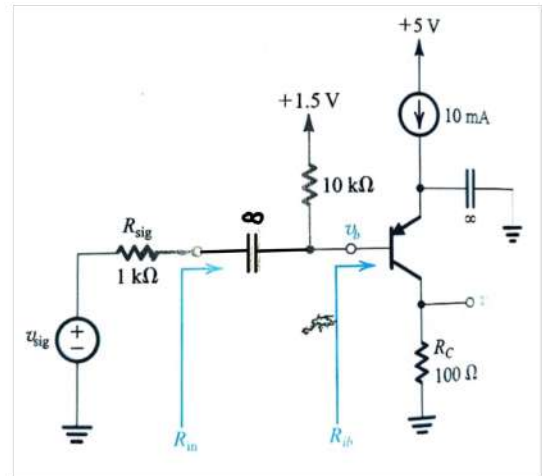
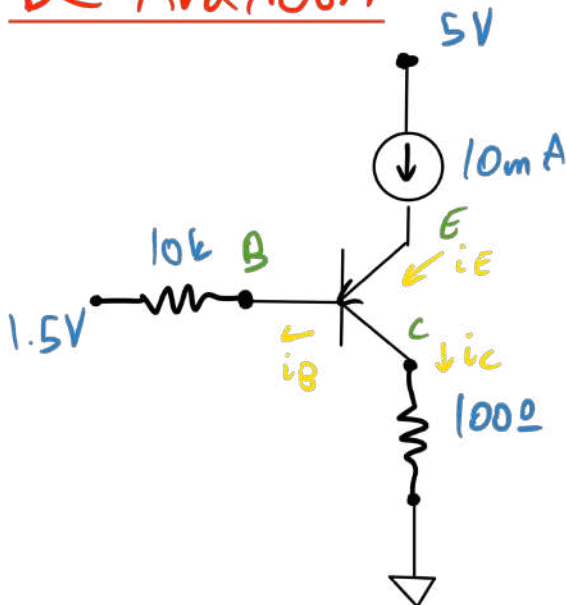


## Άσκηση 1: Πρόβλημα 7.54

**7.54** Στο κύκλωμα του Σχ. Π7.54, το τρανζίστορ έχει  $\beta$  ίσο με 200. Πόση είναι η DC τάση στον συλλέκτη; Αντικαθιστώντας το BJT με μία από τις εκδοχές του υβριδικού-π μοντέλου (και παραβλέποντας την  $r_o$ ), σχεδιάστε το ισοδύναμο κύκλωμα του ενισχυτή. Βρείτε τις αντιστάσεις εισόδου,  $R_{ib}$  και  $R_{in}$ , καθώς και το συνολικό κέρδος τάσης ( $v_o/v_{sig}$ ). Για σήμα εξόδου ίσο με  $\pm 0.4$  V, ποιες τιμές πρέπει να έχουν τα  $v_{sig}$  και  $v_b$ ;



## DC Ανάλυση



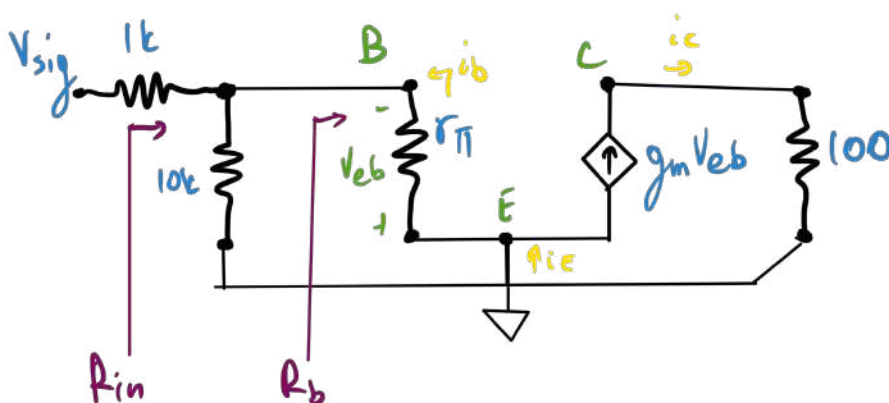
$$i_E = 10 \text{ mA} \Rightarrow i_C \frac{\beta + 1}{\beta} = 10 \text{ mA} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow i_C = \frac{2000}{201} \text{ mA} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{V_C - 0}{100} = \frac{2}{201} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_C = \frac{200}{201} \Rightarrow V_C \approx 0,995 \text{ V}$$

## AC Ανάλυση



$$g_m = \frac{I_C}{V_T} = \frac{V_C}{V_T \cdot R_C} = \frac{0,995}{25 \cdot 10^{-3} \cdot 100} = \approx 0,398$$

- $R_b = r_{\pi} = \frac{\beta}{g_m} \approx \frac{200}{0,398} \Rightarrow R_b \approx 502,5125 \Omega$

- $R_{in} = 10k // r_{\pi} = \frac{10k \cdot r_{\pi}}{10k + r_{\pi}} \Rightarrow R_{in} \approx 478,4688 \Omega$

- $V_o = -g_m V_{eb} \cdot 100 \stackrel{V_{eb} = V_{in}}{=} -g_m V_{in} \cdot 100 =$   
 $= -g_m \frac{R_{in}}{R_{in} + R_{sig}} V_{sig} \cdot 100 \Rightarrow \frac{V_o}{V_{sig}} \approx -11,9093$

- $V_o = -g_m V_{eb} \cdot 100 \stackrel{V_{eb} = V_{in} = -V_b}{=} g_m V_b \cdot 100 \Rightarrow V_b = \frac{V_o}{39,8}$

$\rightarrow A_v V_o = \pm 0,9V :$

$$V_b \approx \pm 0,0100$$

$$V_{sig} \approx \pm 0,0335$$

## Άσκηση 2: Πρόβλημα 7.62

**7.62** Στο Σχ. Π7.62 απεικονίζεται ένα εναλλακτικό ισόδυναμο κύκλωμα για έναν ενισχυτή ο οποίος τροφοδοτείται από πηγή σήματος ( $v_{sig}$ ,  $R_{sig}$ ) και συνδέεται σε φορτίο  $R_L$ . Το  $G_{vo}$  είναι το συνολικό κέρδος τάσης ανοικτού κυκλώματος,

$$G_{vo} = \left. \frac{v_o}{v_{sig}} \right|_{R_L = \infty}$$

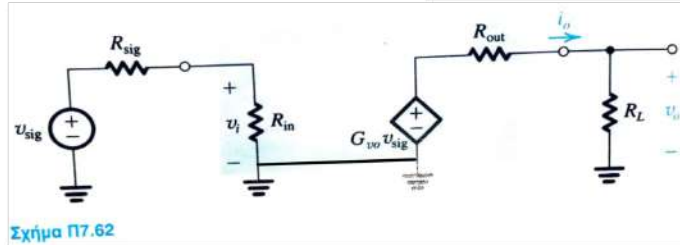
και η  $R_{out}$  είναι η αντίσταση εξόδου με μηδενισμένο το  $v_{sig}$ . Η αντίσταση αυτή είναι διαφορετική από την  $R_o$ . Δείξτε ότι

$$G_{vo} = \frac{R_i}{R_i + R_{sig}} A_{vo}$$

όπου  $R_i = R_{in}|_{R_L = \infty}$ .

Επίσης, δείξτε ότι το συνολικό κέρδος τάσης είναι

$$G_v = G_{vo} \frac{R_L}{R_L + R_{out}}$$



Για  $R_L \rightarrow \infty$ :

$$\begin{aligned} \bullet \quad V_i &= \frac{R_i}{R_i + R_{sig}} V_{sig} \Rightarrow \frac{V_i}{V_{sig}} = \frac{R_i}{R_i + R_{sig}} \\ \bullet \quad A_{vo} &= \frac{V_o}{V_i} \end{aligned} \quad \left. \begin{array}{l} \Rightarrow \\ \Rightarrow \end{array} \right\} \Rightarrow \quad (\cdot)$$

$$\Rightarrow \frac{V_o}{V_{sig}} = G_{vo} = \frac{R_i}{R_i + R_{sig}} A_{vo}$$

$$\begin{aligned} \bullet \quad V_o &= \frac{R_L}{R_L + R_{out}} V_i \Rightarrow \frac{V_o}{V_i} = \frac{R_L}{R_L + R_{out}} \\ \bullet \quad G_{vo} &= \frac{V_i}{V_{sig}} \end{aligned} \quad \left. \begin{array}{l} \Rightarrow \\ \Rightarrow \end{array} \right\} \Rightarrow \quad (\cdot)$$

$$\frac{V_o}{V_{sig}} = G_v = G_{vo} \frac{R_L}{R_L + R_{out}}$$

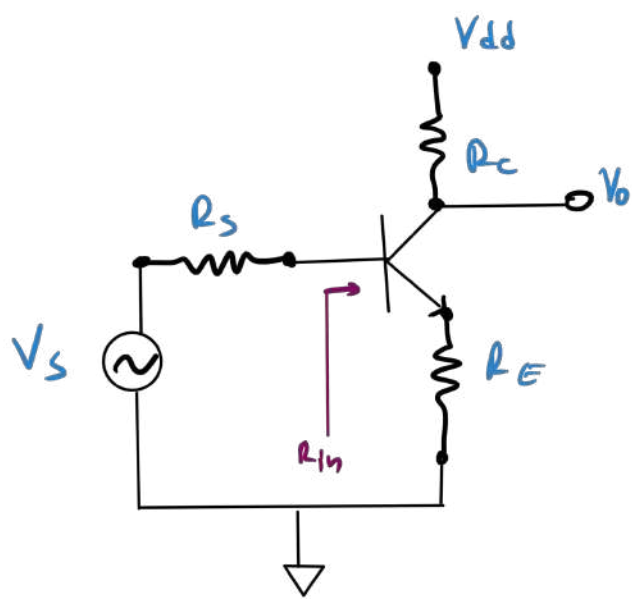
### Άσκηση 3: Πρόβλημα 7.75

**Σ7.75** Σχεδιάστε έναν ενισχυτή CE με αντίσταση  $R_e$  στον εκπομπό, έτσι ώστε να καλύπτει τις ακόλουθες προδιαγραφές:

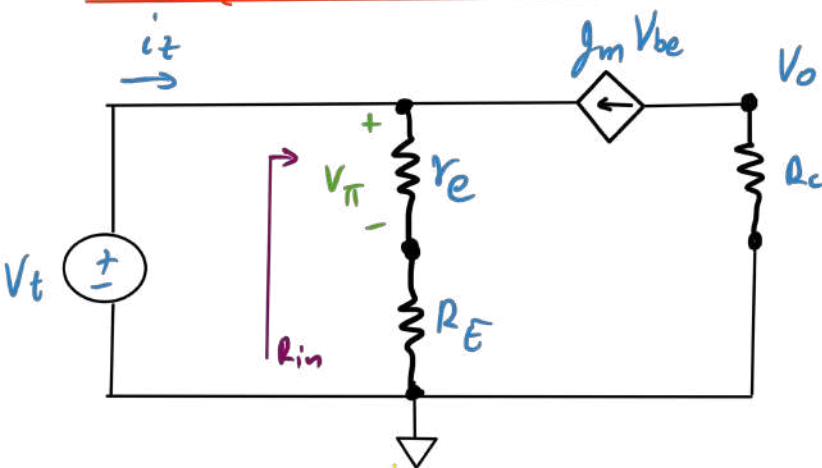
1. Αντίσταση εισόδου  $R_{in} = 15 \text{ k}\Omega$ .

2. Αν τροφοδοτείται από πηγή σήματος μέγιστου πλάτους  $0.15 \text{ V}$  με αντίσταση πηγής  $30 \text{ k}\Omega$ , το μέγιστο πλάτος του  $v_o$  πρέπει να είναι  $5 \text{ mV}$ .

3. Βρείτε την  $R_e$  και το ρεύμα πόλωσης,  $I_C$ . Το BJT έχει  $\beta = 74$ . Εάν η συνολική αντίσταση στον συλλέκτη είναι  $6 \text{ k}\Omega$ , βρείτε το συνολικό κέρδος τάσης  $G_v$ , και το μέγιστο πλάτος του σήματος εξόδου,  $v_o$ .



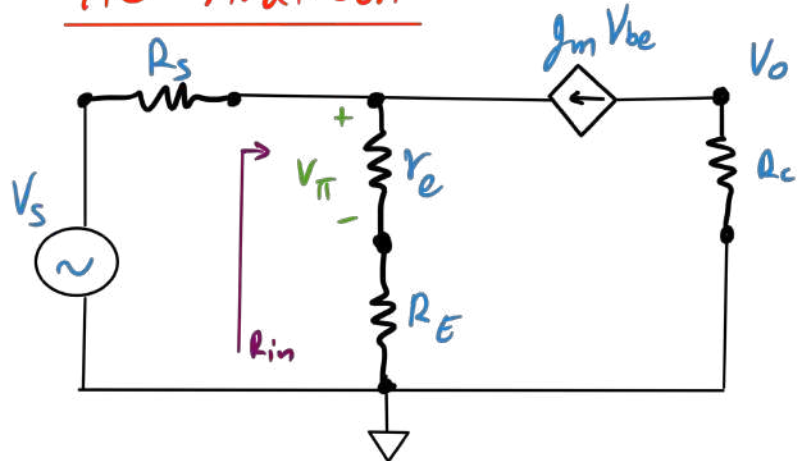
### Δοκιμαστική $V_t$



$$\begin{aligned} R_{in} &= \frac{V_t}{i_t} = \frac{V_{be}}{i_b} = \\ &= \frac{i_e (r_e + R_E)}{\frac{i_e}{\beta + 1}} = \\ &= (\beta + 1) (r_e + R_E) \Rightarrow \end{aligned}$$

$$\Rightarrow r_e + R_E = \frac{R_{in}}{\beta + 1}$$

### AC Analysis



$$\begin{aligned} V_b &= \frac{R_{in}}{R_{in} + R_s} V_s \quad (1) \\ V_s - i_b R_s - V_{be} &= 0 \Rightarrow \\ \Rightarrow V_s - i_b R_s - V_b &= 0 \Rightarrow \\ (1) \Rightarrow V_s \left( 1 - \frac{R_{in}}{R_{in} + R_s} \right) - i_b R_s &= 0 \Rightarrow \end{aligned}$$

$$\Rightarrow V_s \frac{R_s}{R_{in} + R_s} - i_b R_s = 0 \Rightarrow V_s = i_b (R_{in} + R_s) \Rightarrow$$

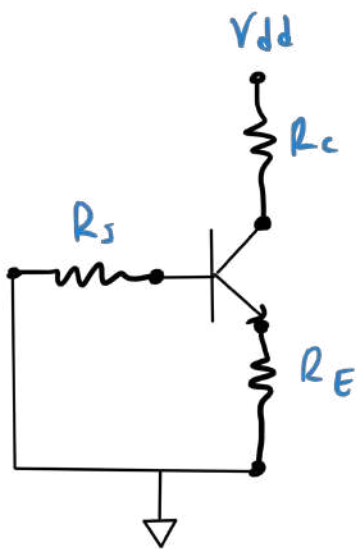
$$\Rightarrow i_b = \frac{V_s}{R_{in} + R_s} = \frac{0,15}{15k + 30k} \approx 0,0033 \text{ mA} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow i_e = 0,2475 \text{ mA} \Rightarrow \frac{V_{\pi}}{r_e} = 0,2475 \text{ m} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{5 \text{ m}}{r_e} = 0,2475 \text{ m} \Rightarrow r_e = 20,2020 \Omega$$

$$A_{\pi o} \quad \square : \quad R_E = 179,798 \Omega$$

### DC Analysis



$$\bullet \quad I_c = \frac{\beta}{\beta + 1} I_E = \frac{\beta}{\beta + 1} \frac{V_E}{R_E}$$

$$\bullet \quad -R_s I_B - V_{BE} - I_E R_E = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow I_E \left( \frac{R_s}{\beta + 1} + R_E \right) + V_{BE} = 0 \Rightarrow$$

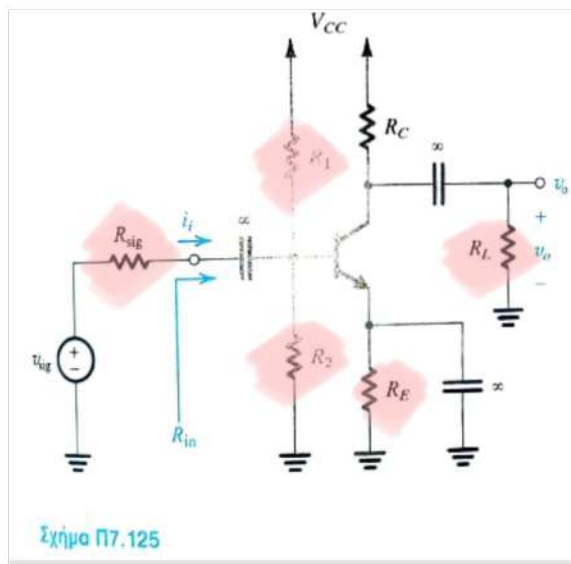
$$\Rightarrow I_E \left( \frac{30k}{75} + 179,798 \right) + 0,7 = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow I_c = 0,0038 \text{ mA}$$

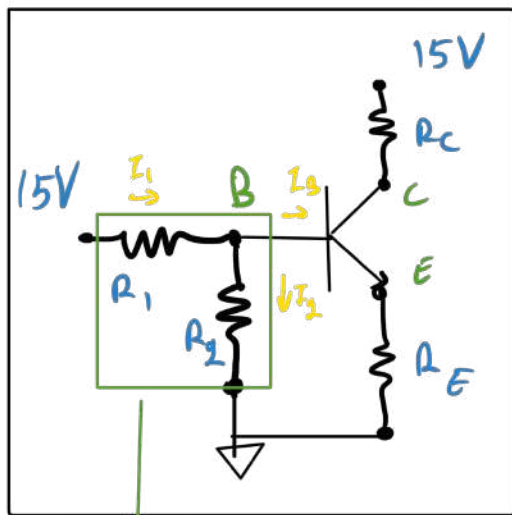


## Άσκηση 4: Πρόβλημα 7.126

Ε7.126 Χρησιμοποιώντας την τοπολογία του Σχ. Π7.125, σχεδιάστε έναν ενισχυτή έτσι ώστε να λειτουργεί ανάμεσα σε μία πηγή  $2\text{ k}\Omega$  και ένα φορτίο  $2\text{ k}\Omega$ , εμφανίζοντας κέρδος  $v_o/v_{sig} = -40\text{ V/V}$ . Η διαθέσιμη τροφοδοσία είναι  $15\text{ V}$ . Χρησιμοποιήστε ρεύμα εκπομπού περίπου ίσο με  $2\text{ mA}$  και περίπου το ένα δέκατο αυτού του ρεύματος στον διαιρέτη τάσης που τροφοδοτεί τη βάση, με την DC τάση στη βάση να είναι το ένα τρίτο της τάσης τροφοδοσίας. Το διαθέσιμο τρανζίστορ έχει  $\beta = 100$ . Χρησιμοποιήστε τυποποιημένες αντιστάσεις 5% (δείτε το Παράρτημα J).



### DC Ανάλυση



$$V_{th} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{cc}$$

$$R_{th} = R_1 // R_2$$

$$V_B = 5\text{V}, \quad V_E = 4,3\text{V}$$

$$I_E \approx 2\text{mA} = \frac{V_E}{R_E} \Rightarrow R_E = 2,15\text{ k}\Omega$$

$$I_1 = \frac{15 - V_B}{R_1} = 0,2\text{mA} \Rightarrow R_1 = 50\text{ k}\Omega$$

$$I_B = \frac{V_{th} - V_B}{R_{th}} = \frac{I_E}{\beta + 1} = 0,198\text{mA}$$

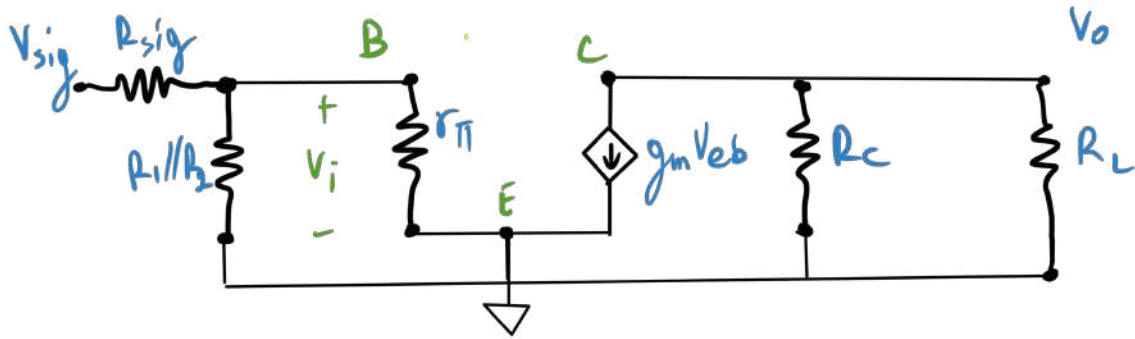
$$\Rightarrow V_{th} - 5 = 0,198 R_{th} \Rightarrow \frac{R_2}{R_1 + R_2} (15 - 5) = 0,198 \cdot \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 10 R_2 - 5 R_1 = 0,198 R_1 \cdot R_2 \Rightarrow 5 R_2 - R_1 = 0,396 R_1 R_2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow R_2 = 3,378\text{ k}\Omega$$

## AC Ανάλυση

(Αγνοούμε  $\phi$ . Early)



$$\bullet \frac{V_o}{V_{sig}} = \frac{V_o}{V_i} \frac{V_i}{V_{sig}} = 40 \quad (1)$$

$$\bullet V_i = \frac{R_1 // R_2 // r_{\pi}}{R_1 // R_2 // r_{\pi} + R_{sig}} V_{sig} \Rightarrow \frac{V_i}{V_{sig}} = \frac{R_1 // R_2 // r_{\pi}}{R_1 // R_2 // r_{\pi} + R_{sig}} \quad (2)$$

$$\bullet V_o = -g_m V_i (R_c // R_L) \Rightarrow \frac{V_o}{V_i} = -g_m (R_c // R_L) \quad (3)$$

$$\bullet g_m = \frac{I_c}{V_c} = \frac{\frac{\beta}{\beta+1} I_E}{V_c} = 0,0792 \quad (4)$$

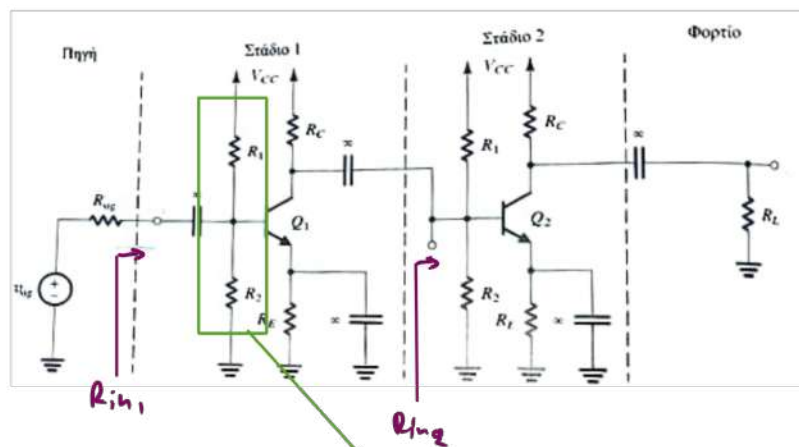
$$\bullet r_{\pi} = \frac{\beta}{g_m} = 1,262 \text{ k}\Omega \quad (5)$$

Από τις σχέσεις (1) - (5) μπορούμε να βρούμε την  $R_c$ .

## Άσκηση 5: 7.130

7.130 Ο ενισχυτής του Σχ. Π7.130 αποτελείται από δύο πανομοιότυπους ενισχυτές κοινού εκπομπού συνδεδεμένους ως διαδοχικά στάδια. Παρατηρήστε ότι η αντίσταση εισόδου του δεύτερου σταδίου,  $R_{in2}$ , αποτελεί την αντίσταση φορτίου του πρώτου σταδίου.

- (α) Για  $V_{CC} = 15\text{ V}$ ,  $R_1 = 100\text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 47\text{ k}\Omega$ ,  $R_E = 3.9\text{ k}\Omega$ ,  $R_C = 6.8\text{ k}\Omega$  και  $\beta = 100$ , βρείτε το DC ρεύμα συλλέκτη και την DC τάση συλλέκτη κάθε τρανζίστορ.
- (β) Σχεδιάστε το ισοδύναμο κύκλωμα ασθενούς σήματος για ολόκληρο τον ενισχυτή και δώστε τις τιμές όλων των συστατικών στοιχείων του.
- (γ) Βρείτε τις τιμές των  $R_{in1}$  και  $v_{b1}/v_{sig}$  για  $R_{sig} = 5\text{ k}\Omega$ .
- (δ) Βρείτε τις τιμές των  $R_{in2}$  και  $v_{b2}/v_{b1}$ .
- (ε) Για  $R_L = 2\text{ k}\Omega$ , βρείτε το κέρδος  $v_o/v_{b2}$ .
- (στ) Βρείτε το συνολικό κέρδος τάσης,  $v_o/v_{sig}$ .



### α) DC Ανάλυση

$$V_{th} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} \approx 4,7959\text{ V}, \quad R_{th} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \approx 31,9727\text{ k}\Omega$$

$$V_{th} - I_B R_{th} - V_{BE} - I_E R_E = 0 \Rightarrow$$

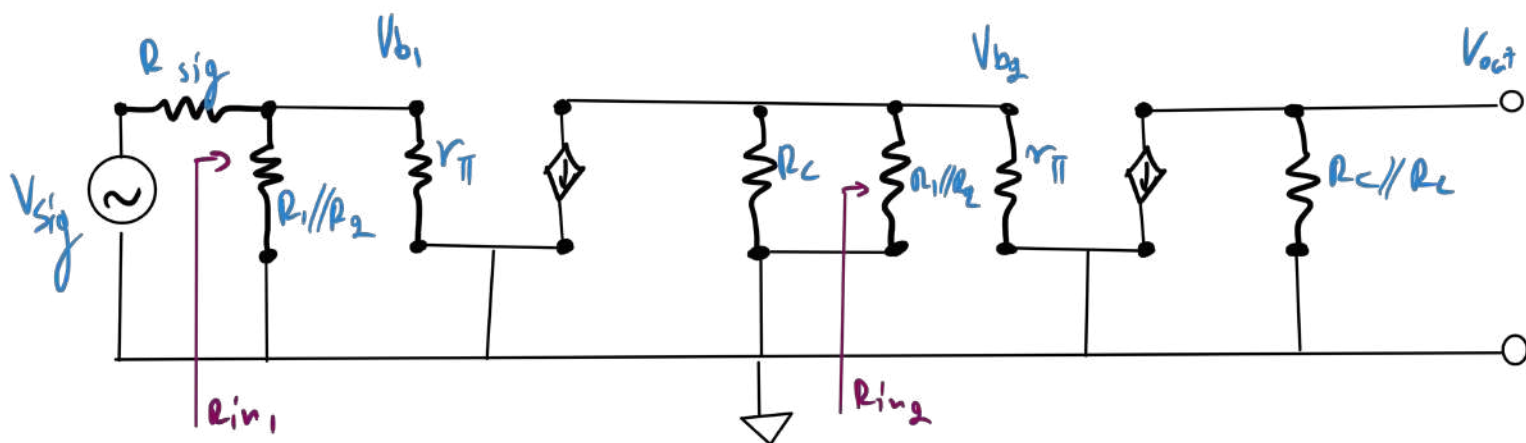
$$\Rightarrow I_B = \frac{V_{th} - V_{BE}}{R_{th} + (\beta + 1)R_E} \approx 0,0096\text{ mA} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow I_C = \beta I_B \Rightarrow I_C \approx 0,96\text{ mA} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{15 - V_C}{R_C} = 0,96\text{ mA} \Rightarrow V_C \approx 8,472\text{ V}$$

### β) AC Ανάλυση





$$r_{\pi} = \frac{V_T}{I_B} \approx 2,6041 \text{ k}\Omega$$

$$r_{\pi} = \frac{\beta}{g_m}$$

$$g_m \approx 3,7588$$

$$8) R_{in1} = R_1 \parallel R_2 \parallel r_{\pi} = 14,33 \text{ k}\Omega$$

$$\frac{V_{b1}}{V_{sig}} = \frac{R_{in1}}{R_{sig} + R_{in1}} \approx 0,74$$

$$8) R_{in2} = R_{in1} = 14,33 \text{ k}\Omega$$

$$V_{b2} = -i_b \cdot (R_c \parallel R_{in2}) = -g_m V_{be} (R_c \parallel R_{in2}) =$$

$$= -g_m V_{b1} (R_c \parallel R_{in2}) \Rightarrow \frac{V_{b2}}{V_{b1}} = -g_m (R_c \parallel R_{in2}) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{V_{b2}}{V_{b1}} \approx -16,3713$$

$$9) V_o = -g_m V_{be2} (R_c \parallel R_c) = -g_m V_{b2} (R_c \parallel R_c) \Rightarrow$$

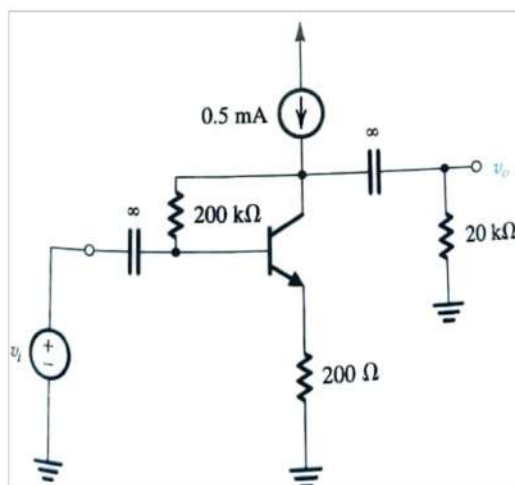
$$\Rightarrow \frac{V_o}{V_{b2}} = -g_m (R_c // R_L) \Rightarrow \frac{V_o}{V_{b2}} \approx -5,8090$$

$$\text{or) } \frac{V_o}{V_{sig}} = \frac{V_o}{V_{b2}} \cdot \frac{V_{b2}}{V_{b1}} \cdot \frac{V_{b1}}{V_{sig}} \Rightarrow \frac{V_o}{V_{sig}} \approx 70,3753$$

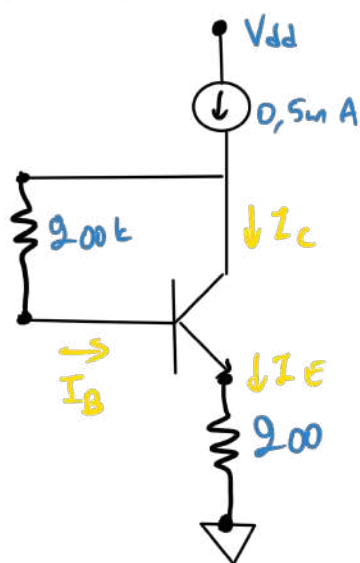
## Άσκηση 6: Πρόβλημα 7.132

7.132 Το BJT στο κύκλωμα του Σχ. Π7.132 έχει  $\beta = 100$ .

- (α) Βρείτε το DC ρεύμα συλλέκτη και την DC τάση στον συλλέκτη.
- (β) Αντικαθιστώντας το τρανζίστορ με το T μοντέλο του, σχεδιάστε το ισοδύναμο κύκλωμα ασθενούς σήματος για τον ενισχυτή. Αναλύστε το προκύπτον κύκλωμα για να προσδιορίσετε το κέρδος τάσης,  $v_o/v_i$ .



### α) DC Ανάλυση



$$I_B + I_C = 0,5 \text{ mA} \Rightarrow$$

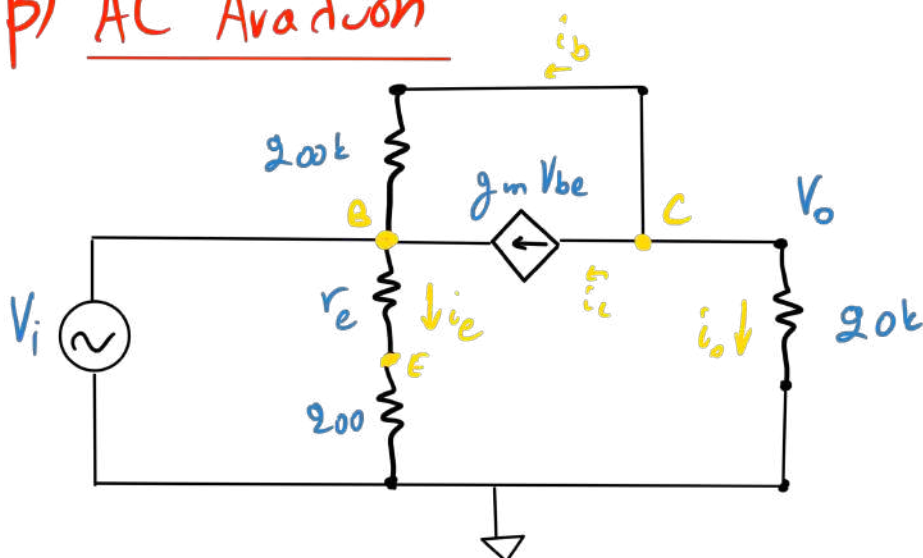
$$\Rightarrow I_C \left( \frac{1+\beta}{\beta} \right) = 0,5 \text{ mA} \Rightarrow I_C = 0,495 \text{ mA}$$

$$I_E = \frac{V_E}{200} = \frac{\beta+1}{\beta} I_C = 0,5 \text{ mA} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_E = 0,1 \text{ V} \Rightarrow V_B = 0,8 \text{ V}$$

$$I_B = \frac{V_C - V_B}{200 \text{ k}} = \frac{I_C}{\beta} = 0,00495 \text{ mA} \Rightarrow V_C = 1,79 \text{ V}$$

### β) AC Ανάλυση



$$g_m = \frac{I_C}{V_T} = 0,0198 \text{ S}$$

$$r_e = \frac{\alpha}{g_m} = 50,005 \Omega$$

$$\bullet \quad i_e = \frac{V_i}{r_e + R_E} = i_B + i_C = \frac{V_C - V_B}{200k} + a i_e =$$

$$= \frac{V_O - V_i}{200k} + a \frac{V_i}{r_e + R_E} \Rightarrow \frac{V_i}{r_e + R_E} (1 - a) = \frac{V_O - V_i}{200k} \Rightarrow$$

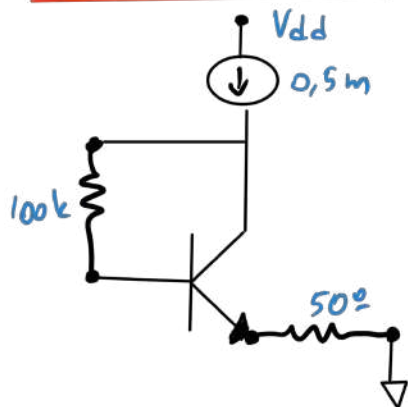
$$\Rightarrow \frac{V_i}{50,005 + 200} \cdot \frac{1}{101} = \frac{V_O - V_i}{200k} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_i = 0,9262(V_O - V_i) \Rightarrow \frac{V_O}{V_i} = 6,9235$$

## Άσκηση 7: Πρόβλημα 7.133

**7.133** Για το κύκλωμα του Σχ. Π7.133, βρείτε την αντίσταση εισόδου,  $R_{in}$ , και το κέρδος τάσης,  $v_o/v_{sig}$ . Υποθέστε ότι η πηγή παρέχει ένα μικρού πλάτους σήμα  $v_{sig}$  και ότι  $\beta = 100$ .

### DC Ανάλυση

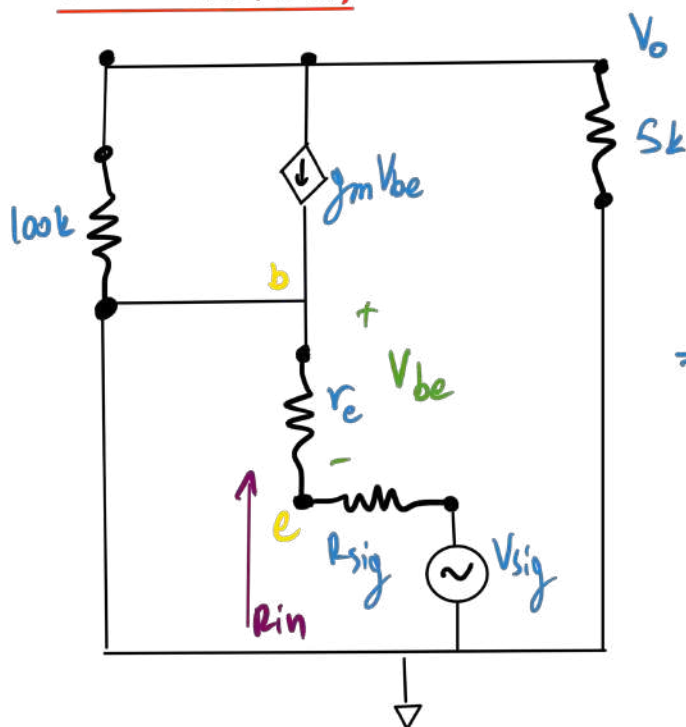


$$\begin{aligned} I_B + I_C &= 0,5 = I_E \Rightarrow \\ \Rightarrow I_C &\approx 0,49 \text{ mA} \end{aligned}$$

$$g_m = \frac{I_C}{V_T} \approx 0,0198 \text{ S}$$

$$r_e = \frac{\alpha}{g_m} = 50 \Omega$$

### AC Ανάλυση

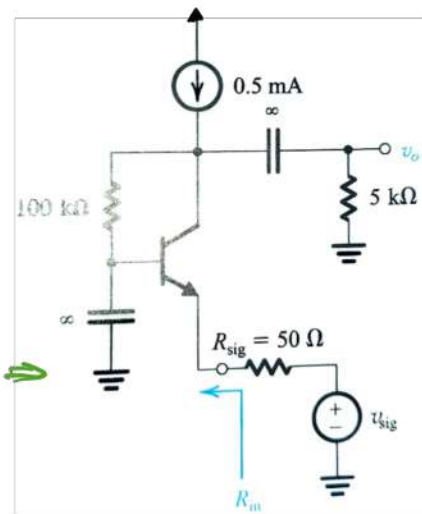


$$R_{in} = r_e = 50 \Omega$$

$$\begin{aligned} v_o &= -g_m v_{be} (100k // 5k) = \\ &= 0,0198 \cdot \left( -\frac{R_{in}}{r_e + R_{in}} v_{sig} \right) \cdot 4,7619 k \Rightarrow \end{aligned}$$

$$\Rightarrow \frac{v_o}{v_{sig}} \approx 0,04714$$

$$\Rightarrow \frac{v_o}{v_{sig}} \approx 47,14$$



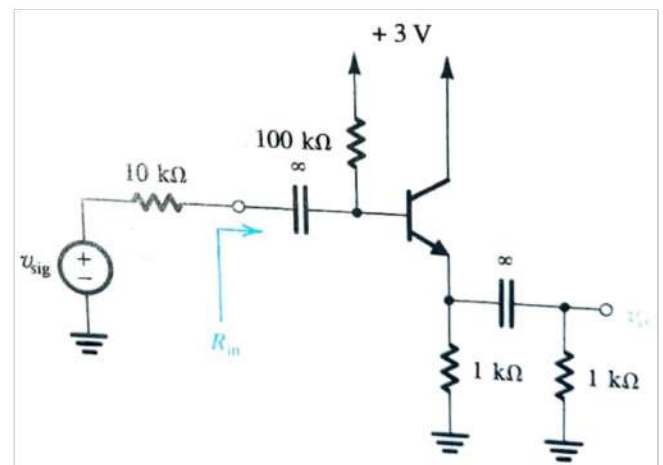


## Άσκηση 8: Πρόβλημα 7.134

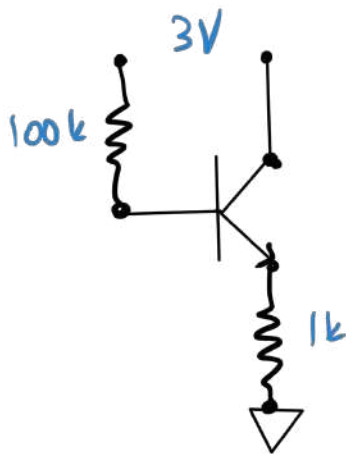
**7.134** Για το κύκλωμα ακόλουθου εκπομπού του Σχ. Π7.134, το BJT που χρησιμοποιείται έχει, βάσει προδιαγραφών,  $\beta$  το οποίο κυμαίνεται σε εύρος τιμών 50 έως 200 (μία πραγματικά οδυνηρή περίπτωση για τον σχεδιαστή κυκλωμάτων).

Για τις δύο ακραίες τιμές του  $\beta$  ( $\beta = 50$  και  $\beta = 200$ ), βρείτε:

- (α) τις τιμές των  $I_E$ ,  $V_E$  και  $V_B$
- (β) την αντίσταση εισόδου,  $R_{in}$
- (γ) το κέρδος τάσης,  $v_o/v_{sig}$



### DC Ανάλυση



$$3 - 100k I_B - V_{BE} - I_E \cdot 1k = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 3 - 100k I_B - 0,7 - (\beta + 1) I_B \cdot 1k = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow I_B = \frac{2,3}{(\beta + 1) + 100} \text{ mA} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow I_E = \frac{(\beta + 1) \cdot 2,3}{(\beta + 1) + 100}$$

$$\begin{matrix} \beta = 50 \\ \beta = 200 \end{matrix}$$

$$I_E = 0,776 \text{ mA}$$

$$I_E = 1,5358 \text{ mA}$$

$$\Rightarrow V_E = I_E R_E$$

$$\begin{matrix} \beta = 50 \\ \beta = 200 \end{matrix}$$

$$V_E = 0,776 \text{ V}$$

$$V_E = 1,5358 \text{ V}$$

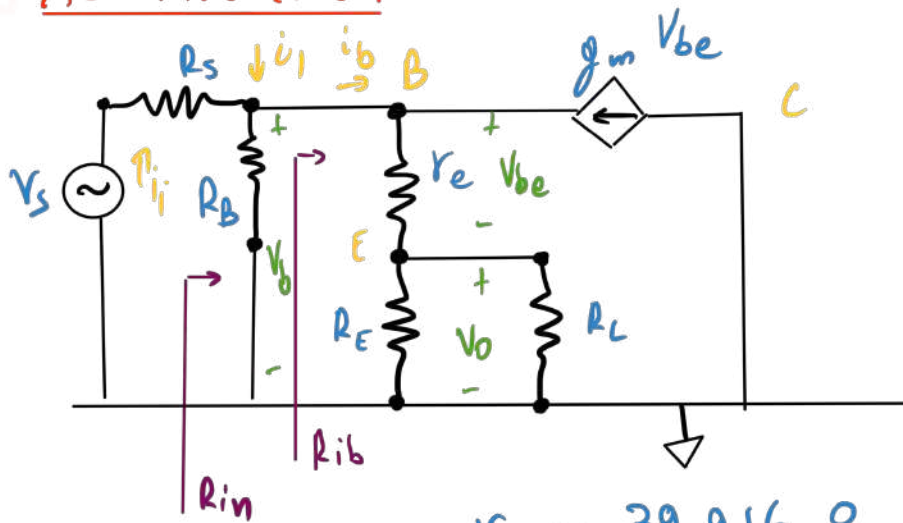
$$\Rightarrow V_B = 0,7 + V_E$$

$$\begin{matrix} \beta = 50 \\ \beta = 200 \end{matrix}$$

$$V_B = 1,476 \text{ V}$$

$$V_B = 2,2358 \text{ V}$$

## B) AC Avaliacao



$$r_e = 32,216 \, \Omega$$

$$r_e = \frac{V_T}{I_E} = \begin{cases} \beta=50 \rightarrow r_e = 32,216 \, \Omega \\ \beta=200 \rightarrow r_e = 16,2781 \, \Omega \end{cases}$$

$$R_{ib} = (\beta+1)(r_e + (R_E \parallel R_L)) = (\beta+1)(r_e + 500) = \begin{cases} \beta=50 \rightarrow 27,143 \, k\Omega \\ \beta=200 \rightarrow 103,771 \, k\Omega \end{cases}$$

$$R_{in} = R_B \parallel R_{ib} = \begin{cases} \beta=50 \rightarrow R_{in} = 21,3484 \, \Omega \\ \beta=200 \rightarrow R_{in} = 50,9253 \, \Omega \end{cases}$$

$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{V_o}{V_b} \cdot \frac{V_b}{V_s} \quad \cdot \quad \frac{V_b}{V_s} = \frac{R_{in}}{R_{in} + R_s} = \begin{cases} \beta=50 \rightarrow 0,6810 \\ \beta=200 \rightarrow 0,8358 \end{cases}$$

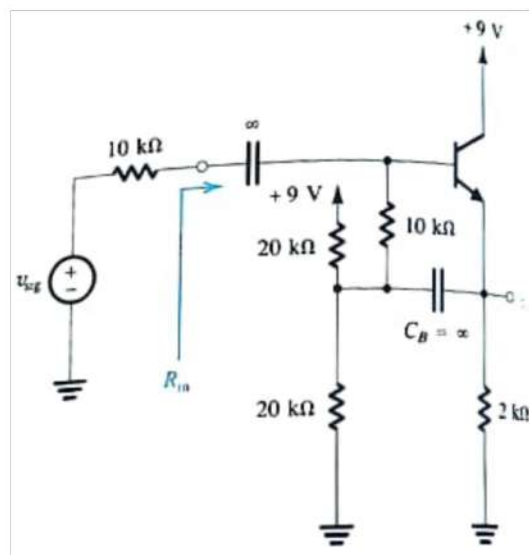
$$\frac{V_o}{V_b} = \frac{(R_E \parallel R_L)}{(R_E \parallel R_L) + r_e} = \begin{cases} \beta=50 \rightarrow 0,9394 \\ \beta=200 \rightarrow 0,9684 \end{cases}$$

$$\frac{V_o}{V_s} = \begin{cases} \beta=50 \rightarrow 0,6387 \\ \beta=200 \rightarrow 0,8093 \end{cases}$$

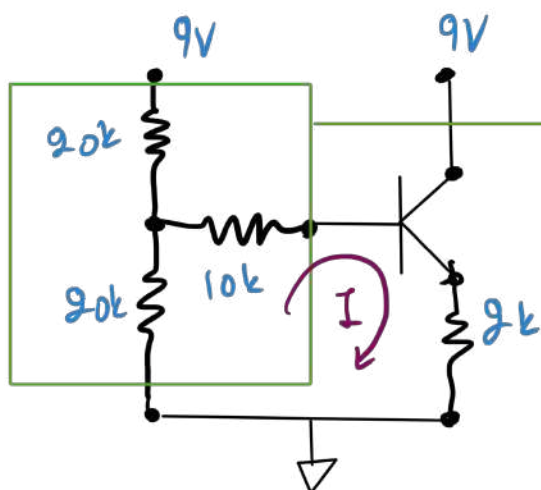
## Άσκηση 9: Πρόβλημα 7.136

**7.136** Για το κύκλωμα του Σχ. Π7.136, το οποίο αποκαλείται **ακόλουθος αυτοδύναμης εκκίνησης** (bootstrapped follower):

- Βρείτε το DC ρεύμα εκπομπού και τις τιμές των  $g_m$ ,  $r_e$  και  $r_\pi$ . Χρησιμοποιήστε  $\beta = 100$ .
- Αντικαταστήστε το BJT με το T μοντέλο του (παραβλέποντας την  $r_o$ ) και αναλύστε το κύκλωμα για να προσδιορίσετε την αντίσταση εισόδου,  $R_{in}$  και το κέρδος τάσης,  $v_o/v_{sig}$ .
- Επαναλάβετε το (β) για την περίπτωση όπου ο πυκνωτής  $C_B$  είναι ανοιχτοκυκλωμένος. Συγκρίνετε τα αποτελέσματα με αυτά που λάβατε στο (β) προκειμένου να διαπιστώσετε τα πλεονεκτήματα που παρέχει η συγκεκριμένη συνδεσμολογία.



### α) DC Ανάλυση



#### • Thévenin

$$R_{th} = 20k$$

$$V_{th} = 4,5V$$

• Ντελ  $\Rightarrow$

$$\Rightarrow I_B = \frac{V_{th} - V_{BE}}{R_{th} + (\beta + 1)R_E} = 0,0171mA \Rightarrow$$

$$\Rightarrow I_E = 1,7288mA$$

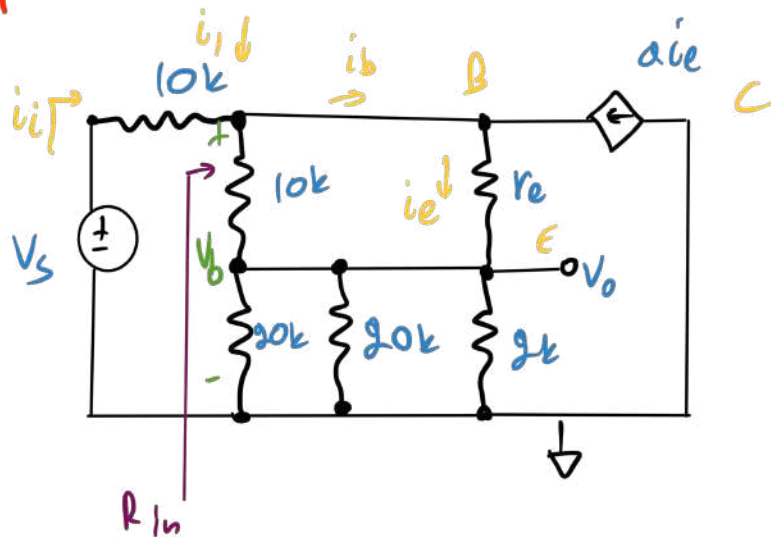
$$g_m = \frac{I_C}{V_T} \Rightarrow g_m = 0,0684$$

$$r_\pi = \frac{\beta}{g_m} \Rightarrow r_\pi = 1,455k\Omega$$

$$r_e = \frac{\alpha}{g_m} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow r_e = 14,411\Omega$$

## B) AC Analysis



$$R_{in} = \frac{V_b}{i_i}$$

$$V_b = i_e r_e + V_o$$

$$V_o = (i_i + i_e) (20 \parallel 20 \parallel 2)$$

$$i_i \cdot 10 = i_e r_e \Rightarrow i_i = \frac{i_e r_e}{10}$$

$$i_i = i_b + i_i \Rightarrow i_i = (1-a) i_e + \frac{r_e i_e}{10}$$

$$R_{in} = \frac{\left( i_e + \frac{i_e r_e}{10} \right) (10 \parallel 2) + i_e r_e}{(1-a) i_e + \frac{i_e r_e}{10}} = 148,3 \text{ k}\Omega$$

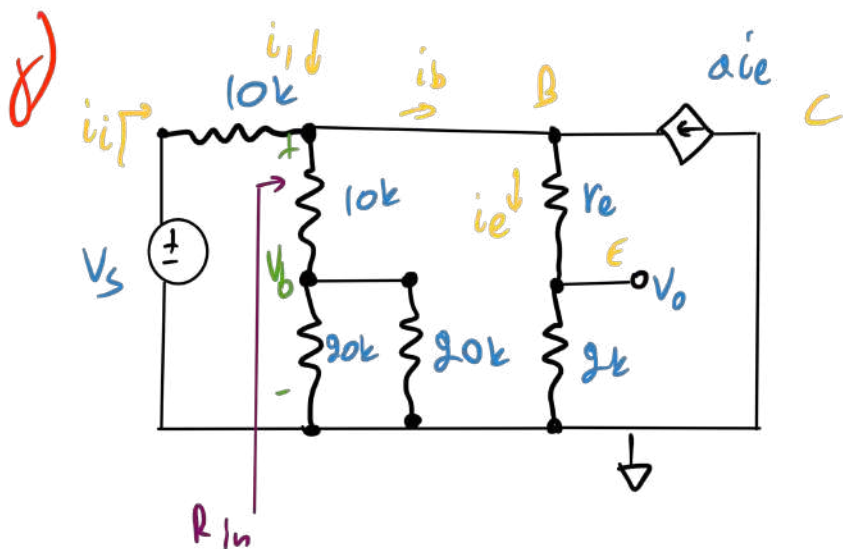
$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{V_o}{V_b} \cdot \frac{V_b}{V_s}, \quad \frac{V_b}{V_s} = \frac{R_{in}}{R_{in} + R_s}$$

$$V_o = (i_i + i_e) (10 \parallel 2)$$

$$V_b = (i_i + i_e) (10 \parallel 2) + i_e r_e$$

$$\Rightarrow \frac{V_o}{V_b} = 0,991 \text{ V/V}$$

$$\Rightarrow \frac{V_o}{V_s} = 0,93 \text{ V/V}$$



$$R_{in} = \frac{V_b}{i_i}$$

$$V_b = i_e r_e + V_o$$

$$V_o = (i_i + i_e) \cdot 2$$

$$i_i \cdot 10 = i_e r_e \Rightarrow i_i = \frac{i_e r_e}{10}$$

$$i_i = i_b + i_e \Rightarrow i_i = (1-\alpha) i_e + \frac{r_e i_e}{10}$$

$$\bullet \frac{V_o}{V_s} = \frac{V_o}{V_b} \cdot \frac{V_b}{V_s}, \quad \bullet \frac{V_b}{V_s} = \frac{R_{in}}{R_{in} + R_s}$$

$$\bullet V_o = (i_i + i_e) \cdot 2$$

$$\bullet V_b = (i_i + i_e) \cdot 20 + i_e r_e$$

$$R_{in} = \frac{\left( i_e + \frac{i_e r_e}{10} \right) \cdot 2 + i_e r_e}{(1-\alpha) i_e + \frac{i_e r_e}{10}}$$

$$= \dots \text{ k}\Omega$$

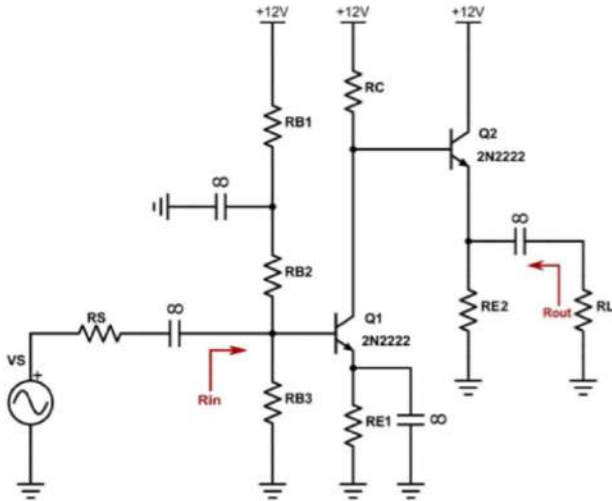
$$\frac{V_o}{V_b} = \dots \text{ V/V}$$



### Άσκηση 10 LT SPICE

Για το παρακάτω κύκλωμα, δίνονται:

$$R_{B1} = 30k\Omega, R_{B2} = 6k\Omega, R_{B3} = 12k\Omega, R_{E1} = 2.3k\Omega, R_C = 4k\Omega, R_{E2} = 1.8k\Omega, \\ R_S = 1k\Omega, R_L = 1k\Omega, V_{BE} = 0.7V \text{ και } V_T = 25mV.$$



Για τα δύο διπολικά τρανζίστορ δίνεται ότι  $\beta = 200$ . Αγνοήστε το φαινόμενο Early ( $r_o = \infty$ ).

Α) Να υπολογιστούν οι DC τάσεις Βάσεων, Συλλεκτών και Εκπομπών των 2 τρανζίστορ.

Β) Να υπολογιστεί το κέρδος τάσης μικρού σήματος, χαμηλών συχνοτήτων του ενισχυτή.

Υπόδειξη: Μπορείτε να χρησιμοποιήσετε τους τύπους από τις βασικές τοπολογίες ενισχυτών BJT.

Γ) Να υπολογιστεί η αντίσταση εισόδου ( $R_{in}$ ).

Δ) Να υπολογιστεί η αντίσταση εξόδου ( $R_{out}$ ).

Με χρήση του LT-Spice και χρησιμοποιώντας το διπολικό transistor 2N2222:

Ε) Να εκτελεστεί operating point προσομοίωση για τις DC τάσεις και τα ρεύματα του κυκλώματος.

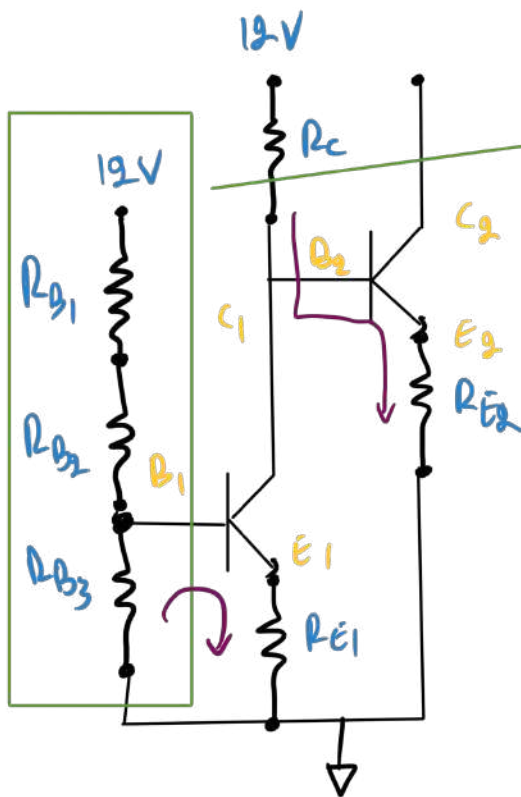
ΣΤ) Να σχεδιαστεί το διάγραμμα Bode του ενισχυτή από 1Hz μέχρι 500MHz. Τι παρατηρείτε;

Ζ) Να σχεδιαστεί το διάγραμμα του μέτρου και της φάσης της σύνθετης αντίστασης εισόδου  $R_{in}$ .

Η) Να σχεδιαστεί το διάγραμμα του μέτρου και της φάσης της σύνθετης αντίστασης εξόδου  $R_{out}$ .

Συμφωνούν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης με τα αναμενόμενα; Που οφείλονται τυχούσες διαφορές;

## α) DC Ανάλυση



### Thévenin

$$R_{th} = (R_{B1} + R_{B2}) // R_{B3} = 9k$$

$$V_{th} = 3V$$

$$\bullet \text{ NTK } Q: I_{B1} = \frac{V_{th} - V_{BE}}{R_{th} + (\beta + 1)R_{E1}} =$$

$$= 0,0048mA \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{V_{th} - V_{B1}}{R_{th}} = 0,0048 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_{B1} = 2,9560V$$

$$\Rightarrow V_{E1} = 2,2560V$$

$$\bullet I_{C1} = \beta I_{B1} = 0,96mA \Rightarrow$$

$$\Rightarrow I - I_{B2} = 0,96$$

$$\bullet \text{ NTK } \downarrow: 12 - I R_c - V_{BE} - I_{E2} R_{E2} = 0$$

$$\Rightarrow 12 - (0,96 + I_{B2}) R_c - V_{BE} - (\beta + 1) I_{B2} R_{E2} = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 12 - 0,96 \cdot 4 + I_{B2} \cdot 4 - 0,7 - 201 \cdot 1,8 I_{B2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow I_{B2} = 0,0208 \text{ mA} \Rightarrow I = 0,9808 \text{ mA} \Rightarrow$$

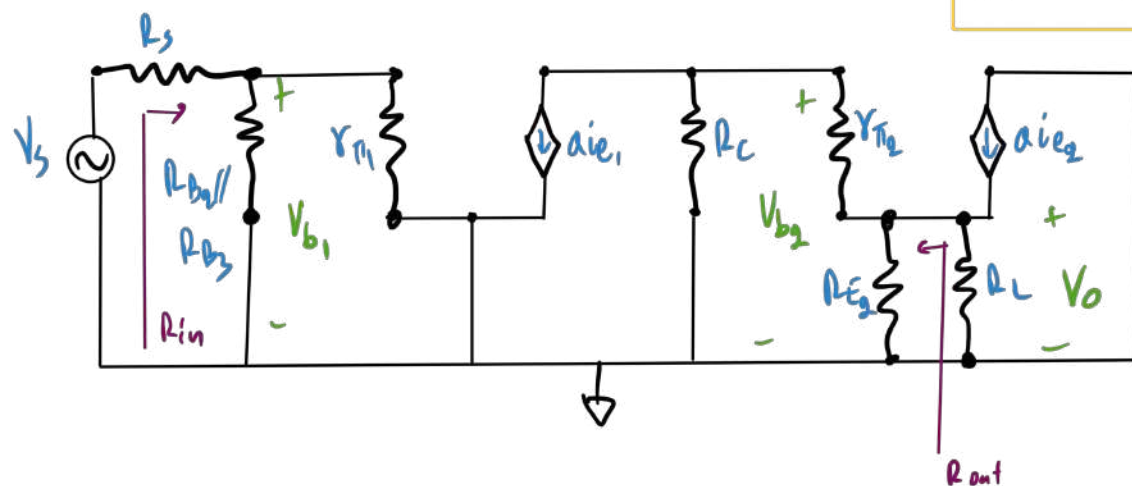
$$\Rightarrow \frac{12 - V_{C1}}{R_c} = 0,9808 \Rightarrow V_{C1} = V_{B2} = 8,0768 \text{ V} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_{E2} = 7,3768 \text{ V}$$

$$\bullet V_{C2} = 12 \text{ V}$$

## B) AC Analizum

$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{V_o}{V_{b2}} \cdot \frac{V_{b2}}{V_{b1}} \cdot \frac{V_{b1}}{V_s} \quad (1)$$



$$\bullet g_{m1} = \frac{I_{C1}}{V_T} = 0,03845$$

$$\bullet r_{\pi 1} = \frac{\beta}{g_{m1}} = 5,208 k\Omega$$

$$\bullet g_{m2} = \frac{I_{C2}}{V_T} = 0,16645$$

$$\bullet r_{\pi 2} = \frac{\beta}{g_{m2}} = 1,201 k\Omega$$

$$\bullet R_{in} = R_{B2} \parallel R_{B3} \parallel r_{\pi 1} = 2,2623 k\Omega$$

$$\bullet V_{b1} = \frac{R_{in}}{R_s + R_{in}} V_s \Rightarrow \frac{V_{b1}}{V_s} = 0,6934 \text{ V/V} \quad (2)$$

$$\bullet V_{b2} = -g_{m1} V_{be1} R_C = -g_{m1} V_{b1} R_C \Rightarrow$$

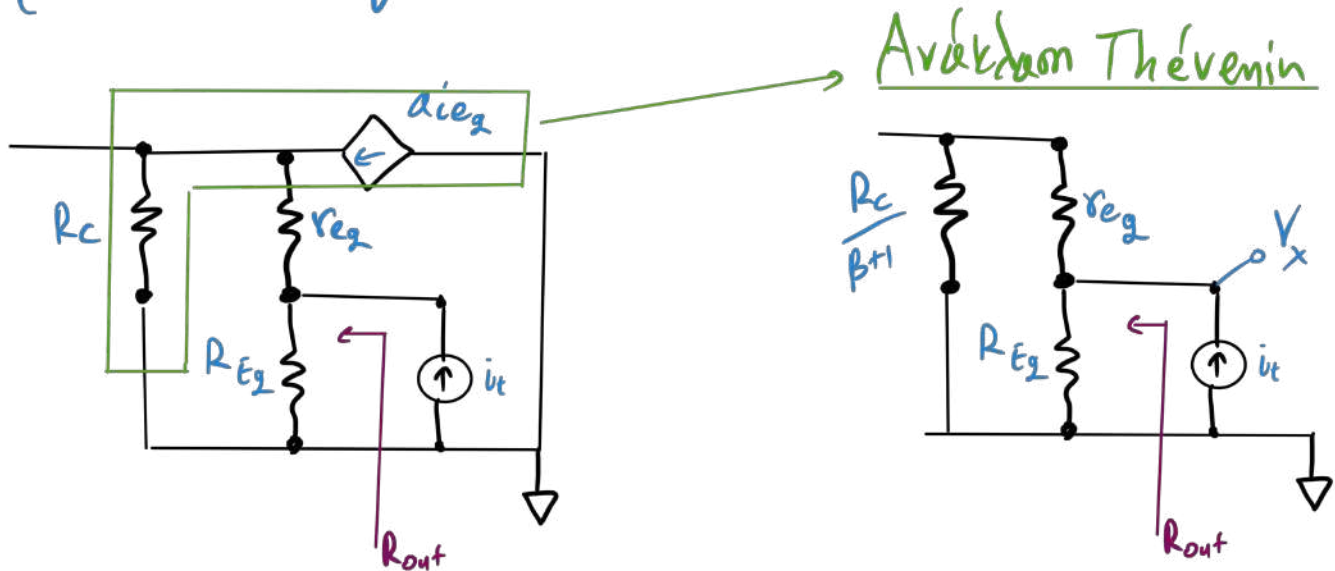
$$\Rightarrow \frac{V_{b2}}{V_{b1}} = -g_{m1} R_C \Rightarrow \frac{V_{b2}}{V_{b1}} = 0,1936 \text{ V/V} \quad (3)$$

$$\bullet V_o = \frac{R_{E2} \parallel R_C}{R_{E2} \parallel R_C + r_{\pi 2}} V_{b2} \Rightarrow \frac{V_o}{V_{b2}} = 0,3486 \text{ V/V} \quad (4)$$

$$(1)-(4): \frac{V_o}{V_s} = 0,03713 \text{ V/V}$$

$$\gamma) R_{in} = R_{B2} // R_{B3} // r_{\pi 1} \Rightarrow R_{in} = 2,2623 \text{ k}\Omega$$

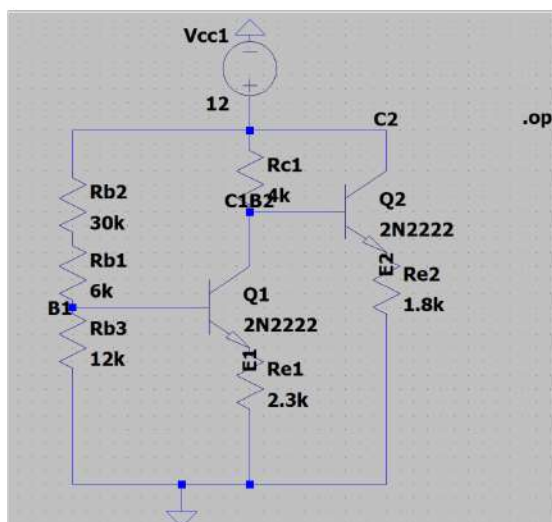
δ) Θεωρούμε  $V_s = 0$ ,  $R_L = \infty$  και βάζουμε δοκιμαστική πηγή  $i_t$ :



$$R_{out} = \frac{V_x}{i_x} = \frac{i_x \left( \frac{R_c}{\beta+1} + r_{e2} \right) // R_{E2}}{i_x} = \left( \frac{R_c}{\beta+1} + r_{e2} \right) // R_{E2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow R_{out} = 168 \Omega$$

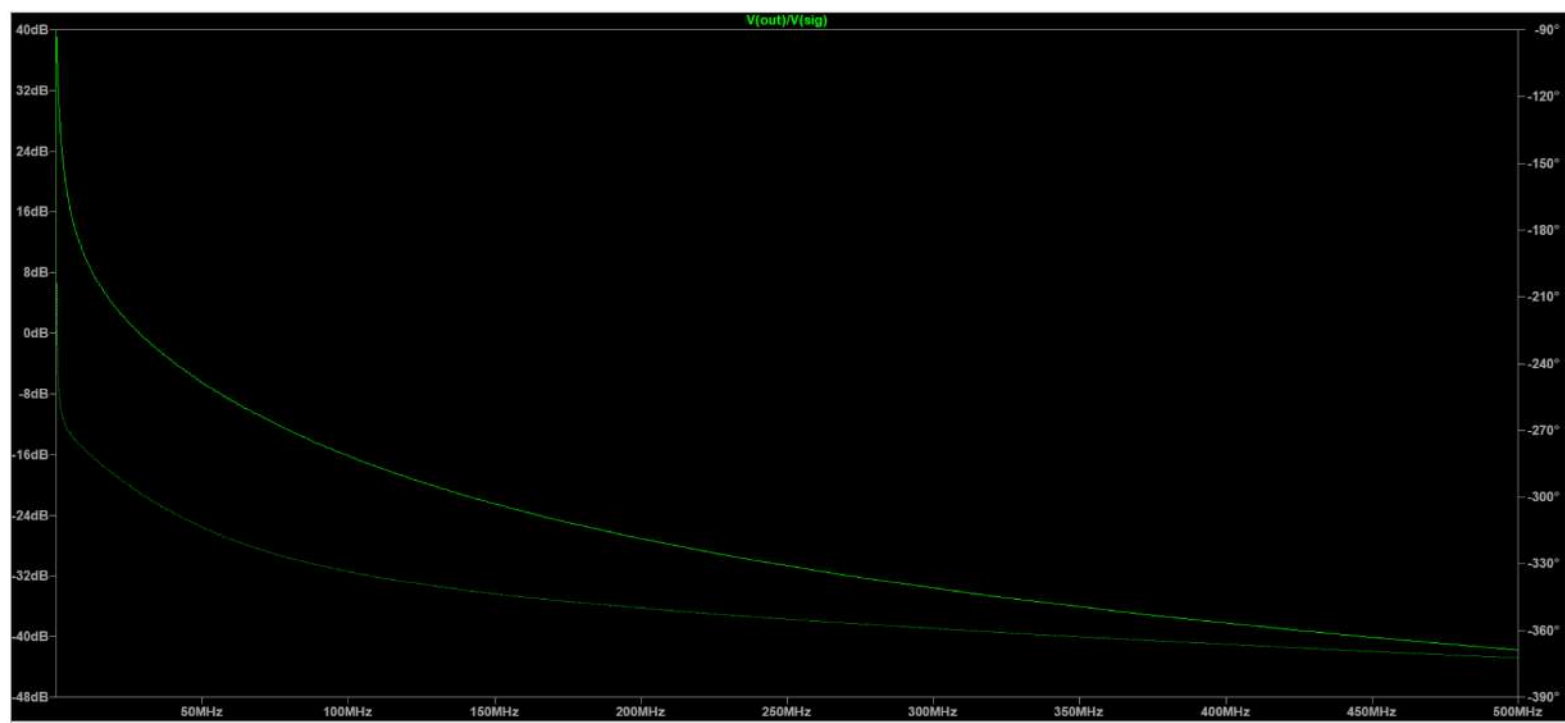
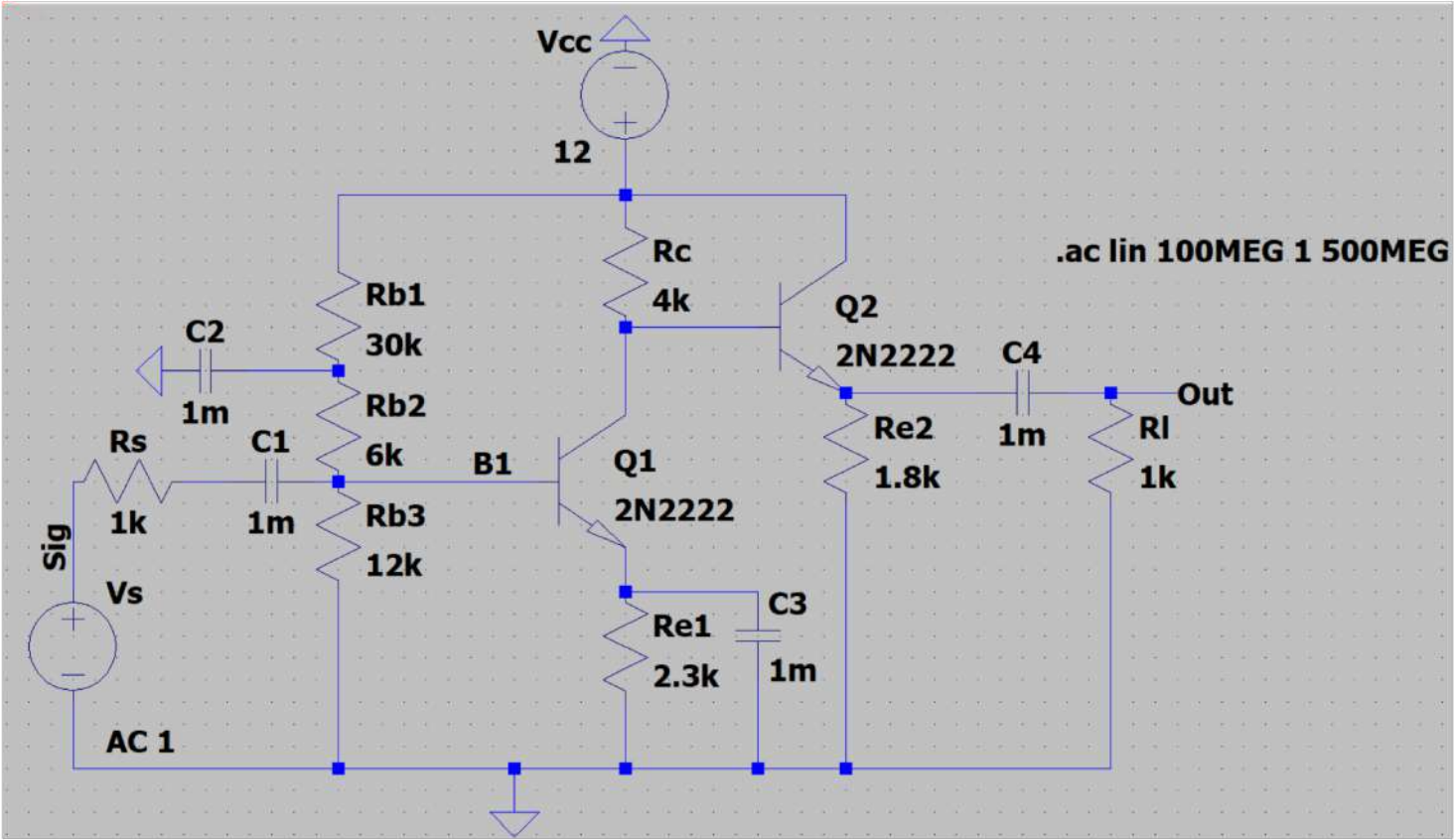
ε)



--- Operating Point ---	
V(p001):	4.46429
V(b1):	2.95715
V(c2):	12
V(c1b2):	7.93588
V(e1):	2.30299
V(e2):	7.24457
Ic(Q2):	0.00400527
Ib(Q2):	1.94913e-005
Ie(Q2):	-0.00402476
Ic(Q1):	0.000996539
Ib(Q1):	4.76135e-006
Ie(Q1):	-0.0010013
I(Rc1):	0.00101603
I(Re2):	0.00402476
I(Re1):	0.0010013
I(Rb3):	0.000246429
I(Rb2):	0.00025119
I(Rb1):	0.00025119

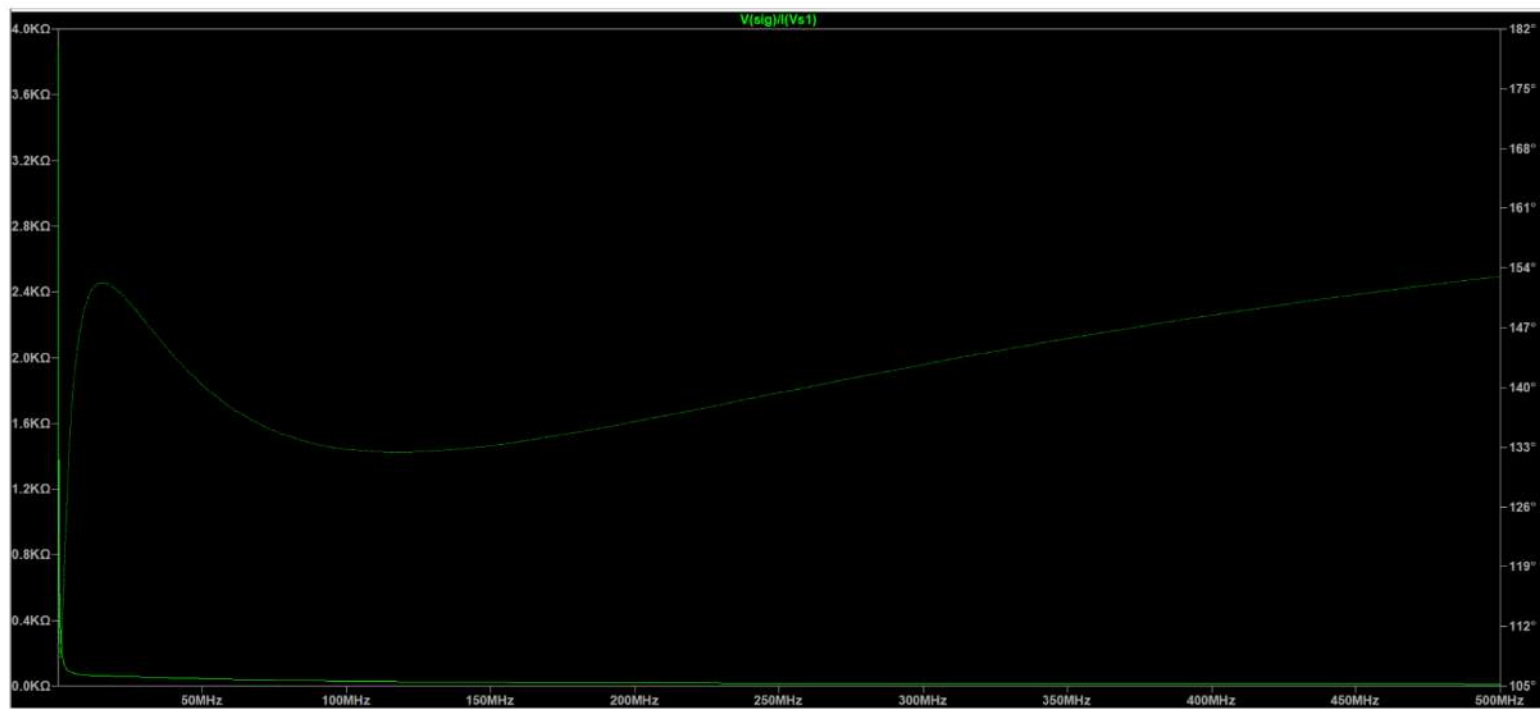
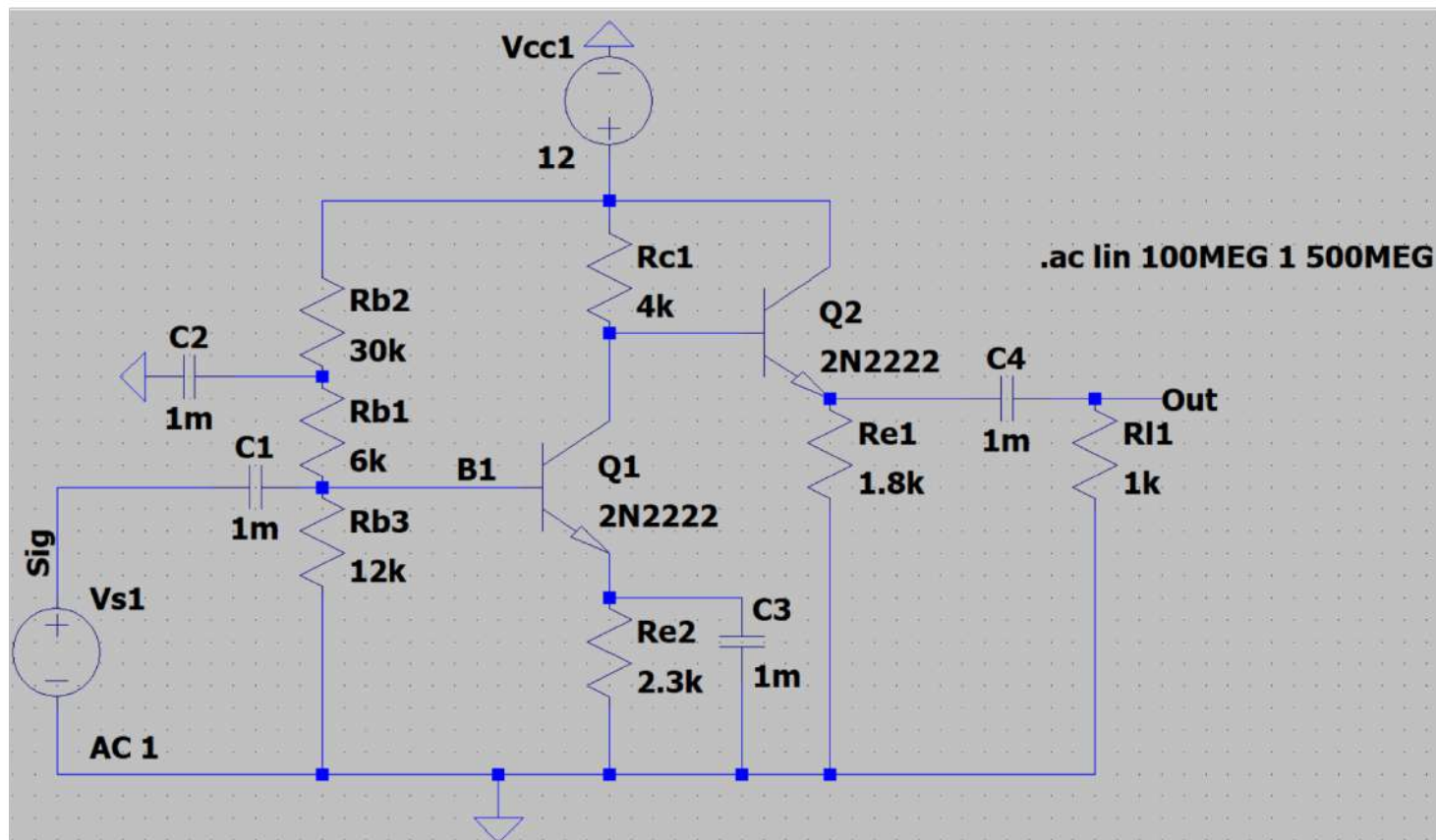


02)

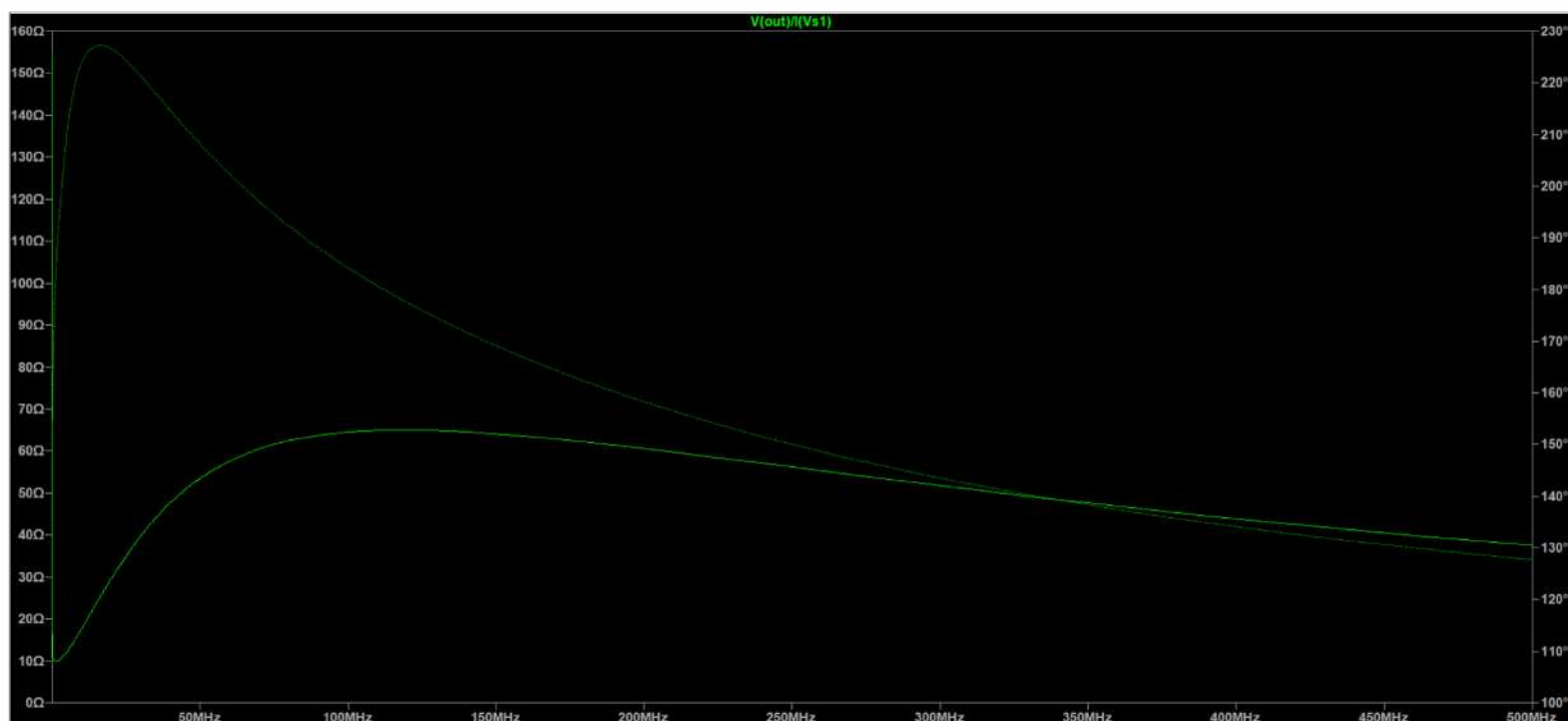
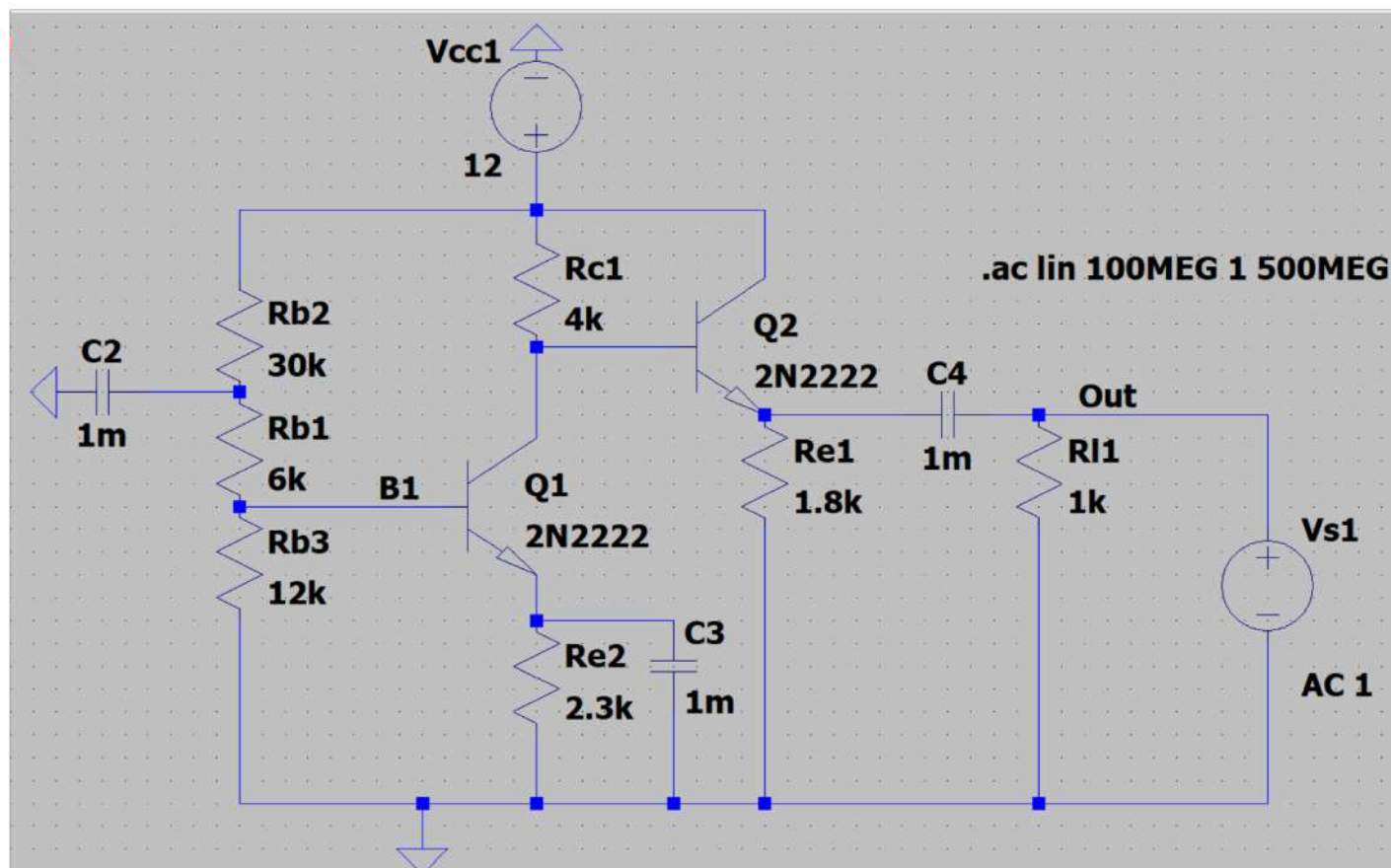




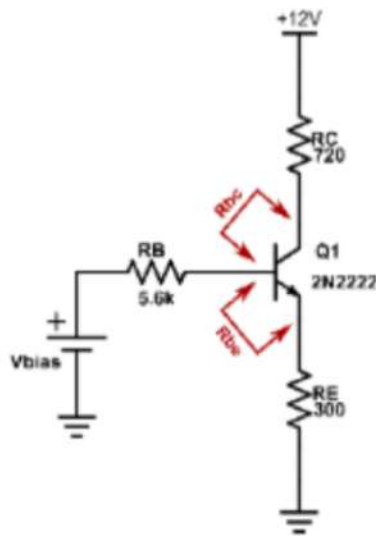
7)



n)



## Άσκηση 11 LT SPICE



Απαντήστε στα παρακάτω ερωτήματα αποκλειστικά με χρήση προσομοίωσης στο LTSpice:

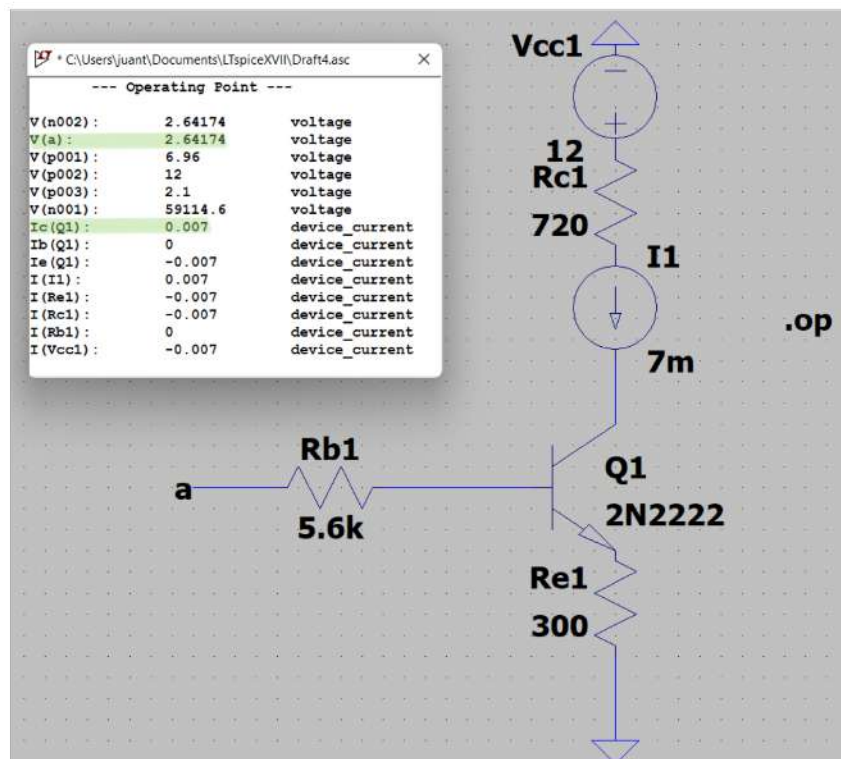
A) Να βρεθεί η τιμή της  $V_{bias}$  ώστε το ρεύμα στον συλλέκτη του  $Q_1$  να είναι  $I_C = 7mA$ .

B) Να βρεθεί τιμή της αντίστασης βάσης-εκπομπού  $R_{be}$ .

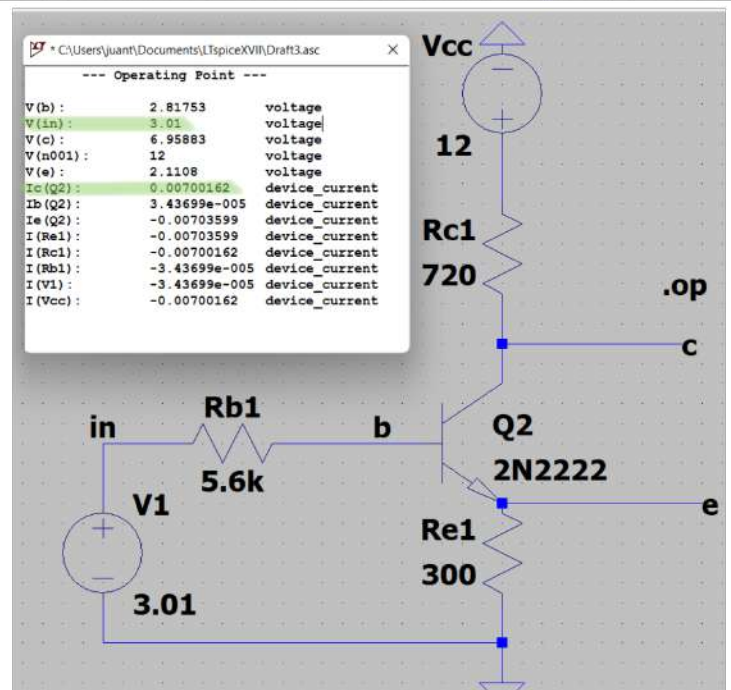
Γ) Να βρεθεί τιμή της αντίστασης βάσης-συλλέκτη  $R_{bc}$ .

a)

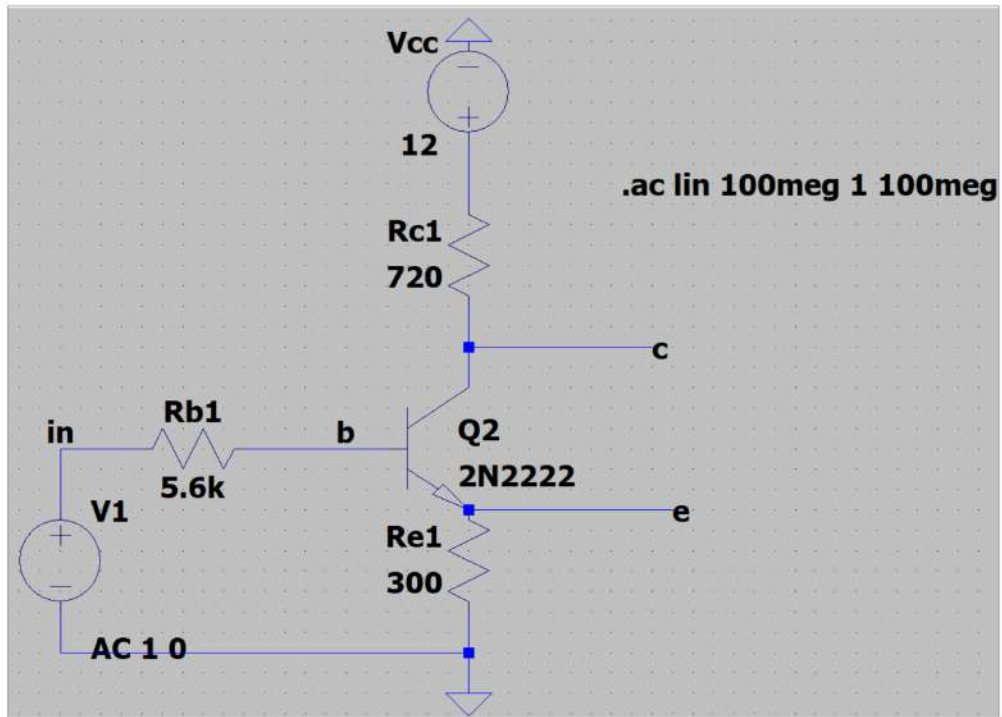
Επιβάλλουμε αρχικά στον συλλέκτη ρεύμα 7mA και βρίσκουμε την τάση στο σημείο «α»:



Στην συνέχεια, και μετά από μερικές δοκιμές γύρω από την τιμή 2.64V, καταλείγουμε πως πρέπει  $V_{bias} = 3.01V$ :



b)



c)

