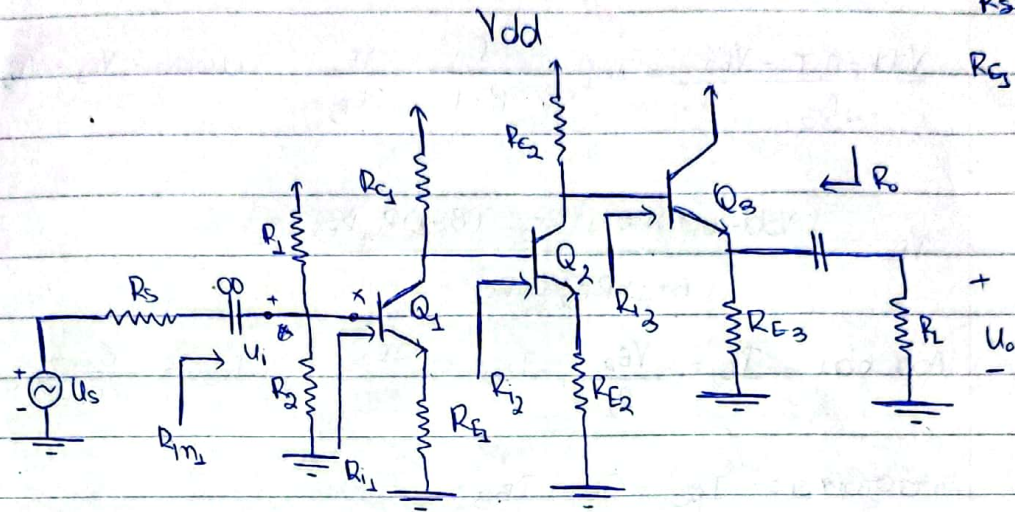


Ασκηση 1

$$V_{dd} = 15V$$

$$R_{sig} = 50\Omega$$

$$R_{E1} = R_{E2} = 1k\Omega$$



DC Ανάλυση

Ισοδύναμο Thévenin από την είσοδο x:

$$\text{όπου } R_{Th} = R_1 \parallel R_2 = 45k\Omega \text{ και } V_{Th} = V_{dd} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$\beta = 300$$

Ισχύον:

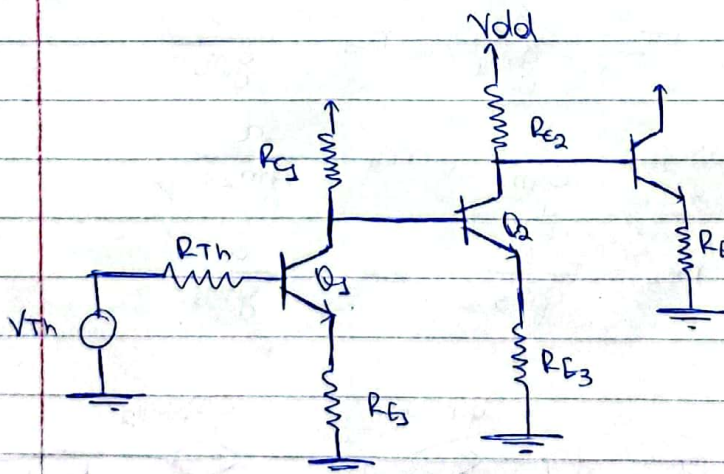
$$I_{E1} = (\beta + 1) I_{B1}$$

$$\frac{V_{E1}}{R_{E1}} = I_{E1} = (\beta + 1) \frac{V_{Th} - V_{B1}}{R_{Th}}$$

$$V_{BE1} = V_{B1} - V_{E1} = 0.7V$$

$$\Rightarrow \frac{V_{B1} - 0.7}{R_{E1}} = (\beta + 1) \frac{V_{Th} - V_{B1}}{R_{Th}}$$

$$V_{B1} = \frac{(\beta + 1) V_{Th} + 0.7 R_{Th}}{(\beta + 1) R_{E1} + R_{Th}}$$



$$\text{Συνεπώς: } I_{B1} = \frac{V_{Th} - V_{B1}}{R_{Th}} = \frac{V_{Th} - 0.7}{(\beta + 1) R_{E1} + R_{Th}}$$

$$I_{E1} = (\beta + 1) I_{B1}, \quad I_{C1} = \beta I_{B1}$$



Ενισχυς ισχυς:  $I_{E1} = I_{C1} + I_{B1}$

$$\frac{V_{DD} - V_{C1}}{R_{C1}} = I_{C1} + \frac{1}{\beta + 1} I_{E1}$$

$$\frac{V_{DD} - 0,7 - V_{E1}}{R_{C1}} = I_{C1} + \frac{1}{\beta + 1} \cdot \frac{V_{E1}}{R_{E1}}, \text{ αρα } V_{C1} = V_{B1} = V_{E1} + 0,7$$

$$V_{E1} = \frac{(V_{DD} - 0,7)(\beta + 1) R_{E1} - (\beta + 1) R_{C1} R_{E1} I_{C1}}{(\beta + 1) R_{E1} + R_{C1}}$$

$$\text{Αρα αρα: } I_{E1} = \frac{V_{E1}}{R_{E1}}, I_{B1} = \frac{I_{E1}}{\beta + 1}, I_{C1} = \frac{\beta}{\beta + 1} I_{E1}$$

Αναλογως:  $I_{E2} = I_{C2} + I_{B2}$

$$\frac{V_{DD} - V_{C2}}{R_{C2}} = I_{C2} + \frac{1}{\beta + 1} I_{E2}$$

$$\frac{V_{DD} - 0,7 - V_{E2}}{R_{C2}} = I_{C2} + \frac{1}{\beta + 1} \cdot \frac{V_{E2}}{R_{E2}}, \text{ αρα } V_{C2} = V_{B2} = V_{E2} + 0,7$$

ρα  $V_{C3} = V_{DD}$

$$V_{E2} = \frac{(V_{DD} - 0,7)(\beta + 1) R_{E2} - (\beta + 1) R_{C2} R_{E2} I_{C2}}{(\beta + 1) R_{E2} + R_{C2}}$$

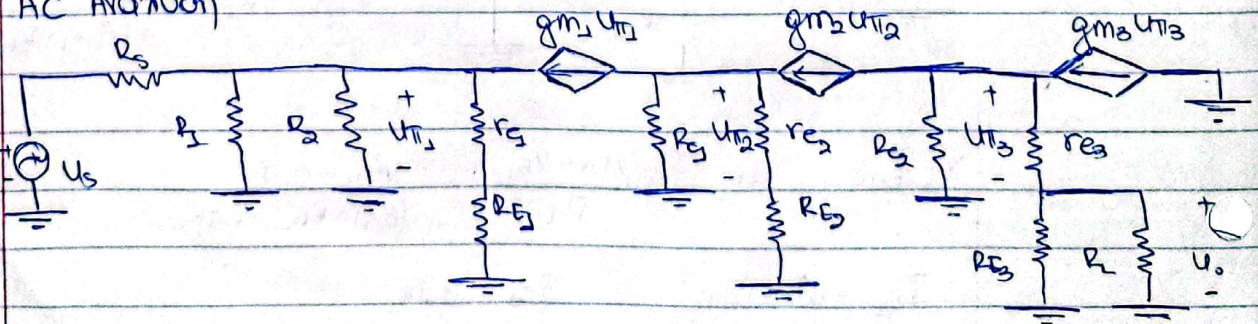
$$\text{Αρα αρα: } I_{E2} = \frac{V_{E2}}{R_{E2}}, I_{B2} = \frac{I_{E2}}{\beta + 1}, I_{C2} = \frac{\beta}{\beta + 1} I_{E2}$$

$$g_{m1} = \frac{I_{C1}}{V_T}, r_{\pi 1} = \frac{\beta}{g_{m1}}, r_{e1} = \frac{a}{g_{m1}}$$

$$g_{m2} = \frac{I_{C2}}{V_T}, r_{\pi 2} = \frac{\beta}{g_{m2}}, r_{e2} = \frac{a}{g_{m2}}$$

$$g_{m3} = \frac{I_{C3}}{V_T}, r_{\pi 3} = \frac{\beta}{g_{m3}}, r_{e3} = \frac{a}{g_{m3}}$$

AC Analysis





To  $Q_3$  éival CC:

$$\frac{U_o}{U_{b3}} = \frac{R_{E3} \parallel R_L}{R_{E3} \parallel R_L + r_{e3}} \quad \text{cai } R_{i3} = (\beta + 1)(r_{e3} + R_{E3} \parallel R_L)$$

To  $Q_2$  éival CE:

$$\frac{U_{b3}}{U_{b2}} = -g_{m2} \frac{R_{E2}}{R_{E2} + r_{e2}} (R_{C2} \parallel R_{i3}) \quad \text{cai } R_{i2} = (\beta + 1)(r_{e2} + R_{E2})$$

To  $Q_1$  éival CE:

$$\frac{U_{b2}}{U_{b1}} = -g_{m1} \frac{r_{e1}}{R_{E1} + r_{e1}} (R_{C1} \parallel R_{i2}) \quad \text{cai } R_{i1} = (\beta + 1)(r_{e1} + R_{E1})$$

$$R_{in} = R_1 \parallel R_2 \parallel R_{i1} \quad \text{cai } \frac{U_{b1}}{U_s} = \frac{R_{in}}{R_{in} + R_s}$$

Apa ya co réptos taomp:

$$\frac{U_o}{U_s} = \frac{U_o}{U_{b3}} \cdot \frac{U_{b3}}{U_{b2}} \cdot \frac{U_{b2}}{U_{b1}} \cdot \frac{U_{b1}}{U_s}$$

$$\frac{U_o}{U_s} = \frac{R_{E3} \parallel R_L}{R_{E3} \parallel R_L + r_{e3}} \left[ -g_{m2} \frac{r_{e2}}{R_{E2} + r_{e2}} (R_{C2} \parallel R_{i3}) \right] \left[ -g_{m1} \frac{r_{e1}}{R_{E1} + r_{e1}} (R_{C1} \parallel R_{i2}) \right] \frac{R_{in}}{R_{in} + R_s}$$

$$= a^2 \frac{R_{E3} \parallel R_L}{R_{E3} \parallel R_L + r_{e3}} \cdot \frac{R_{E2}(\beta + 1)(r_{e3} + R_{E3} \parallel R_L)}{[R_{C2} + (\beta + 1)(r_{e3} + R_{E3} \parallel R_L)][R_{E2} + r_{e2}]} \cdot \frac{R_{E1}(\beta + 1)(r_{e2} + R_{E2})}{[R_{C1} + (\beta + 1)(r_{e2} + R_{E2})][R_{E1} + r_{e1}]}$$

$$\frac{[R_1 \parallel R_2](\beta + 1)(r_{e1} + R_{E1})}{[R_1 \parallel R_2 + (\beta + 1)(r_{e1} + R_{E1})][R_{in} + R_s]}$$

$$\frac{U_o}{U_s} = a^2(\beta + 1)^3 \frac{[R_{E3} \parallel R_L] R_{C2} R_{C1} [R_1 \parallel R_2]}{[R_{C2} + (\beta + 1)(r_{e3} + R_{E3} \parallel R_L)][R_{C1} + (\beta + 1)(r_{e2} + R_{E2})]}$$

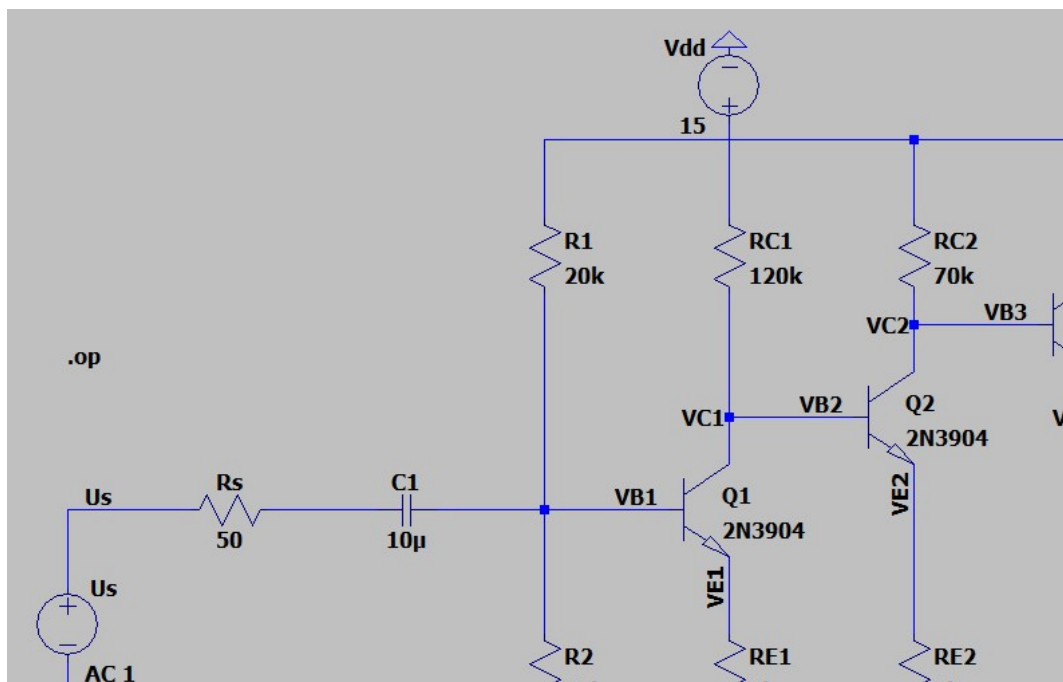
$$\frac{[R_1 \parallel R_2 + (\beta + 1)(r_{e1} + R_{E1})][R_{in} + R_s]}{[R_1 \parallel R_2 + (\beta + 1)(r_{e1} + R_{E1})][R_{in} + R_s]}$$

$$\frac{U_o}{U_s} = \beta^2(\beta + 1) \frac{(R_3 \parallel R_L)(R_1 \parallel R_2) R_{C2} R_{C1}}{[R_{C2} + (\beta + 1)(r_{e3} + R_{E3} \parallel R_L)][R_{C1} + (\beta + 1)(r_{e2} + R_{E2})][R_1 \parallel R_2 + (\beta + 1)(r_{e1} + R_{E1})][R_{in} + R_s]}$$

Προσπαθούμε να επιτύχουμε τις ζητούμενες τιμές της εκφώνησης:

- Συνολικό κέρδος  $\frac{u_o}{u_s} \geq 50$
- Κάτω συχνότητα αποκοπής  $f_L \leq 100\text{Hz}$
- Εύρος  $V_3$ :  $5V \leq V_{E_3} \leq 10V$

Για τον σκοπό αυτό, δοκιμάζουμε διάφορες τιμές για τα στοιχεία του κυκλώματος, καταλήγοντας στις επιλεγμένες παρακάτω:

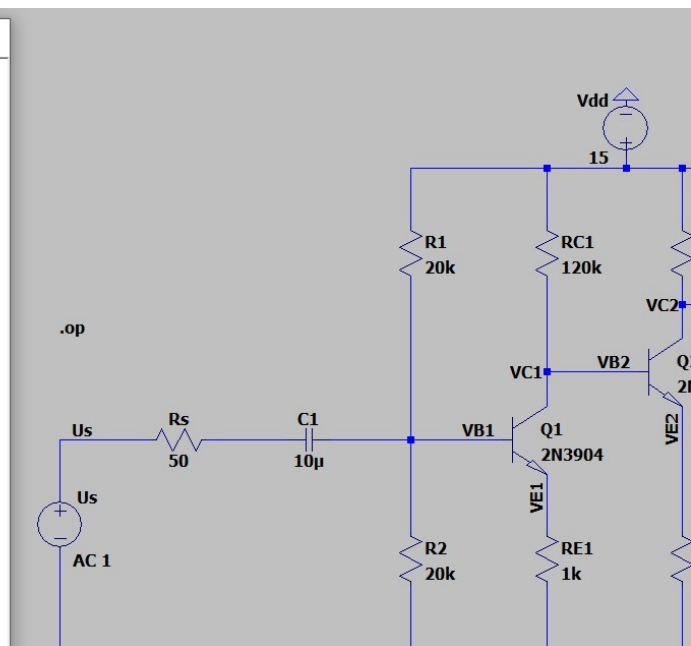


Τρέχοντας την προσομοίωση .op, λαμβάνουμε τις παρακάτω τιμές για τις τάσεις και τα ρεύματα των transistors:

```

--- Operating Point ---
V(n001): 7.1146e-016 voltage
V(us): 0 voltage
V(ve1): 0.726182 voltage
V(vc3): 15 voltage
V(vb2): 0.733131 voltage
V(vb1): 1.42292 voltage
V(ve2): 0.131763 voltage
V(vb3): 5.79463 voltage
V(ve3): 5.2182 voltage
V(uo): 5.2182e-012 voltage
Ic(Q3): 5.20232e-005 device_current
Ib(Q3): 1.58803e-007 device_current
Ie(Q3): -5.2182e-005 device_current
Ic(Q2): 0.000131346 device_current
Ib(Q2): 4.16854e-007 device_current
Ie(Q2): -0.000131763 device_current
Ic(Q1): 0.000118474 device_current
Ib(Q1): 0.000607708 device_current
Ie(Q1): -0.000726182 device_current
I(C2): -5.2182e-017 device_current
I(C1): 1.42292e-017 device_current
I(R1): 5.2182e-017 device_current
I(Re3): 5.2182e-005 device_current
I(Rc2): 0.000131505 device_current
I(Re2): 0.000131763 device_current
I(R1): 0.000678854 device_current
I(R2): 7.1146e-005 device_current

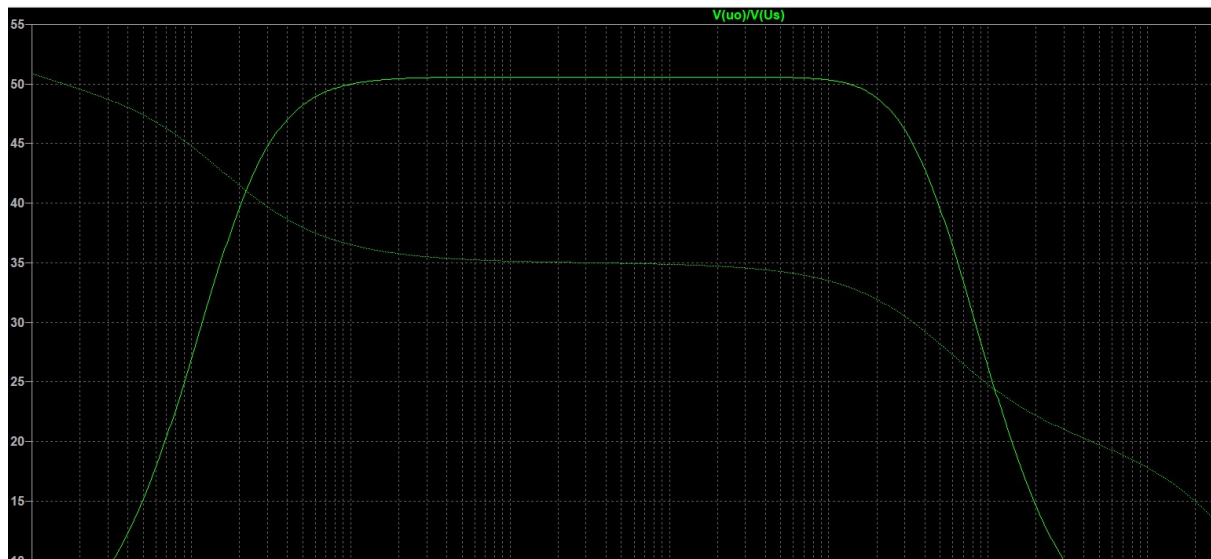
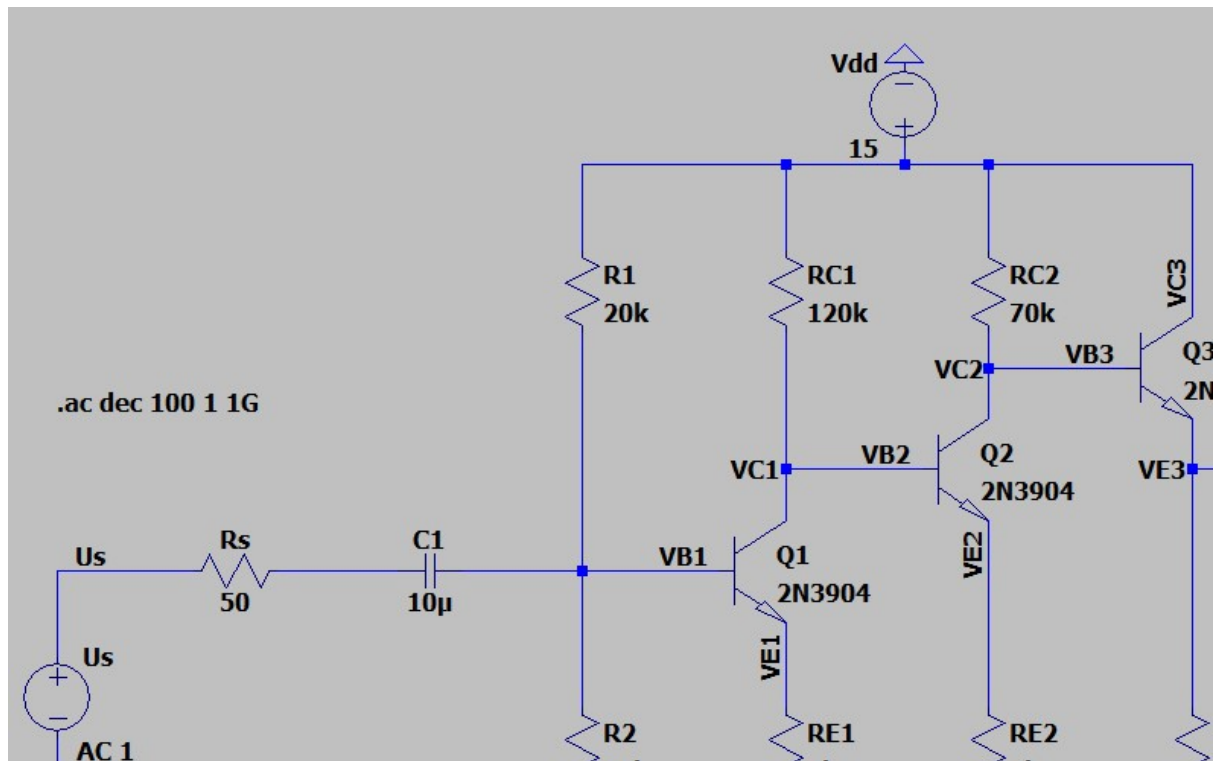
```



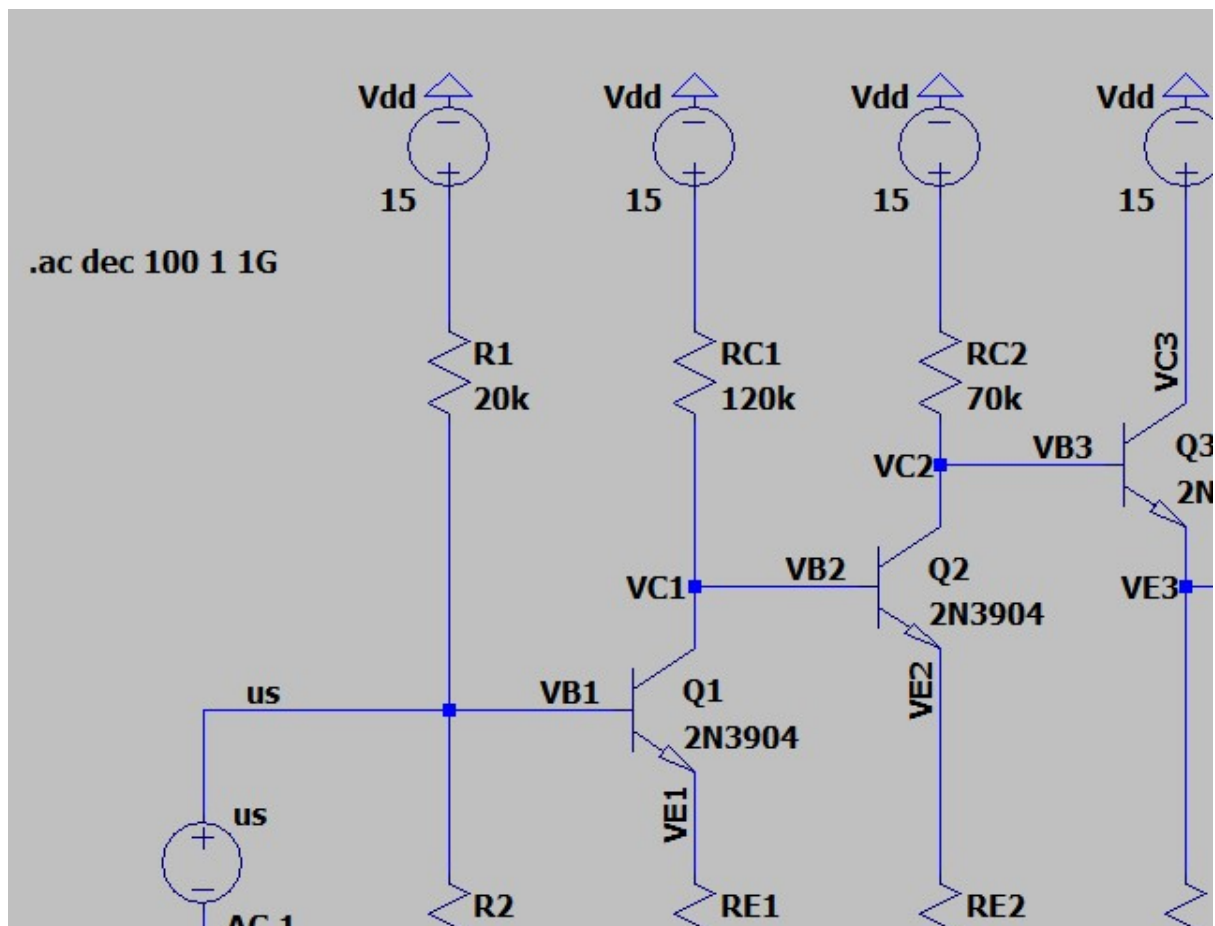


Αξίζει να σημειωθεί πως η περιοχή λειτουργίας των transistors είναι η ενεργός περιοχή.

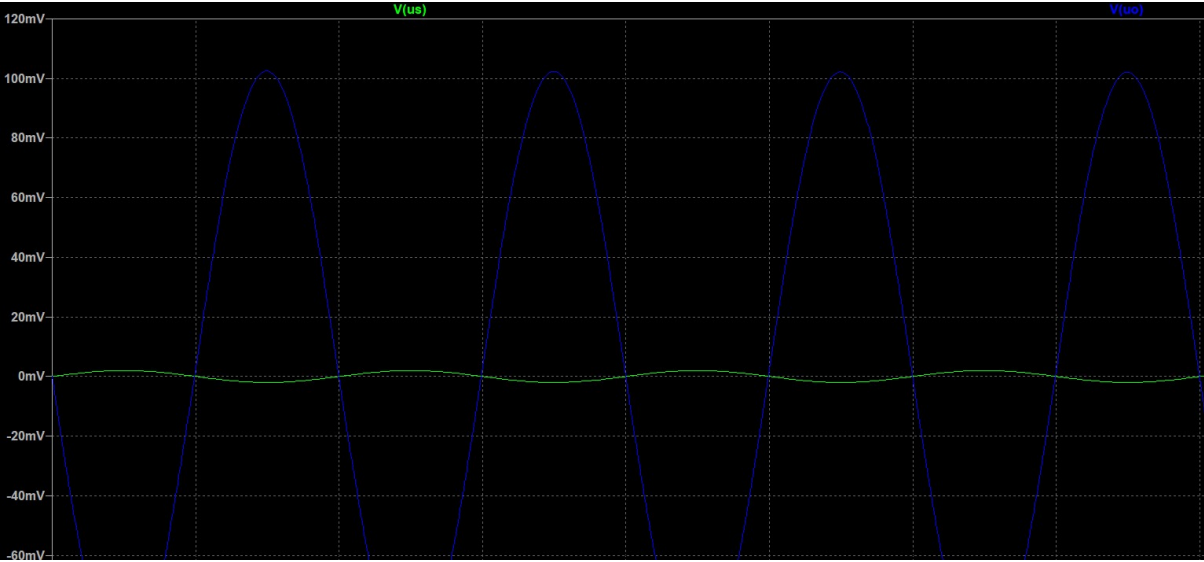
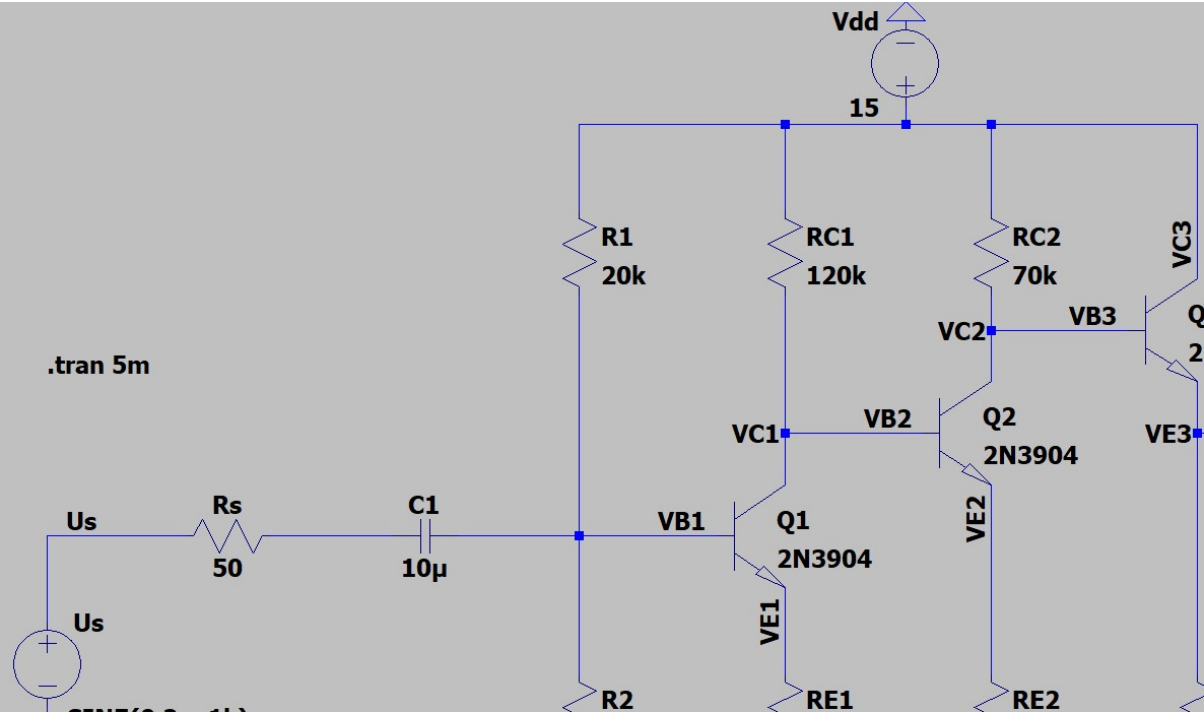
Στη συνέχεια, τρέχοντας την .ac προσομοίωση για συχνότητες από 1Hz έως 1GHz για το ίδιο κύκλωμα λαμβάνουμε τα εξής διαγράμματα BODE κέρδους και φάσης:



Για το εύρος των τιμών της αντίστασης  $R_{in1}$  τρέχουμε την παρακάτω προσομοίωση:

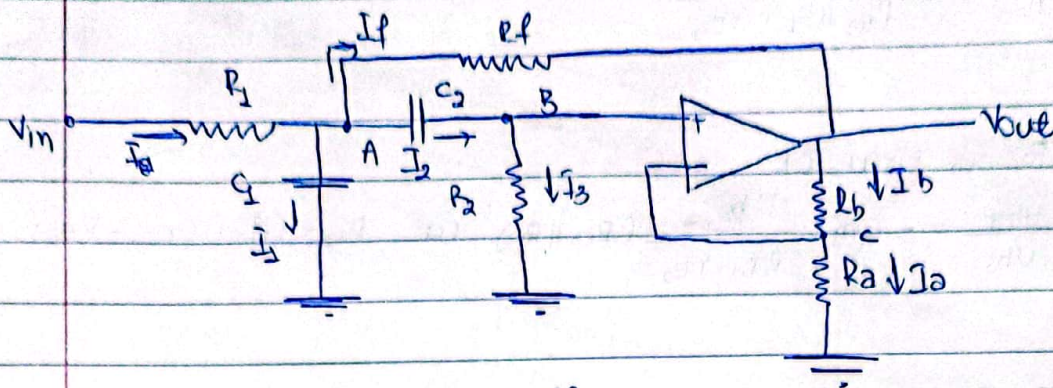


Τέλος, τρέχουμε την transient προσομοίωση πλάτους 2mV και συχνότητας 1kHz για την τάση εξόδου για ημιτονοειδές σήμα εισόδου πλάτους 2mV και συχνότητας 1kHz (σε διάστημα 5 περιόδων):





Exercice 2



À l'aide des lois de Kirchhoff :

$$I_1 = I_2 + I_3 + I_f \Leftrightarrow \frac{V_{in} - V_A}{R_1} = \frac{V_A}{Z_1} + \frac{V_A - V_B}{Z_2} + \frac{V_A - V_{out}}{R_f}$$

$$I_b = I_a \Leftrightarrow \frac{V_{out} - V_c}{R_b} = \frac{V_c}{R_a} \Leftrightarrow V_c = \frac{R_a}{R_a + R_b} \cdot V_{out}$$

Ensuite, on a :  $I_2 = I_3 \Leftrightarrow \frac{V_A - V_B}{Z_2} = \frac{V_B}{R_2} \Leftrightarrow V_A = \frac{R_2 + Z_2}{R_2} V_B$

Quand, nous  $V_B = V_c$  :  $V_A = \frac{R_2 + Z_2}{R_2} V_c = \frac{(R_2 + Z_2) \cdot R_a}{R_2(R_a + R_b)} V_{out} \Leftrightarrow$

$$\Leftrightarrow V_B = \frac{R_a}{R_a + R_b} V_{out}, \text{ donc } Z_1 = \frac{1}{sC_1}$$

$$H(s) = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{(1 + \frac{R_a}{R_b}) \frac{s}{R_1 C_1}}{s^2 + \left[ \frac{1}{R_1 C_1} + \frac{1}{R_2 C_2} + \frac{1}{R_2 C_1} - \frac{R_b}{R_a R_2 C_1 C_2} \right] s + \frac{R_1 + R_f}{R_1 R_f R_2 C_1 C_2}}$$

On veut que le système soit stable, il faut :

$$Q = \frac{\sqrt{(R_1 + R_f) R_1 R_2 R_f C_1 C_2}}{R_1 R_f [C_1 + C_2] + R_2 C_2 [R_f - \frac{R_b R_f}{R_a}]} \text{ car } \gamma > 0$$

Le facteur de qualité  $Q$  est donné par :

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{C_1 C_2 R_1 R_2 R_f}}$$

On suppose  $R_1 = R_2 = R_f = R$ ,  $C_1 = C_2 = C$  car  $R_a = R_b \Leftrightarrow \frac{R_b}{R_a} = 1$ , alors on a

$Q = 0,707 \leq Q \leq 0,707$ , avec  $Q = 0,707$  car  $R$  et  $C$  car

$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$$



Πόγω  $AM \approx 0.64 \Rightarrow AM_1 = 0, AM_2 = 4$ , έχουμε  $f_0 = 65000 \text{ Hz} = 65 \text{ kHz}$

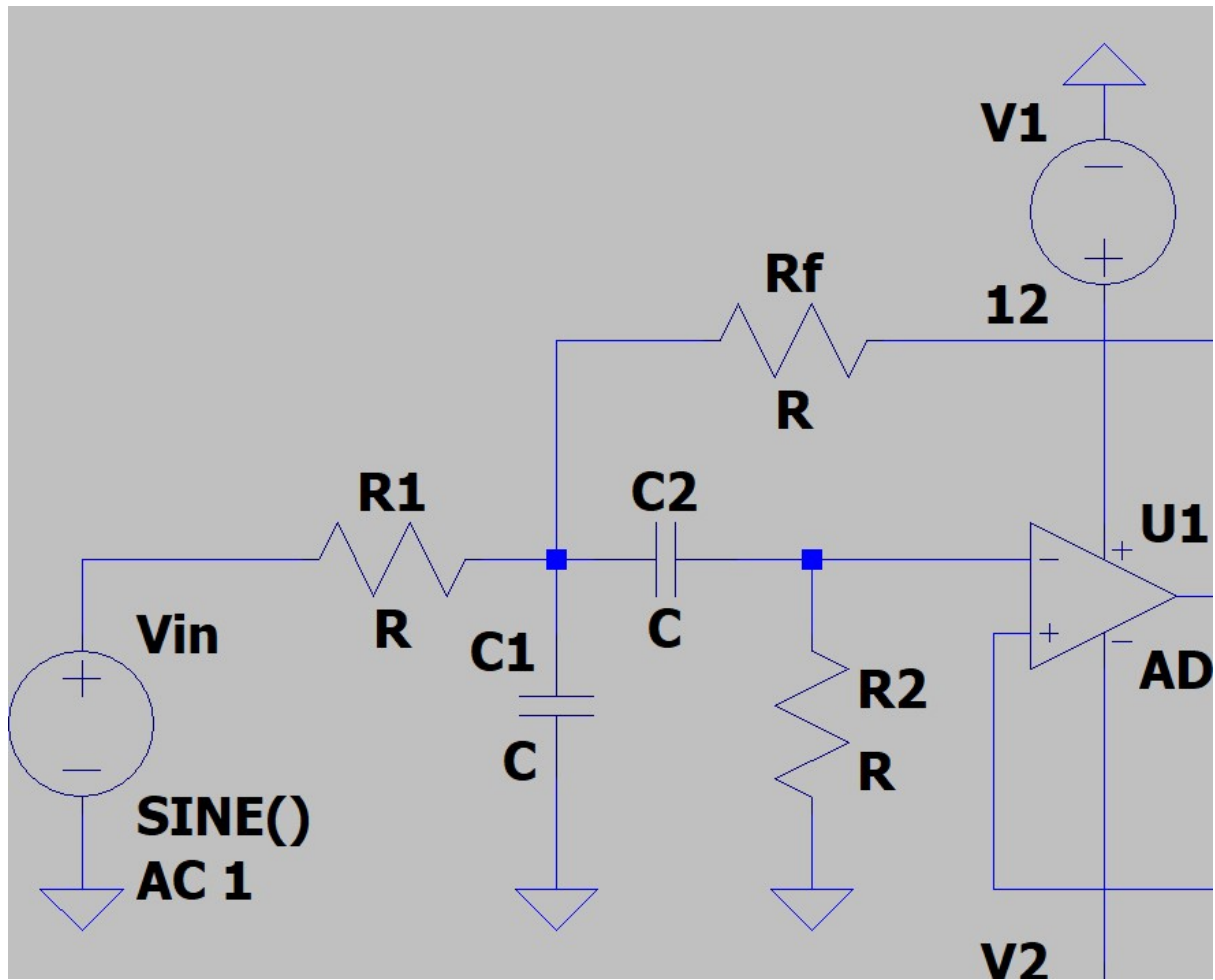
Για τη συχνότητα αυτή επιλέγουμε τις παρακάτω τιμές

$$R_E = \frac{1}{65 \cdot 10^3 \cdot \sqrt{2} \pi} \approx 85 \cdot 10^{-3} \text{ S.F}$$

Επιλέγουμε  $R = 100 \text{ k}\Omega$  και  $C = 35 \text{ pF}$ , όπου  $C = C_1 + C_2$

$$\Rightarrow 35 \text{ pF} = 13 \text{ pF} + 22 \text{ pF}$$

Προσομοιάζουμε το κύκλωμα ως φαίνεται παρακάτω:



Τρέχοντας την προσομοίωση για .ac ανάλυση με σήμα εισόδου ημιτονικό παλμό πλάτους 1, λαμβάνουμε το κάτωθεν διάγραμμα Bode κέρδους και φάσης για το φίλτρο μεταξύ των συχνοτήτων 1Hz και 1GHz:

