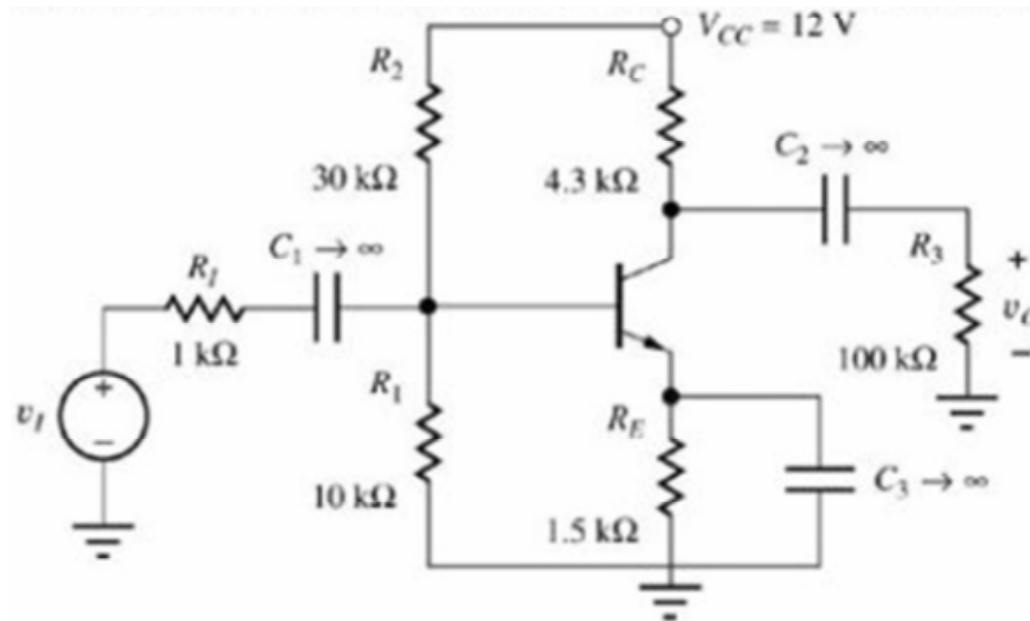


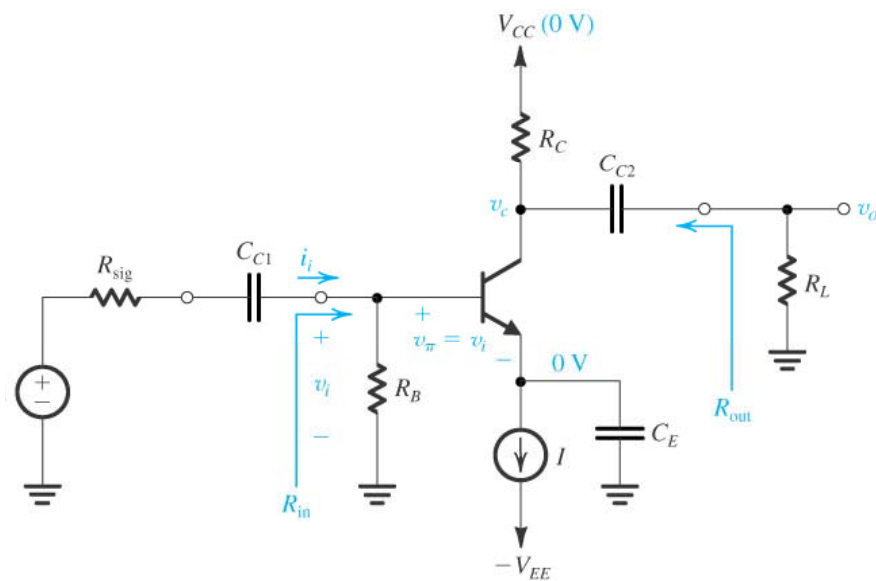
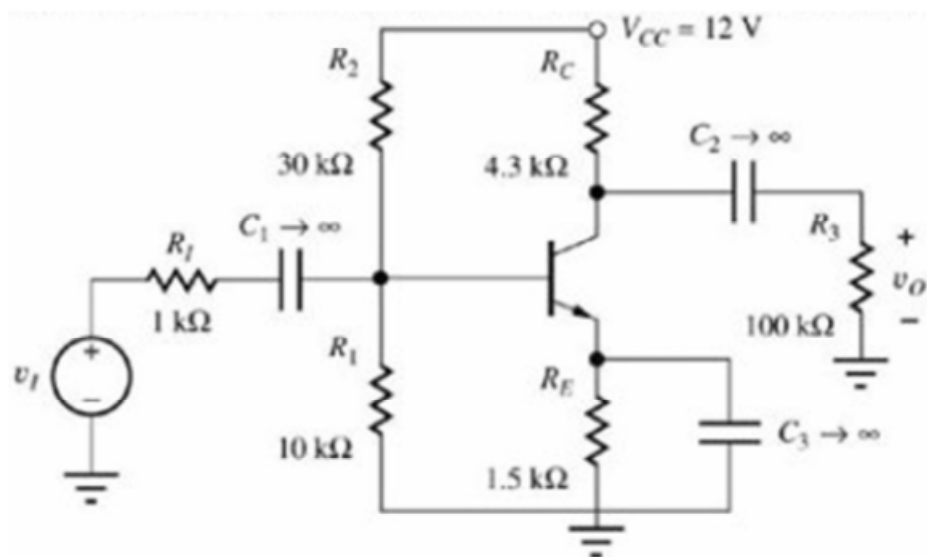
Βασικές τοπολογίες ενισχυτών  
μιας βαθμίδας  
με διπολικά τρανζίστορ

## Ενισχυτής κοινού Εκπομπού



- Πόλωση με δικτύωμα τεσσάρων αντιστάσεων.
- Το AC σήμα εισόδου εισάγεται στη Βάση του τρανζίστορ μέσω ενός πυκνωτή σύζευξης.
- Η AC έξοδος λαμβάνεται από τον Συλλέκτη.
- Ο Εκπομπός είναι γειωμένος στο AC.
- Η  $R_1$  αντιπροσωπεύει την αντίσταση εξόδου της προηγούμενης βαθμίδας και η  $R_3$  την αντίσταση εισόδου της επόμενης βαθμίδας.
- Οι χωρητικότητες των πυκνωτών πρέπει να είναι μεγάλες, πράγμα που δεν είναι αποδεκτό στα Ολοκληρωμένα Κυκλώματα.

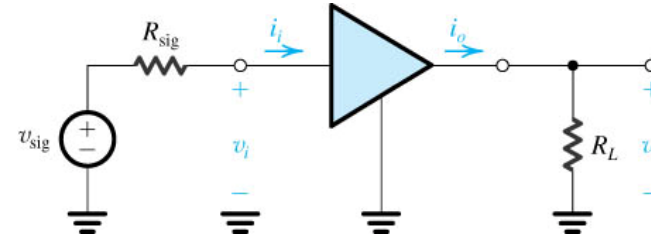
# Ενισχυτής κοινού Εκπομπού



# Βασικά Χαρακτηριστικά Ενισχυτών: Ορισμοί

## Απολαβή-Ενίσχυση Τάσης

$$A_v \equiv \frac{v_{out}}{v_{in}}$$



## Απολαβή-Ενίσχυση Ρεύματος

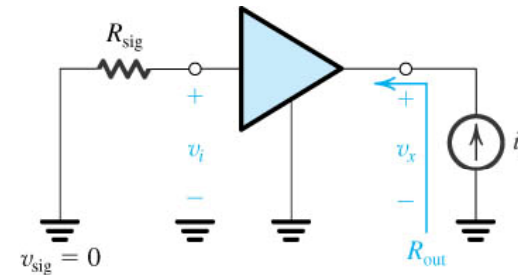
$$A_i \equiv \frac{i_{out}}{i_{in}}$$

## Αντίσταση Εισόδου

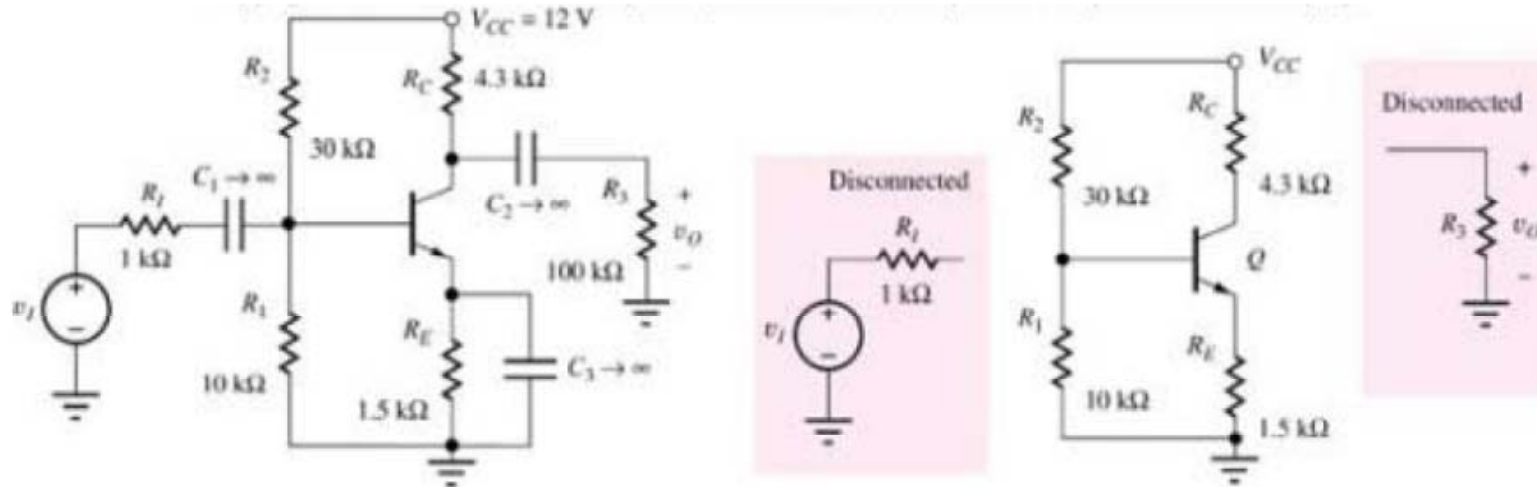
$$R_{in} \equiv \frac{v_{in}}{i_{in}}$$

## Αντίσταση Εξόδου

$$R_{out} \equiv \frac{v_x}{i_x} \Big|_{v_{in}=0, R_L=\infty}$$

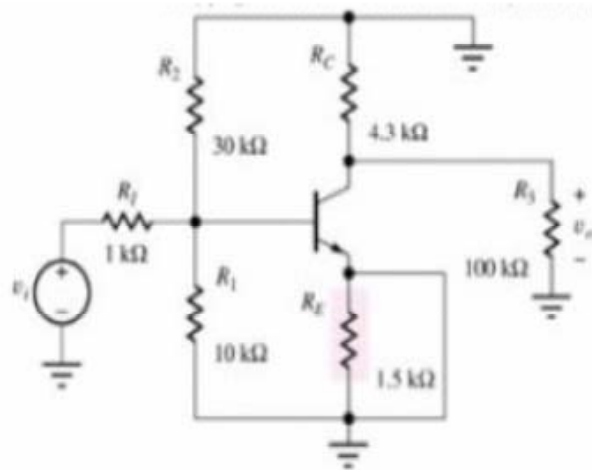
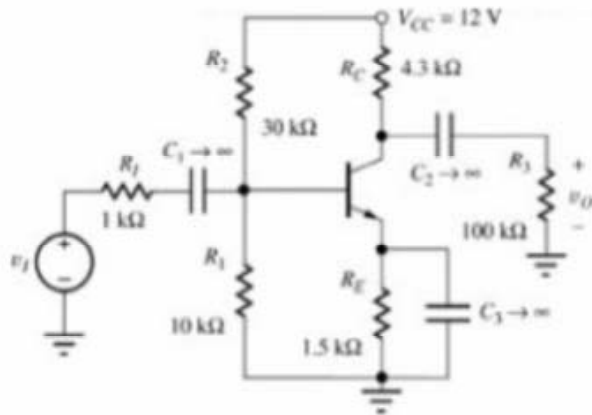


## DC ανάλυση – Υπολογισμός του σημείου λειτουργίας



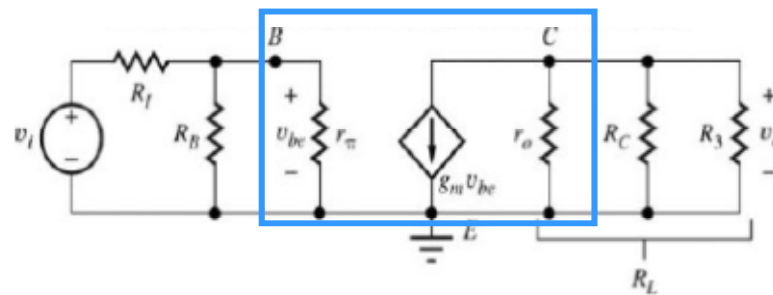
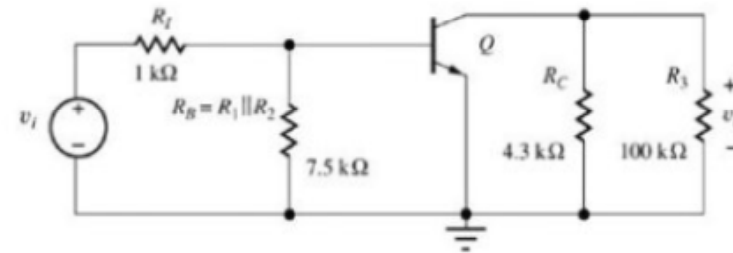
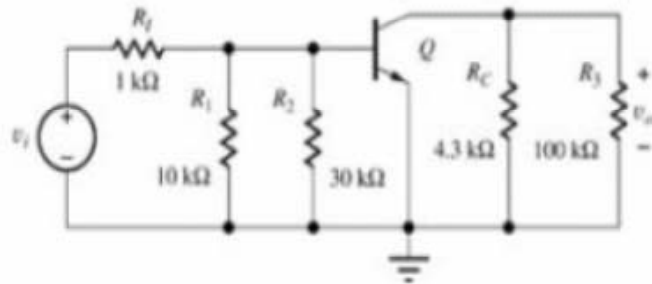
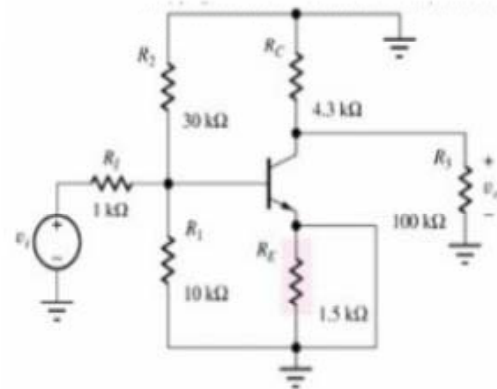
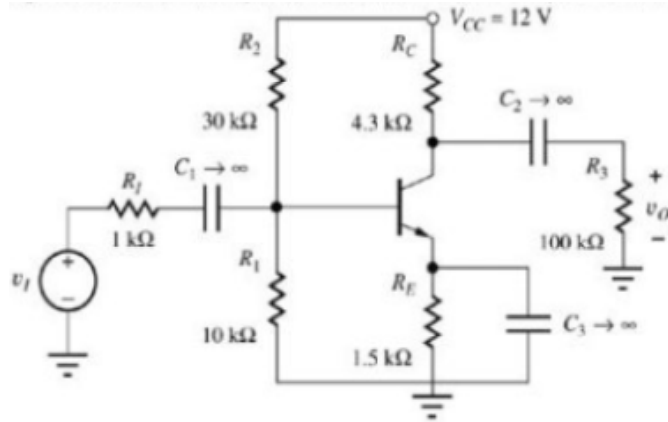
- Όλοι οι πυκνωτές του αρχικού κυκλώματος αντικαθίστανται από ανοιχτούκλωμα.
- Το σημείο ηρεμίας  $Q$  μπορεί τώρα να υπολογιστεί με βάση την DC ανάλυση που έχουμε ήδη αναπτύξει.

## AC ανάλυση

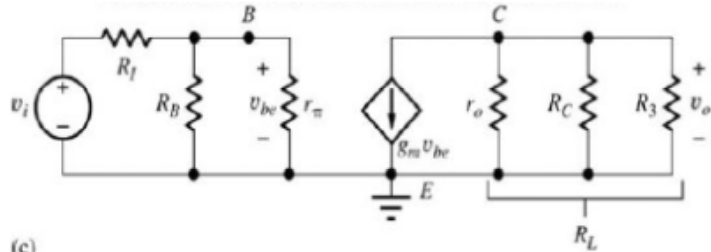


- Αντικαθιστούμε τους πυκνωτές από βραχυκύκλωμα και τα πηνία (αν υπάρχουν) από ανοιχτοκύκλωμα.
- Αντικαθιστούμε όλες τις ανεξάρτητες πηγές DC τάσης από βραχυκύκλωμα και τις DC πηγές ρεύματος από ανοιχτοκύκλωμα.
- Αντικαθιστούμε το τρανζίστορ από το ισοδύναμό του μικρού σήματος.
- Αναλύουμε το γραμμικό ισοδύναμο κύκλωμα μικρού σήματος για να υπολογίσουμε τα χαρακτηριστικά του ενισχυτή: **απολαβή τάσης, αντίσταση εισόδου, αντίσταση εξόδου** κ.ά.

# Ισοδύναμο κύκλωμα μικρού σήματος.



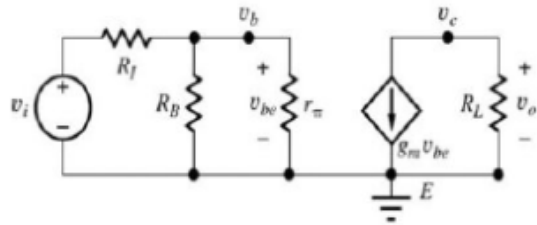
## Απολαβή τάσης



$$R_L = r_o \parallel R_C \parallel R_3$$

(c)

Απολαβή τάσης μεταξύ Βάσης και Συλλέκτη



$$A_{vo} = \frac{v_o}{v_b} = \frac{v_o}{v_{be}} = -g_m R_L$$

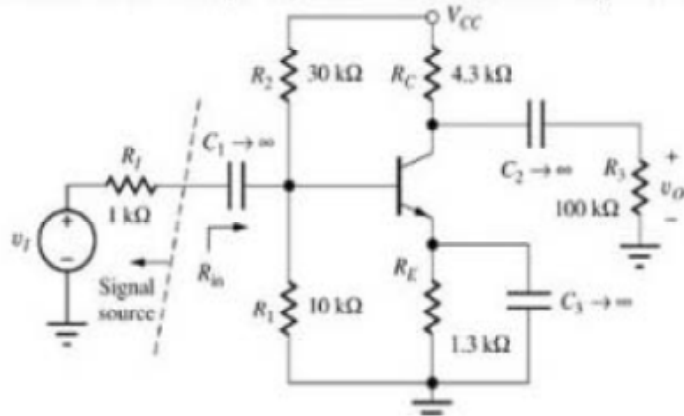
Ολική απολαβή τάσης

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{v_o}{v_{be}} \frac{v_{be}}{v_i} = A_{vo} \frac{v_{be}}{v_i} \Rightarrow$$

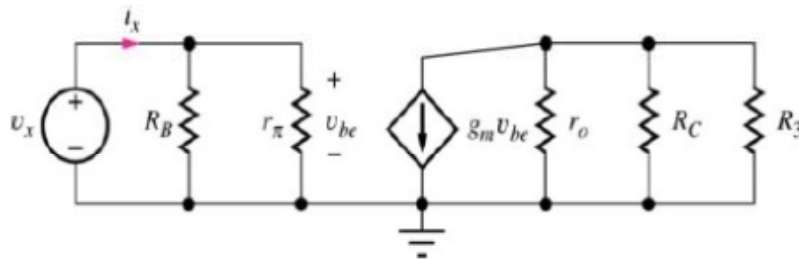
$$A_v = -g_m R_L \left[ \frac{R_B \parallel r_\pi}{R_I + (R_B \parallel r_\pi)} \right]$$



## Αντίσταση εισόδου



Αντίσταση εισόδου είναι η ολική αντίσταση που εμφανίζει ο ενισχυτής προς την πηγή του σήματος εισόδου.

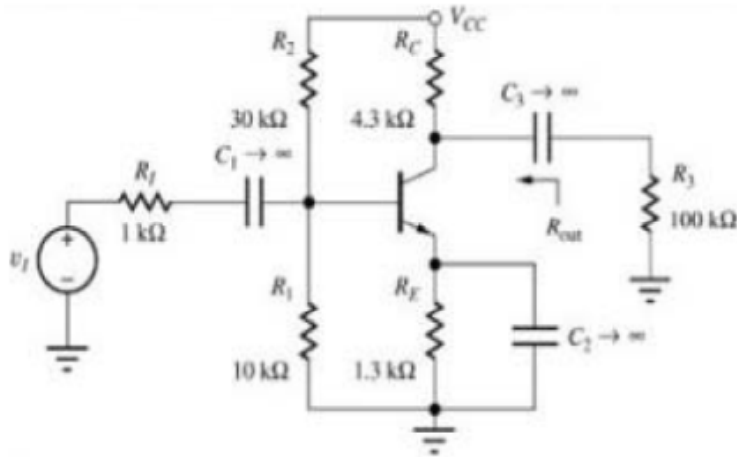


$$v_x = i_x (R_B // r_\pi)$$

$$R_{in} = \frac{v_x}{i_x} = R_B // r_\pi = R_1 // R_2 // r_\pi$$

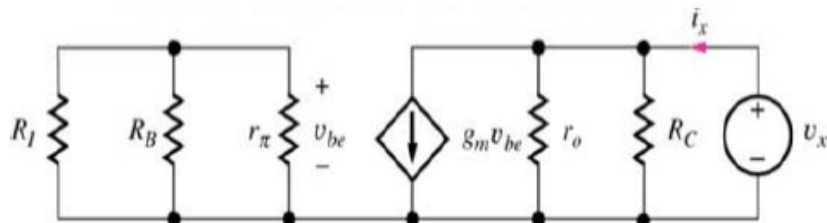
Για μεγάλη αντίσταση εισόδου απαιτείται  $R_B \gg r_\pi$ , σε αντίθεση με τη συνθήκη που θέτει η ανάγκη σταθεροποίησης του σημείου ηρεμίας.

## Αντίσταση εξόδου



• Αντίσταση εξόδου είναι η ολική ισοδύναμη αντίσταση που βλέπουμε από το φόρτο προς την έξοδο του ενισχυτή.

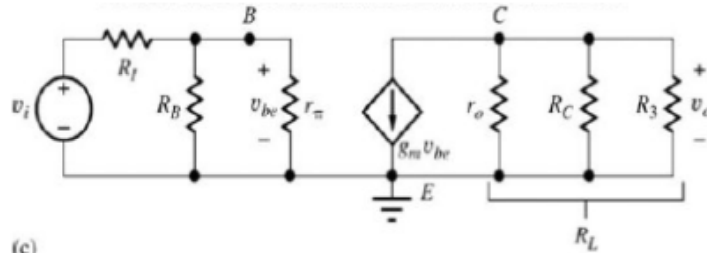
• Για να βρούμε την  $R_{out}$  μηδενίζουμε το σήμα εισόδου και εφαρμόζουμε μία τάση δοκιμής στην έξοδο του ενισχυτή.



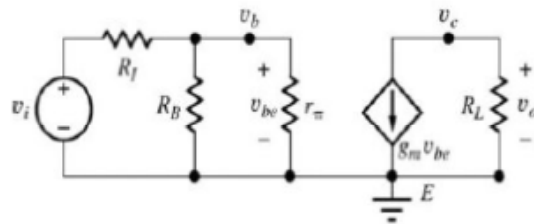
$$i_x = \frac{v_x}{R_C} + \frac{v_x}{r_o} + g_m v_{be} \quad \text{αλλά} \quad v_{be} = 0$$

$$R_{out} = \frac{v_x}{i_x} = R_C // r_o \cong R_C \quad \text{για} \quad r_o \gg R_C$$

## Απολαβή ρεύματος



(c)



Απολαβή ρεύματος μεταξύ Βάσης και Συλλέκτη

$$A_{it} \equiv \frac{i_L}{i_b} = -\frac{g_m v_{be}}{i_b} = -\frac{g_m i_b r_\pi}{i_b} = -g_m r_\pi = -\beta$$

Ολική απολαβή ρεύματος

$$A_i \equiv \frac{i_L}{i_i} = \frac{i_L}{i_b} \frac{i_b}{i_i} = A_{it} \frac{R_B}{R_B + r_\pi} = -\beta \frac{R_B}{R_B + r_\pi} = -g_m r_\pi \frac{R_B}{R_B + r_\pi} = -g_m (r_\pi // R_B)$$

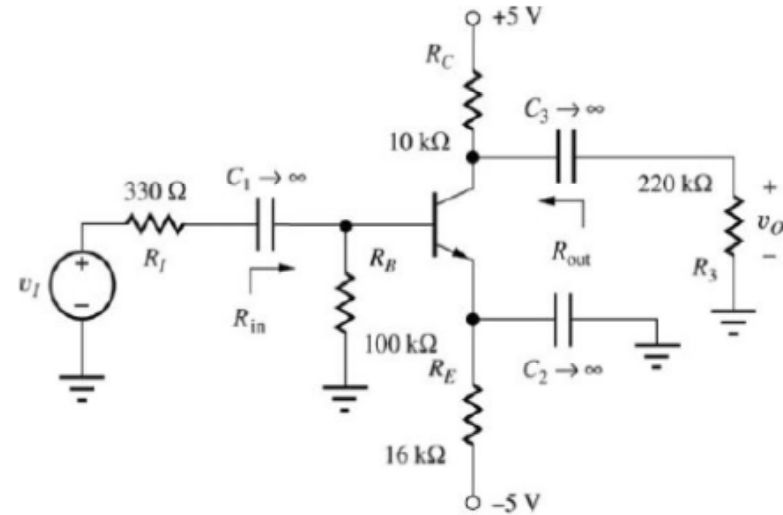
**Συμπερασματικά**, ο ενισχυτής κοινού εκπομπού παρουσιάζει:

- Μεγάλη απολαβή ρεύματος και τάσης.
- Αρκετά μεγάλη αντίσταση εισόδου και εξόδου.
- Εμφανίζει μόνο πρόβλημα στις υψηλές συχνότητες.

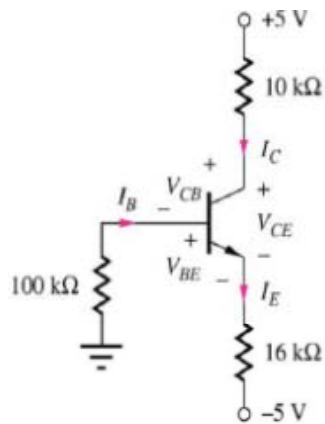
**Παράδειγμα:** Να υπολογιστεί η απολαβή τάσης, η αντίσταση εισόδου και η αντίσταση εξόδου.

Δίνονται:  $\beta=65$ ,  $V_A=50V$

Υποθέσεις: Λειτουργία στην ενεργό περιοχή,  $V_{BE}=0.7V$ , συνθήκες λειτουργίας μικρού σήματος.



### DC ανάλυση



$$R_B I_B + V_{BE} + (\beta + 1) I_B R_E = 5V$$

$$I_B = 3.71 \mu A$$

$$I_C = 65 I_B = 241 \mu A$$

$$I_E = 66 I_B = 245 \mu A$$

$$5V - R_C I_C - V_{CE} - I_E R_E - (-5V) = 0$$

$$V_{CE} = 3.67V$$

Πράγματι το κύκλωμα λειτουργεί στην ενεργό περιοχή.

## Παράδειγμα (συνέχεια):

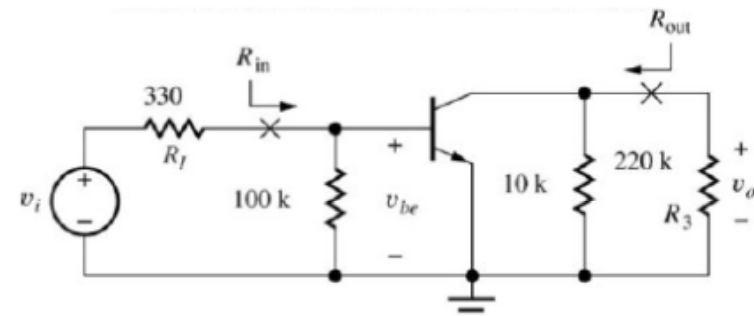
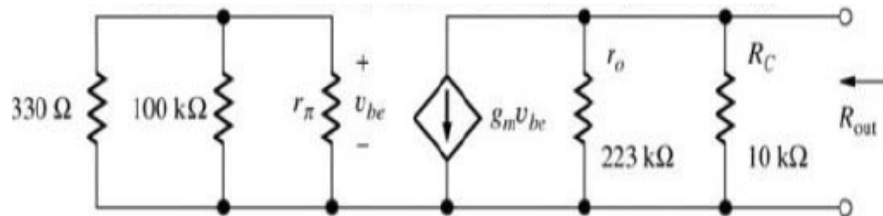
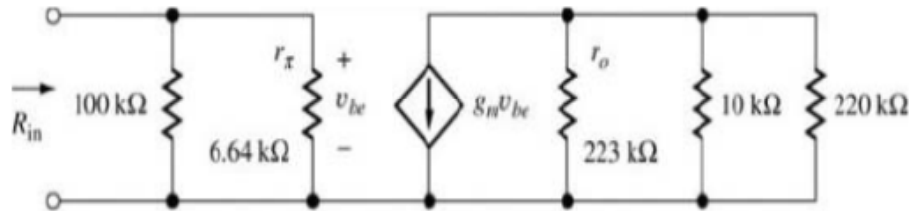
### AC ανάλυση

Ισοδύναμο κύκλωμα μικρού σήματος

$$g_m = \frac{I_C}{V_T} = 9.64 \times 10^{-3} S$$

$$r_\pi = \frac{\beta V_T}{I_C} = 6.64 k\Omega$$

$$r_o = \frac{V_A + V_{CE}}{I_C} = 223 k\Omega$$



$$R_L = r_o \parallel R_C \parallel R_3$$

$$A_{vo} = -g_m R_L \left[ \frac{R_B \parallel r_\pi}{R_I + (R_B \parallel r_\pi)} \right] = -84$$

$$R_{in} = R_B \parallel r_\pi = 6.23 k\Omega$$

$$R_{out} = R_C \parallel r_o = 9.57 k\Omega$$

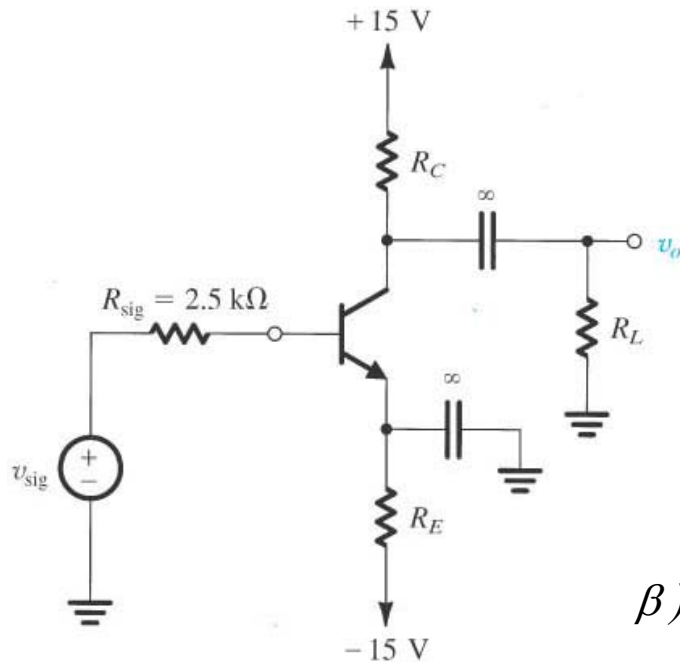
**Άσκηση:** Στο κύκλωμα του σχήματος η  $v_{sig}$  είναι ημιτονικό σήμα μικρού πλάτους και μηδενικής μέσης τιμής.

α) Βρείτε την  $R_E$  ώστε  $I_E = 1\text{mA}$ .

β) Βρείτε την  $R_C$  ώστε  $V_C = +5\text{V}$ .

γ) Για  $R_L = 5\text{k}\Omega$  και  $r_o = 100\text{k}\Omega$  σχεδιάστε το ισοδύναμο κύκλωμα μικρού σήματος του ενισχυτή και υπολογίστε την ολική ενίσχυση τάσης.

Δίνεται  $\beta = 100$ .



$$a) \quad I_B R_{sig} + V_{BE} + I_E R_E - 15V = 0$$

$$\Rightarrow \frac{I_E}{1 + \beta} R_{sig} + I_E R_E = 15V - V_{BE}$$

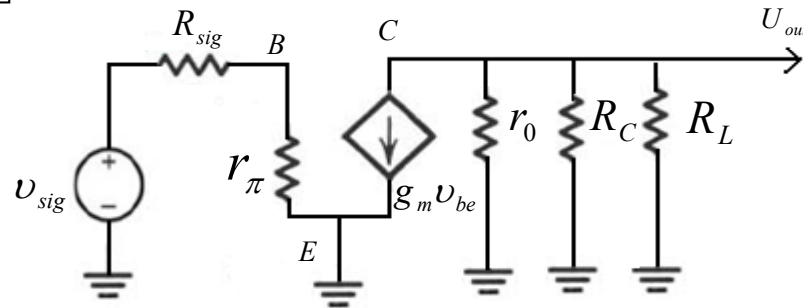
$$\Rightarrow R_E = \frac{15V - V_{BE}}{I_E} - \frac{R_{sig}}{1 + \beta} = \frac{(15 - 0.7)V}{1\text{mA}} - \frac{2.5\text{k}\Omega}{101} =$$

$$= 14.3\text{k}\Omega - 24.7\Omega \approx 14.27\text{k}\Omega$$

$$\beta) \quad V_{CC} - V_C = I_C R_C \Rightarrow R_C = \frac{V_{CC} - V_C}{I_C} \approx \frac{(15 - 5)V}{1\text{mA}} = 10\text{k}\Omega$$

Συνέχεια:

γ)



$$R_0 = r_o \parallel R_C \parallel R_L$$

$$v_{out} = -g_m v_{be} R_0 = -g_m R_0 \frac{r_\pi}{R_{sig} + r_\pi} v_{sig} \Rightarrow A = -g_m R_0 \frac{r_\pi}{R_{sig} + r_\pi}$$

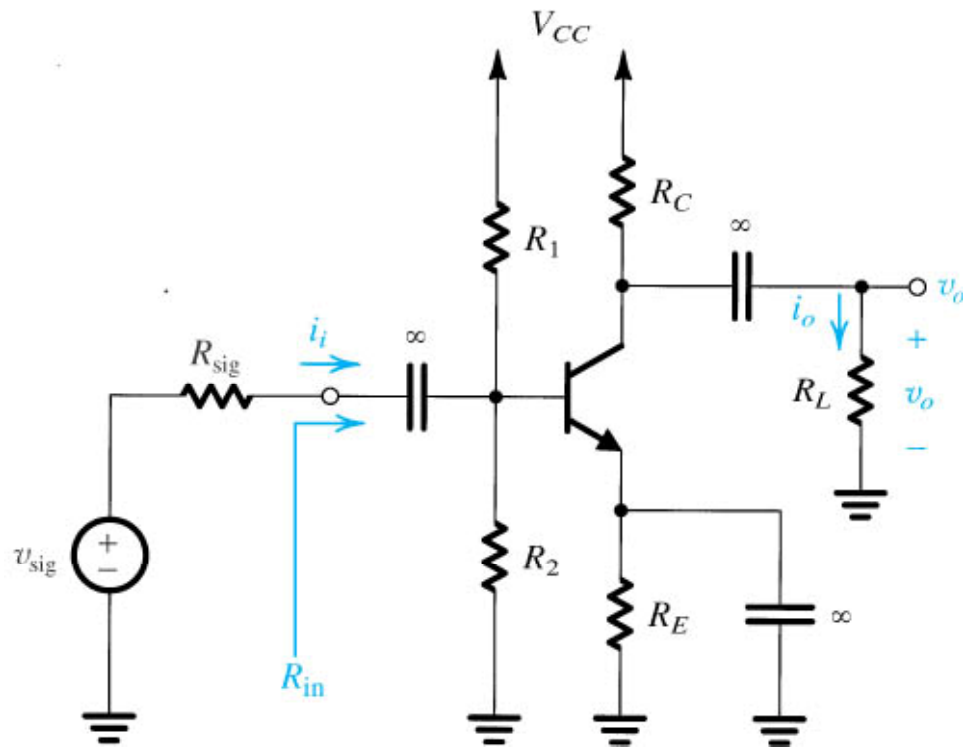
$$g_m = \frac{I_C}{V_T} = \frac{1mA}{25mV} = 40mA/V$$

$$r_\pi = \frac{V_T}{I_B} = \frac{25mV}{1mA} \cdot 101 = 2.53k\Omega$$

$$\frac{1}{R_0} = \frac{1}{r_o} + \frac{1}{R_C} + \frac{1}{R_L} = \frac{1}{2.53k\Omega} + \frac{1}{10k\Omega} + \frac{1}{5k\Omega} \Rightarrow R_0 \approx 1.44k\Omega$$

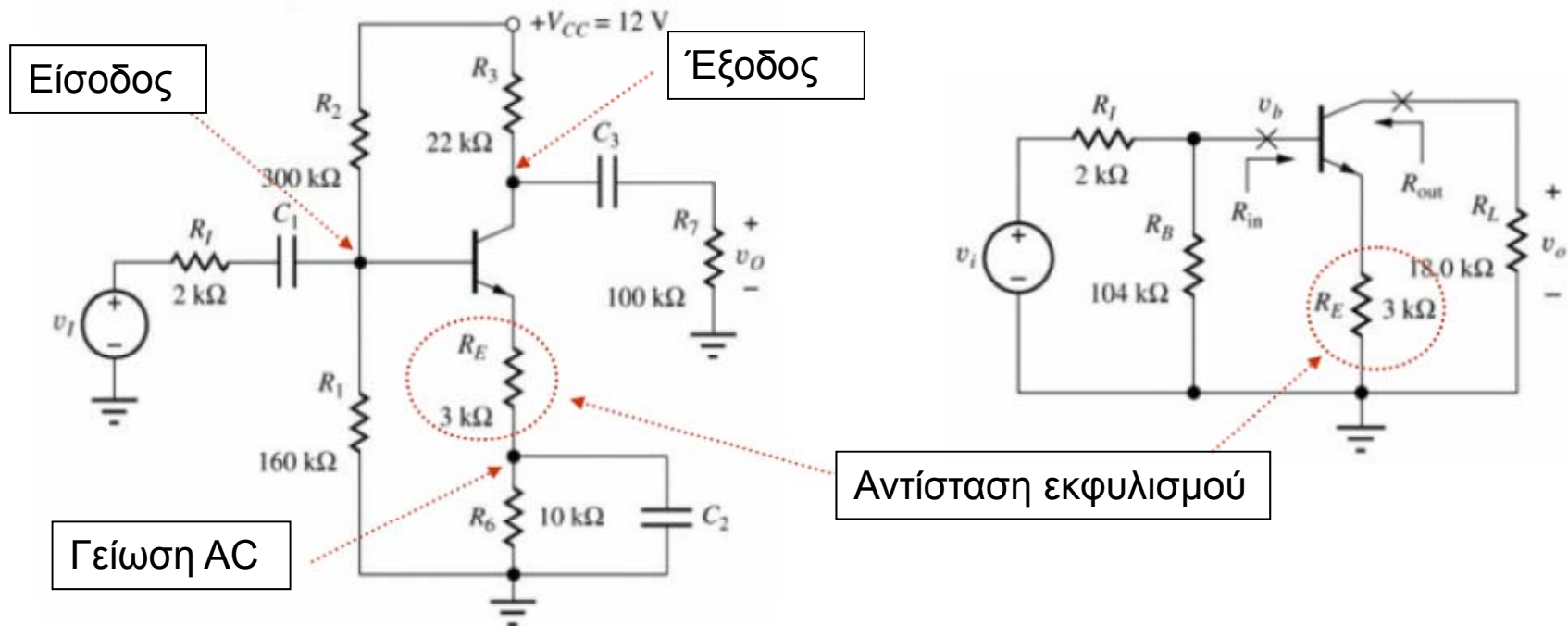
$$\Rightarrow A = -40 \cdot 1.44 \frac{2.53}{2.53 + 2.5} = -28.97$$

**Άσκηση:** Στο κύκλωμα του σχήματος η  $v_{sig}$  είναι ημιτονικό σήμα μικρού πλάτους και μηδενικής μέσης τιμής. Σχεδιάστε τον ενισχυτή αυτόν ώστε να λειτουργεί με  $R_{sig}=10k\Omega$ ,  $R_L=2k\Omega$ ,  $V_{CC}=9V$  και να επιτυγχάνει ενίσχυση τάσης  $A_v=-8$ . Χρησιμοποιείτε  $I_E=2mA$ ,  $V_{BB}=1/3V_{CC}$  και ρεύμα βάσης ίσο με το ένα δέκατο του ρεύματος του διαιρέτη τάσης. Δίνεται  $\beta=100$  και  $V_A=100V$ .





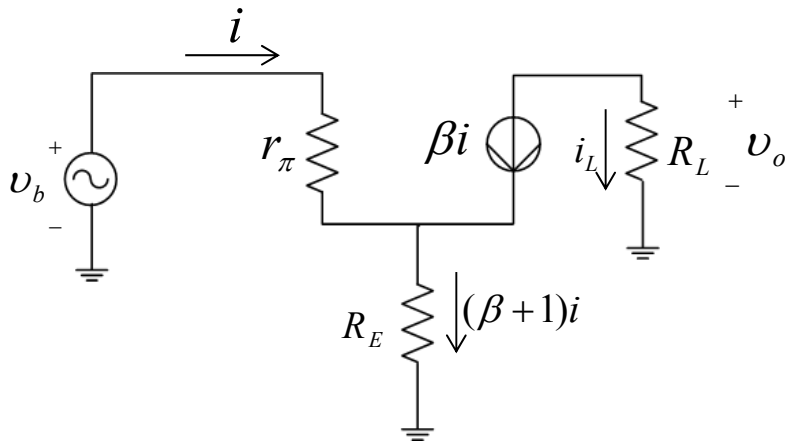
# Ενισχυτής κοινού Εκπομπού με αντίσταση εκφυλισμού



Η αντίσταση εκφυλισμού δημιουργεί στο κύκλωμα αρνητική ανασύζευξη.

## Απολαβή τάσης

Χρησιμοποιούμε το π-υβριδικό μοντέλο παραλείποντας την  $r_o$ .



$$\left. \begin{aligned} v_b &= ir_\pi + (\beta + 1)iR_E \\ &= i[r_\pi + (\beta + 1)R_E] \\ v_o &= -\beta iR_L \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

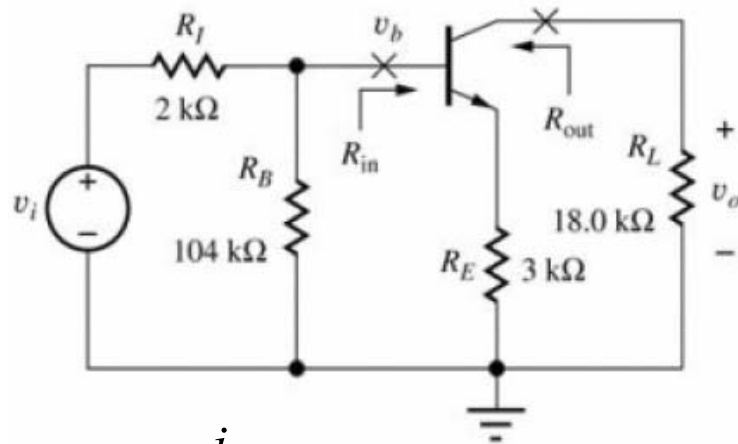
$$A_{vt} \equiv \frac{v_o}{v_b} = -\frac{\beta R_L}{r_\pi + (\beta + 1)R_E}$$

Λαμβάνοντας  $r_\pi g_m = \beta \Rightarrow$

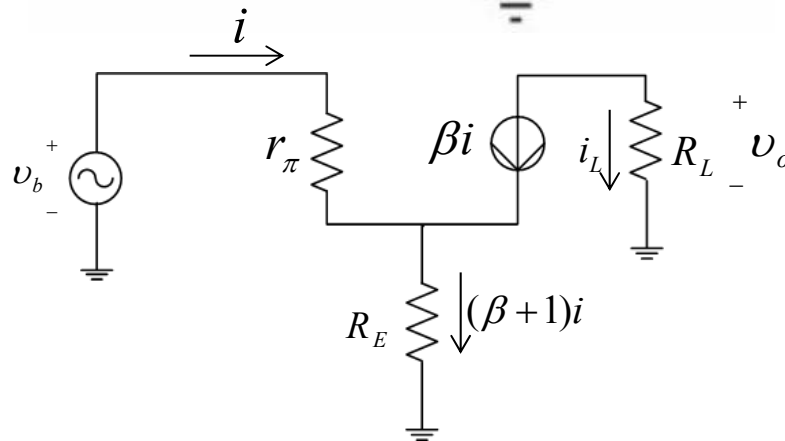
$$A_{vt} = -\frac{g_m r_\pi R_L}{r_\pi + (g_m r_\pi + 1)R_E} \cong -\frac{g_m R_L}{1 + g_m R_E}$$

Η αντίσταση  $R_E$  μειώνει την απολαβή τάσης, αλλά την κάνει λιγότερο ευαίσθητη στις μεταβολές του  $g_m$  (πιο σταθεροποιημένη).

## Αντίσταση εισόδου



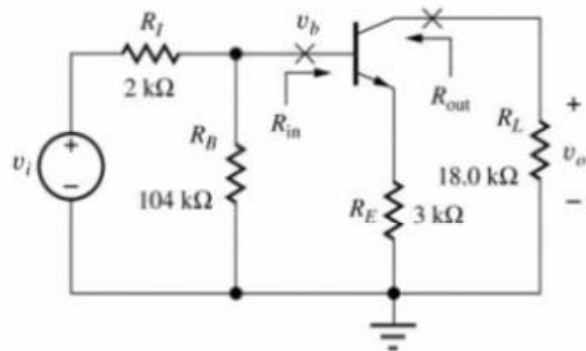
$$v_b = i[r_\pi + (\beta + 1)R_E]$$



$$\begin{aligned} R_{in} &= \frac{v_b}{i} = r_\pi + (\beta + 1)R_E \\ &= r_\pi + (g_m r_\pi + 1)R_E \\ &\cong r_\pi (1 + g_m R_E) \end{aligned}$$

Η αντίσταση  $R_E$  αυξάνει την αντίσταση εισόδου του ενισχυτή.

## Αντίσταση εξόδου



$$R_{out} \equiv \left. \frac{v_X}{i_X} \right|_{v_i=0}$$

$$v_e = (\beta + 1)iR_E$$

$$i(R_{th} + r_\pi) + v_e = 0$$

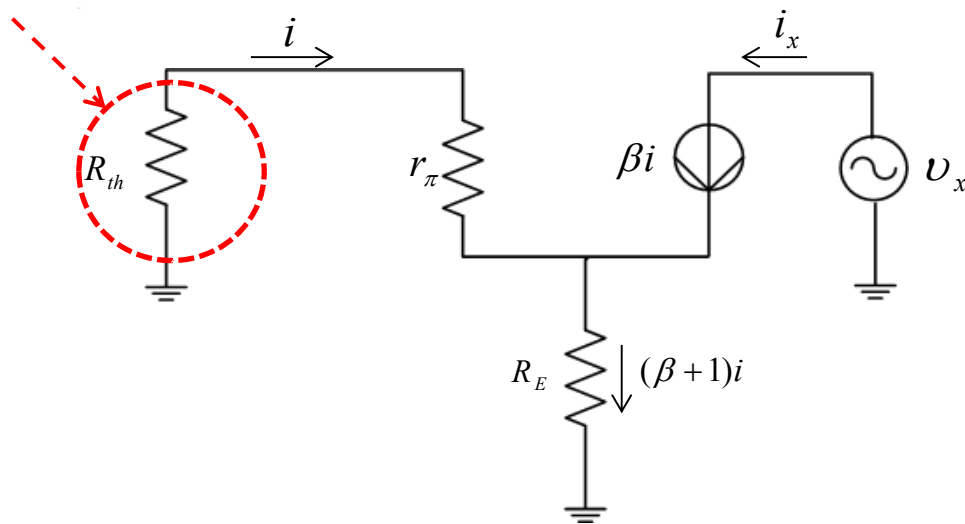
$$\frac{v_e}{(\beta + 1)R_E}(R_{th} + r_\pi) + v_e = 0$$

$$\Rightarrow v_e = 0$$

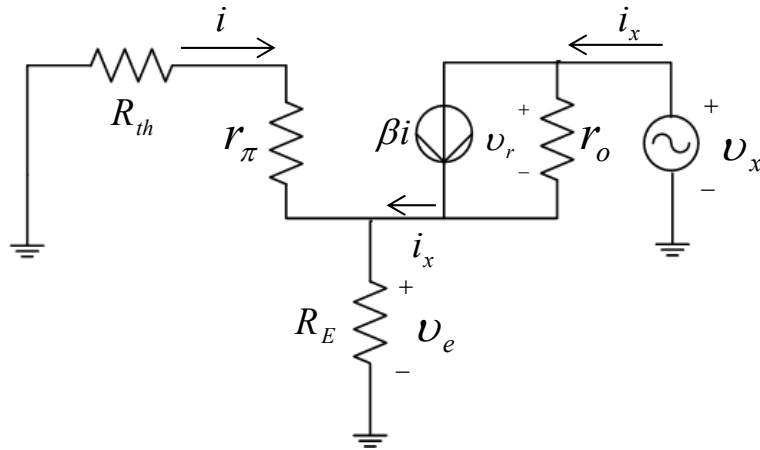
$$i = 0 \Rightarrow i_X = \beta i = 0$$

$$R_{out} = \frac{v_X}{i_X} = \infty$$

$$R_{th} = R_I // R_B$$



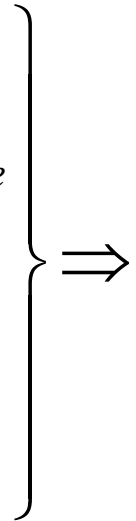
Αντίσταση εξόδου, αν λάβουμε υπόψη και την  $r_o$ .



$$v_x = v_r + v_e = (i_x - \beta i)r_o + v_e$$

$$v_e = i_x \left( (R_{th} + r_{\pi}) // R_E \right)$$

$$i = -i_x \frac{R_E}{R_E + R_{th} + r_{\pi}}$$

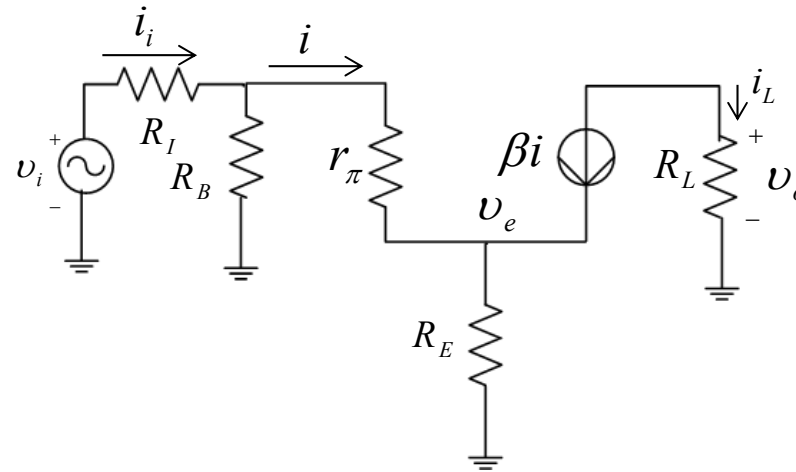


$$v_x = r_o \left( i_x + \beta i_x \frac{R_E}{R_E + R_{th} + r_{\pi}} \right) + i_x \left( (R_{th} + r_{\pi}) // R_E \right)$$

$$R_{out} \equiv \frac{v_x}{i_x} \cong r_o \left( 1 + \frac{\beta R_E}{R_E + R_{th} + r_{\pi}} \right) \quad \text{για } r_o \gg$$

Η αντίσταση  $R_E$  αυξάνει την αντίσταση εξόδου του ενισχυτή.

## Απολαβή ρεύματος



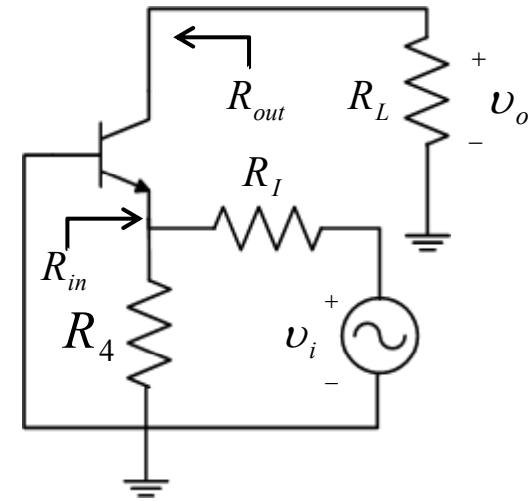
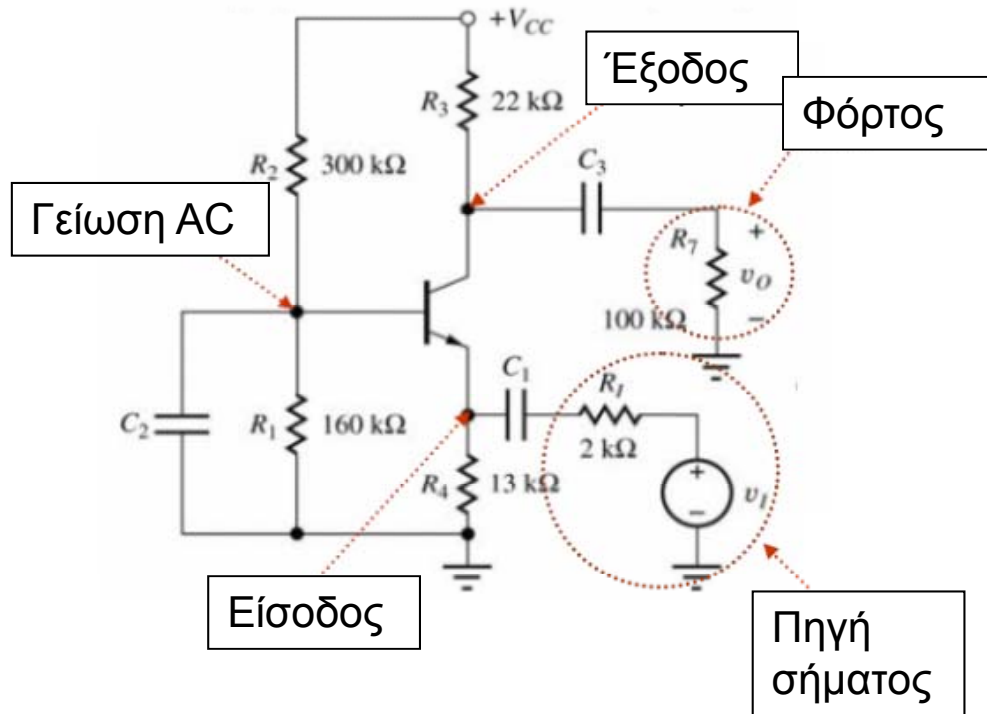
Απολαβή ρεύματος μεταξύ Βάσης και Συλλέκτη

$$A_{it} \equiv \frac{i_L}{i} = -\beta$$

Ολική απολαβή ρεύματος

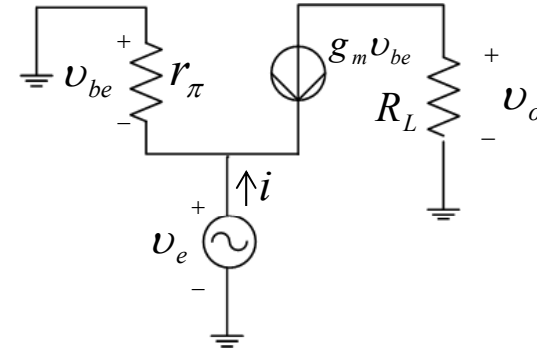
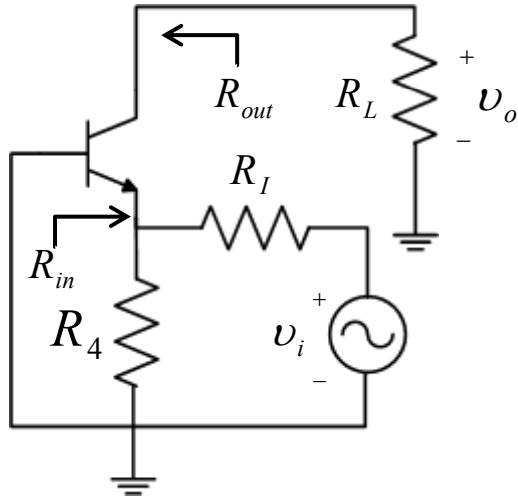
$$A_i \equiv \frac{i_L}{i_i} = \frac{i_L}{i} \frac{i}{i_i} = A_{it} \frac{R_B}{R_B + R_{in}} = -\beta \frac{R_B}{R_B + R_{in}}$$

# Ενισχυτής κοινής Βάσης



$$R_L = R_3 \parallel R_7$$

## Απολαβή τάσης



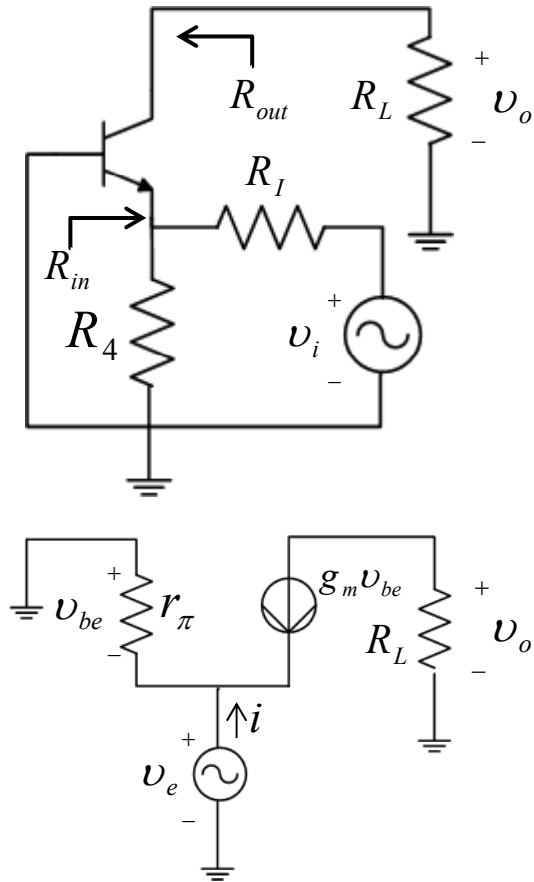
$$A_{vt}^{CB} \equiv \frac{v_o}{v_e} = +g_m R_L$$

Δεν έχουμε αναστροφή της τάσης εξόδου.

Το μέτρο της απολαβής είναι ίδιο με του ενισχυτή κοινού εκπομπού χωρίς αντίσταση  $R_E$ .



## Αντίσταση εισόδου

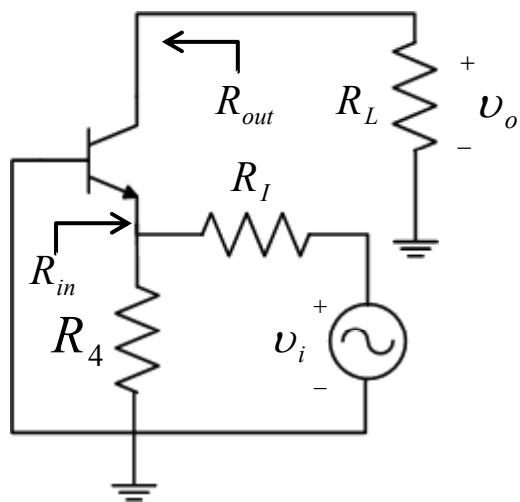


$$i = \frac{v_e}{r_\pi} + g_m v_e$$

$$R_{in}^{CB} = \frac{v_e}{i} = \frac{r_\pi}{r_\pi g_m + 1} = r_\pi // \left( \frac{1}{g_m} \right) \approx \frac{1}{g_m}$$

Η αντίσταση εισόδου είναι μικρή, δεδομένου ότι το  $g_m$  είναι μεγάλο.

## Ολική απολαβή τάσης



$$A_v^{CB} = \frac{v_o}{v_i} = \left( \frac{v_o}{v_e} \right) \left( \frac{v_e}{v_i} \right) = A_{vt} \left[ \frac{R_4 // R_{in}}{R_I + (R_4 // R_{in})} \right]$$

$$= \frac{g_m R_L}{1 + g_m (R_4 // R_I)} \left( \frac{R_4}{R_I + R_4} \right) \approx \frac{g_m R_L}{1 + g_m R_I}$$

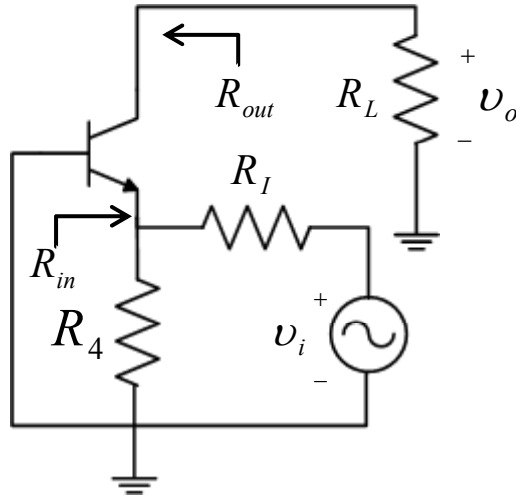
για  $R_4 \gg R_I$

Για  $g_m R_I \ll 1 \quad \Rightarrow \quad A_v^{CB} = +g_m R_L$

Για  $g_m R_I \gg 1 \quad \Rightarrow \quad A_v^{CB} = +\frac{R_L}{R_I}$

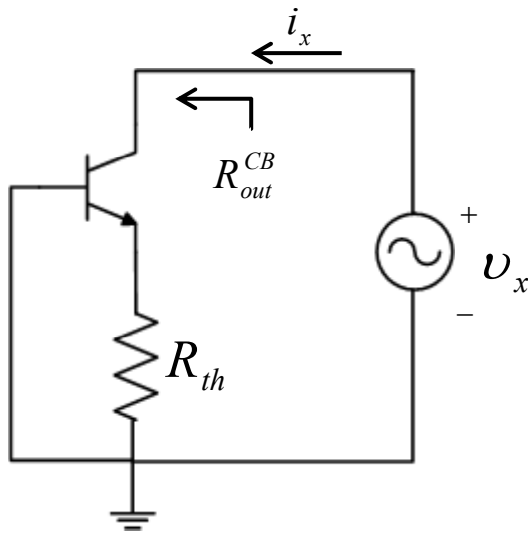
Για να επιτύχουμε μεγάλη απολαβή πρέπει η  $R_I$  να είναι πολύ μικρή.

## Αντίσταση εξόδου



Παρατηρούμε ότι η αντίσταση εξόδου είναι η ίδια με του ενισχυτή κοινού εκπομπού με αντίσταση εκφυλισμού.

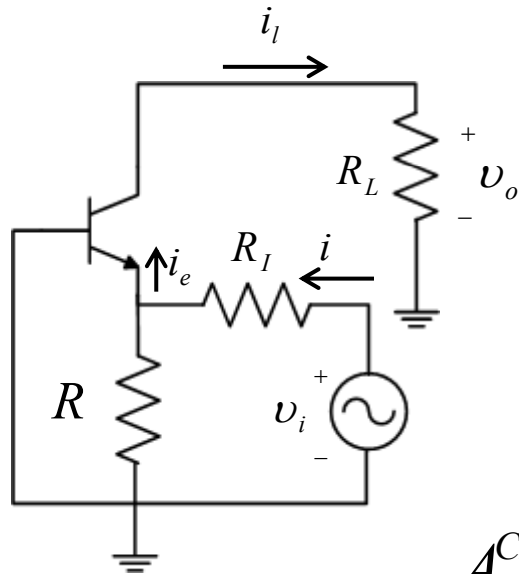
$$R_{out}^{CB} = r_o \left( 1 + \frac{\beta R_{th}}{R_{th} + r_{\pi}} \right)$$



$$R_{out}^{CB} \cong r_o \left( 1 + g_m (r_{\pi} // R_{th}) \right)$$

Μεγάλη αντίσταση εξόδου.

## Απολαβή ρεύματος



Απολαβή ρεύματος μεταξύ Εκπομπού και Συλλέκτη

$$A_{it}^{CB} = \frac{i_l}{i_e} = a \cong +1$$

Ολική απολαβή ρεύματος

$$A_i^{CB} = \frac{i_l}{i} = \left( \frac{i_l}{i_e} \right) \left( \frac{i_e}{i} \right) = A_{it} \frac{R}{R_{in} + R} \cong A_{it} = 1 \quad \text{για } R \gg R_{in}$$

**Συμπερασματικά**, ο ενισχυτής κοινής βάσης χρησιμοποιείται ως απομονωτής ρεύματος, ο οποίος δέχεται ρεύμα σε χαμηλή αντίσταση εισόδου ( $r_e$ ) και παρέχει στον συλλέκτη περίπου το ίδιο ρεύμα σε πολύ υψηλή αντίσταση εξόδου (ιδανική πηγή ρεύματος).

Ο ενισχυτής κοινής βάσης πλεονεκτεί στις υψηλές συχνότητες.

**Παράδειγμα 1:** Να υπολογιστεί η ολική απολαβή τάσης.

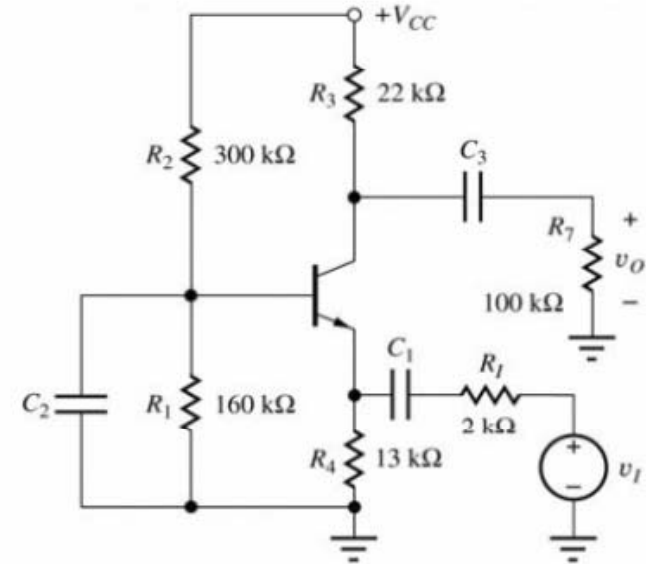
Δίνονται:  $\beta=100$ ,  $I_C=245\mu\text{A}$ ,  $V_{CE}=3.64\text{V}$ ,  
 $g_m=9.8\text{mS}$ ,  $r_{\pi}=10.2\text{k}\Omega$ .

Υποθέτουμε λειτουργία στην ενεργό περιοχή και συνθήκες μικρού σήματος.

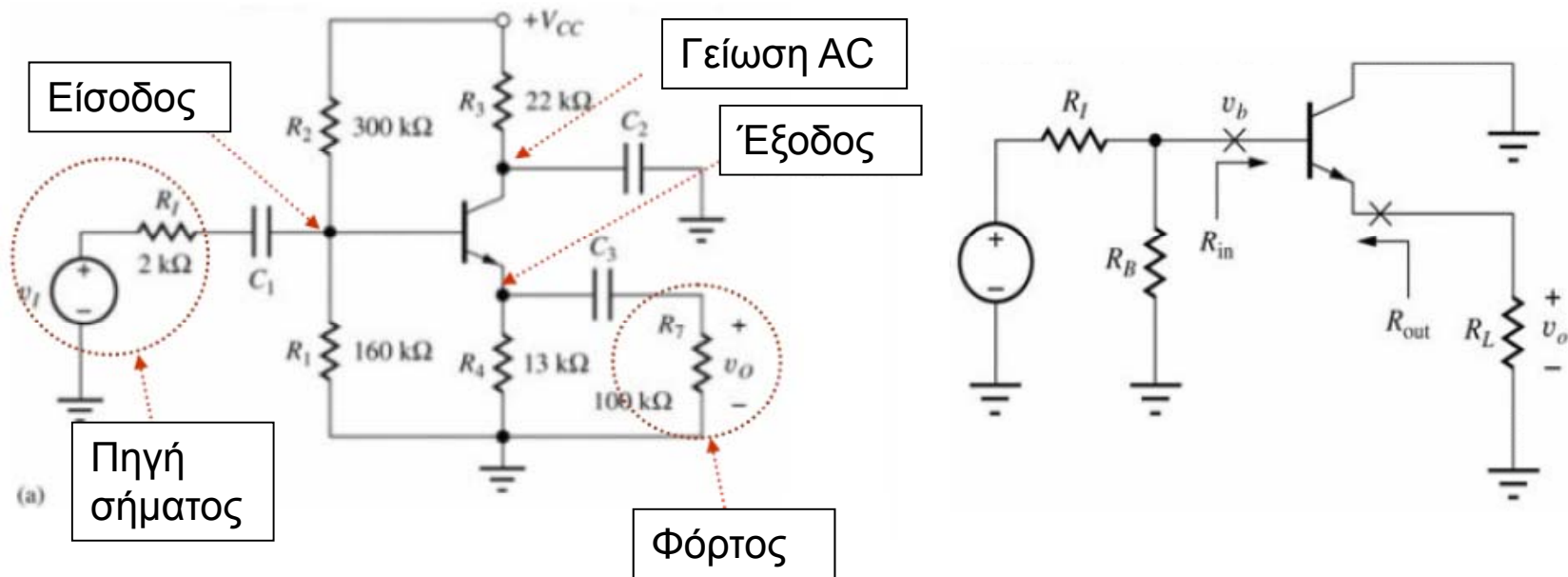
$$A_v = \frac{g_m R_L}{1 + g_m (R_4 // R_I)} \left( \frac{R_4}{R_I + R_4} \right)$$

$$R_4 = 13\text{k}\Omega, \quad R_I = 2\text{k}\Omega, \quad R_L = R_3 // R_7 \approx 18\text{k}\Omega, \quad R_4 // R_I = 1,7\text{k}\Omega$$

$$\Rightarrow A_v \approx 8,7$$



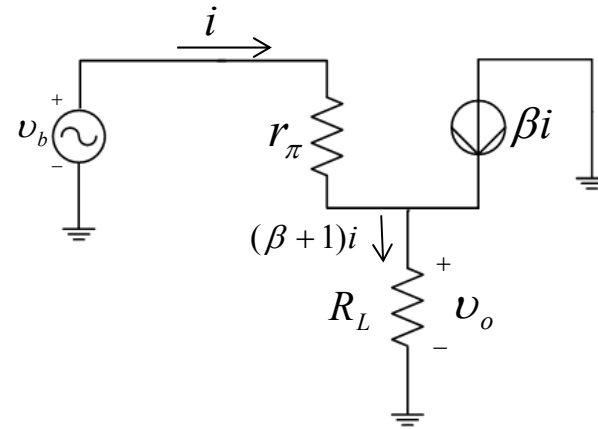
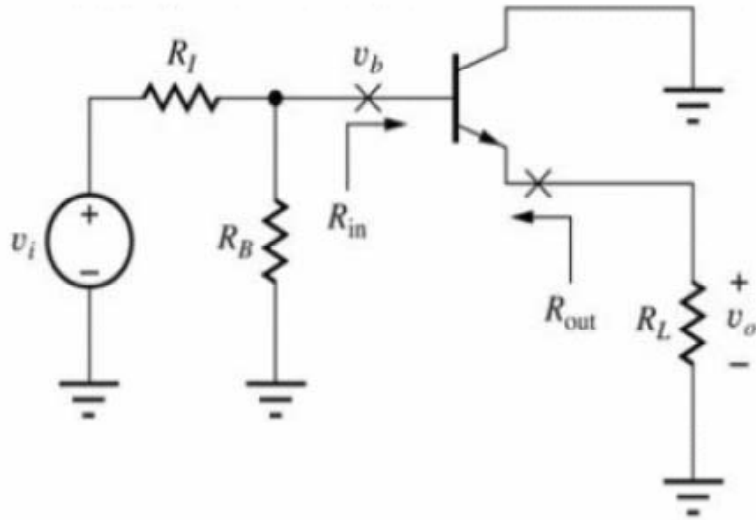
# Ενισχυτής κοινού Συλλέκτη ή Ακολουθητής Εκπομπού



$$R_L = R_4 // R_7$$

$$R_B = R_1 // R_2$$

## Απολαβή τάσης

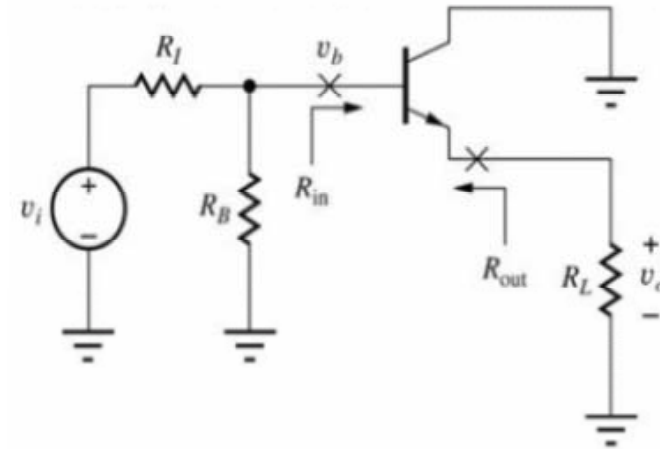
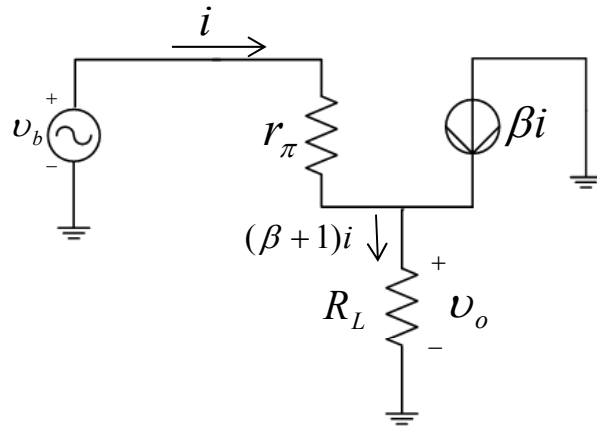


$$A_{vt}^{CC} = \frac{v_o}{v_b} = \frac{(\beta + 1)R_L}{r_\pi + (\beta + 1)R_L}$$

$$A_{vt}^{CC} \approx \frac{g_m R_L}{1 + g_m R_L} \quad \text{για } \beta \gg 1$$

$$\text{Για } g_m R_L \gg 1 \Rightarrow A_{vt}^{CC} \cong 1$$

## Αντίσταση εισόδου και ολική απολαβή τάσης



$$R_{in}^{CC} = \frac{v_b}{i} = r_{\pi} + (\beta + 1)R_L$$

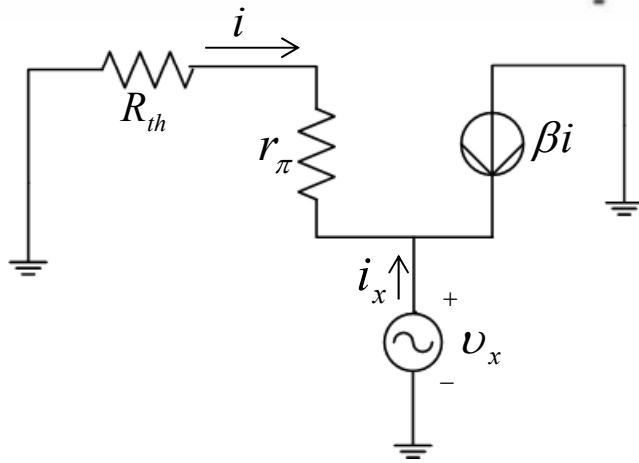
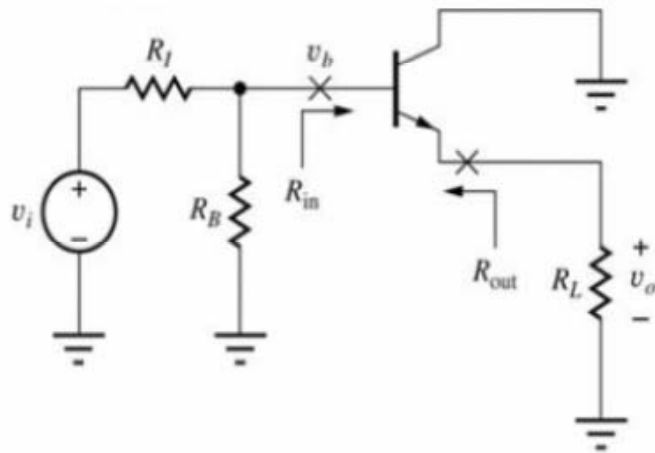
$$A_v^{CC} = \frac{v_o}{v_i} = \left( \frac{v_o}{v_b} \right) \left( \frac{v_b}{v_i} \right) = A_{vt} \left( \frac{v_b}{v_i} \right)$$

Μεγάλη αντίσταση εισόδου.

$$= A_{vt}^{CC} \left[ \frac{R_B // R_{in}^{CC}}{R_I + (R_B // R_{in}^{CC})} \right]$$



## Αντίσταση εξόδου



$$R_{th} = R_I // R_B$$

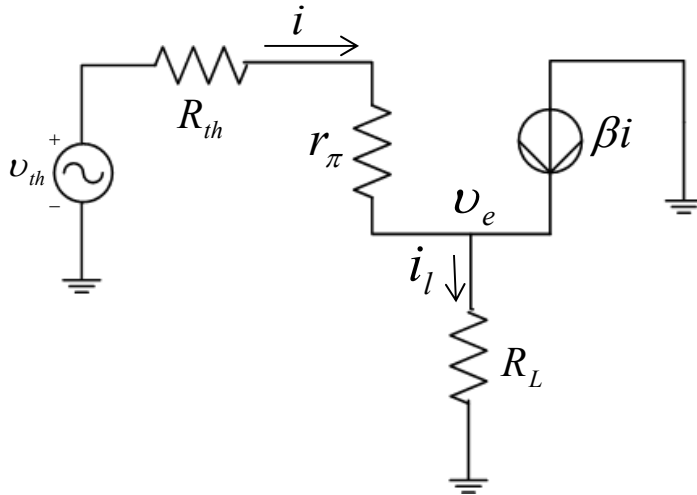
$$i_x = -i - \beta i = \frac{v_x}{R_{th} + r_\pi} - \beta \left( -\frac{v_x}{R_{th} + r_\pi} \right)$$

$$R_{out}^{CC} \cong \frac{R_{th} + r_\pi}{\beta + 1} = \frac{r_\pi}{\beta + 1} + \frac{R_{th}}{\beta + 1}$$

$$R_{out}^{CC} = \frac{a}{g_m} + \frac{R_{th}}{\beta + 1} \cong \frac{1}{g_m} + \frac{R_{th}}{\beta + 1}$$

Μικρή αντίσταση εξόδου.

## Απολαβή ρεύματος



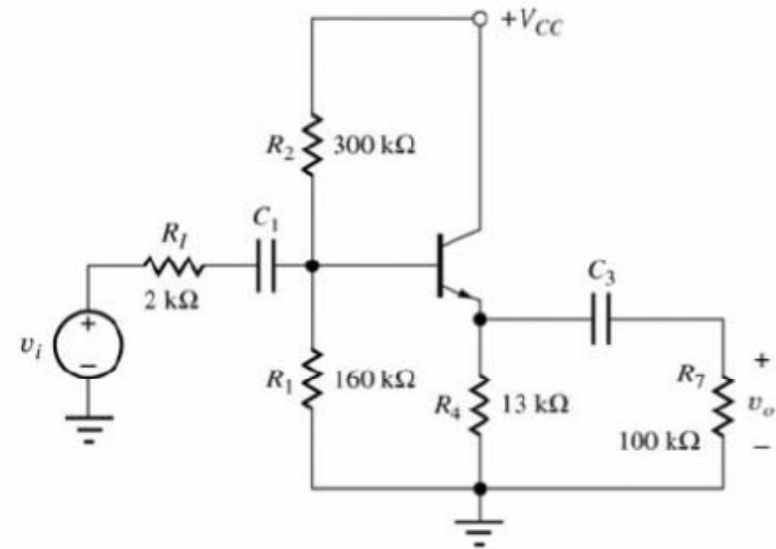
$$A_{it}^{CC} = \frac{i_l}{i} = \beta + 1$$

**Συμπερασματικά**, ο ενισχυτής κοινού συλλέκτη χρησιμοποιείται ως απομονωτής τάσης (συνήθως στη βαθμίδα εξόδου ενισχυτή πολλών βαθμίδων). Επιτυγχάνει προσαρμογή αντιστάσεων όταν πρέπει να οδηγηθεί φόρτος χαμηλής αντίστασης από ενισχυτή υψηλής αντίστασης εξόδου.

**Παράδειγμα 1:** Να υπολογιστεί η ολική απολαβή τάσης.

Δίνονται:  $\beta=100$ ,  $I_C=245\mu\text{A}$ ,  $V_{CE}=3.64\text{V}$ ,  
 $g_m=9.8\text{mS}$ ,  $r_\pi=10.2\text{k}\Omega$ .

Υποθέτουμε λειτουργία στην ενεργό περιοχή και συνθήκες μικρού σήματος.



$$A_v = A_{ut} \left[ \frac{R_B // R_{in}^{CC}}{R_I + (R_B // R_{in}^{CC})} \right]$$

$$R_B = R_1 // R_2 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = 104,35 \text{ k}\Omega$$

$$R_{in} = r_\pi + (\beta + 1)R_L = 1,17 \text{ M}\Omega$$

$$R_L = R_4 // R_7 = \frac{R_4 \cdot R_7}{R_4 + R_7} = 11,5 \text{ k}\Omega$$

$$A_{ut} \cong \frac{g_m R_L}{1 + g_m R_L} \approx 0,99$$

$$R_B // R_{in} = \frac{R_B \cdot R_{in}}{R_B + R_{in}} \approx 104 \text{ k}\Omega$$

$$A_v \approx 0,97$$

**Παράδειγμα 2:** Να υπολογιστεί η αντίσταση εξόδου.

Δίνονται:  $\beta=100$ ,  $I_C=245\mu\text{A}$ ,  $V_{CE}=3.64\text{V}$ ,  
 $g_m=9.8\text{mS}$ ,  $r_{\pi}=10.2\text{k}\Omega$ ,  $r_o=219\text{k}\Omega$ .

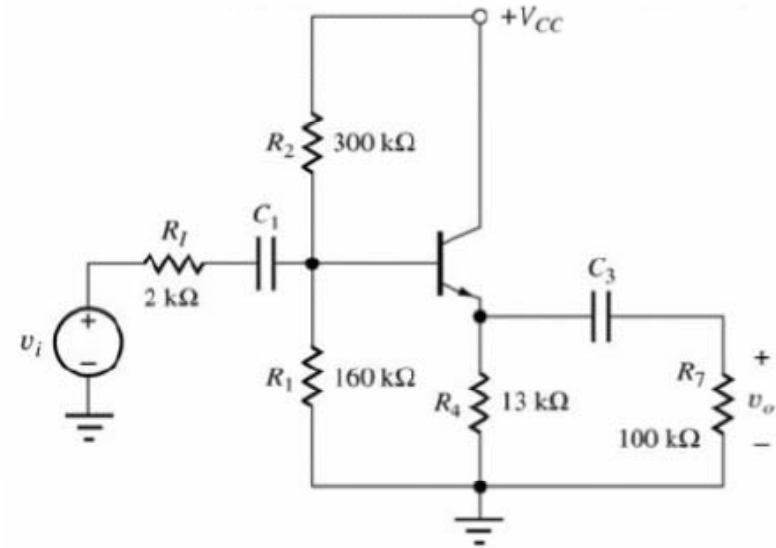
Υποθέτουμε λειτουργία στην ενεργό περιοχή και συνθήκες μικρού σήματος.

$$R_{out} \cong \frac{1}{g_m} + \frac{R_{th}}{\beta+1}$$

$$R_B = R_1 // R_2 = 104,35 \text{ k}\Omega$$

$$R_{th} = R_I // R_B = 1,92 \text{ k}\Omega$$

$$\Rightarrow R_{out} \cong 121 \Omega$$

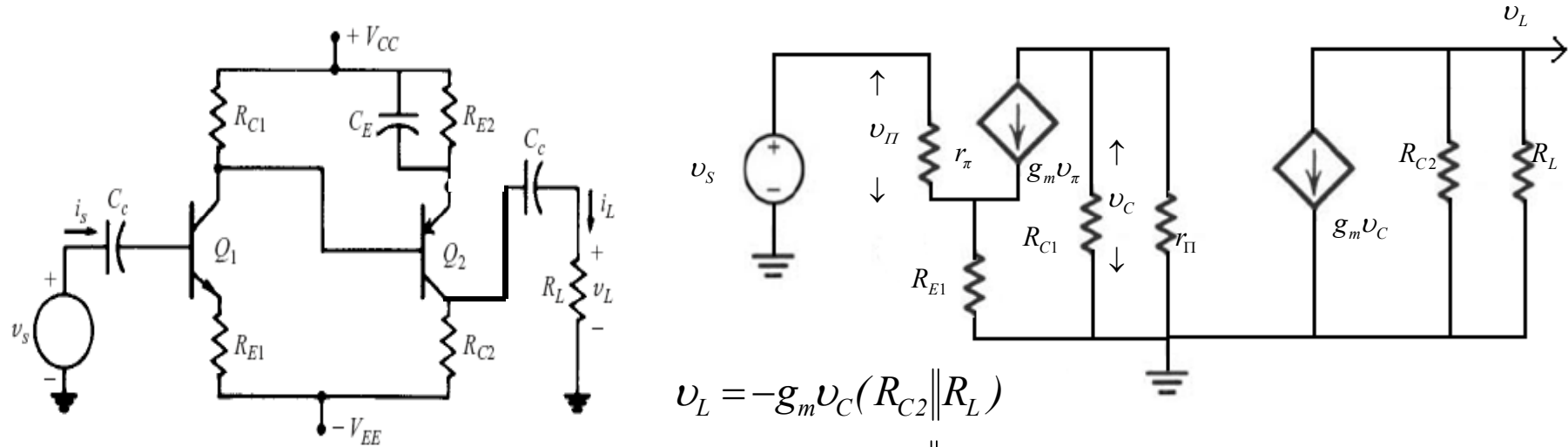


## Σύγκριση των ενισχυτών με διπολικά τρανζίστορ

	C-E ( $R_E=0$ )	C-E with $R_E \neq 0$	C-C	C-B
Απολαβή τάσης	$-g_m R_L$ (high)	$-R_L/R_E$ (moderate)	1	$+g_m R_L$ (high)
Αντίσταση εισόδου	$r_\pi$ (moderate)	$\beta R_E$ (high)	$\beta R_L$ (high)	$1/g_m$ (low)
Αντίσταση εξόδου	$r_o$ (moderate)	$r_o(1+g_m R_E)$ (high)	$1/g_m$ (low)	$r_o(1+g_m(R_L  R_4))$ (high)
Απολαβή ρεύματος	$-\beta_o$ (High)	$-\beta_o$ (high)	$\beta_o+1$ (high)	1

**Άσκηση 1:** Για το κύκλωμα του σχήματος υπολογίστε την ολική απολαβή τάσης στις ενδιαμέσες συχνότητες.

Δίνονται: και για τα δύο τρανζίστορ  $\beta=100$ ,  $r_{\pi}=1\text{k}\Omega$  και  $r_o=\infty$ , καθώς επίσης  $R_{E1}=1\text{k}\Omega$ ,  $R_{C1}=10\text{k}\Omega$ ,  $R_{E2}=100\Omega$ ,  $R_{C2}=R_L=3\text{k}\Omega$  και  $C_C=C_E\rightarrow\infty$ .



$$v_L = -g_m v_C (R_{C2} \parallel R_L)$$

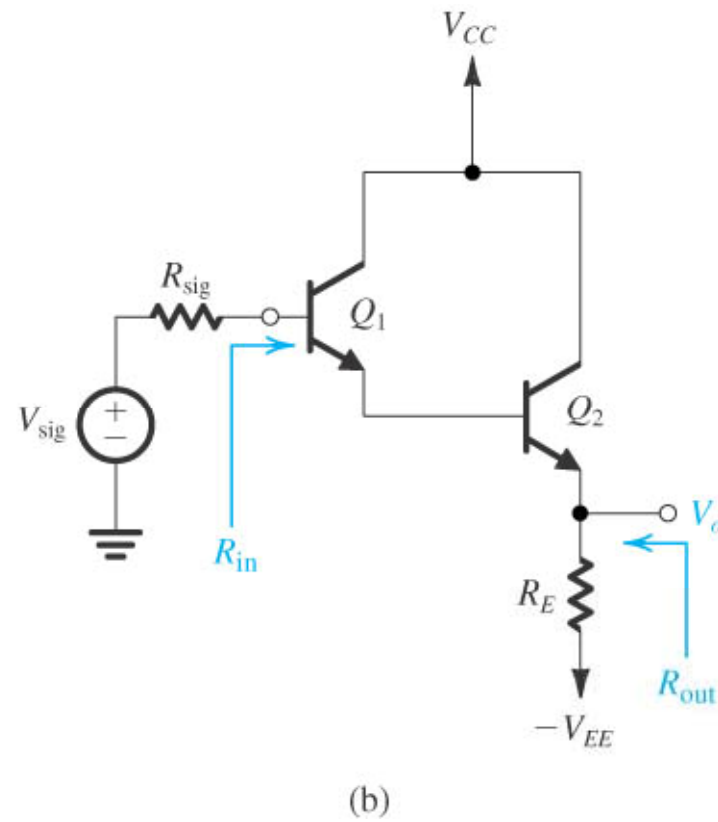
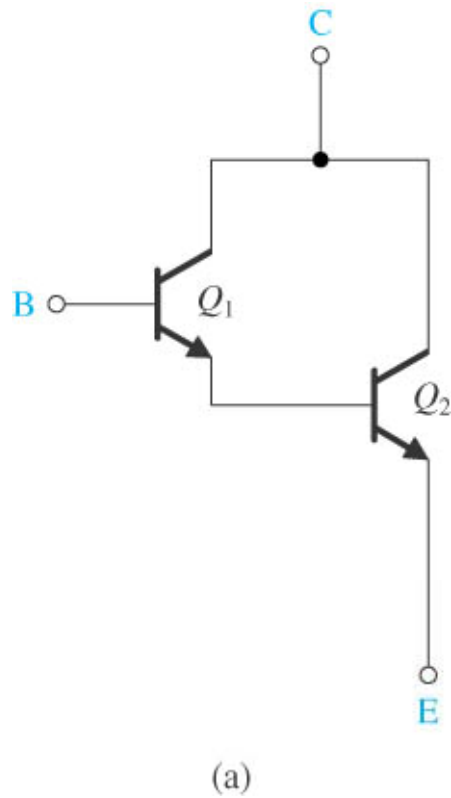
$$v_C = -g_m v_{\pi} (R_{C1} \parallel r_{\pi})$$

$$v_S = v_{\pi} + \left( \frac{v_{\pi}}{r_{\pi}} + g_m v_{\pi} \right) R_{E1} = v_{\pi} \left( 1 + \frac{1 + g_m r_{\pi}}{r_{\pi}} R_{E1} \right)$$

$$v_L = \left[ -g_m (R_{C2} \parallel R_L) \right] \left[ -g_m (R_{C1} \parallel r_{\pi}) \frac{r_{\pi}}{r_{\pi} + (1 + g_m r_{\pi}) R_{E1}} \right] \cdot v_S$$

$$\Rightarrow A = \frac{v_L}{v_S} = \left[ -g_m (R_{C2} \parallel R_L) \right] \left[ -g_m (R_{C1} \parallel r_{\pi}) \frac{r_{\pi}}{r_{\pi} + (1 + g_m r_{\pi}) R_{E1}} \right] \Rightarrow A = A_1 \cdot A_2$$

**Άσκηση 2:** Η συνδεσμολογία δύο τρανζίστορ με τη μορφή που φαίνεται στο σχήμα (a) είναι γνωστή ως ζεύγος Darlington. Για το κύκλωμα του σχήματος (b) θεωρήστε ότι το  $Q_2$  είναι πολωμένο με  $I_E=5\text{mA}$  και ότι  $R_{\text{sig}}=100\text{k}\Omega$ ,  $R_E=1\text{k}\Omega$  και  $\beta_1=\beta_2=100$ . Υπολογίστε τα  $R_{\text{in}}$ ,  $A_V$  και  $R_{\text{out}}$ .

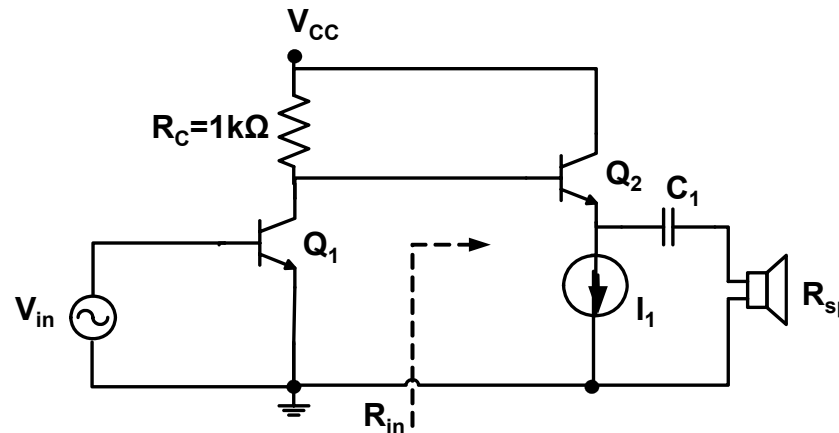
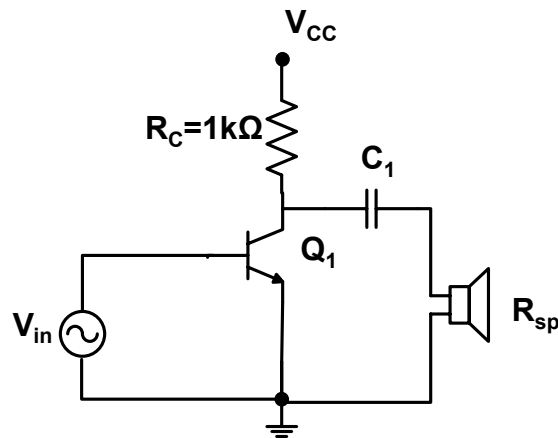


**Άσκηση 3:** Ο ενισχυτής ΚΕ έχει απολαβή τάσης 20, χωρίς εξωτερικό φόρτο. Υπολογίστε την απολαβή τάσης του ενισχυτή ΚΕ:

α) Όταν οδηγεί ένα μεγάφωνο με αντίσταση  $8\Omega$ .

β) Όταν παρεμβάλλεται ενισχυτής ΚΣ μεταξύ του ενισχυτή ΚΕ και του μεγαφώνου.

Δίνονται:  $\beta=100$ ,  $V_A=\infty$  και  $I_1=5\text{mA}$  (ιδανική πηγή ρεύματος).





**Άσκηση 4:** Ο ενισχυτής του σχήματος αποτελείται από δύο ταυτόσημους ενισχυτές κοινού εκπομπού συνδεδεμένους σε σειρά. Παρατηρήστε ότι η αντίσταση εισόδου της δεύτερης βαθμίδας,  $R_{in2}$ , είναι η αντίσταση φόρτου της πρώτης βαθμίδας. Δίνονται:  $V_{CC}=15V$ ,  $R_1=100k\Omega$ ,  $R_2=47k\Omega$ ,  $R_E=3.9k\Omega$ ,  $R_C=6.8k\Omega$  και  $\beta=100$ .

α) Υπολογίστε το σημείο ηρεμίας και για τα δύο τρανζίστορ.

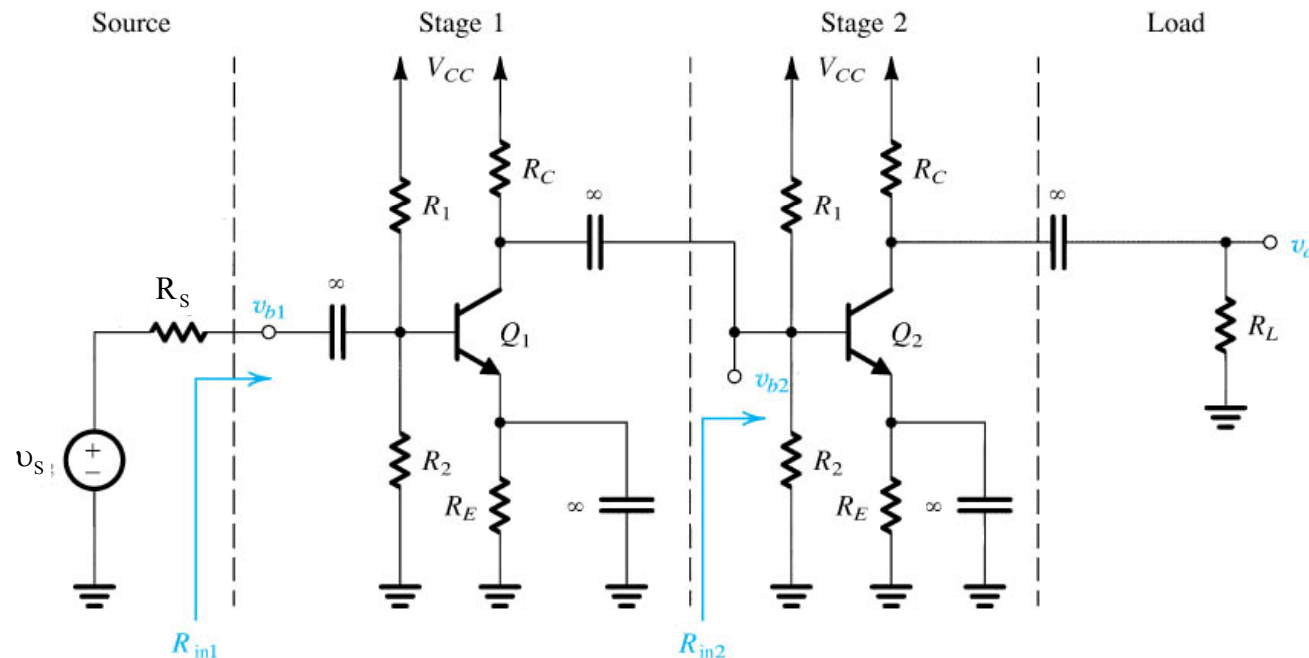
β) Σχεδιάστε το ισοδύναμο μικρού σήματος όλου του ενισχυτή και υπολογίστε τις τιμές των στοιχείων του.

γ) Βρείτε τα  $R_{in1}$  και  $u_{b1}/u_s$  για  $R_s=5k\Omega$ .

δ) Βρείτε τα  $R_{in2}$  και  $u_{b2}/u_{b1}$ .

ε) Για  $R_L=2k\Omega$ , βρείτε το  $u_o/u_{b2}$ .

στ) Βρείτε τη συνολική ενίσχυση τάσης  $u_o/u_s$ .



**Άσκηση 5:** Για το κύκλωμα ακολουθητή εκπομπού με bootstrapping του σχήματος υπολογίστε:

α) Τα  $I_E$ ,  $g_m$ ,  $r_e$  και  $r_{\pi}$  για  $\beta=100$ .

β) Σχεδιάστε το ισοδύναμο μικρού σήματος χρησιμοποιώντας το π-υβριδικό μοντέλο του τρανζίστορ (για  $r_o = \infty$ ).

Υπολογίστε την αντίσταση εισόδου,  $R_{in}$ , και την απολαβή τάσης,  $u_o / u_{sig}$ , του κυκλώματος.

γ) Επαναλάβετε το ερώτημα (β) χωρίς τον πυκνωτή  $C_B$ . Συγκρίνετε τα αποτελέσματα με αυτά του (β).

