + V_{E1} = 0$$

$$V_{E1} = -I_{E1} R_3 \quad I_{E1} = -(\beta_1 + 1) I_{B1}$$

$$I_{C1} = \beta_1 I_{B1} = \frac{V_{CC} \frac{R_2}{R_1 + R_2} - V_{BE1,A}}{R_1 \parallel R_2 + (\beta_1 + 1) R_3} \quad \beta_1 = 0,92 \text{ mA}$$

$$V_{E1} \approx -I_{E1} R_3 = \frac{\beta_1 + 1}{\beta_1} I_{C1} R_3 = 6,00 \text{ V}$$

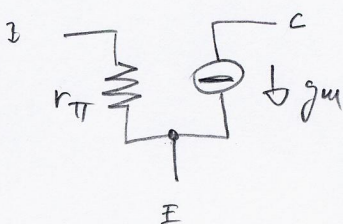
$$I_{C2} = -\frac{\beta_2}{\beta_2 + 1} I_{E2} = -\frac{\beta_2}{\beta_2 + 1} \frac{V_{CC} - V_{E1} + V_{BE2,A}}{R_4} = -1,02 \text{ mA}$$

$$V_{E2} = V_{CC} + \frac{\beta_2 + 1}{\beta_2} R_4 I_{C2} = 6,70 \text{ V}$$

FELTÉTEL ELLENŐRZÉS: $|I_{B2}| = \left| \frac{I_{C2}}{\beta_2} \right| = 2,1 \mu\text{A} \stackrel{?}{<} |I_{E1}| = \frac{\beta_1 + 1}{\beta_1} |I_{C1}| = 0,97 \text{ mA}$

(OK)

(1.2) KISJELŐ MODELLEK



$$r_{\pi} = (\beta + 1) \frac{V_T}{|I_E|}$$

$$\beta m = \frac{\beta}{\beta + 1} \frac{|I_E|}{V_T}$$

T_1

505 Ω

37,6 $\frac{\mu\text{A}}{\text{V}}$

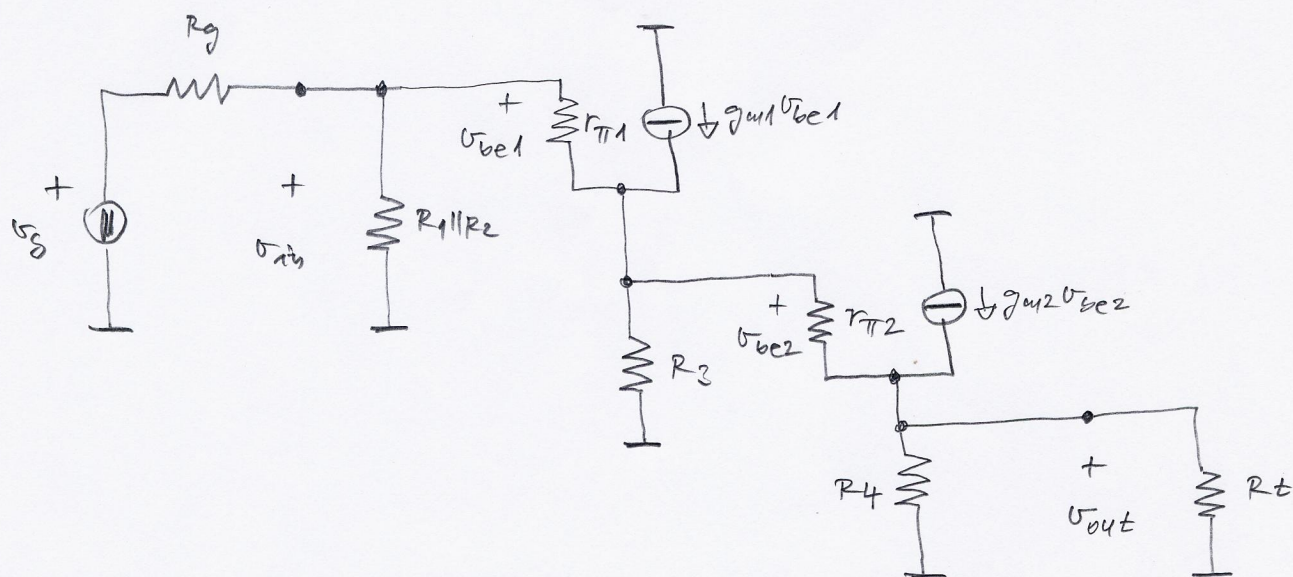
T_2

1,2 k Ω

40,8 $\frac{\mu\text{A}}{\text{V}}$

(1.2) ERŐVÍTŐ KISJELŐI MODELLJE

4



Hallgató neve:

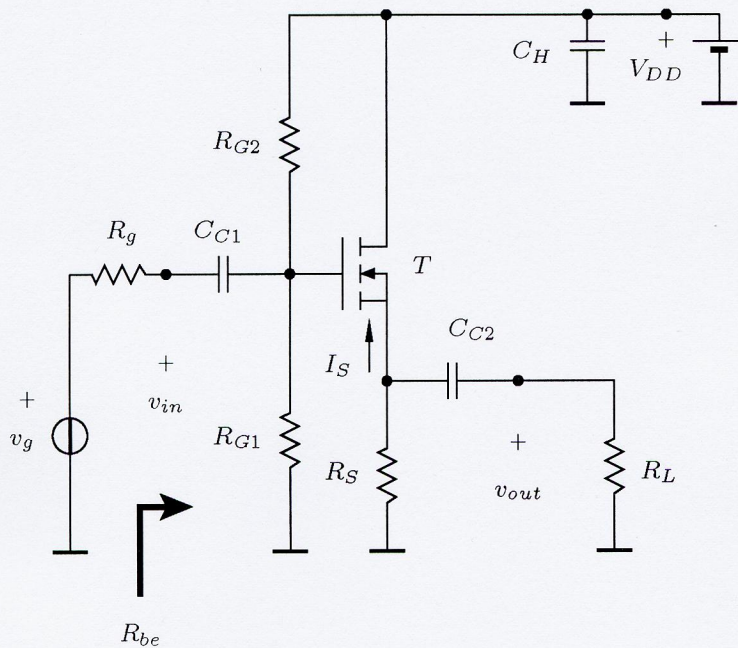
NEPTUN kódja:

Csoportja:

2. FELADAT

A T jelű, n -csatornás, növekményes (E), MOSFET tranzisztorral az alábbi kapcsolási rajzon látható kisjelű hangfrekvenciás erősítőt építettük meg.

A T MOSFET tranzisztor adatai: $V_T = 1$ V, $K = 0,5$ mA/V² és $r_d = 10$ k Ω .



$$R_{G1} = 1 \text{ M}\Omega$$

$$R_{G2} = 1 \text{ M}\Omega$$

$$R_S = 3 \text{ k}\Omega$$

$$R_g = 10 \text{ k}\Omega$$

$$R_L = 1 \text{ k}\Omega$$

$$C_{C1} = 1 \text{ }\mu\text{F}$$

$$C_{C2} = 20 \text{ }\mu\text{F}$$

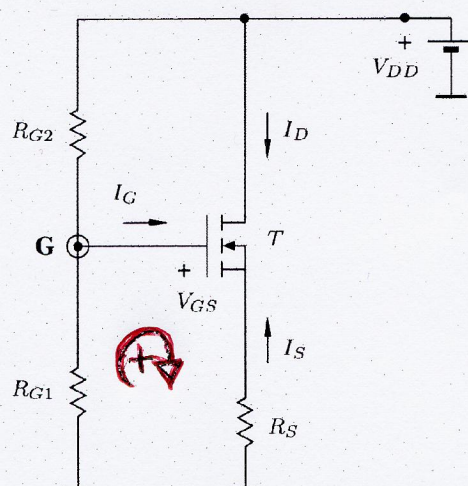
$$C_H = 100 \text{ }\mu\text{F}$$

$$V_{DD} = 7 \text{ V}$$

- (2.1) A bejelölt mérőiránynak megfelelően határozza meg a T MOSFET munkaponti I_S source áramát.
- (2.2) Rajzolja fel a kapcsolásban szereplő MOSFET kisjelű modelljét, és adja meg a kisjelű modellparaméterek értékét.
- (2.3) Rajzolja fel a teljes erősítő kisjelű helyettesítő képét.
- (2.4) Számolja ki az erősítő feszültségerősítését decibelben.
- (2.5) Számolja ki az erősítő R_{be} bemenő ellenállását.

Ez egy korábbi vizsgapélda volt!!!

(2.1) A munkapont meghatározása



MIVEL $I_G = 0$, R_{G1} ÉS R_{G2} TERHELETLEN FENYŰLTREGBORDIT ALKOT, ÉS A G PONT FENYŰLTNÉGE

$$V_G = \frac{R_{G1}}{R_{G2} + R_{G1}} V_{DD} = 3,5V$$

BEJENETI KÖR A PIROSAL BEJELÜLT HUROKRA

$$-V_G + V_{GS} - I_S R_S = 0 \Rightarrow -I_S = \frac{V_G - V_{GS}}{R_S}$$

ELKÖZ: NÖVERKÉNYES MOSFET, TELÍTÉSÉES ÜZEMMÓDBAN

$$I_D = K(V_{GS} - V_T)^2 \quad \text{ÉS} \quad I_D = -I_S$$

$$\frac{V_G - V_{GS}}{R_S K} = (V_{GS} - V_T)^2 = V_{GS}^2 - 2V_{GS}V_T + V_T^2$$

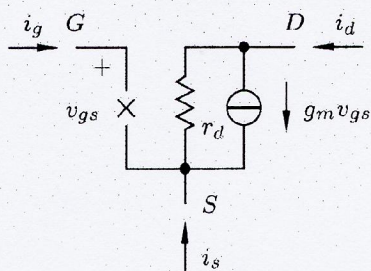
$$V_{GS}^2 - \left(2V_T - \frac{1}{R_S K}\right)V_{GS} + V_T^2 - \frac{V_G}{R_S K} = V_{GS}^2 - 1,33V_{GS} - 1,33 = 0$$

$$V_{GS} = \frac{1,33 \pm \sqrt{1,77 + 5,32}}{2} = \begin{cases} 2,00V, & \text{VALÓSZÍNŰ MEGOLDÁS} \\ -0,67V < V_T & \text{CSAK MATEMATIKAI MEGOLDÁS} \end{cases}$$

$$\underline{I_S = -\frac{V_G - V_{GS}}{R_S} = -0,5mA} \quad \text{VAGY} \quad I_S = -I_D = -K(V_{GS} - V_T)^2 = -0,5mA$$

TELÍTÉS FELTÉTELE: $V_{DS} = V_{DD} - V_S = V_{DD} + I_S R_S = 5,5V \stackrel{?}{\geq} V_{GS} - V_T = 1V$
TELJESÜL (OK)

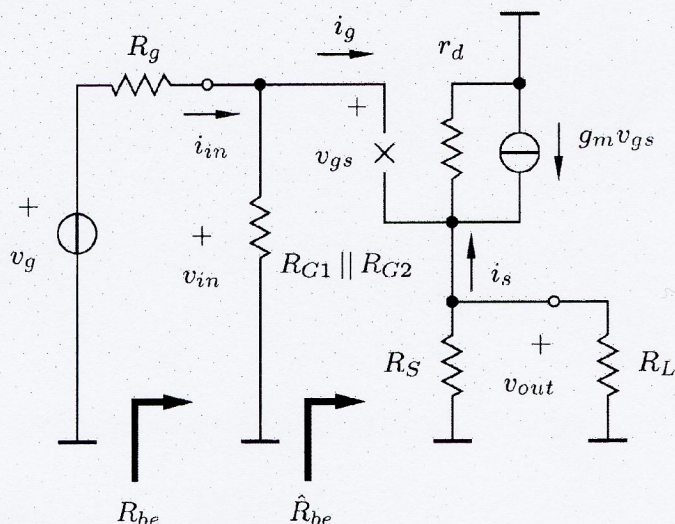
(2.2) A MOSFET kisjelű modellje



$$\underline{g_m = 2K(V_{GS} - V_T) = 1 \frac{mA}{V}}$$

$$\underline{r_d = 10 k\Omega}$$

(2.3) Az erősítő kisjelű helyettesítő képe



(2.4) – (2.5) JELZUTI PARAMÉTEREK

BEMENET: $v_{in} = v_{gs} + v_{out} \Rightarrow v_{gs} = v_{in} - v_{out}$

ESZKÖZ + KIMENET: VEDD ÉREDE r_d FELŐ VÉGE FÖLDÖN VAN, AZAZ R_S, R_L ÉS r_d PÁRHUZAMOSAN KAPCSOLÓDIK

$$v_{out} = g_m v_{gs} (r_d \parallel R_S \parallel R_L)$$

$$v_{out} = g_m (r_d \parallel R_S \parallel R_L) (v_{in} - v_{out})$$

$$A_u = \frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{g_m (r_d \parallel R_S \parallel R_L)}{1 + g_m (r_d \parallel R_S \parallel R_L)} = 0,41 \Rightarrow \underline{A_u = -7,72 dB}$$

$$\hat{R}_{be} = \frac{v_{in}}{i_g} \rightarrow \infty$$

$$\underline{\underline{\hat{R}_{be} = \frac{v_{in}}{i_{in}} = R_{G1} \parallel R_{G2} \parallel \hat{R}_{be} = R_{G1} \parallel R_{G2} = 500 k\Omega}}$$

Hallgató neve:

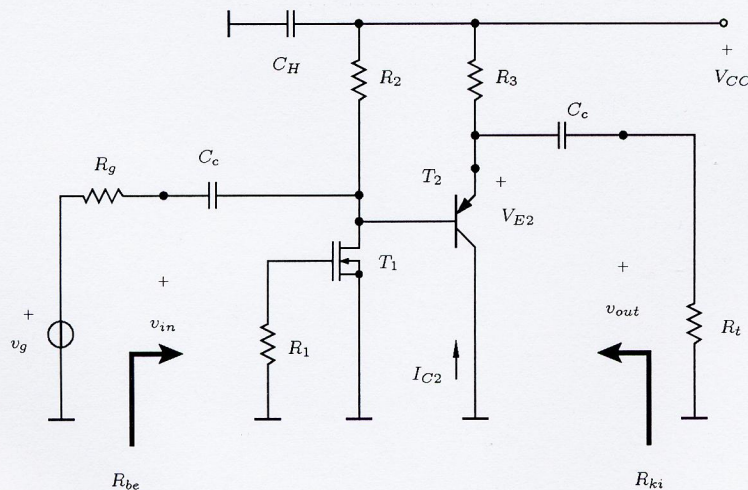
NEPTUN kódja:

Csoportja:

3. FELADAT

Az alábbi erősítőben használt n -csatornás MOSFET és pnp bipoláris tranzisztor adatai:

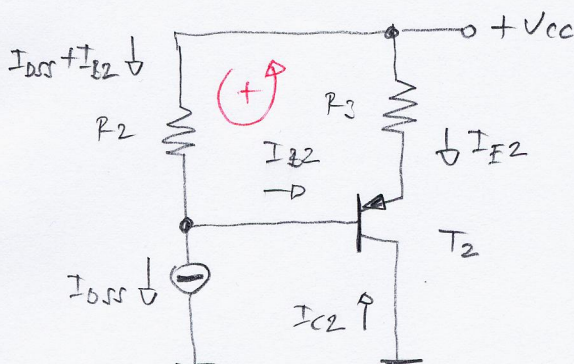
T_1	$I_{DSS1} = 2 \text{ mA}$, $V_{p1} = -4,4 \text{ V}$ és $r_{d1} = 6 \text{ k}\Omega$
T_2	$V_{BE2,A} = -0,7 \text{ V}$ és $\beta_2 = 99$



$$\begin{aligned}
 R_1 &= 100 \text{ k}\Omega \\
 R_2 &= 3,3 \text{ k}\Omega \\
 R_3 &= 5,8 \text{ k}\Omega \\
 R_g &= R_t = 10 \text{ k}\Omega \\
 C_c &= C_H = 100 \text{ }\mu\text{F} \\
 V_{CC} &= 12 \text{ V}
 \end{aligned}$$

- (3.1) A megadott mérőirányok mellett határozza meg a T_2 tranzisztor munkaponti adatait, azaz az I_{C2} és a földponthoz képest mért és V_{E2} értékeket.
- (3.2) Rajzolja fel az erősítő kisjelű modelljét és határozza meg a T_1 és T_2 tranzisztorok adott munkapontjához tartozó kisjelű modell paramétereinek értékét.
- (3.3) A kisjelű modell alapján számítsa ki az erősítő adott terheléshez tartozó $A_u = v_{out}/v_{in}$ feszültségerősítést, valamint az erősítő adott lezárásokhoz tartozó R_{be} és R_{ki} be- illetve kimenő ellenállását.

MEGOLDÁS:

(3.1) T_1 EGY ÁRANGENERÁTOR

$$(I_{DSS} + I_{B2}) R_2 + V_{BE2,A} - I_{E2} R_3 = 0$$

$$I_{E2} = -(\beta_2 + 1) I_{B2}$$

$$I_{B2} = -\frac{I_{DSS} R_2 + V_{BE2,A}}{(\beta_2 + 1) R_3 + R_2} = -10,1 \mu\text{A}$$

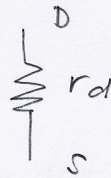
$$I_{C2} = \beta_2 I_{B2} = -1,00 \mu\text{A} \quad I_{E2} = -(\beta_2 + 1) I_{B2} = 1,01 \mu\text{A}$$

$$V_{E2} = V_{CC} - I_{E2} R_3 = V_{CC} - (\beta_2 + 1) I_{B2} R_3 = 6,14 \text{ V}$$

(3.2) KIRGELÜ MODELLEK

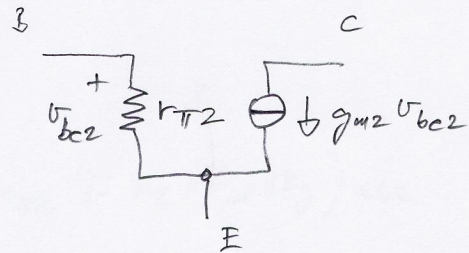
(9)

T₁:



$$r_{d1} = 6 \text{ k}\Omega$$

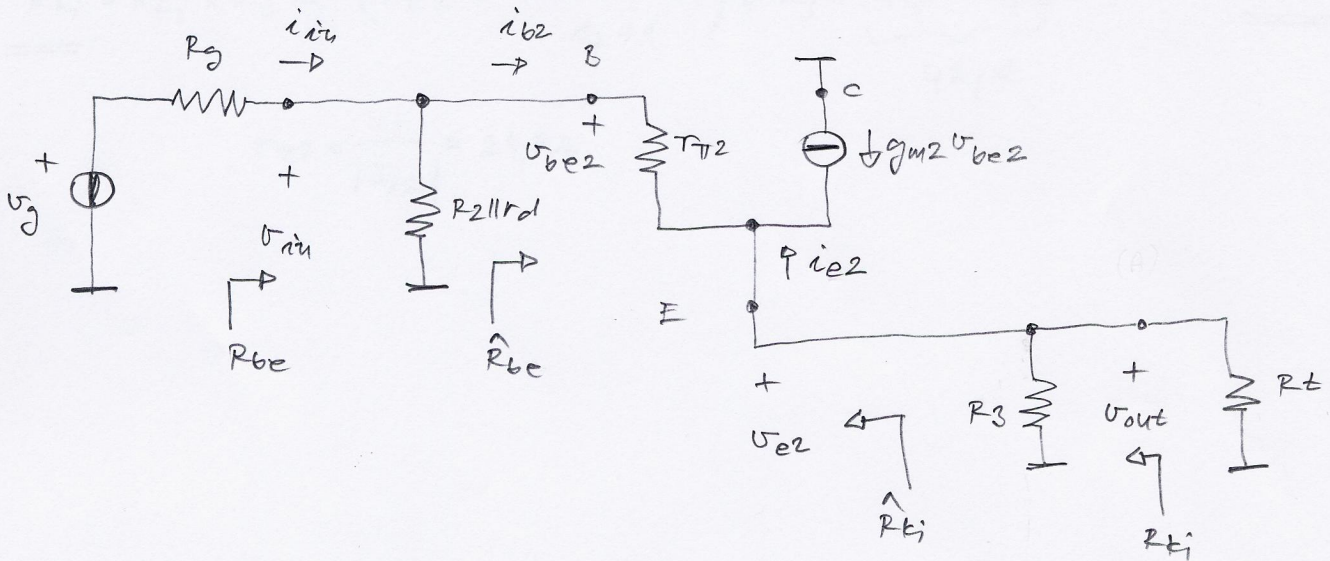
T₂



$$r_{\pi 2} = (\beta_2 + 1) \frac{V_T}{|I_{E2}|} = 2,47 \text{ k}\Omega$$

$$g_{m2} = \frac{\beta_2}{\beta_2 + 1} \frac{|I_{E2}|}{V_T} \approx \frac{|I_{E2}|}{V_T} = 40,4 \frac{\text{mA}}{\text{V}}$$

ERŐSÍTŐ KIRGELÜ MODELLE



(3.3) JELÜTI PARAMÉTEREK

$$\left. \begin{aligned} v_{in} &= r_{\pi 2} i_{b2} - (R_3 \parallel R_t) i_{e2} \\ i_{e2} &= -(\beta_2 + 1) i_{b2} \end{aligned} \right\} v_{in} = [r_{\pi 2} + (\beta_2 + 1)(R_3 \parallel R_t)] i_{b2}$$

$$v_{out} = -(R_3 \parallel R_t) i_{e2} = (\beta_2 + 1)(R_3 \parallel R_t) i_{b2}$$

$$\underline{A_u = \frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{(\beta_2 + 1)(R_3 \parallel R_t)}{r_{\pi 2} + (\beta_2 + 1)(R_3 \parallel R_t)}} \quad \left| \quad \begin{aligned} r_{\pi 2} &= 2,47 \text{ k} \\ (\beta_2 + 1)(R_3 \parallel R_t) &= 367 \text{ k} \end{aligned} \right. \quad \underline{\approx 1}$$

$$\hat{R}_{be} = \frac{v_{in}}{i_{b2}} = r_{\pi 2} + (\beta_2 + 1)(R_3 \parallel R_t) = 369,5 \text{ k}\Omega$$

$$\underline{\underline{R_{be} = \hat{R}_{be} \parallel R_2 \parallel r_{d1} = 2,12 \text{ k}\Omega}}$$