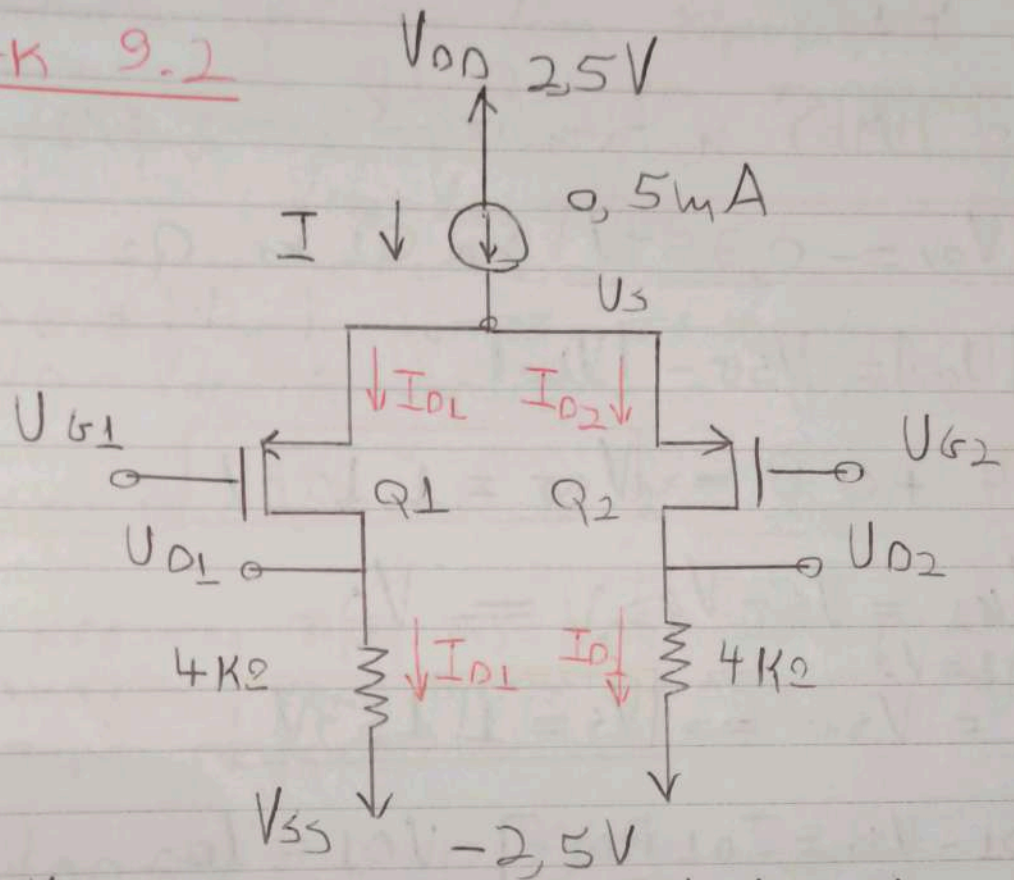
Κωνσταντίνος Ιωάννου
ΑΜ 03119840 (6ο εξάμηνο)

4η Σειρά Ασκήσεων.

Ασκ 9.2



Δίνεται $V_{tp} = -0,8V$ $K_p' \frac{W}{L} = 4 \frac{mA}{V^2}$, $\lambda \simeq 0$

α) Για $V_{G1} = V_{G2} = 0$
Βρείτε $|V_{ov}|$, V_{GS} για Q1, Q2
V_S, V_{D1}, V_{D2}.

Λόγω συμμετρίας $I_{D1} = I_{D2} = \frac{I}{2} = 0,25mA$

Έστω ότι βρισκόμαστε στον κορεσμό Q1, Q2

$$I_{D1} = I_{D2} = \frac{1}{2} K_p' \left(\frac{W}{L}\right) V_{ov}^2 \rightarrow |V_{ov}| = \sqrt{\frac{2 I_{D1}}{K_p' \frac{W}{L}}}$$

δηλαδή τα δύο Q1, Q2 έχουν ίδια τάση υπερδιάβασης

$$|V_{ov}| = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,25 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot 10^{-3}}} = 0,354V$$

Επειδή έχουμε PMOS η τάση υπερδιάβασης είναι αρνητική

$$\boxed{V_{ov} = -0,354V}$$ για Q1 και Q2

Ισχύει ότι $|V_{ov}| = V_{SG} - |V_{tp}|$

$$V_{SG} = 0,354 + 0,8 \Rightarrow \boxed{V_{SG} = 1,154V}$$

$$V_{SG} = V_S - V_{G1} = V_S - V_{G2} = V_S$$

αφού $V_{G1} = V_{G2}$

Άρα $V_S = V_{SG} \Rightarrow \boxed{V_S = 1,154V}$

Από ΟΝΜ
$$\left.\begin{aligned} V_{D1} - V_{SS} &= I_{D1} R_{D1} \\ V_{D2} - V_{SS} &= I_{D2} R_{D2} \end{aligned}\right] \; V_{D1} = V_{D2}$$

$$V_D = (0,25 \cdot 10^{-3})(4k\Omega) - 2,5V \Rightarrow$$

$$\boxed{V_{D1} = V_{D2} = V_D = -1,5V}$$

Τέλος $V_{DG} = -1,5V \leq |V_{tp}| = 0,8V$

τα Q1, Q2 είναι σε περιοχή κορεσμού.

B) A_V η πηγή ρεύματος απαιτεί ελάχιστη τάση 0,4V Βρείτε την περιοχή κοινού σήματος εισόδου.

Η ~~μέγιστη~~ ελάχιστη τιμή της V_{CM} περιορίζεται από την απαίτηση τα Q1, Q2 να παραμένουν στον κορεσμό.

$$V_{CM} = V_{G1} = V_{G2}$$

$V_{DG} \leq |V_{tp}|$ ώστε σε κορεσμό

$V_D - V_G \leq |V_{tp}| \Leftrightarrow$ $V_{CM} \geq V_D - |V_{tp}|$ (Φ-ΜΟ)

$V_{CM} \geq -1,5 - 0,8 \geq -2,3V$

- Η μέγιστη τιμή της V_{CM} υπαγορεύεται από την ανάγκη να παρέχεται επαρκής τάση στην πηγή ρεύματος

$$V_{DD} - V_S \geq 0,4V \quad (1)$$

$$V_{GS} = V_{CM} - V_S \quad (2), \quad V_{CM} \triangleq V_{G1} = V_{G2}$$

Από (1),(2) $\Rightarrow$ $V_{DD} - (-V_{GS} + V_{CM}) \geq 0,4V \Leftrightarrow$

$2,5V + V_{GS} - V_{CM} \geq 0,4V \Leftrightarrow$

$$V_{CM} \leq 2,5V - 0,4V + V_{GS}$$

από (α) ερώτημα $V_{GS} = 1,154V$

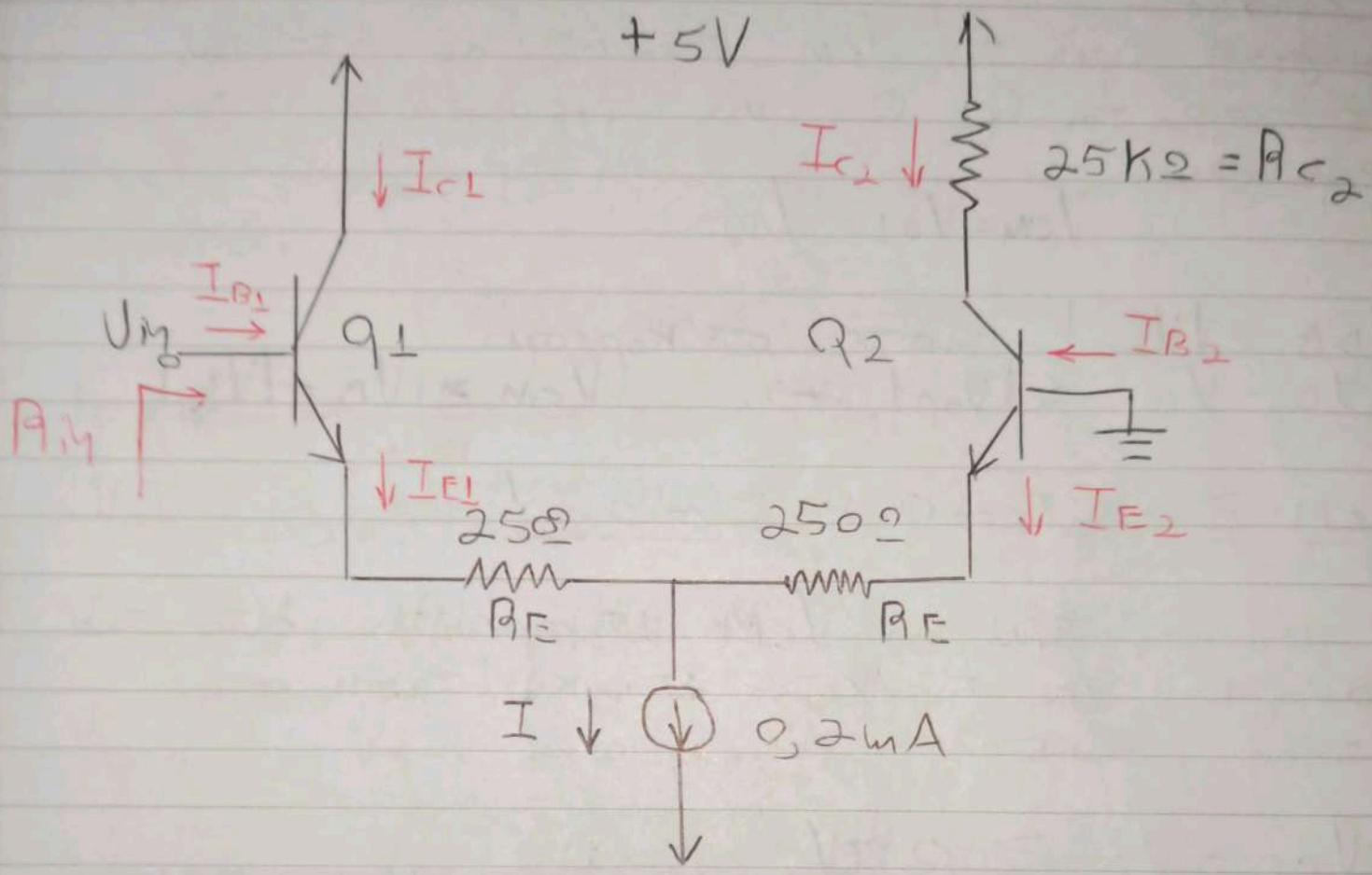
$V_{CM} \leq 0,946V$

Περιοχή κοινού σήματος

$$\boxed{-2,3V \leq V_{CM} \leq 0,946V}$$

Άσκηση 9.52

$A = \infty$, $R_{in} = \infty$, $\beta = 100$



- Ανάλυση ισχυρού σήματος - DC ανάλυση
  → μηδενίζουμε AC πηγές
  οπότε $V_{B1} = V_{B2} = 0$ → $V_{id} = 0$
  αφού μηδενίσαμε V_{in}

Όπως γνωρίζουμε από τις σχέσεις (9.47), (9.48), (9.49)

$$I_{E1} + I_{E2} = I, \quad I_{E1} = \frac{I}{1 + \exp(-V_{id}/V_T)}$$

$$I_{E2} = \frac{I}{1 + e^{V_{id}/V_T}}$$

επειδή η διαφορική τάση $V_{id}=0$, το ρεύμα $I=0,2mA$ διαιρείται μεταξύ των δύο τρανζίστορ, ανεξαρτήτως V_{CM}.
(αυτή είναι η ουσία του διαφορικού ενισχυτή)

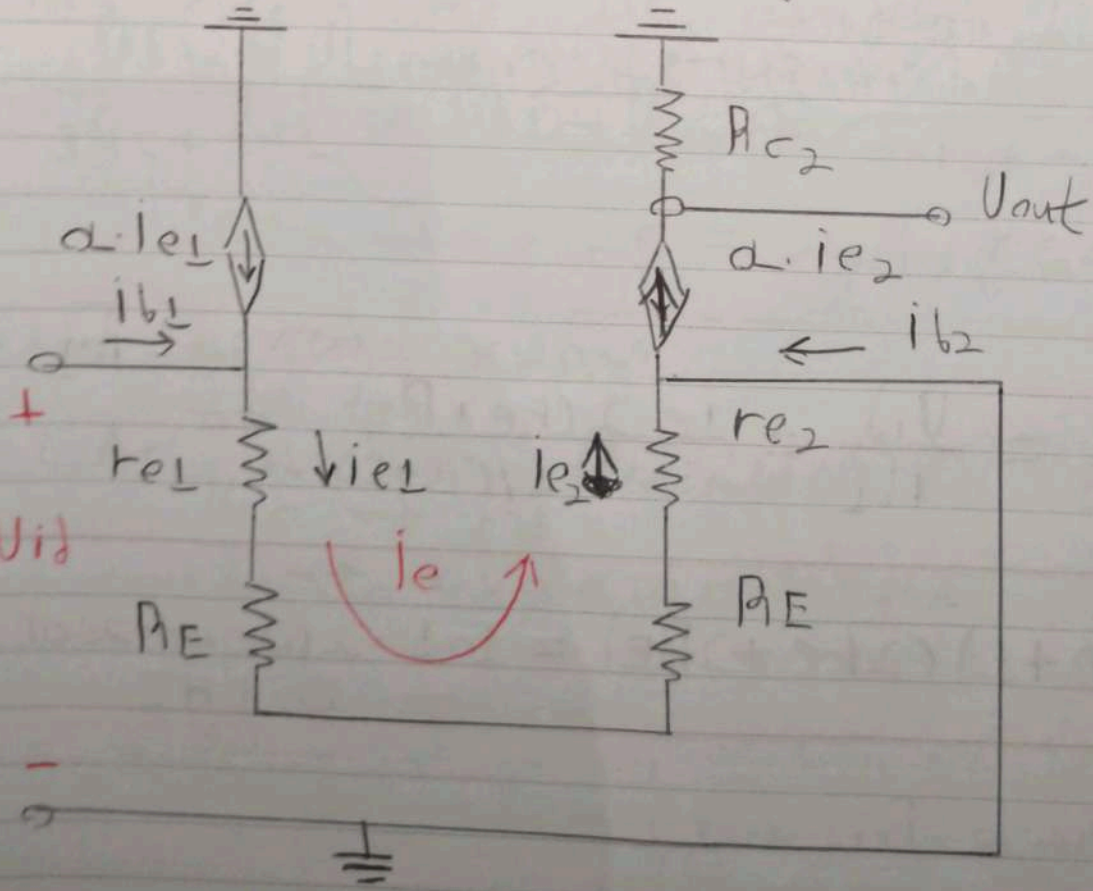
$$I_{E1} = I_{E2} = \frac{I}{2} = \frac{0,2}{2} mA = 0,1 mA$$

($V_T \approx 25 mV$ σε θερ. δωματίου)

$$r_{e1} = r_{e2} = \frac{V_T}{I/2} = \frac{0,025}{0,1 \cdot 10^{-3}} \Omega \Rightarrow$$

$$r_{e1} = r_{e2} = 250 \Omega$$

- Λειτουργία Ασθενούς Σήματος - AC ανάλυση (T-μοντέλο χωρίς earl.)
Μηδενίζουμε DC πηγές



από ohm $V_{id} = 2(r_e + R_E) \cdot i_e$

$\Rightarrow i_e = \frac{V_{id}}{2r_e + 2R_E}$, $V_{id} = V_{in} - 0$

Κέρδος τάσης

$A_V = \frac{V_o}{V_{in}} = \frac{(\alpha i_{e2}) R_{C2}}{2(r_e + R_E) \cdot i_{e1}} \Rightarrow \alpha \simeq 1$ $\quad i_{e1} = i_{e2} = i_e$

$$A_V = \frac{R_{C2}}{2r_e + 2R_E} = \frac{25K\Omega}{2(250+250)\Omega} = 25$$

άλλος τρόπος: Χρησιμοποιούμε τον διαφορικό ενισχυτή αν υπήρχε δηλαδή $R_{C1} = R_{C2} = R_C$

$A_d = \frac{\alpha 2R_C}{2r_e + 2R_E} \xrightarrow[R_{C1}=0]{\alpha \to 1} A_V = \frac{R_C}{2r_e + 2R_E}$

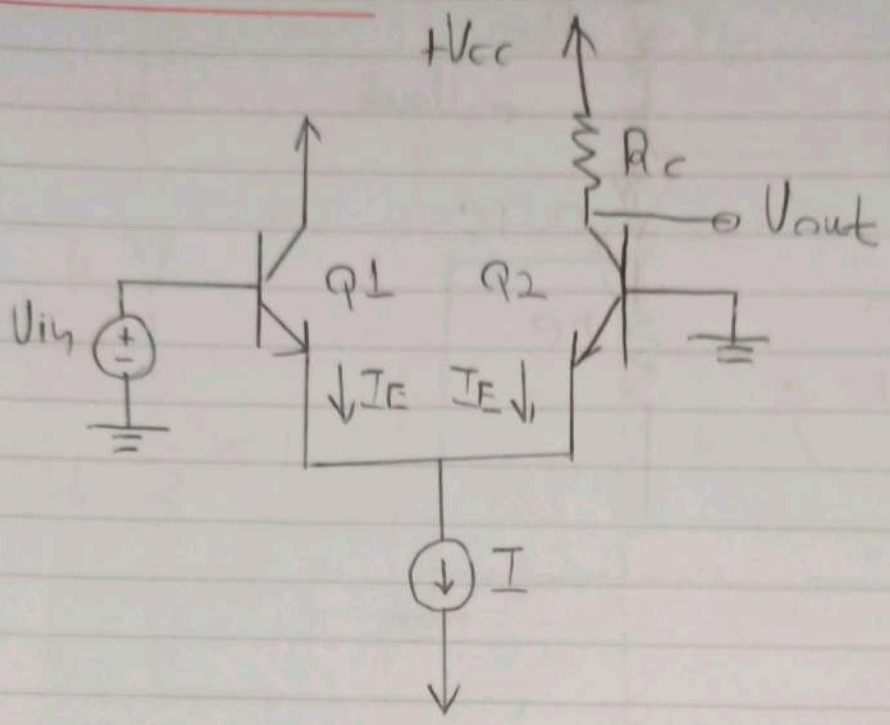
$A_d = \frac{V_{od}}{V_{id}} = g_m R_C$

$R_{in} = \frac{V_{in}}{i_{in}} = \frac{V_{id}}{i_{b1}} = \frac{i_e \cdot 2(r_e + R_E)}{i_{e1}/(\beta+1)} \overset{i_e = i_{e1}}{=}$

$$R_{in} = (\beta+1)(2r_e + 2R_E) = 101 \cdot 2(250+250)\Omega = 101K\Omega$$

δηλαδή $R_{in} = R_{id} = \frac{V_{id}}{i_b}$

Άσκηση 9.54



α) Λειτουργεί ως διαφορικός ενισχυτής.

όπως στην ασκ. 9.52 λόγω συμμετρίας και επειδή σε DC ανάλυση

$V_{b1} = V_{b2} = 0$ ($V_{in} \to 0$)

τότε $V_{id} = V_{b1} - V_{b2} = 0$

$\Rightarrow$ $I_{E1} = I_{E2} = I_E = \frac{I}{2}$, $r_e = \frac{V_T}{I_E} = \frac{2V_T}{I}$

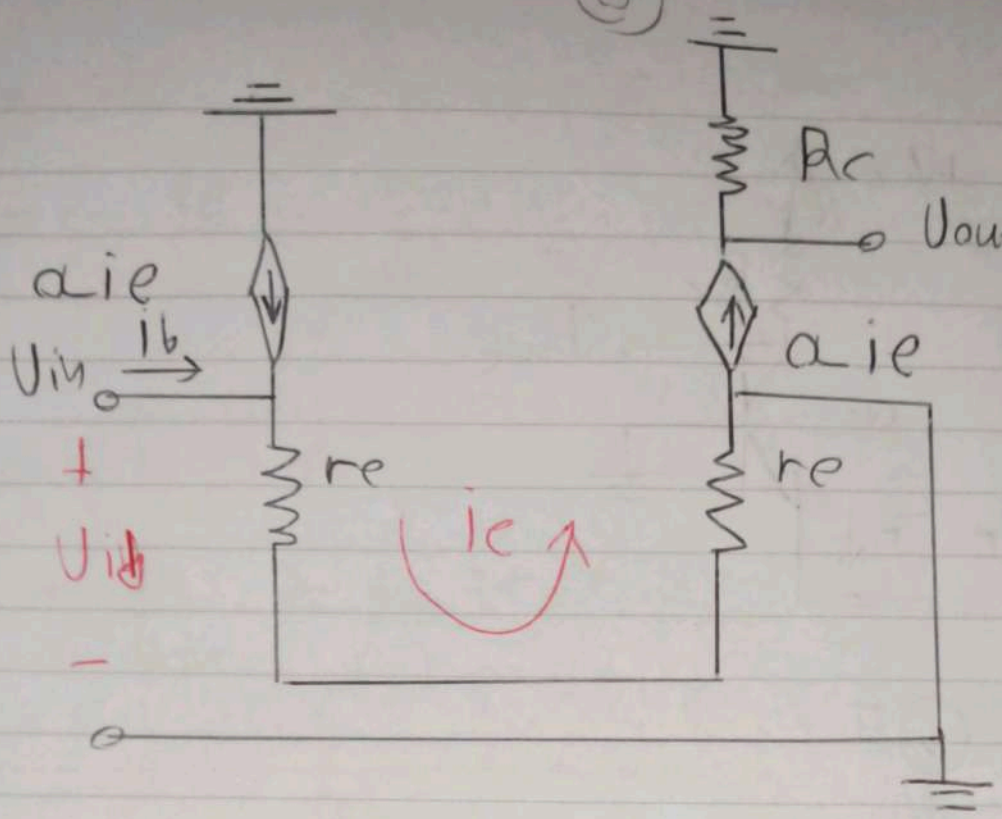
$\Rightarrow$ T μοντέλο χωρίς Early

AC ανάλυση μηδενίζουμε DC πηγές

$V_{cc} \to$ γη

$I \to$ ανοιχτο κύκλωμα.

(a)



• $ie = \frac{V_{in}}{2re}$ (νομος Ohm)

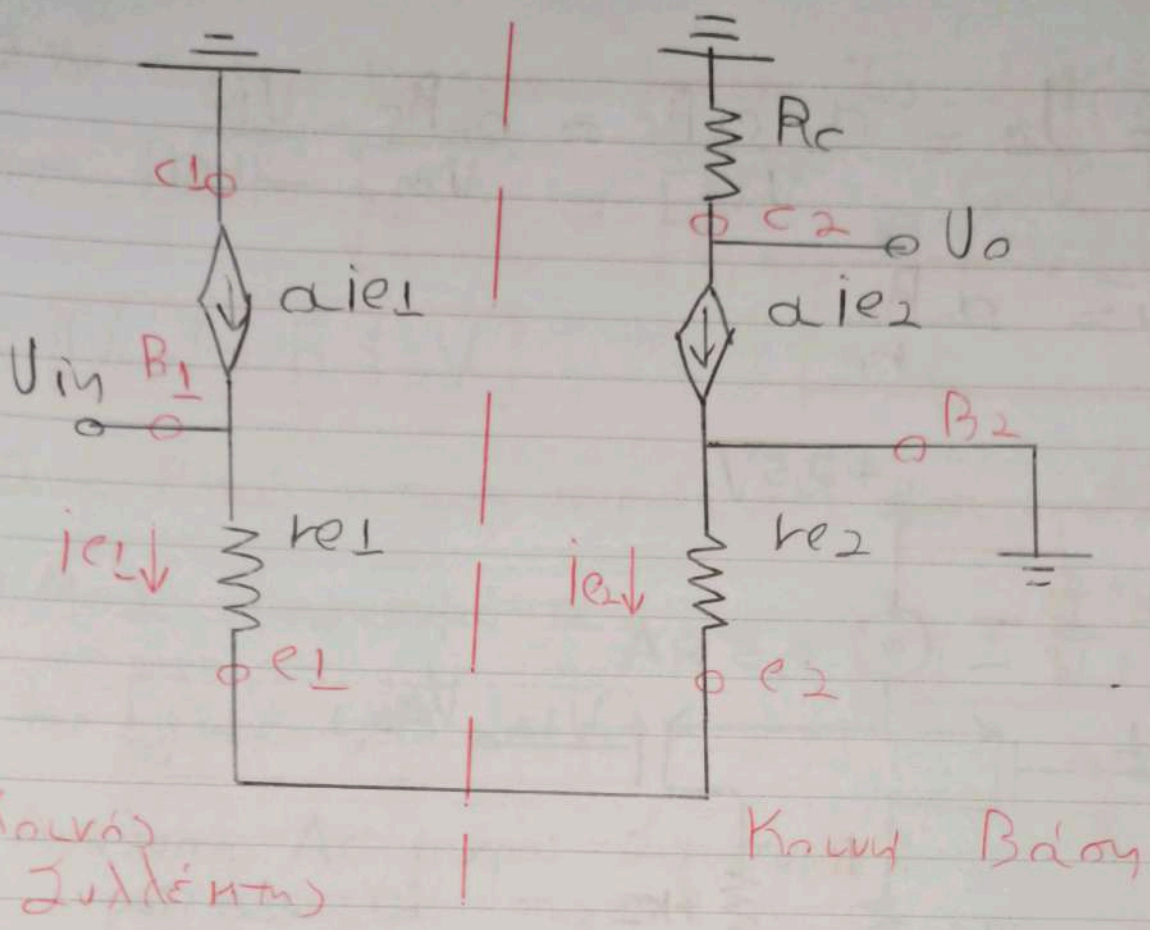
• $ic = \alpha ie = \frac{\alpha \cdot V_{in}}{2re}$ • $V_{out} = Rc\, \alpha ie$

• $Av = \frac{V_o}{V_{in}} = \frac{Rc\, \alpha ie}{V_{in}} = \frac{Rc}{V_{in}} \cdot \frac{\alpha \cdot V_{in}}{2re} \Rightarrow$

$$\boxed{Av = \frac{\alpha\, Rc}{2re}}$$

Κέρδος Ασθενούς σήματος.

Β) Λειτουργεί ως cascade με ένα στάδιο Κοινού συλλέκτη (Q1) και ένα στάδιο Κοινής Βάσης (Q2)



Αρχικά παρατηρούμε $ie_1 = -ie_2$

Από ΝΤΚ στους κόμβους $B_1 - B_2$

$$-V_{B1} + ie_1 \cdot re_1 - ie_2 re_2 + V_{B2} = 0 \quad | \Rightarrow$$

με $V_{B2} = 0$ και $V_{B1} = V_{in}$

$$-V_{in} + ie_1 (re_1 + re_2) = 0 \quad | \Rightarrow$$

με $re_1 = re_2 = \frac{2V_T}{I} = re$

- $ie_1 = \frac{V_{in}}{2re}$

Από νόμο Ohm $0 - V_o = \alpha ie_2 R_c \Leftrightarrow$

$V_o = \alpha(-ie_2) R_c \Leftrightarrow$

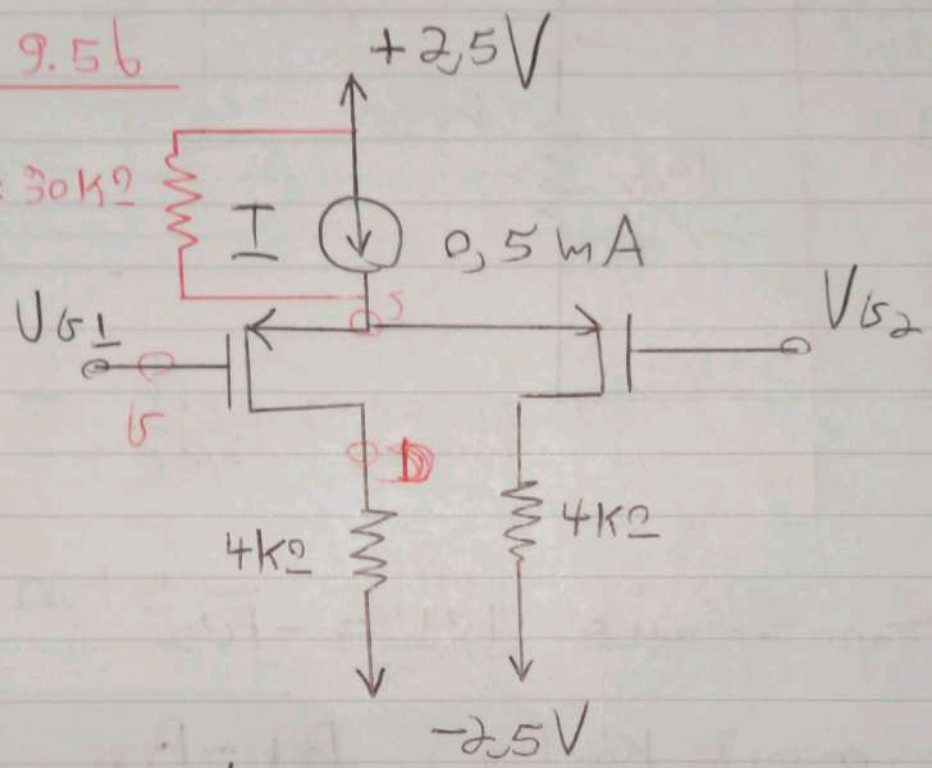
- $V_o = \alpha ie_1 R_c$

Οπότε

$$A_U = \frac{U_o}{U_{in}} = \frac{\alpha \cdot i_{e1} \cdot R_C}{U_{in}} = \frac{\alpha R_C}{U_{in}} \cdot \frac{U_{in}}{2 r_e}$$

$$\rightarrow \boxed{A_U = \frac{\alpha R_C}{2 r_e}}$$

Άσκηση 9.5b



Για Q_1, Q_2: $K_p' \frac{W}{L} = 4 \frac{mA}{V^2}$

$R_{ΕΞ} = 30kΩ$ (ρεύμα πόλωσης)

Ζ| $|V_{ov}|$, g_m, $|A_d|$, $|A_{cm}|$, CMRR σε dB όταν η έξοδος λαμβάνεται διαφορικά.

Έστω ότι Q_1, Q_2 βρίσκονται σε περιοχή κορεσμού.

Λόγω συμμετρίας $I_{D1} = I_{D2} = \frac{I}{2} = I_D$

Στην περιοχή κορεσμού ισχύει $I_D = \frac{1}{2}(k'_p \frac{W}{L}) V_{ov}^2$

$\Rightarrow |V_{ov}| = \sqrt{\frac{2I_D}{k'_p W/L}} = \sqrt{\frac{I}{k'_p W/L}} = \sqrt{\frac{0,5mA}{4mA}} V \Rightarrow$

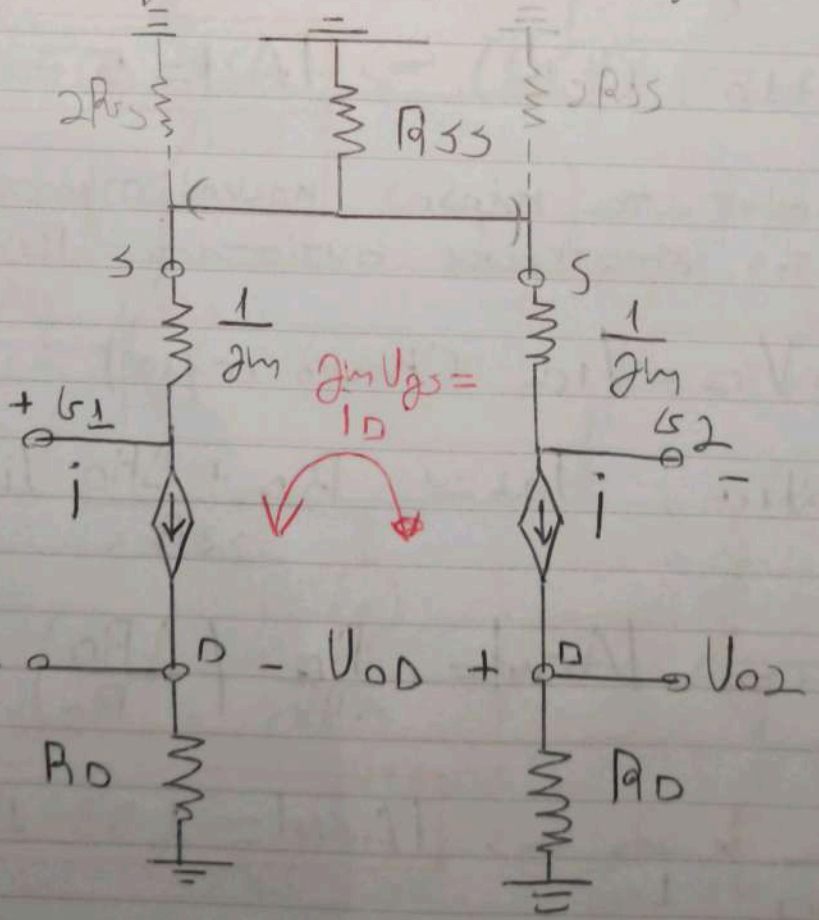
$$\boxed{|V_{ov}| = 0,35V}$$

(Στα PMOS η τάση υπερδήμου) είναι αρνητική $V_{ov} = -0,35V$)

PMOS διαγωγιμότητα $g_m = \frac{2I_D}{|V_{ov}|} = \frac{I}{|V_{ov}|} = \frac{0,5mA}{0,35V}$

$\Rightarrow$ $\boxed{g_m = 1,43 mA/V}$

- Ανάλυση AC μικρού σήματος
  μοδελίζω ΟΣ πηγές
  PMOS – T μοντέλο (αγνοώ Early)



• Για να βρούμε το κέρδος διαφορικού σήματος A_d θεωρούμε ιδανική πηγή ρεύματος I
δηλ. $R_{SS} \to$ ανοιχτο κύκλωμα
επομένως $V_S = 0$

$$V_{o1} = +i_d R_D = g_m V_{gs} R_D = g_m \frac{V_{id}}{2} R_D$$

$$V_{o2} = -i_d R_D = -g_m \frac{V_{id}}{2} R_D$$

$$V_{G1} = V_{CM} + \frac{1}{2} V_{id}, \quad V_{G2} = V_{CM} + \frac{1}{2} V_{id}$$

$$V_{od} = V_{o2} - V_{o1} = -g_m \frac{V_{id}}{2} R_D + g_m \frac{V_{id}}{2} R_D = g_m V_{id} R_D$$

$$V_{id} = V_{G1} - V_{G2}$$

(σχέση 9.35)

$$A_d \triangleq \frac{V_{od}}{V_{id}} = -g_m R_D \Rightarrow \underline{|A_d| = g_m R_D}$$

$$|A_d| = (1{,}43 \cdot 10^{-3}) \cdot (4 \cdot 10^{3}) \Rightarrow \boxed{|A_d| = 5{,}72}$$

• Για να βρούμε το κέρδος κοινού σήματος A_{CM} προσθέτουμε την εσωτερική αντίσταση R_{SS}

$V_{G1} = V_{G2} = V_{icm}$ (κοινό σήμα)

$$V_{o1} \simeq \frac{R_D}{2R_{SS}} V_{icm}, \quad V_{o2} \simeq \frac{R_D + \Delta R_D}{2R_{SS}} V_{icm}$$

$$A_{CM} \triangleq \frac{V_{od}}{V_{icm}} \Rightarrow \underline{|A_{CM}| = \frac{R_D}{2R_{SS}} \left(\frac{\Delta R_D}{R_D} \right)} \quad (9.80)$$

$$|A_{CM}| = \frac{4}{230} \times \frac{2}{100} \Rightarrow \boxed{|A_{CM}| = 1{,}33 \cdot 10^{-3}}$$

- Λόγος απόρριψης κοινού σήματος

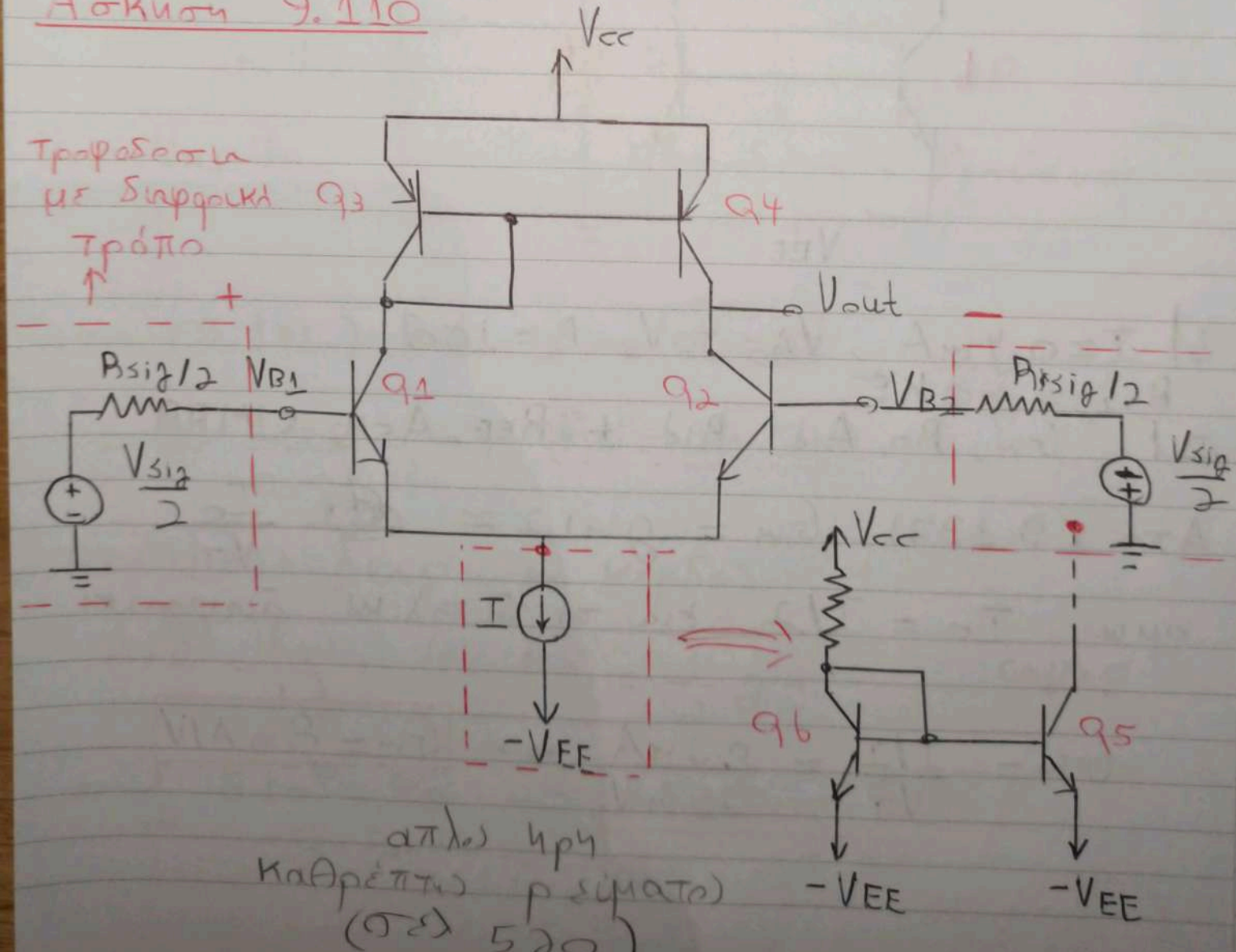
$$CMRR \triangleq \frac{|A_d|}{|A_{cm}|}$$

Σε decibel $CMRR(dB) = 20\log\left(\frac{|A_d|}{|A_{cm}|}\right)$ (9.82)

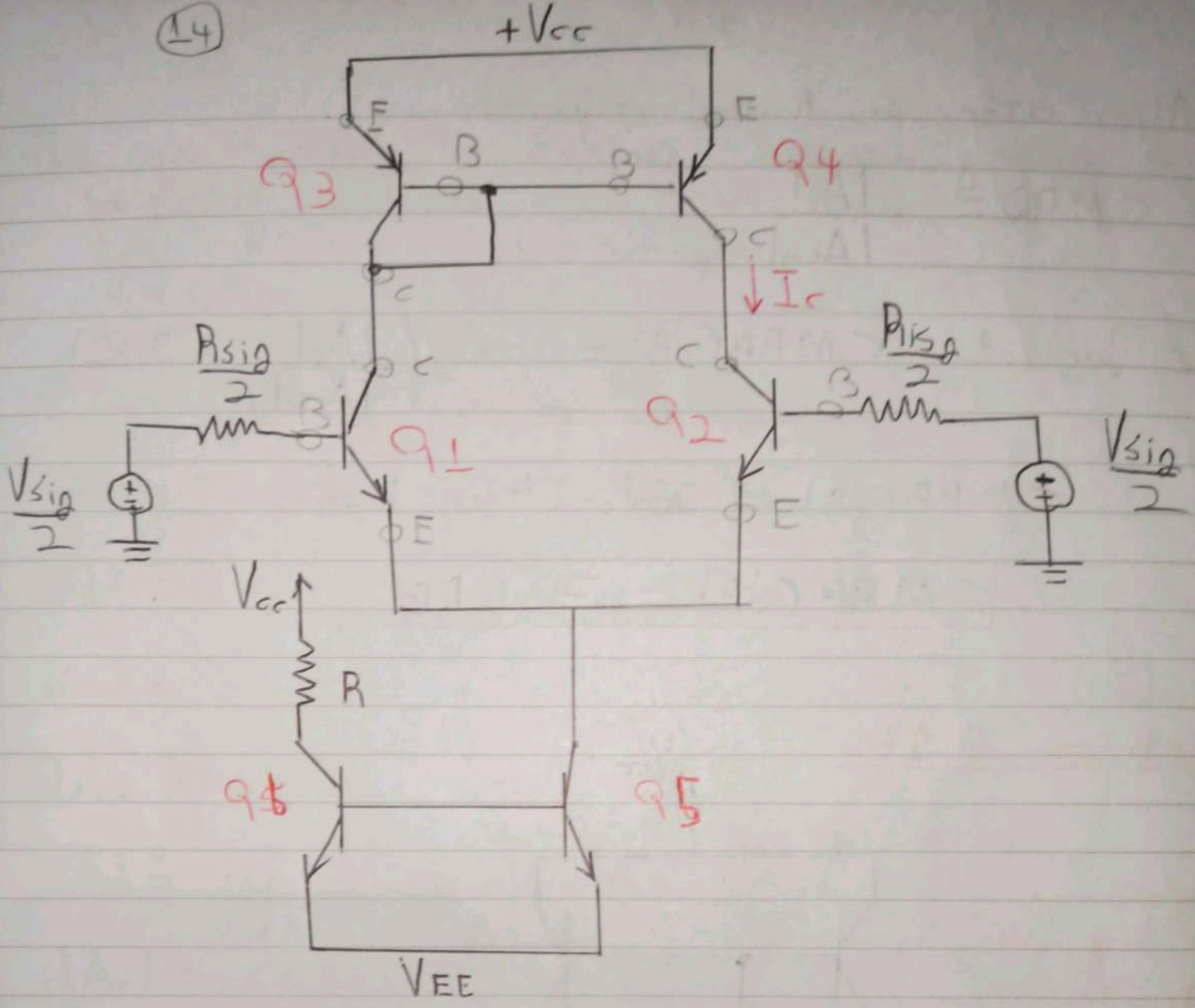
$$CMRR(dB) = 20\log(4300) \Rightarrow$$

$$\boxed{CMRR(dB) = 72,6\ DB}$$

Άσκηση 9.110



(14)



Δ| $I = 0,4\,mA$, $V_A = 40\,V$, $\beta = 150$

$R_{sig} = 30\,K\Omega$

Ζ| G_m, R_o, A_d, R_{id} + R_{EE}, A_{cm}, CMRR

Από (9.137) $G_m = g_{m1,2} \simeq \dfrac{I_c}{V_T}$

όμως $I_c = I/2$ για το συμμετρικό διαφορικό ζεύγος

$$G_m = \frac{I/2}{V_T} = \frac{0,2\,mA}{25\,mV} \Rightarrow \boxed{G_m = 8\,mA/V}$$

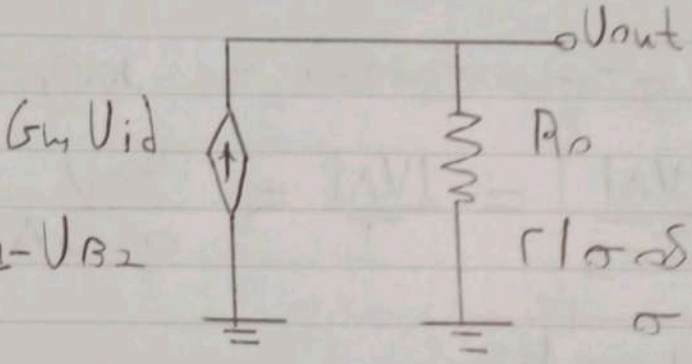
από (9.138) $R_o = r_{o2} \| r_{o4}$

$r_o = \frac{|V_A|}{I_C}$ $\left\{ \begin{array}{l} |V_{A2}| = |V_{A1}| = |V_A| = 40V \\ I_{C2} = I_{C4} = I_C = I/2 \end{array} \right.$

όπου $B = 150$ $\alpha \simeq 1$ $I_{C4} = I_{C2} = I_{E2} = \frac{I}{2}$

$R_o = \frac{r_{o2} r_{o4}}{r_{o2} + r_{o4}} = \left(\frac{V_A}{I_C}\right)^2 \cdot \frac{2 I_C}{2 V_A} = \frac{V_A}{2 I_C}$

$= \frac{V_A}{I} = \frac{40V}{0,4mA} \rightarrow$ **$R_o = 100 k\Omega$**



(το διάνυσμο Απόκρισης σήματος)

από (9.141) $R_{id} = 2 r_\pi \overset{r_\pi = \frac{B}{g_m}}{=\!=\!=} 2 \frac{B}{G_m}$

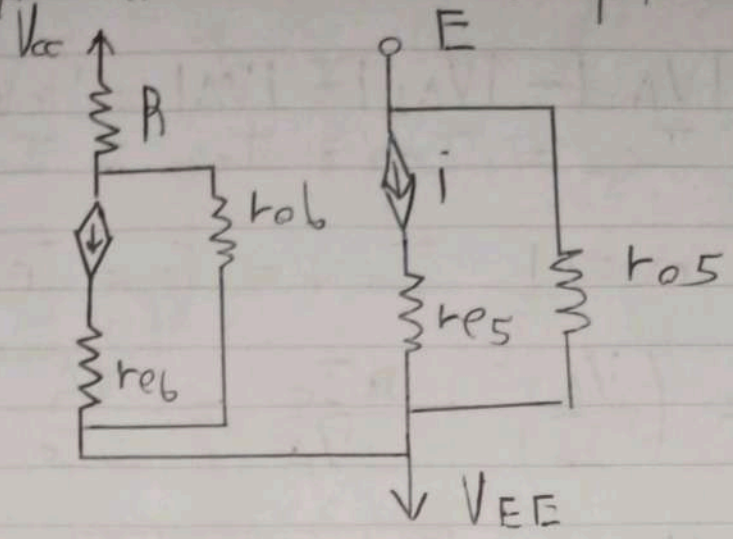
$= 2 \cdot \frac{150}{0,08} \Rightarrow$ **$R_{id} = 37,5 k\Omega$**

Από (9.139) Διαφορικό Κέρδος

$A_d \triangleq \frac{V_o}{V_{id}} = G_m R_o = \frac{1}{2} g_m r_o$

$= \frac{1}{2} \; 8 \cdot 10^{-3} \; \frac{40}{0,2 \cdot 10^{-3}} \rightarrow$ **$A_d = 800$**

AC - Το μοντέλο στον απλό κλάδο καθρέπτη ρεύματος



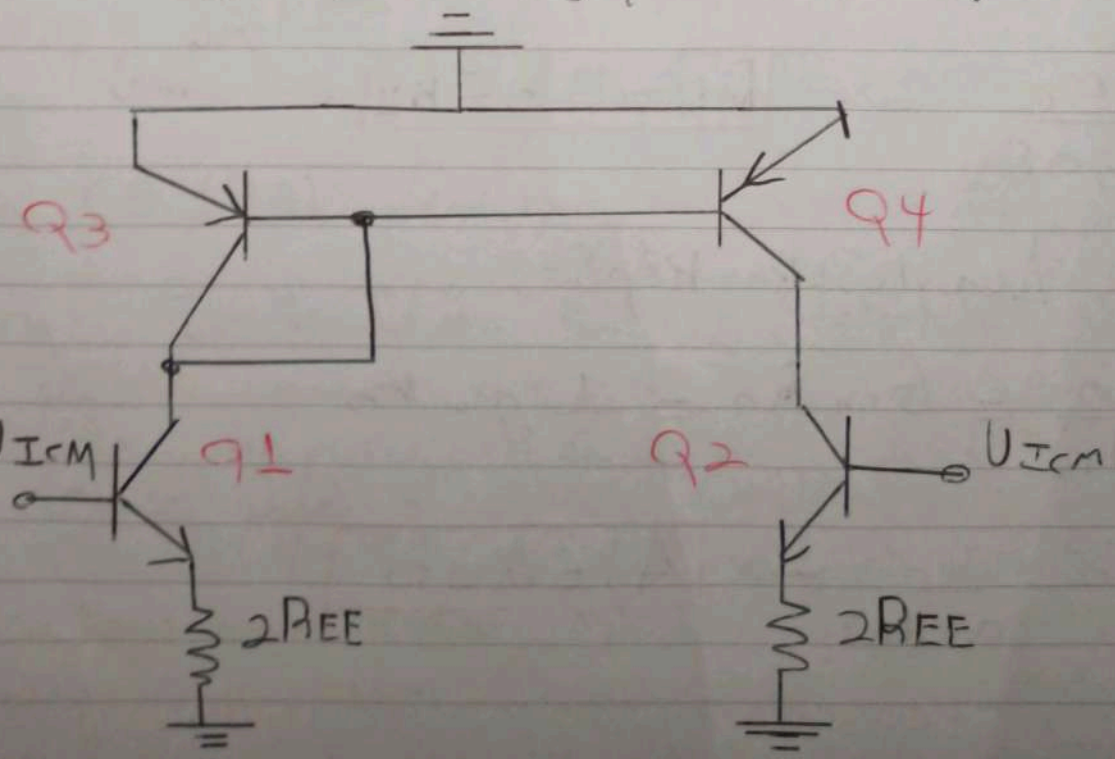
$V_{EE} = R_{EE} \cdot i = r_{o5} \cdot i \Rightarrow R_{EE} = r_{o5}$

R_{EE} είναι η αντίσταση εξόδου του καθρέπτη ρεύματος

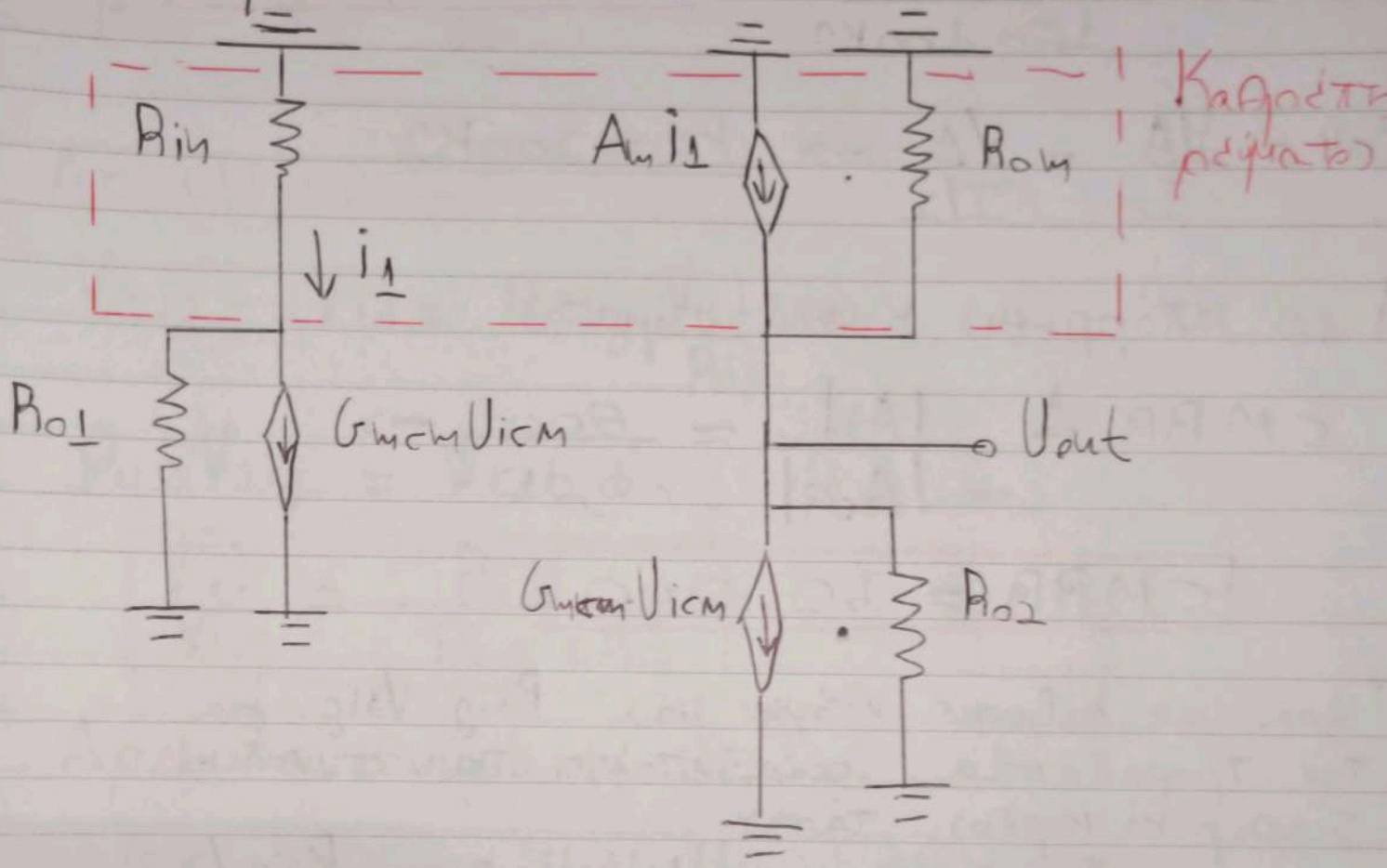
$$r_{o5} = \frac{|V_A|}{I_{C5}} = \frac{|V_A|}{I} = \frac{40V}{92\,mA} \Longrightarrow$$

$$\boxed{R_{EE} = r_{o5} = 100k\Omega}$$

AC - Ανάλυση Μισού Διαφορικού Ζεύγους



Αντικαθιστώντας το μοντέλο όπως στην σελίδα 656 αλλά τώρα για ΒΤΤ έχουμε



- $G_{mcm} = \frac{1}{2R_{EE}}$, $R_{in} = \frac{1}{g_{m3}} \| r_{\pi 3} \| r_{o3} \| r_{\pi 4}$
- $R_{om} = r_{o4}$, $A_m = g_{m4} R_{in}$

για $r_{o3} >> r_{\pi 3}$ και $r_{\pi 4} = r_{\pi 3}$

$\rightarrow R_{in} \simeq \frac{1}{g_{m3}} \| \frac{2}{r_{\pi 3}}$

Για $g_{m4} = g_{m3}$ καταλήγουμε στην σχέση ($r_{o4} >> R_{o2}$)

(9.165) $A_{cm} = -\frac{r_{o4}}{B_3 R_{EE}}$

Κέρδος κοινού σήματος $A_{CM} = \frac{V_{out}}{V_{icm}}$

$A_{CM} = -\frac{200K\Omega}{150 \cdot 100K\Omega} \rightarrow \boxed{A_{CM} = -0,01333}$

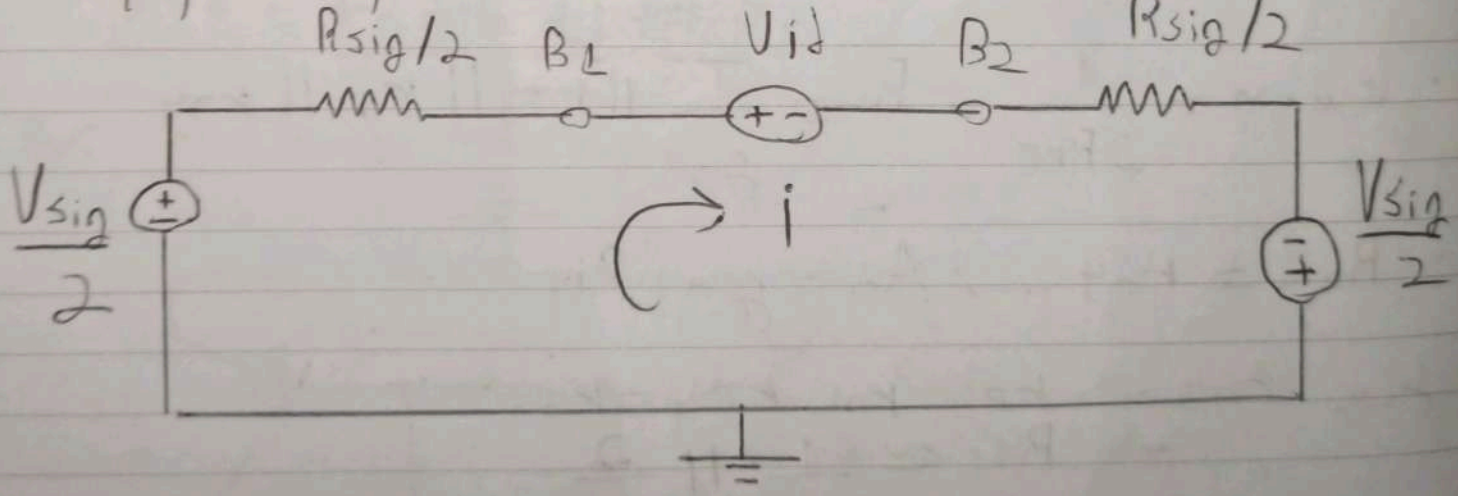
$r_{o4} = \frac{V_A}{I_c} = \frac{V_A}{I/2} \Rightarrow \underline{r_o = 200K\Omega}$

Λόγος απόρριψης κοινού σήματος

$CMRR \triangleq \frac{|A_d|}{|A_{CM}|} = \frac{800}{0,0133} \rightarrow$

$\boxed{CMRR = 60.000}$

Τώρα αν λάβουμε υπόψιν μας R_{sig}, V_{sig} για τον τροφοδοτικά, αναζητούμε το συνολικό διαφορικό κέρδος τάσης



ΝΤΚ $-\frac{V_{sig}}{2} + V_{id} - \frac{V_{sig}}{2} = \left(\frac{R_{sig}}{2}\right) \cdot I \cdot 2$

$\Leftrightarrow \underline{V_{id} - V_{sig} = R_{sig} \cdot I} \quad (1)$

Η τιμή R_{id} είναι η αντίσταση εισόδου του διαφορικού ενισχυτή

$$R_{id} = \frac{V_{id}}{I} \quad (2)$$

Από (1), (2) →

$$V_{sig} - V_{id} = R_{sig}\frac{V_{id}}{R_{id}} \Leftrightarrow$$

$$R_{id} V_{sig} = V_{id}(R_{sig} + R_{id}) \Leftrightarrow$$

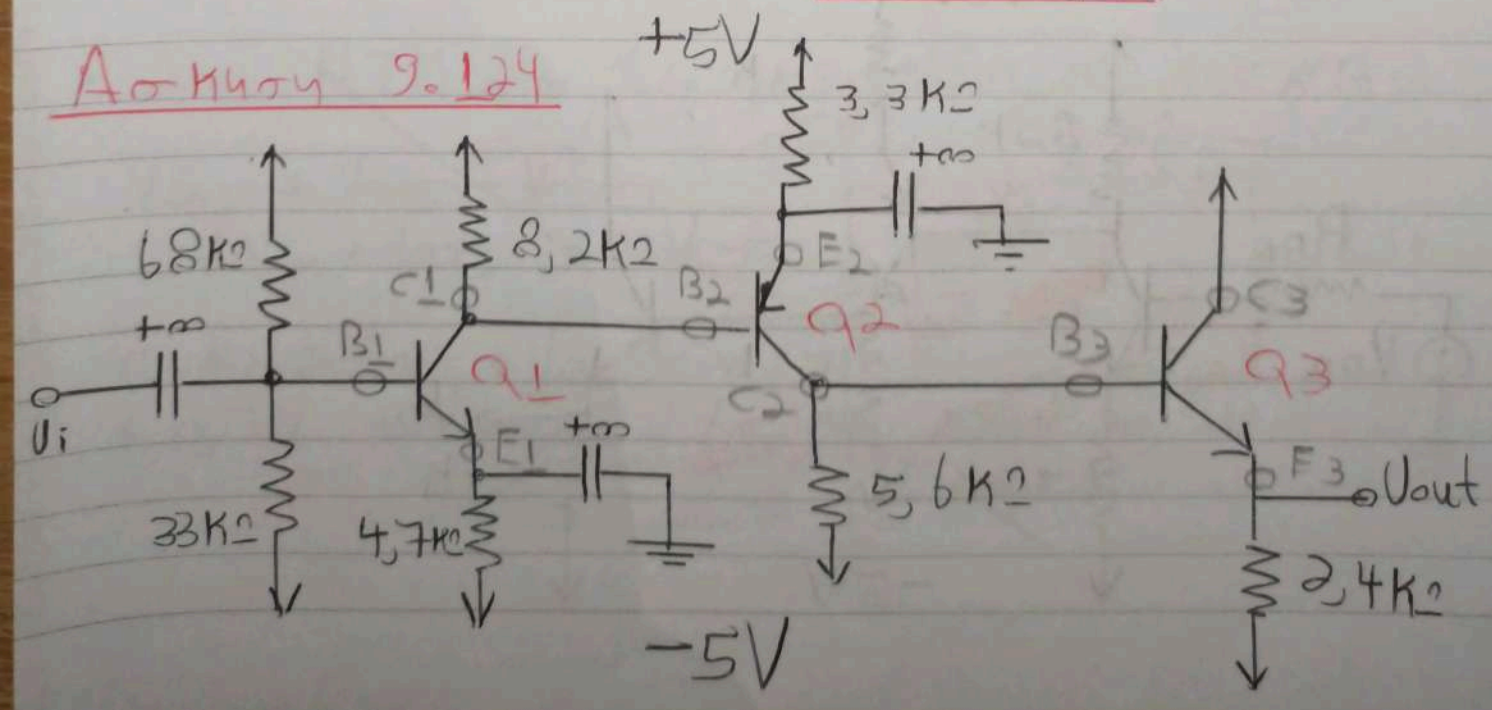
$$\boxed{\frac{V_{id}}{V_{sig}} = \frac{R_{id}}{R_{sig} + R_{id}}}$$

Άρα το συνολικό κέρδος

$$G_V = \frac{V_o}{V_{sig}} = \frac{V_{id}}{V_{sig}}\frac{V_o}{V_{id}} = \frac{V_{id}}{V_{sig}} \cdot A_d$$

$$= 0,555 \cdot 800 \Rightarrow \boxed{G_V = 444,4}$$

Άσκηση 9.124



α) DC ρεύματα πόλωσης
DC Vout
$|V_{BE}| = 0,7V$, $\beta = 100$, χωρίς Early.

DC Ανάλυση πυκνωτής (τα) ως ανοιχτό κύκλωμα

~~BBC~~

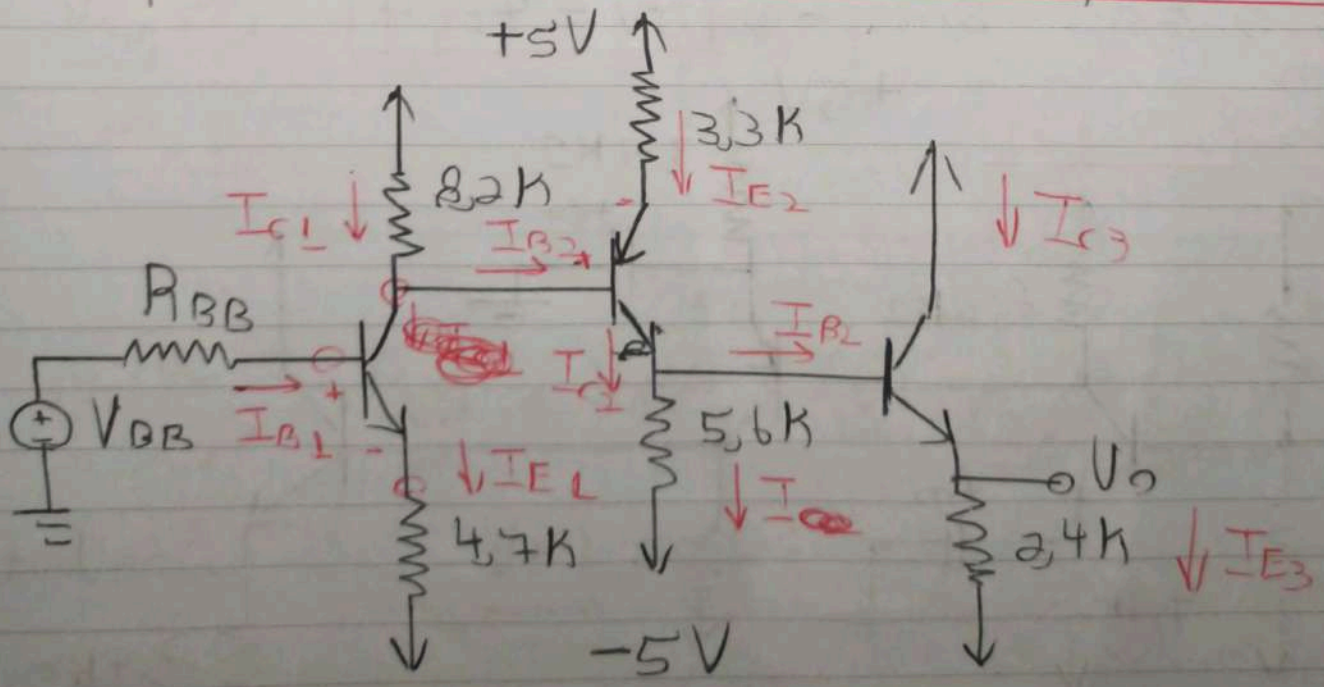
$$R_{BB} = (33K\Omega) \| (68K\Omega) = \frac{33 \cdot 68}{33+68} K\Omega \Rightarrow$$

$$\boxed{R_{BB} = 22,22K\Omega}$$

$$V_{Eq} = (V_{CC} - V_{EE}) \left(\frac{33K\Omega}{(33+68)K\Omega} \right) \Rightarrow$$

$V_{CC} = 5V$, $V_{EE} = -5V$

$$\boxed{V_{Eq} = 3,267V} \quad \boxed{V_{BB} = V_{EE} + V_{Eq} = -1,73V}$$



• Από ΝΤΚ στο πρώτο στάδιο ενισχυτή

$$V_{BB} - V_{BE} - V_{EE} = I_{B1} \cdot R_{BB} + I_{E1} \cdot 4,7K$$

$$\Rightarrow -(-1,73) + I_{B1}(22,22) + 0,7 + I_{E1}(4,7) - 5 = 0 \quad (1)$$

Ακόμη $I_{B1} = \frac{I_{E1}}{B+1}$, $B = 100$

Άρα $(1) \Rightarrow I_{E1}\left(\frac{22,22}{101} + 4,7\right) = 5 - 1,73 - 0,7$

$$\Rightarrow I_{E1}(4,92) = 2,57$$

$$\Rightarrow \boxed{I_{E1} = 0,52mA} \qquad \alpha \simeq 1 \quad \underline{I_{C1} = I_{E1}}$$

$$I_{B1} = \frac{I_{E1}}{B+1} = \frac{0,52\,mA}{101} \Rightarrow \boxed{I_{B1} = 5,15\,mA}$$

• Από ολμ $V_{CC} - V_{C1} = I_{C1} \cdot R_{C1}$

$$V_{C1} = 5 - (0,52 \cdot 10^{-3})\ 8200$$

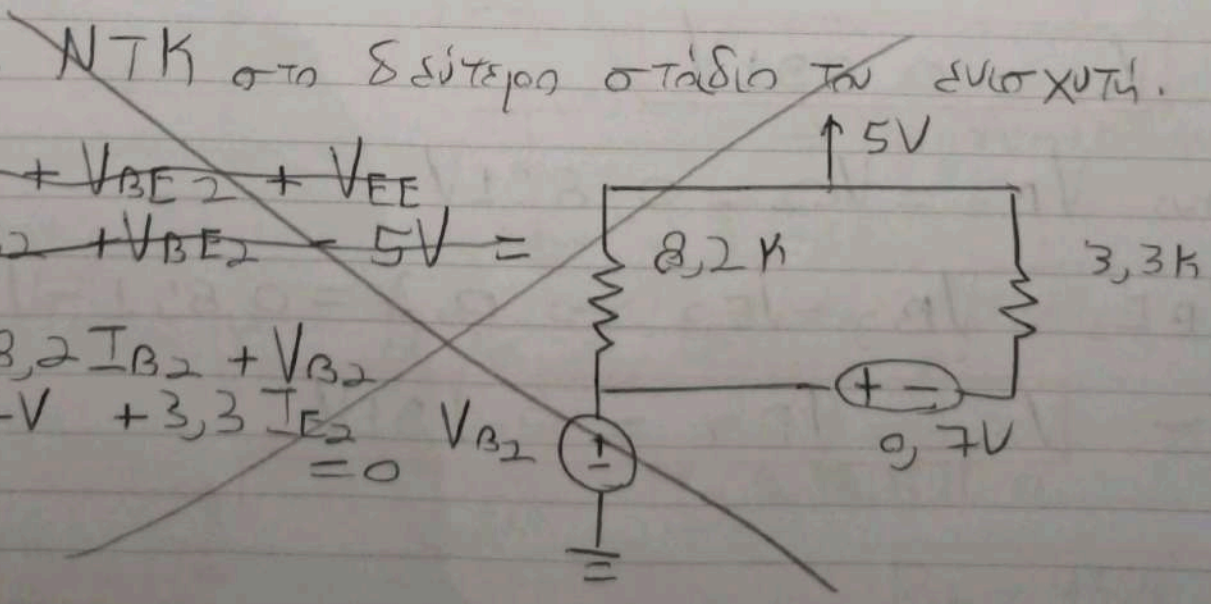
$$\Rightarrow \boxed{V_{C1} = 0,74V}, \quad V_{B2} = V_{C1}$$

• Από ΝΤΚ στο δεύτερο στάδιο του ενισχυτή.

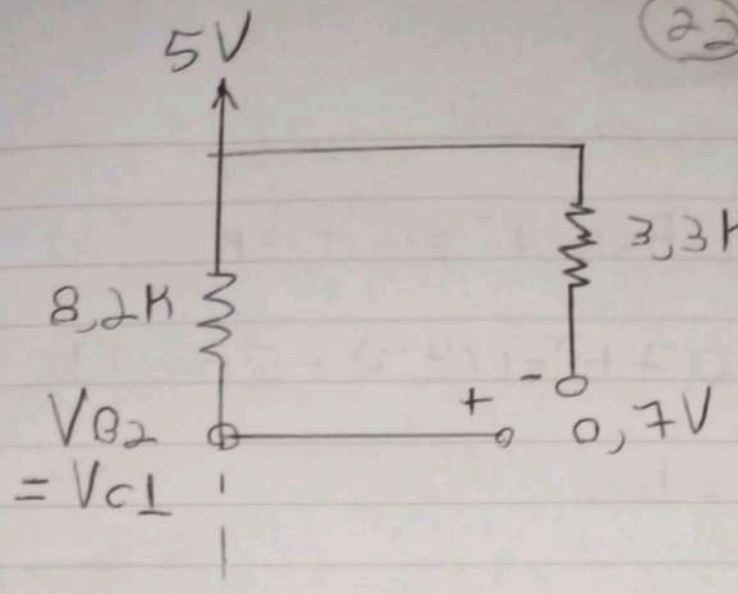
~~$V_{B1} + V_{BE2} + V_{EE}$~~

~~$V_{B2} + V_{BE2} - 5V =$~~

$$-5 + 8,2 I_{B2} + V_{B2} + 0,7V + 3,3 I_{E2} = 0$$



α



ΝΤΚ στο δεύτερο σταδιο του ενισχυτή.

- $V_{B2} = V_{C2} = 0,74V$
- $5 - V_{E2} = (3,3K)\, I_{E2}$ (ohm)
- $V_{BE2} = V_{B2} - V_{E2} = 0,7V$

$\Rightarrow$ Βρίσκω I_{E2}

$$-5 + 8,2\, I_{B2} + V_{B2} + V_{BE2} + 3,3\, I_{E2} = 0$$

$$\Leftrightarrow$$

$$-5 + 8,2 \frac{I_{E2}}{B+1} + 0,74 + 0,7 + 3,3\, I_{E2} = 0$$

$B = 100 \Rightarrow$ $\boxed{I_{E2} = 1,052\,mA}$

$$I_{B2} = \frac{I_{E2}}{B+1} = \frac{I_{E2}}{101} \Rightarrow \boxed{I_{B2} = 10,42\,mA}$$

$\alpha \simeq 1$ $\quad \underline{I_{C2} = I_{E2}}$

- Νόμο ohm $V_{C2} - (-5) = I_{C2}(5,6K)$

$$V_{C2} = 1,052 \cdot 5,6 - 5 \Leftrightarrow$$

$$\boxed{V_{C2} = 0,891V}$$

Όμως $V_{B3} = V_{C2} = 0,891V$

$$V_{BE3} = V_{B3} - V_{E3} \Leftrightarrow 0,7 = 0,891 - V_{E3}$$

$$\Rightarrow \boxed{V_{out} = V_{E3} = 0,191V}$$

από ΟΝΜ $I_{E3} = \frac{V_o - (-5)}{2,4k} = \frac{0,191 + 5}{2400} \Rightarrow$

$\boxed{I_{E3} = 2,16mA}$

$I_{B3} = \frac{I_{E3}}{B+1} = \frac{I_{E3}}{101} \Rightarrow \boxed{I_{B3} = 21,4\,\mu A}$

$\alpha \simeq 1 \rightarrow$ [illegible] $I_{C3} \simeq I_{E3}$

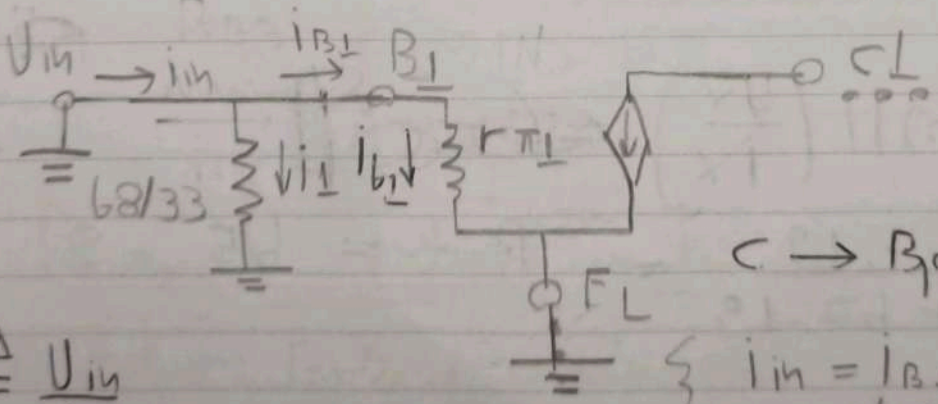
Β) R_{in}, $R_{out} = ?$

Χαρακτηριστικά π μοντέλου

$g_{m1} = \frac{I_{C1}}{V_T} = \frac{0,52 \cdot 10^{-3}}{0,52 \cdot 0,25mV} \Rightarrow g_{m1} = 20,8$

$r_{\pi 1} = \frac{\beta}{g_{m1}} \Rightarrow r_{\pi 1} = 4,81k\Omega$

AC Μοντέλο - π (Ασθενές Σήμα)



C → Βραχυκύκλωμα

$R_{in} \triangleq \frac{V_{in}}{i_{in}}$

$\begin{cases} i_{in} = i_{B1} + i_1 \\ r_{\pi 1} \,//\, (68/33) \end{cases}$

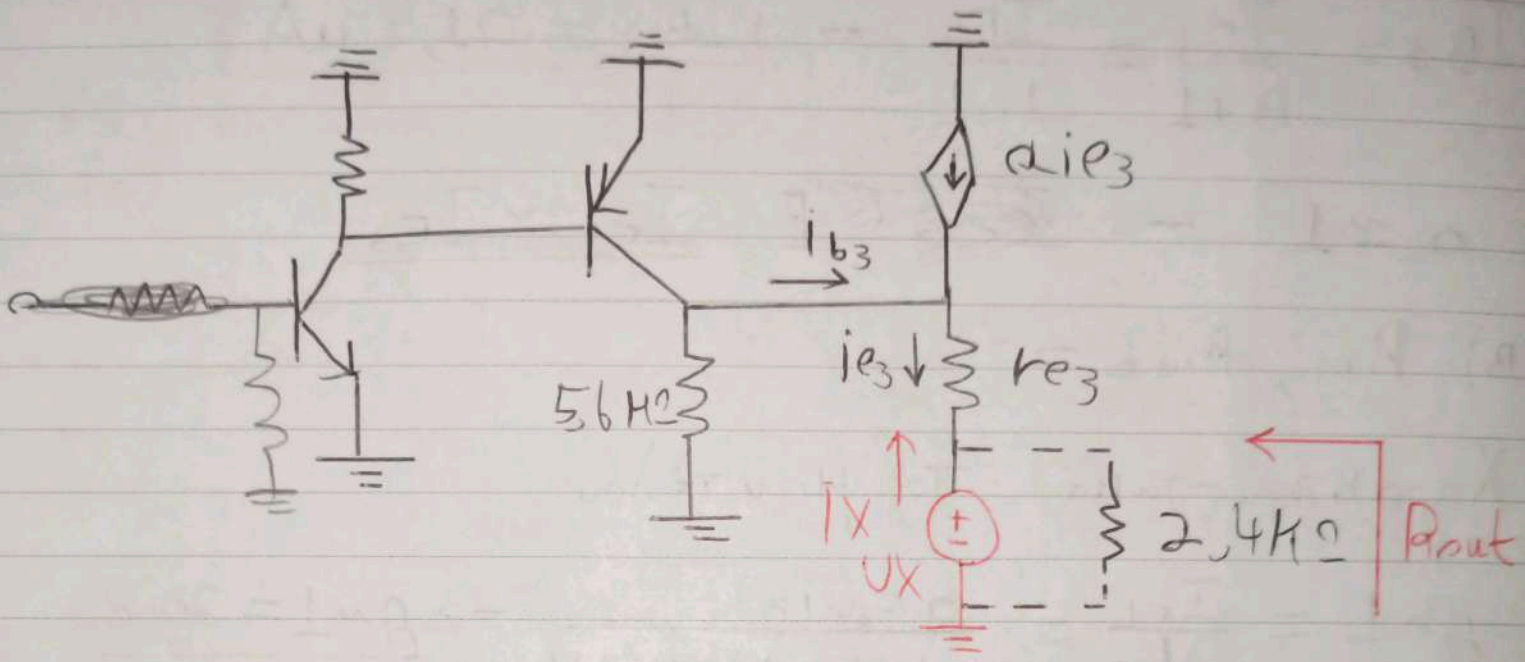
$V_{in} - V_{F_L} = i_{in}(R_{BB} + r_{\pi L})$

$V_{in} = (R_{BB} // r_{\pi L})\, i_{in} \Rightarrow R_{in} = R_{BB} // r_{\pi L}$

$= \frac{R_{BB} \cdot r_{\pi 1}}{R_{BB} + r_{\pi L}} = \frac{22,22 \cdot 4,81}{22,22 + 4,81} \rightarrow \boxed{R_{in} = 4k\Omega}$

Χαρακτηριστικά Τ-μοντέλου

$$r_{e_3} = \frac{V_T}{I_{E_3}} = \frac{25mV}{2,16mA} \Rightarrow \underline{r_{e_3} = 11,57\Omega}$$



$$i_X = -i_{e_3}$$

$$U_X = i_X \cdot r_{e_3} - i_{B_3} \cdot 5,6K \Rightarrow$$

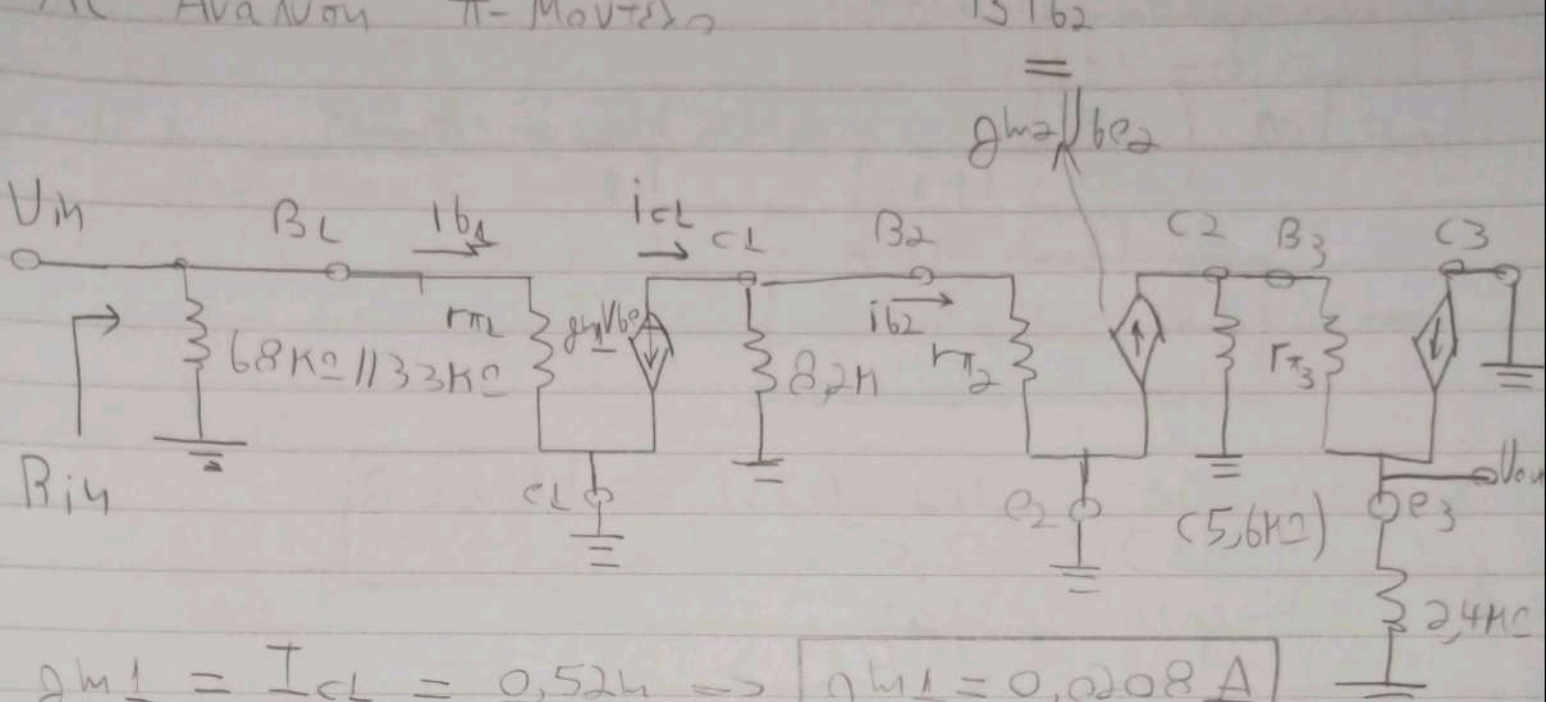
$$i_{B_3} = \frac{i_{e_3}}{B+1}$$

$$\cdot \frac{U_X}{i_X} = r_{e_3} + \frac{560}{B+1} = 67,019$$

$$R_{out} = (2400) \,||\, \left(\frac{U_X}{i_X}\right)$$

$$= \frac{2400 \cdot 67,19}{2400 + 67,19} \Rightarrow \boxed{R_{out} = 65,2\Omega}$$

Ac Ανάλυση π-Μοντέλο



$$g_{m1} = \frac{I_{c1}}{V_T} = \frac{0,52m}{25m} \Rightarrow \boxed{g_{m1} = 0,0208 \frac{A}{V}}$$

$$r_{\pi 2} = \frac{\beta V_T}{I_{c2}} = \frac{100 \cdot 25mV}{1,052 \cdot 10^{-3}} \Rightarrow \boxed{r_{\pi 2} = 2,38k\Omega}$$

$V_{in} = R_{in} \cdot i_{b1}$

$V_{out} = 2400\, i_{e3} \Rightarrow \boxed{\frac{V_{out}}{i_{e3}} = 2400}$

Από ορισμό $\boxed{\frac{i_{c1}}{V_{in}} = g_{m1} = 0,0208}$

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \left(\frac{V_o}{i_{e3}}\right)\left(\frac{i_{c1}}{V_{in}}\right)\left(\frac{i_{e3}}{i_{c1}}\right)$$

Γνωρίζουμε Γνωρίζουμε αναζητούμε

$$\frac{i_{e3}}{i_{c1}} = \frac{i_{b2}}{i_{c1}} \times \frac{i_{c2}}{i_{b2}} \times \frac{i_{b3}}{i_{c2}} \times \frac{i_{e3}}{i_{b3}}$$

(Μέθοδος Κέρδους Ρεύματος)

• Από Διαίρεση ρεύματος

$$i_{b2} = i_{c1}\left(\frac{8,2}{8,2 + r_{\pi 2}}\right) \Rightarrow \frac{i_{b2}}{i_{c1}} = \frac{8,2k}{8,2k + 2,3k}$$

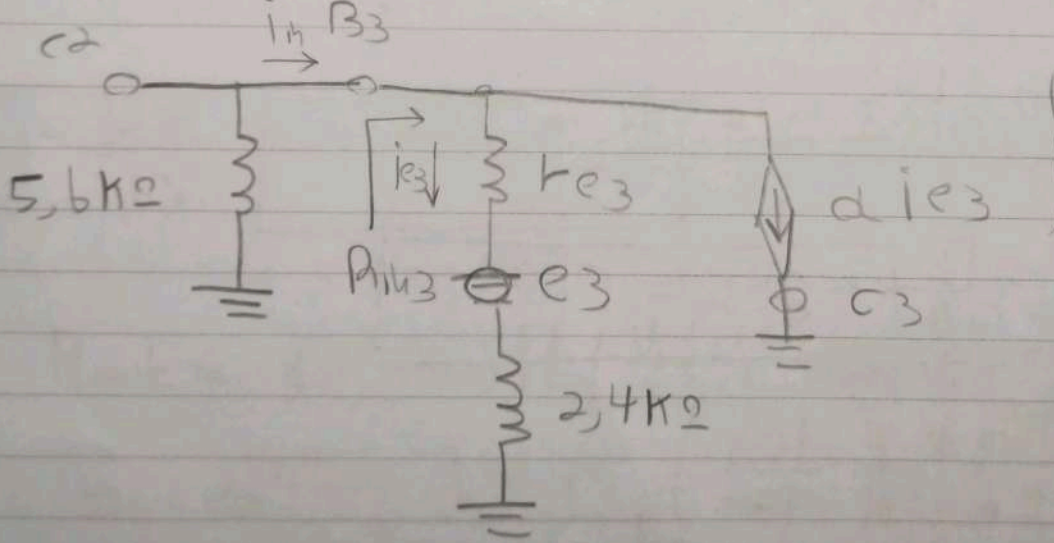
$$\rightarrow \boxed{\frac{i_{b2}}{i_{cL}} = 0,778}$$

• Από ορισμό $i_{c2} = \beta i_{b2} \rightarrow \boxed{\frac{i_{c2}}{i_{b2}} = \beta}$

• Από Διαίρεση ρεύματος

$$\rightarrow i_{b3} = \frac{5600}{5600 + R_{IN3}} i_{c2}$$

$R_{IN3} = ?$, $r_{\pi 3} = 11,57\,\Omega$, όπως βρήκαμε πριν



$$r_{e1} = \frac{V_T}{I_{EL}} = \frac{25mV}{0,50mA} \rightarrow \boxed{r_{e1} = 48,07\Omega}$$

$$R_{IN3} = \frac{V_{IN3}}{i_{IN3}} = \frac{V_{B3}}{i_{B3}} = \frac{(r_{e3} + 2,4k)\, i_{e3}}{\frac{i_{e3}}{\beta + 1}} = (\beta + 1)(r_{e3} + 2,4k)$$

$$\boxed{R_{IN3} = (\beta + 1)(r_{e3} + 2,4k)}$$

$$\frac{i_{b3}}{i_{c2}} = \frac{5600}{5600 + 101 \cdot 2448} \rightarrow \boxed{\frac{i_{b3}}{i_{c2}} = 0,0221}$$

Τέλος λόγω ορισμού $\boxed{\frac{i_{e3}}{i_{b3}} = \beta + 1 = 101}$

Συνολικά

$$\frac{i_{e3}}{i_{c1}} = (0,778)(100)(0,0221)(101)$$

$$\rightarrow \boxed{\frac{i_{e3}}{i_{c1}} = 173,657} \quad (1)$$

Ακόμη από ολίμ έχουμε $\boxed{\frac{V_o}{i_{e3}} = 2400}$ (2)

$V_{IM} = V_{B1} = V_{\pi 1} = V_{be1}$

όμως $i_{c1} = g_{m1} V_{be1}$ ⇐

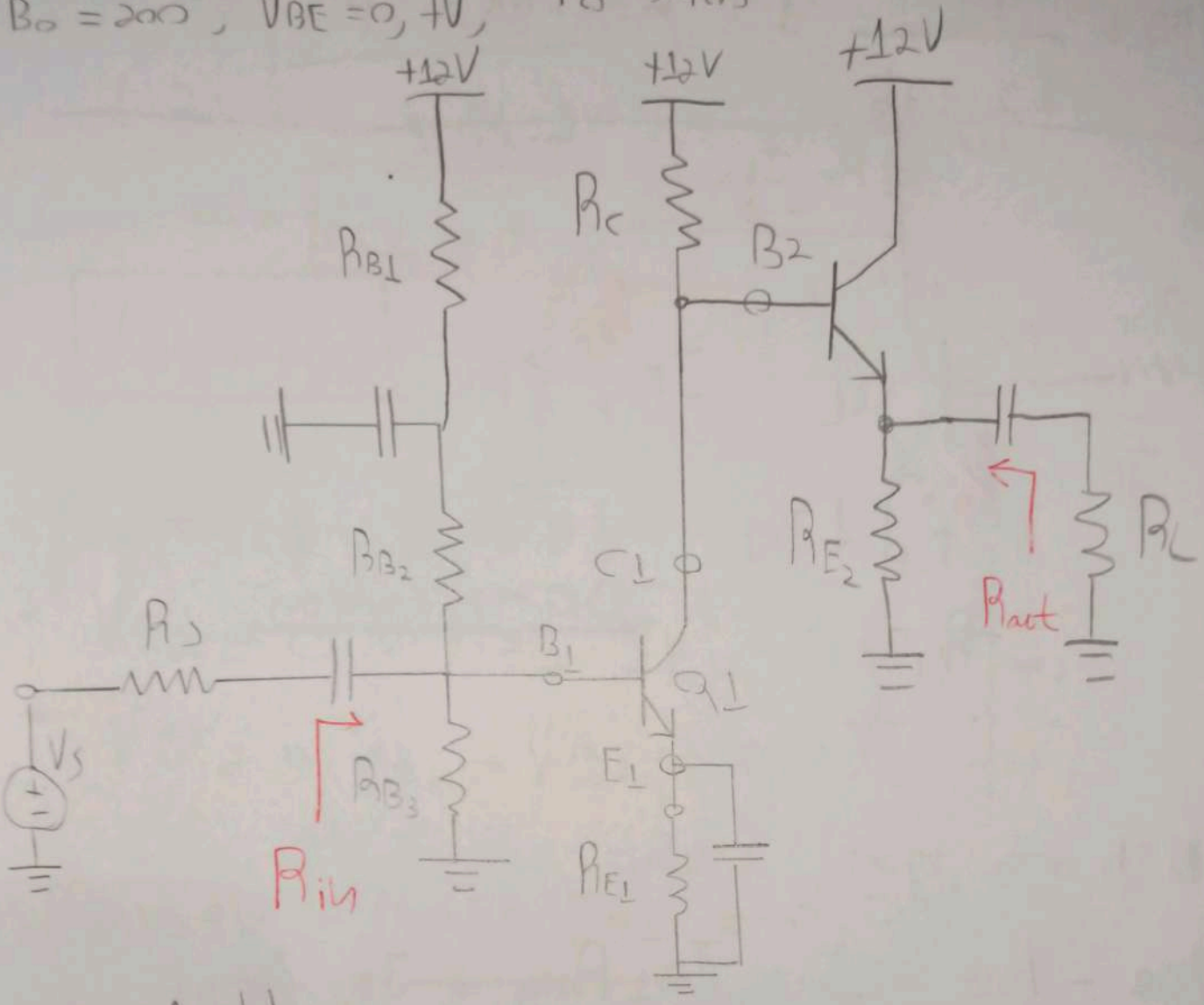
Άρα $\boxed{\frac{i_{c1}}{V_{IM}} = g_{m1} = 0,0208}$ (3)

Τελικά το Κέρδος

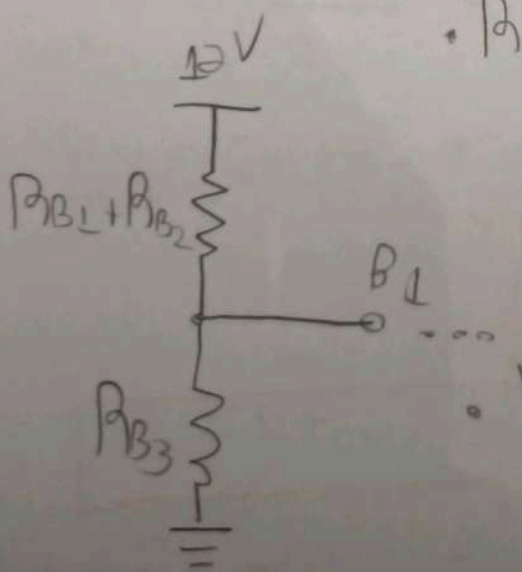
$$\frac{V_o}{V_{IM}} = \frac{i_{c1}}{V_{IM}} \cdot \frac{i_{e3}}{i_{c1}} \cdot \frac{V_o}{i_{e3}} \Rightarrow \boxed{\frac{V_o}{V_{IM}} = 868,957}$$

Άσκηση 7

$B_o = 200$, $V_{BE} = 0,7V$, $r_o \to \infty$



DC Ανάλυση: Μηδενίζω AC πηγές + πυκνωτές ανοίκτο κύκλωμα.



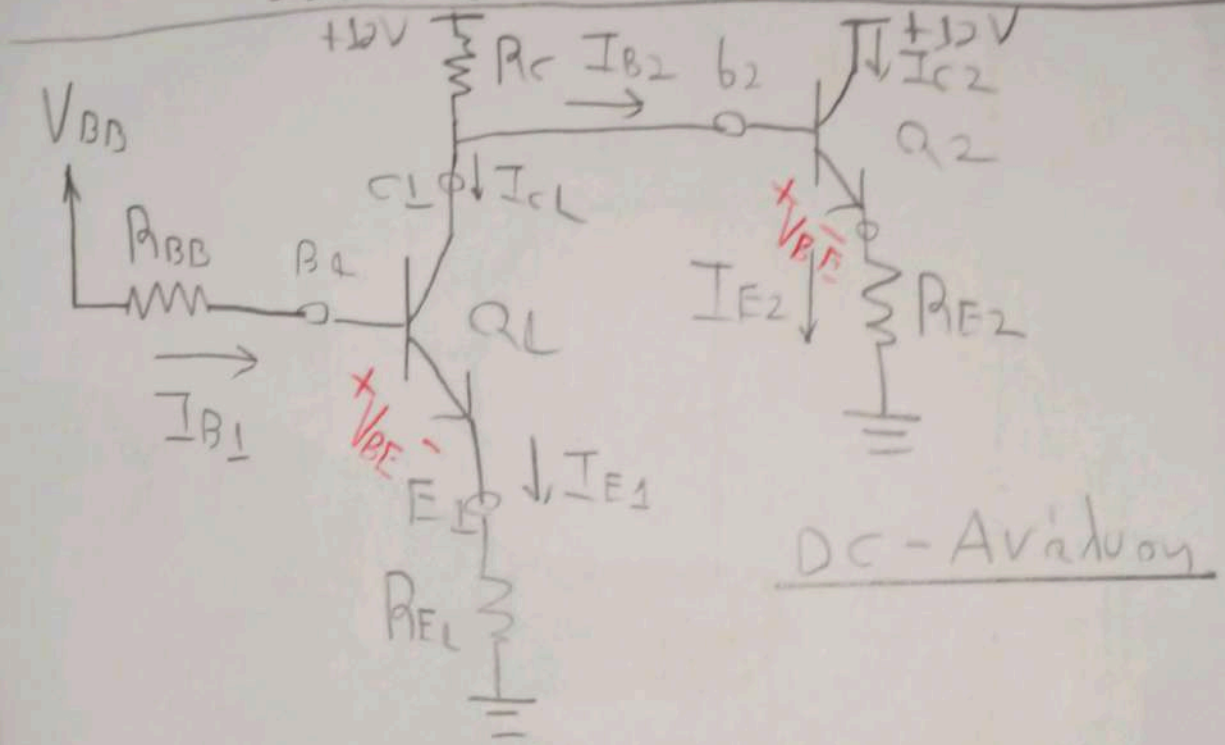
$$\cdot R_{BB} = (R_{B1} + R_{B2}) \,||\, R_{B3}$$

$$= (36K) \,||\, (12K)$$

$$\to \boxed{R_{BB} = 9K\Omega}$$

$$\cdot V_{BB} = \frac{R_{B3}}{R_{B3} + (R_{B1} + R_{B2})} \cdot V_{CC}$$

$$V_{BB} = \frac{12}{12+36}\,12 \rightarrow \boxed{V_{BB} = 3\,V}$$



DC - Ανάλυση

- ΝΤΚ στο πρώτο βρόχο

$$V_{BB} - V_{BE} - 0 = I_{B1} R_{BB} + I_{E1} \cdot R_{E1} \Big| \rightarrow$$

Με $I_{B1} = \frac{I_{E1}}{B+1}$

$$3V - 0,7V = \frac{I_{E1}}{201} \cdot 9K\Omega + I_{E1} \cdot 2,3K\Omega$$

$$\Rightarrow \boxed{I_{E1} = 0,98\,mA}$$

$$I_{B1} = \frac{I_{E1}}{B+1} \rightarrow \boxed{I_{B1} = 0,00487\,mA}$$

$\alpha = 0,995 \simeq 1 \rightarrow I_{C1} = \alpha I_{E1} = I_{E1}$

- $V_{cc} - V_{c1} = I_{c1} \cdot R_{c1}$

$12 - V_{c1} = 0,98mA \cdot 4k\Omega$

$\rightarrow \boxed{V_{c1} = 8,08V}$

$\boxed{V_{B2} \equiv V_{c1}}$

- $V_{B2} = V_{c1} = 8,08V$
- $V_{E2} - 0 = R_{E2} \cdot I_{E2}$ (ohm) $\rightarrow$
- $V_{BE2} = V_{B2} - V_{E2} = 0,7V$

$8,08V - 1,8k\Omega \; I_{E2} = 0,7V$

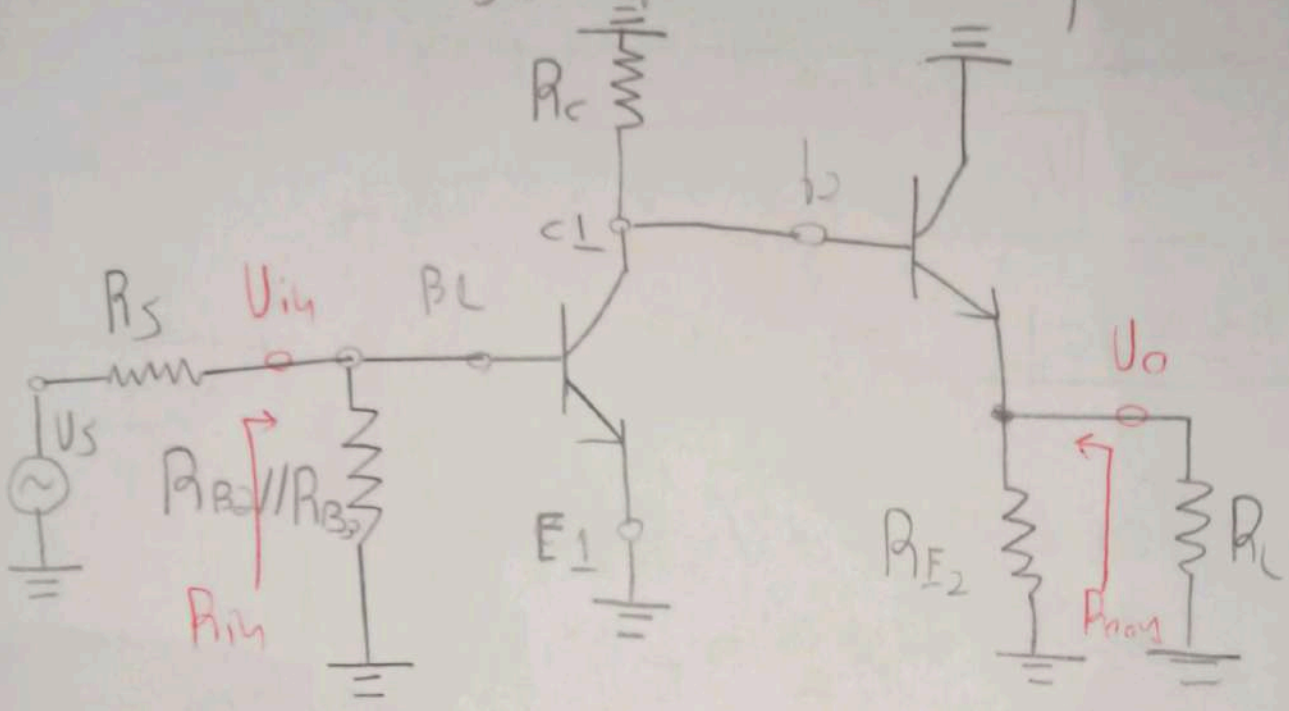
$\boxed{I_{E2} = 4,1mA}$

$I_{B2} = \frac{I_{E2}}{B+1} = \frac{4,1mA}{201} \rightarrow \boxed{I_{B2} = 0,0204mA}$

$\alpha \simeq 1 \quad \underline{I_{c2} \simeq I_{E2}}$

AC Ανάλυση πυκνωτές ⟶ βραχυκύκλωμα

DC πηγές τάσης ⟶ βραχυκύκλωμα

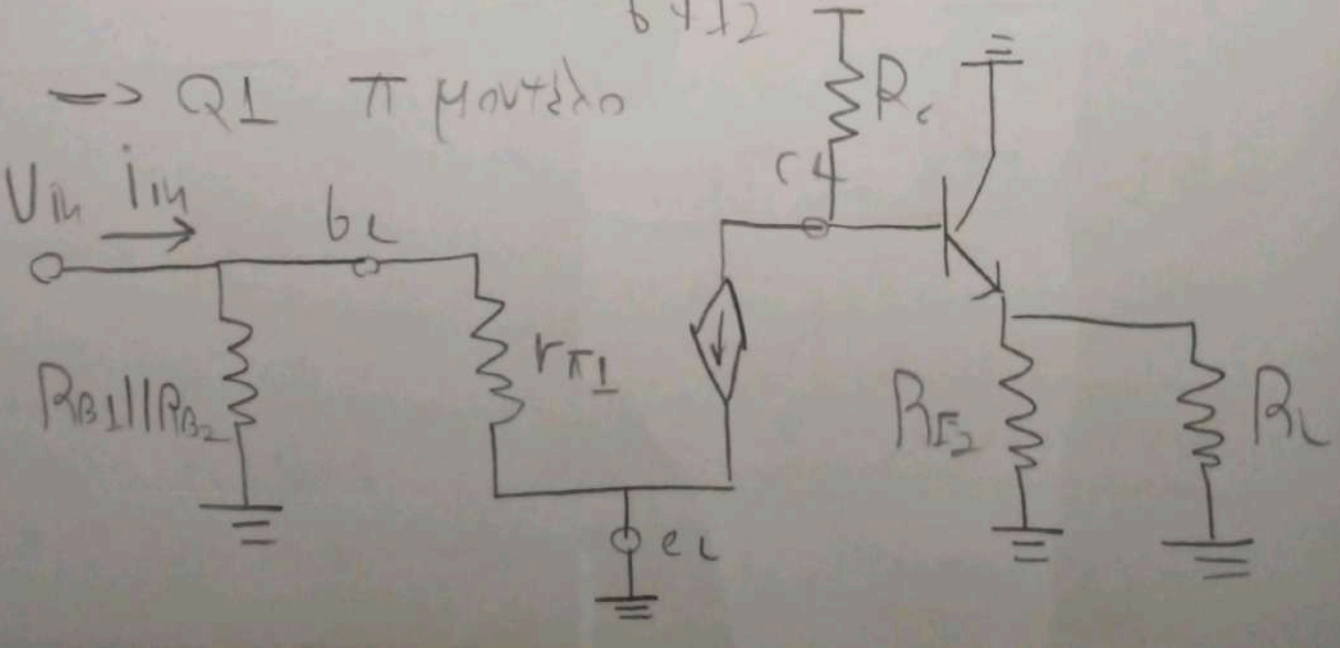


B) Αντίσταση εισόδου Rin

$$r_{\pi 1} = \frac{V_T}{I_{B1}} = \frac{25mV}{0,0487mA} \rightarrow r_{\pi 1} = 5,1K\Omega$$

$$R_{B2} \| R_{B3} = \frac{6 \cdot 12}{6+12} K\Omega = 4K\Omega$$

⟶ Q1 π μοντέλο

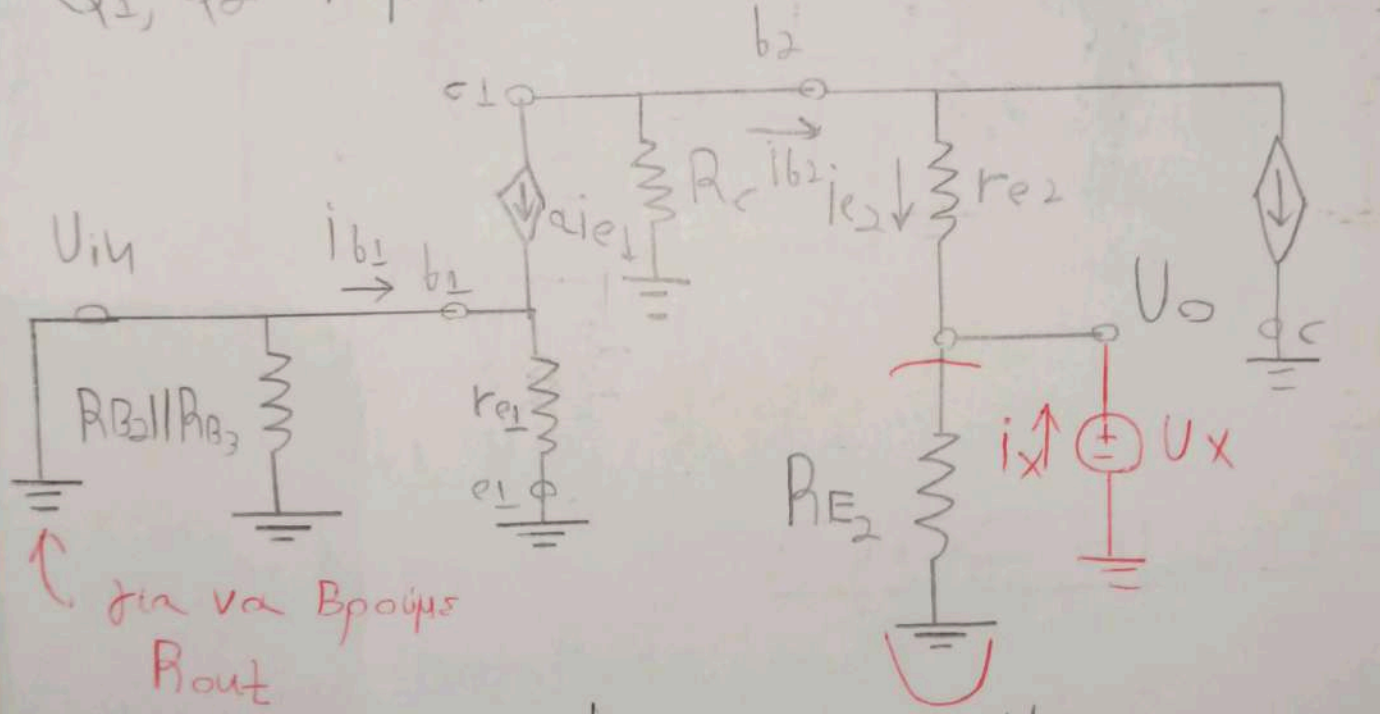


$R_{in} \triangleq \frac{V_{in}}{i_{in}} \rightarrow R_{in} = (R_{B1} || R_{B2}) || r_{\pi 1}$

$\rightarrow R_{in} = \frac{5.1 \cdot 4}{5.1 + 4}\ K\Omega \rightarrow \boxed{R_{in} = 2{,}24\ K\Omega}$

δ) Αντίσταση Εξόδου $R_{out} = \left(\frac{V_X}{i_X}\right) || (R_{E2})$

• Q1, Q2 T μοντέλο



$i_X = -i_{e2}$
$i_{e2} = i_{b2}(\beta + 1)$ | (1) , $r_{e2} = \frac{V_T}{I_{E2}} = \frac{25}{4{,}1}\Omega = 6{,}1\Omega$

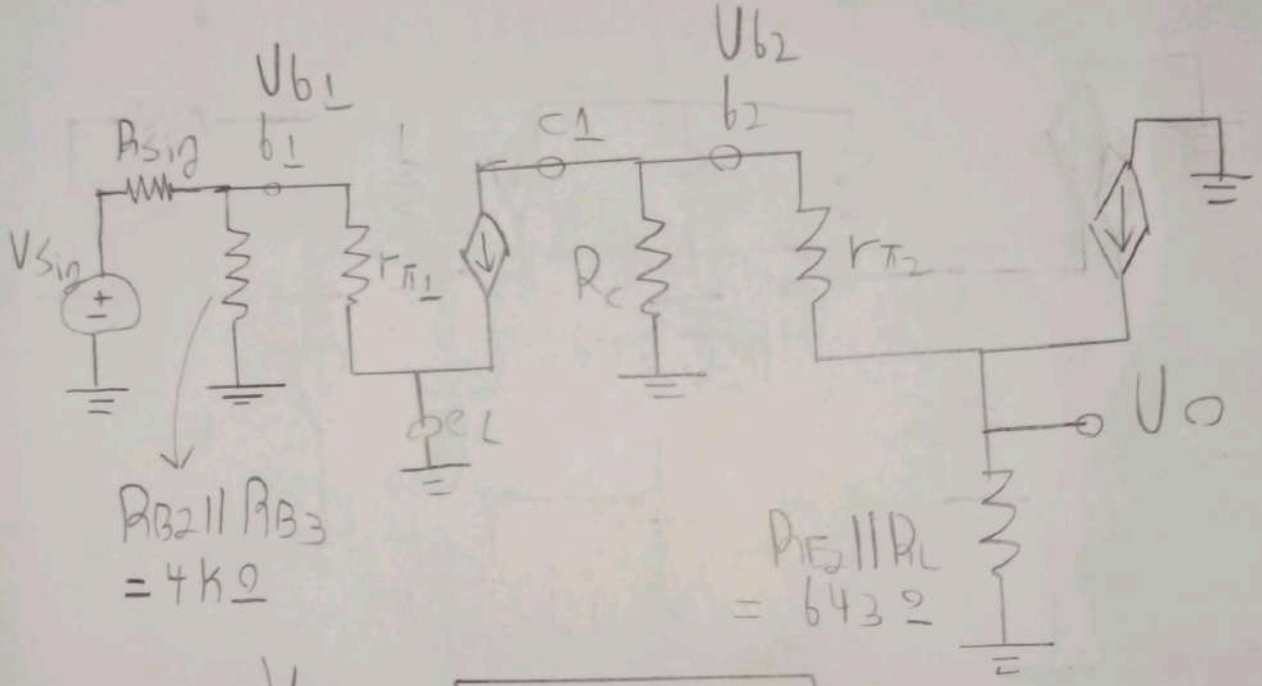
$V_X = -i_{e2} r_{e2} - i_{b2} R_c = -i_{e2}\left(r_{e2} + \frac{R_c}{\beta+1}\right)$

$\rightarrow \frac{V_X}{i_X} = r_{e2} + \frac{R_c}{\beta+1} \cong \frac{r_{\pi 2}}{\beta+1} + \frac{R_c}{\beta+1} = 26\Omega$

$R_{out} = (R_{E2}) || \left(r_{e2} + \frac{R_c}{\beta+1}\right)$

$$R_{out} = \frac{4000 \cdot 26}{4000 + 26} \rightarrow \boxed{R_{out} = 25,83\,\Omega}$$

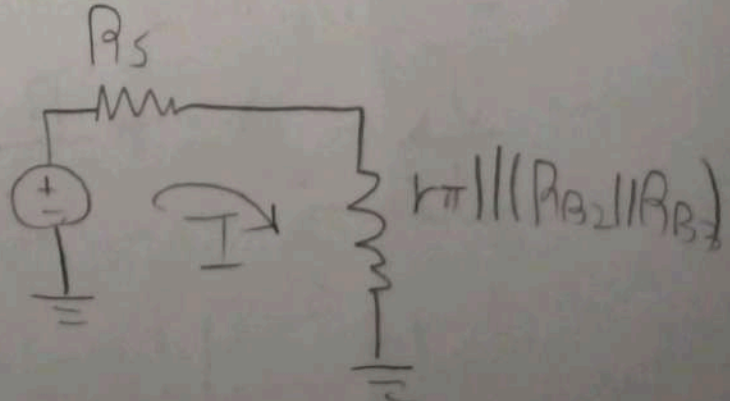
a) Κέρδος τάσης Ενισχυτή



$$r_{\pi 1} = \frac{V_T}{I_{B1}} \rightarrow \boxed{r_{\pi 1} = 5,1k\Omega}$$

$$\circ \frac{V_S}{V_{b1}} = \frac{R_S + (r_\pi) \,||\, (R_{B2} || R_{B3})}{r_\pi \,||\, (R_{B2} || R_{B3})} = \frac{1k\Omega + 5,1k \,||\, 4k}{(5,1 \,||\, 4)k}$$

$$\boxed{\frac{V_{sig}}{V_{b1}} = 1,446}$$



(+)

$$V_{b2} - V_o = r_{\pi 2}\, i_{b2}$$
$$V_o = (R_{E2} \| R_L)\, i_{e2}$$
$$i_{e2} = (\beta+1)\, i_{b2}$$

$r_{\pi 2} = 1225\,\Omega$

$R_{E2} \| R_L = 600\,\Omega$

$\beta = 200$

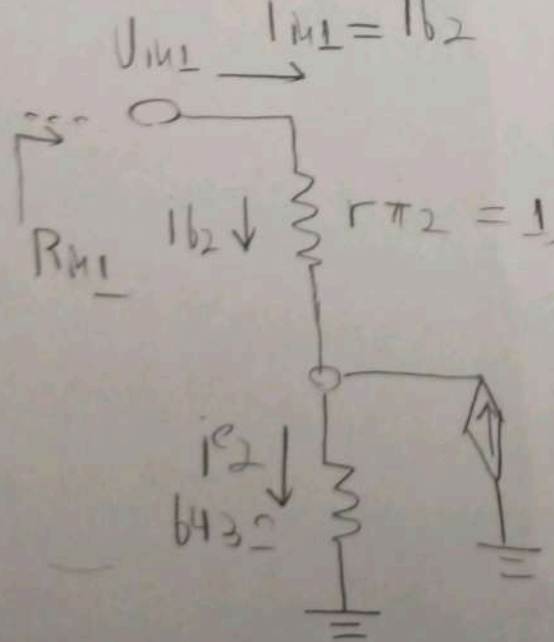
$$\frac{V_{b2}}{V_o} = 1 + \frac{r_{\pi 2}}{(\beta+1)(R_{E2} \| R_L)}$$

$$\boxed{\frac{V_{b2}}{V_o} = 1{,}0054}$$

Λειτουργεί ως Buffer

$$\frac{V_s}{V_o} = \frac{V_s}{V_{b1}} \frac{V_{b2}}{V_o} \frac{V_{b1}}{V_{b2}}$$

μένει λοιπόν να βρούμε $\frac{V_{b1}}{V_{b2}}$



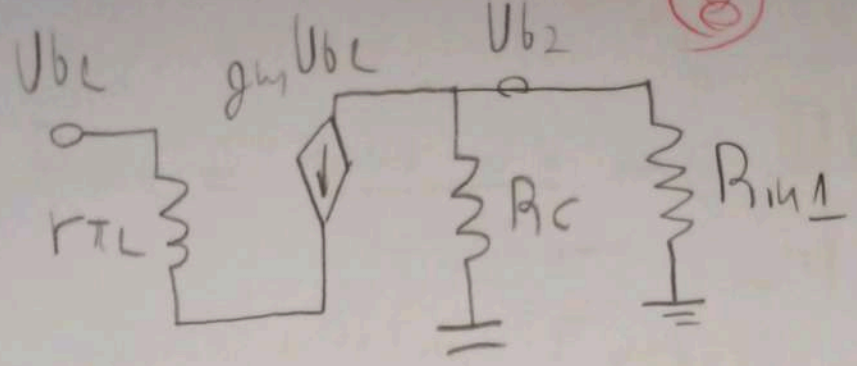
$$R_{M1} = \frac{V_{M1}}{I_{M1}}$$

$$R_{M_1} = r_{\pi 2} + (\beta+1)(R_L \| R_{E2})$$

$$i_{e2} = (\beta+1)\, i_{b2}$$

$$\rightarrow \boxed{R_{M_1} = 130\,K\Omega}$$

(8)



$$V_{b2} = -g_{m1} V_{b1} (R_c \| R_{IN1}) \rightarrow$$

$$\frac{V_{b1}}{V_{b2}} = \frac{-1}{g_{m1}(R_c \| R_{IN1})} \quad \Rightarrow g_{m1} = \frac{I_{C1}}{V_T} = \frac{0,98}{25}$$

$$\rightarrow g_{m1} = 0,039$$

$$\boxed{\frac{V_{b1}}{V_{b2}} = -0,0066}$$

Ο ΠΟΤΕ

$$\frac{V_S}{V_o} = \frac{V_S}{V_{b1}} \cdot \frac{V_{b2}}{V_o} \cdot \frac{V_{b1}}{V_{b2}} = -\frac{1}{103,8}$$

$$\boxed{\frac{V_o}{V_S} = -103,8}$$