



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ  
Εθνικόν και Καποδιστριακόν  
Πανεπιστήμιον Αθηνών

# Ηλεκτρονική

## Ενότητα 7: Βασικές τοπολογίες ενισχυτών μιας βαθμίδας με διπολικά τρανζίστορ

Αγγελική Αραπογιάννη  
Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών



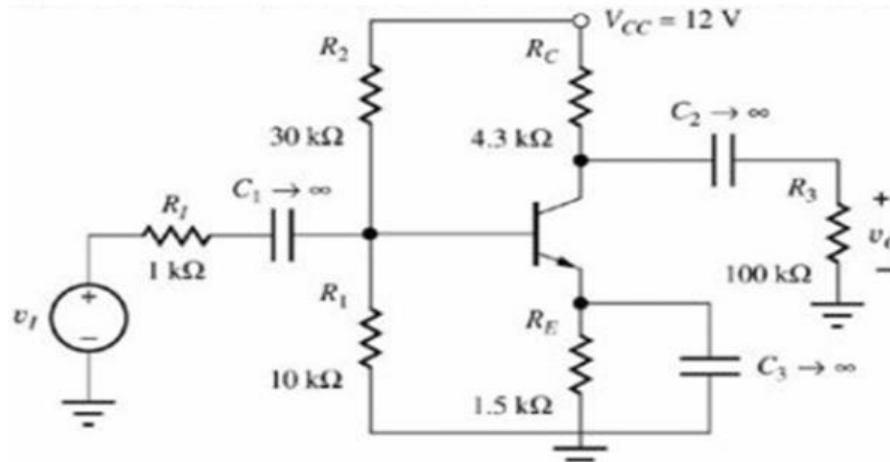
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

# Περιεχόμενα ενότητας

- Ενισχυτής κοινού εκπομπού, ενισχυτής κοινού εκπομπού με αντίσταση εκφυλισμού, ενισχυτής κοινής βάσης, ενισχυτής κοινού συλλέκτη.
- Υπολογισμός των βασικών χαρακτηριστικών των παραπάνω τεσσάρων τοπολογιών: ενίσχυση τάσης, ενίσχυση ρεύματος, αντίσταση εισόδου, αντίσταση εξόδου.
- Σύγκριση των επιδόσεων των τεσσάρων τοπολογιών μεταξύ τους.
- Εφαρμογές-χρήσεις των τεσσάρων τύπων ενισχυτών σύμφωνα με τις επιδόσεις τους.

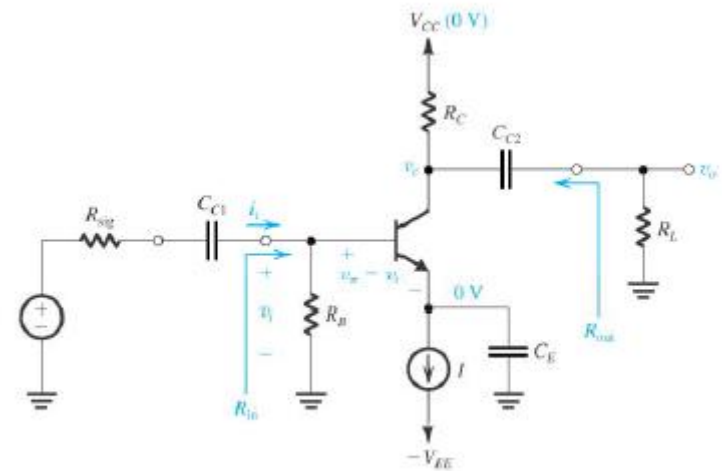
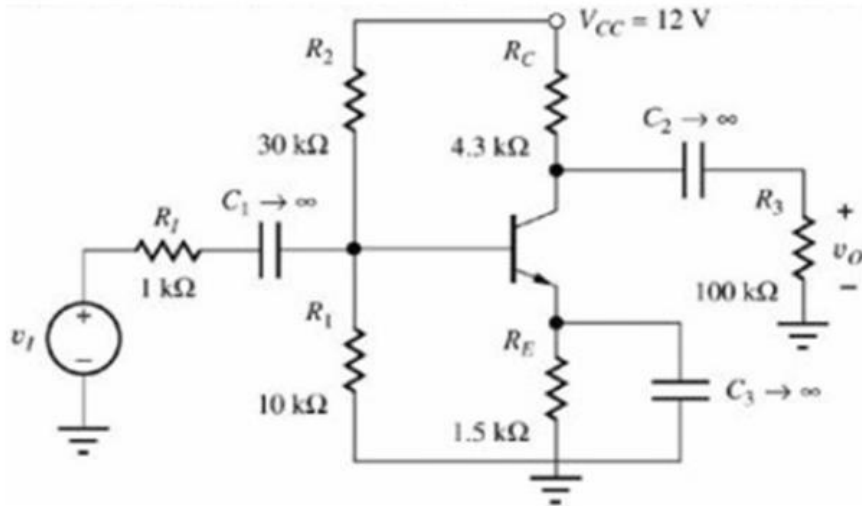


# Ενισχυτής κοινού Εκπομπού (1από2)



- 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 (2από2)



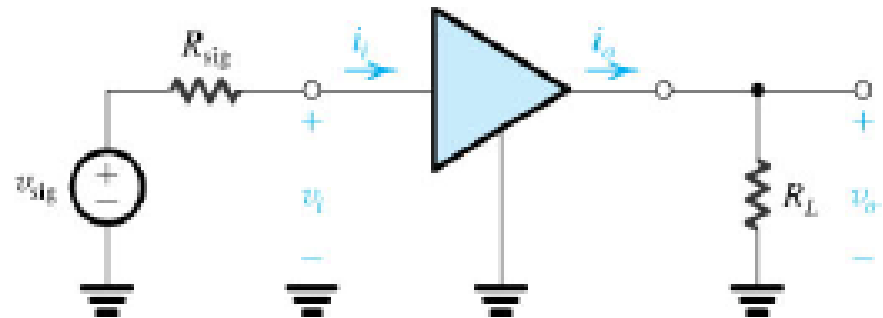
# Βασικά Χαρακτηριστικά Ενισχυτών: Ορισμοί

**Απολαβή-Ενίσχυση Τάσης**

$$A_u \equiv \frac{u_{out}}{u_{in}}$$

**Απολαβή-Ενίσχυση Ρεύματος**

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

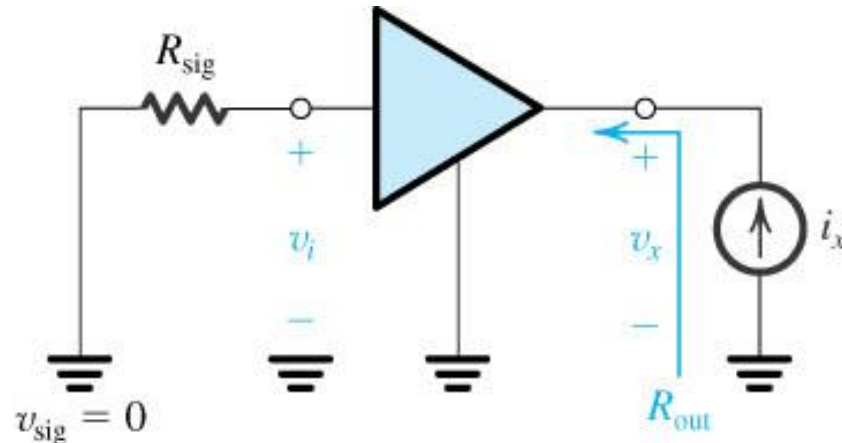


**Αντίσταση Εισόδου**

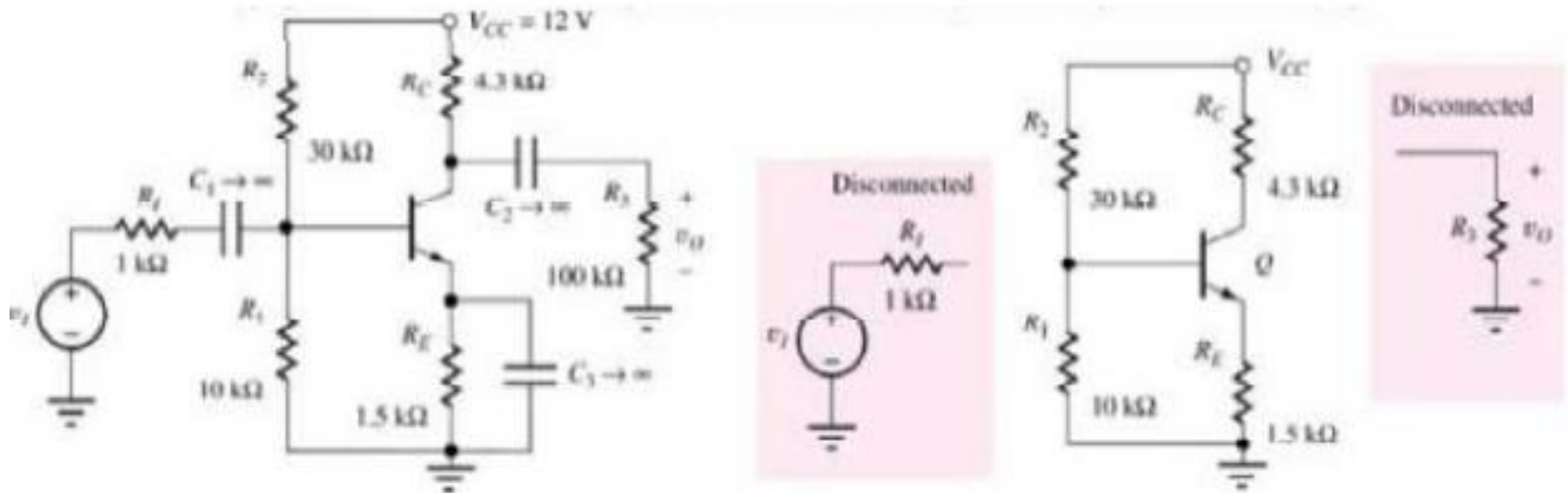
$$R_{in} \equiv \frac{u_{in}}{i_{in}}$$

**Αντίσταση Εξόδου**

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

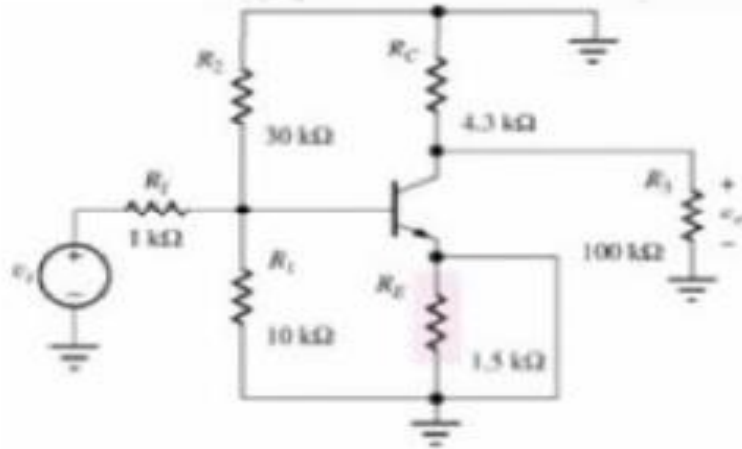
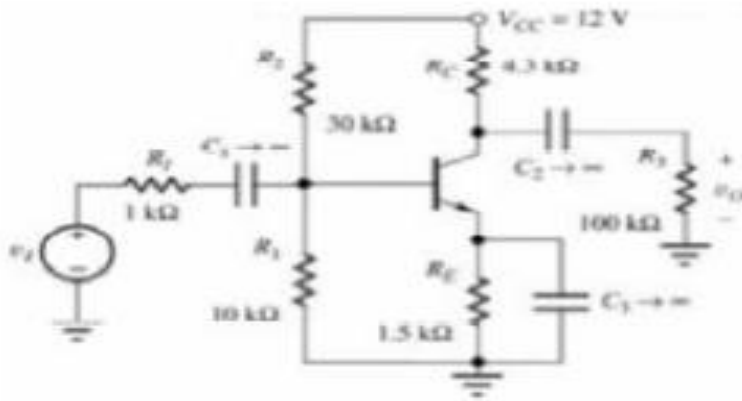


# DC ανάλυση – Υπολογισμός του σημείου λειτουργίας



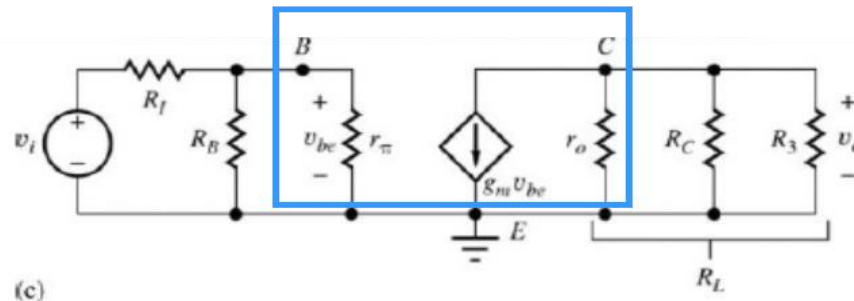
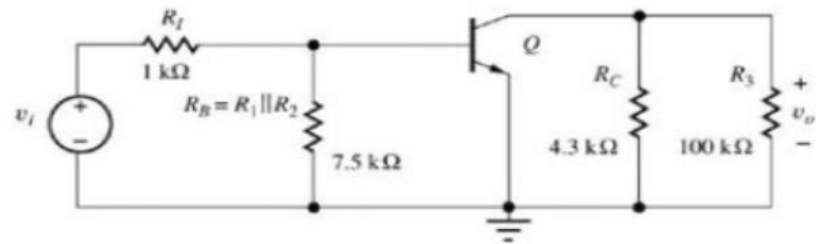
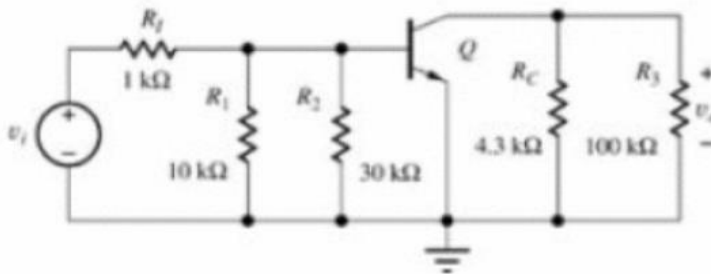
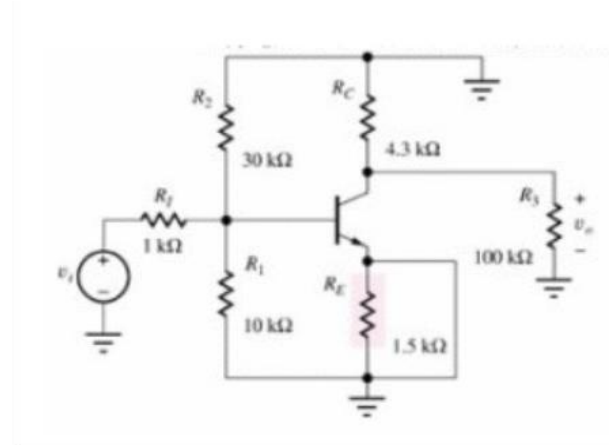
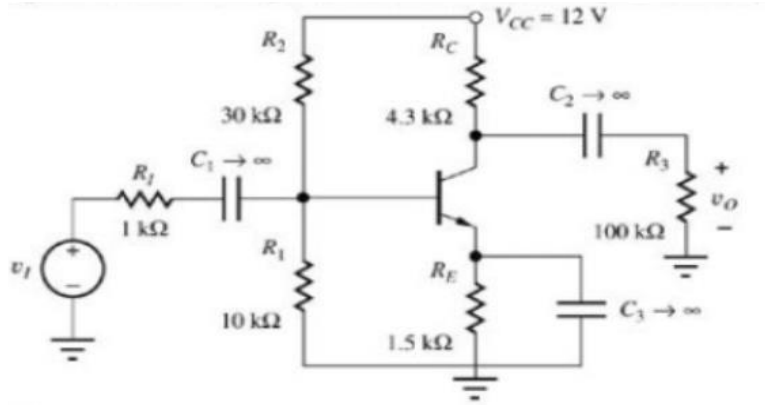
- Όλοι οι πυκνωτές του αρχικού κυκλώματος αντικαθίστανται από ανοιχτό κύκλωμα.
- Το σημείο ηρεμίας Q μπορεί τώρα να υπολογιστεί με βάση την DC ανάλυση που έχουμε ήδη αναπτύξει.

# AC ανάλυση



- Αντικαθιστούμε τους πυκνωτές από βραχυκύκλωμα και τα πηνία (αν υπάρχουν) από ανοιχτό κύκλωμα.
- Αντικαθιστούμε όλες τις ανεξάρτητες πηγές DC τάσης από βραχυκύκλωμα και τις DC πηγές ρεύματος από ανοιχτό κύκλωμα.
- 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

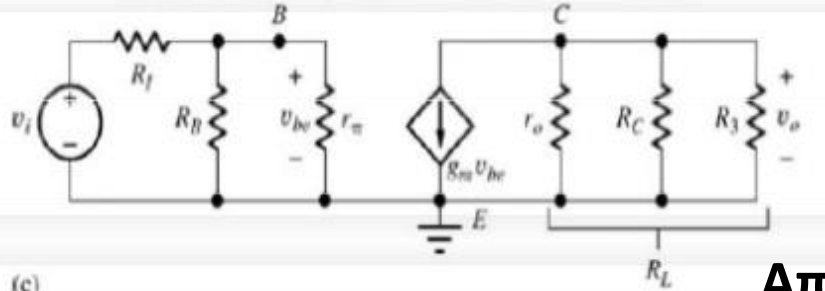


(c)



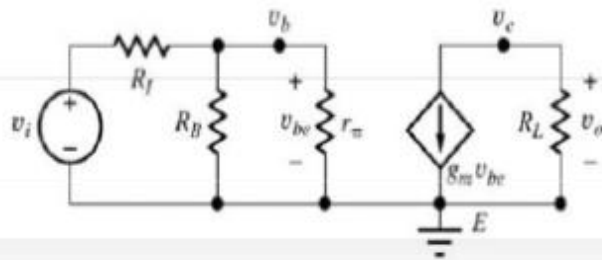


# Απολαβή τάσης



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

Απολαβή τάσης μεταξύ Βάσης και Συλλέκτη



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

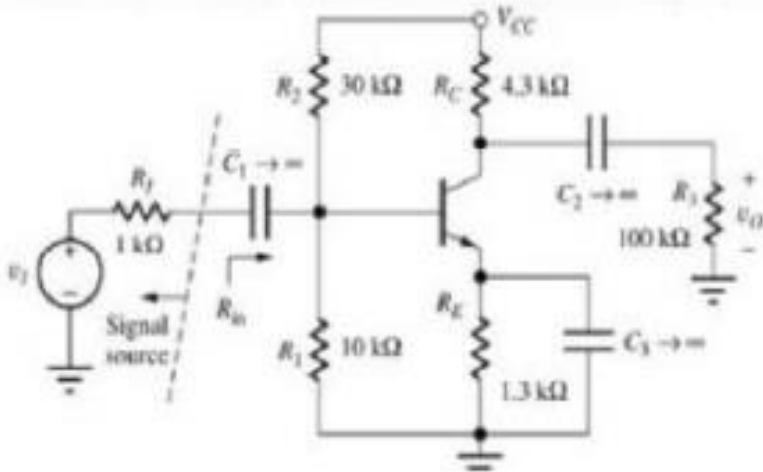
Ολική Απολαβή τάσης

$$A_u = \frac{u_o}{u_i} = \frac{u_o}{u_{be}} \frac{u_{be}}{u_i} = A_{uo} \frac{u_{be}}{u_i} \Rightarrow$$

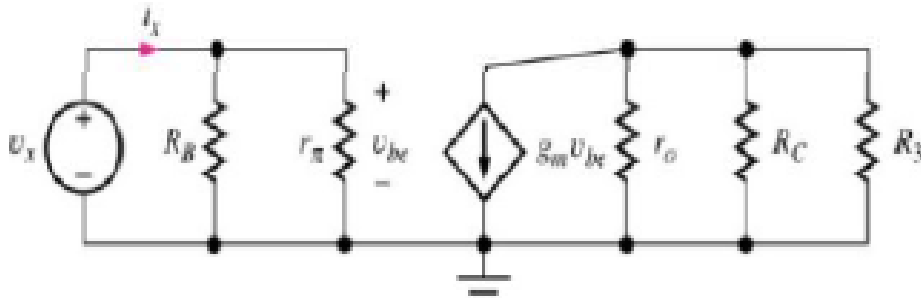
$$A_u = -g_m R_L \left[ \frac{R_B \parallel r_\pi}{R_1 + (R_B \parallel r_\pi)} \right]$$



# Αντίσταση εισόδου



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



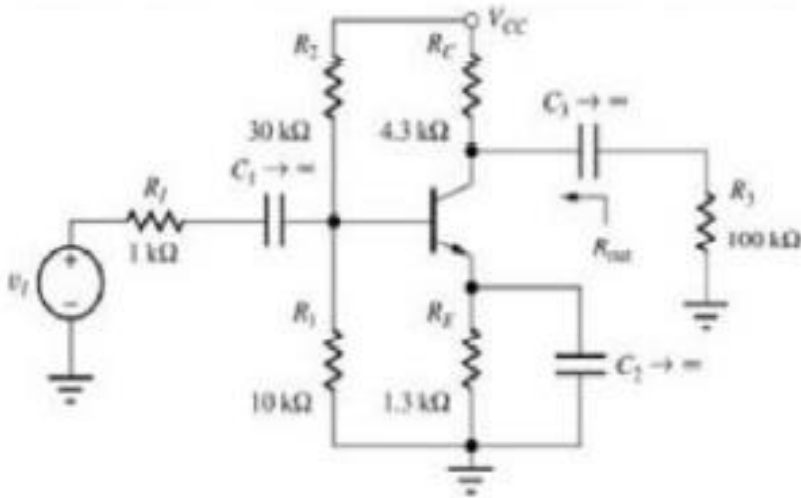
$$v_x = i_x (R_B // r_\pi)$$

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

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

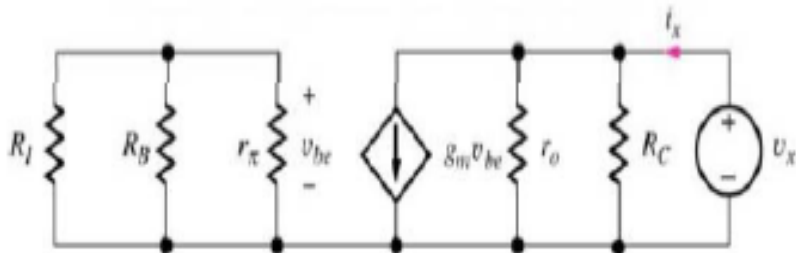


# Αντίσταση εξόδου



• 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.

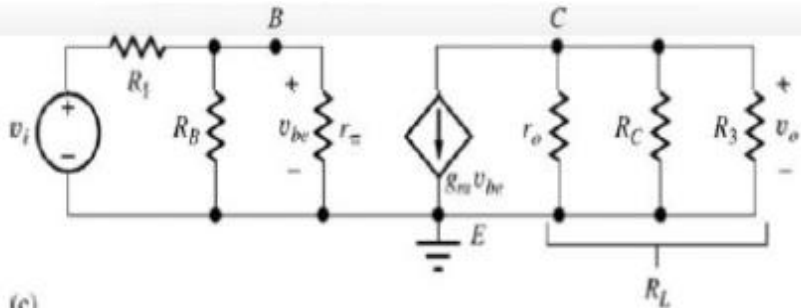


$$i_x = \frac{v_x}{R_C} + \frac{v_x}{r_o} + g_m v_{be} \quad \text{αλλά} \quad v_{be} = 0$$

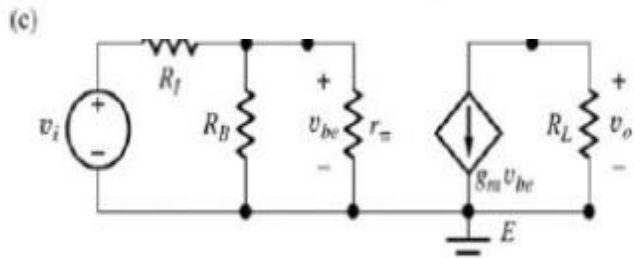
$$R_{out} = \frac{v_x}{i_x} = R_C // r_o \cong R_C \quad \text{για} \quad r_o \gg R_C$$



# Απολαβή ρεύματος



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 (1 από 2)

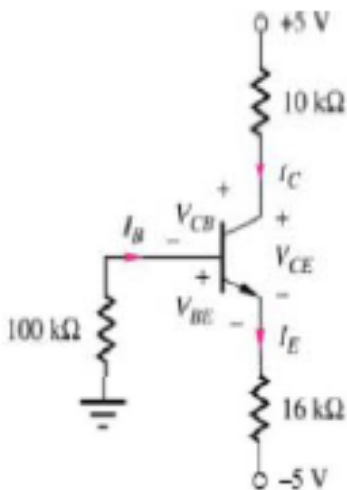
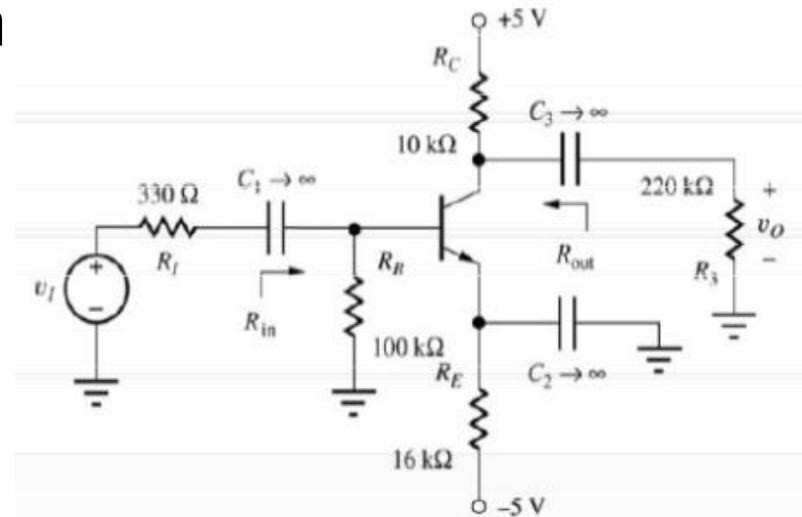
Να υπολογιστεί η απολαβή τάσης, η αντίσταση εισόδου και η αντίσταση εξόδου.

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 (2 από 2)

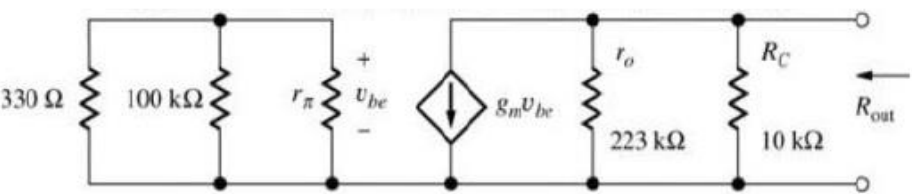
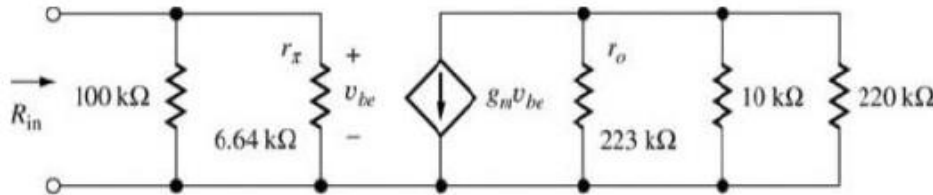
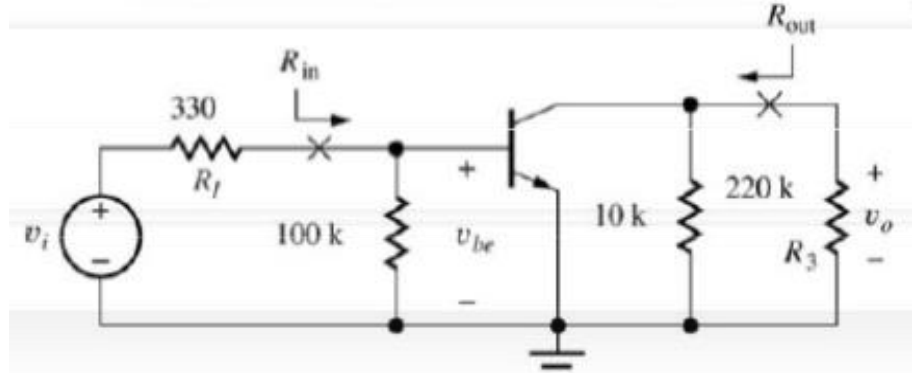
## AC ανάλυση

Ισοδύναμο κύκλωμα μικρού σήματος.

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

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

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



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

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

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

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



# Άσκηση 1. (1 από 2)

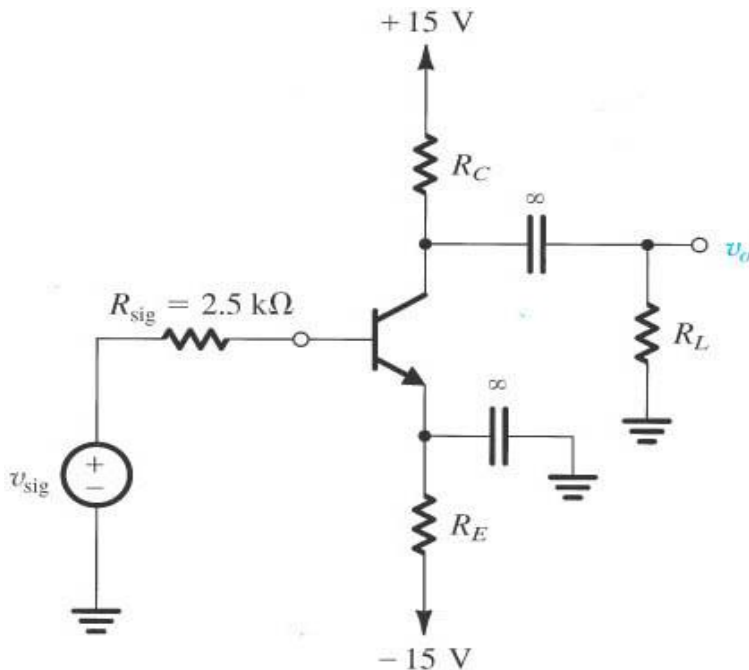
Στο κύκλωμα του σχήματος η  $v_{sig}$  είναι ημιτονικό σήμα μικρού πλάτους και μηδενικής μέσης τιμής.

α) Βρείτε την  $R_E$  ώστε  $I_E=1mA$ .

β) Βρείτε την  $R_C$  ώστε  $V_C=+5V$ .

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

Δίνεται  $\beta=100$



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

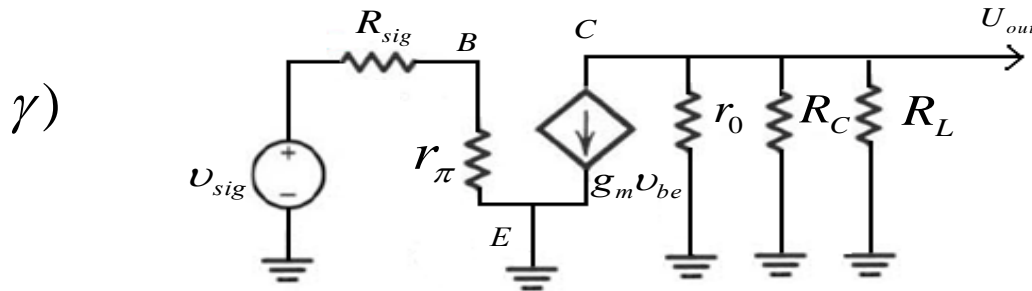
$$\Rightarrow \frac{I_E}{1 + \beta} R_{sig} + I_E R_E = 15V - V_{BE}$$

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

$$= 14.3k\Omega - 24.7\Omega \approx 14.27k\Omega$$

# Άσκηση (2 από 2)

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



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

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

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

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

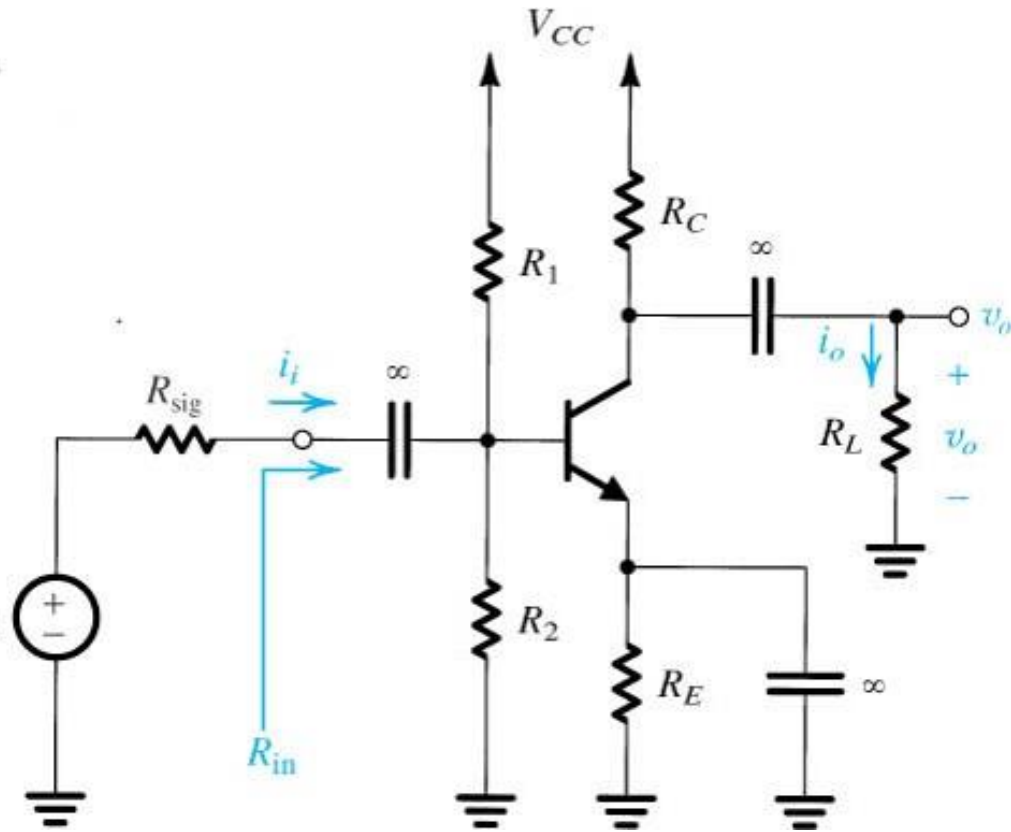
$$\frac{1}{R_0} = \frac{1}{r_o} + \frac{1}{R_C} + \frac{1}{R_L} = \frac{1}{2.53k\Omega} + \frac{1}{10k\Omega} + \frac{1}{5k\Omega} \Rightarrow R_0 \approx 1.44k\Omega$$

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

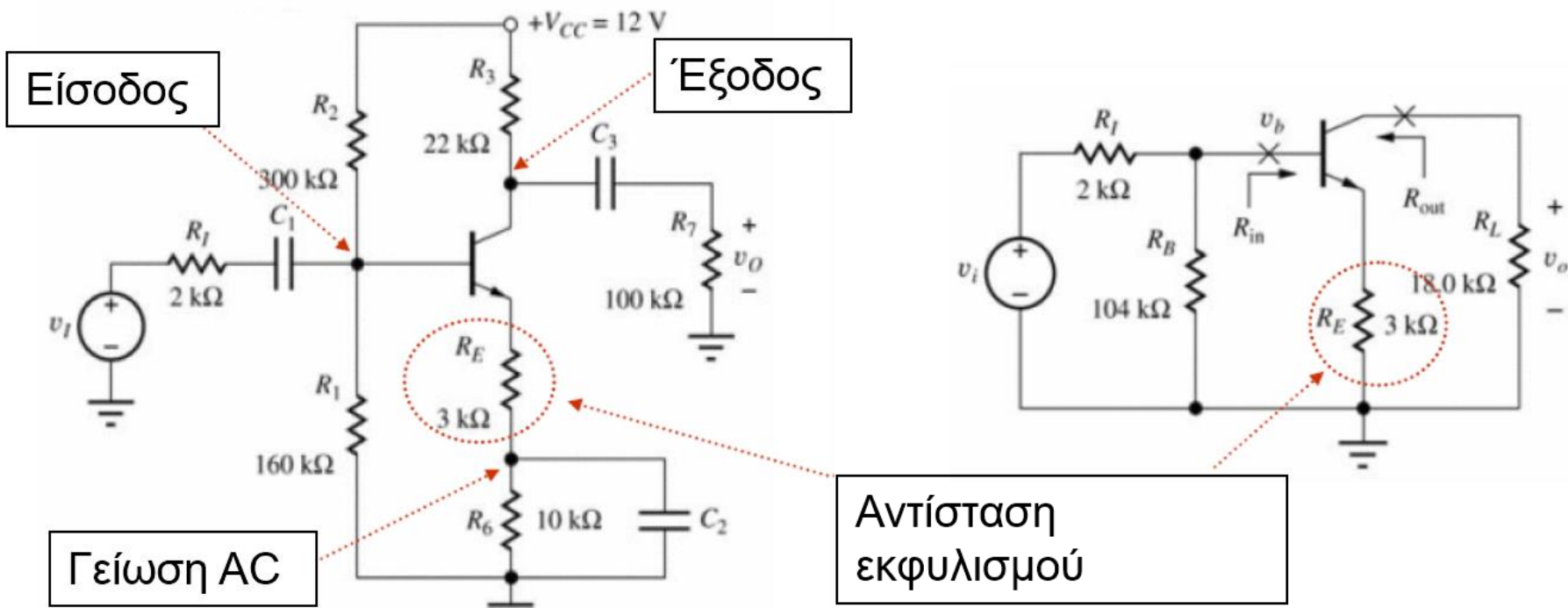


# Άσκηση 2

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  $V_A=100V$ .



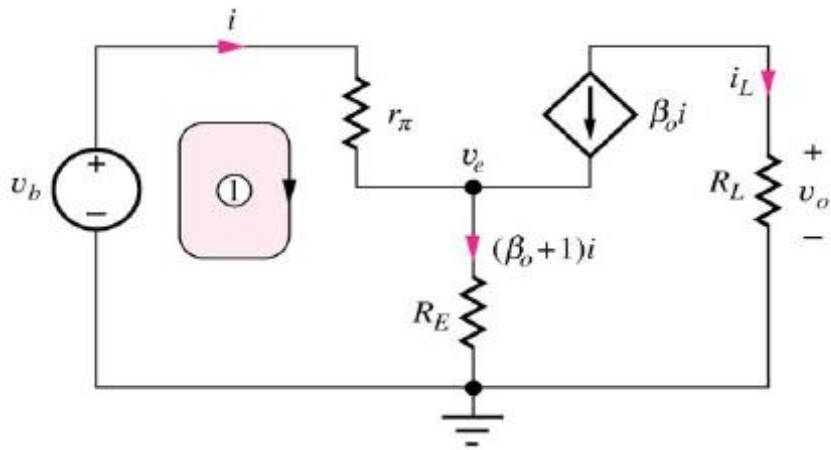
# Ενισχυτής κοινού Εκπομπού με αντίσταση εκφυλισμού



Η αντίσταση εκφυλισμού δημιουργεί στο κύκλωμα αρνητική ανασύζευξη.

# Απολαβή τάσης

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



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

$$v_o = -\beta i R_L$$

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

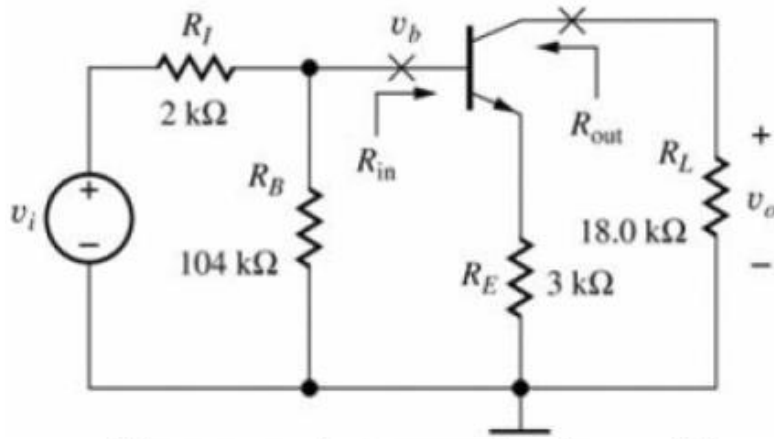
Λαμβάνοντας  $r_\pi g_m = \beta \Rightarrow$

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

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



# Αντίσταση εισόδου

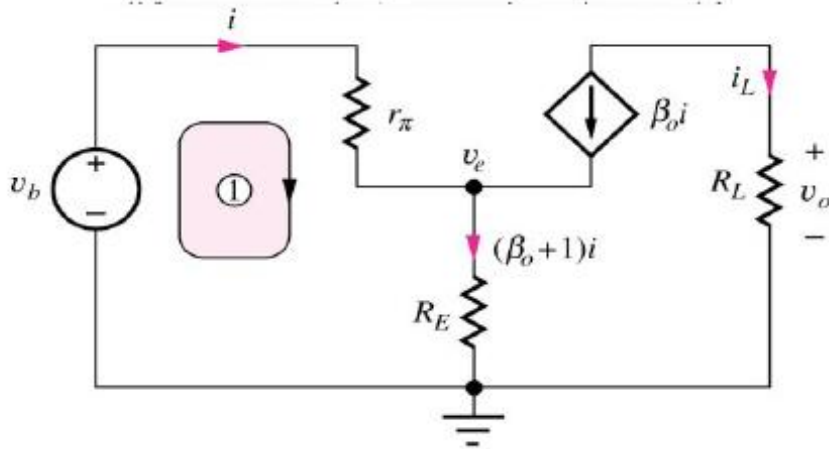


$$v_b = i [ r_{\pi} + (\beta + 1) R_E ]$$

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

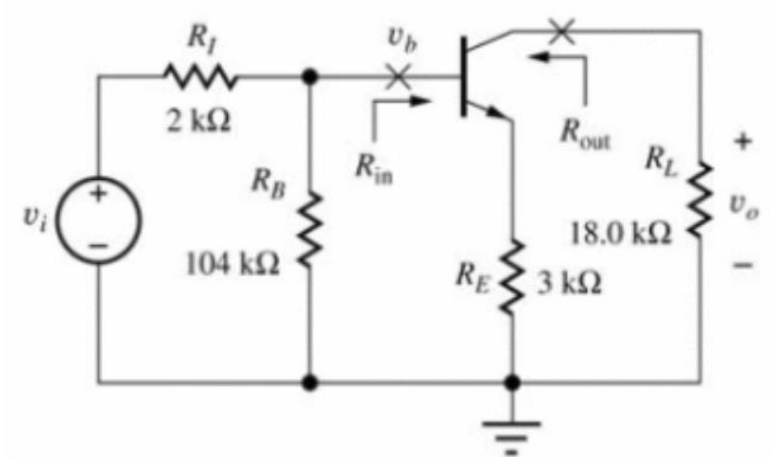
$$= r_{\pi} + (g_m r_{\pi} + 1) R_E$$

$$\cong r_{\pi} (1 + g_m R_E)$$



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

# Αντίσταση εξόδου

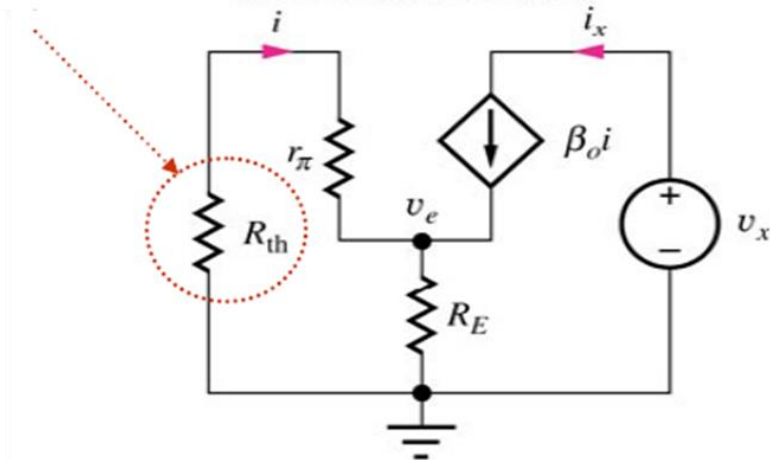


$$R_{out} \equiv \frac{v_X}{i_X} \Big|_{v_i=0}$$

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

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

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



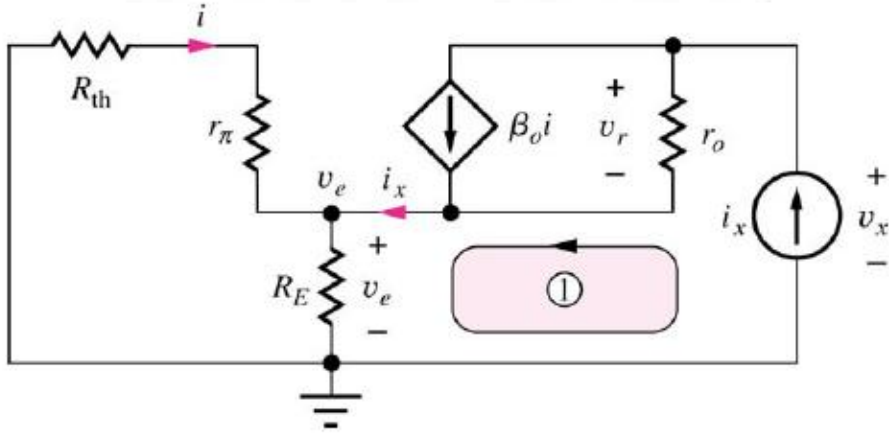
$$\frac{v_e}{(\beta + 1)R_E}(R_{th} + r_\pi) + v_e = 0$$

$$\Rightarrow v_e = 0$$

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

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

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



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

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

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

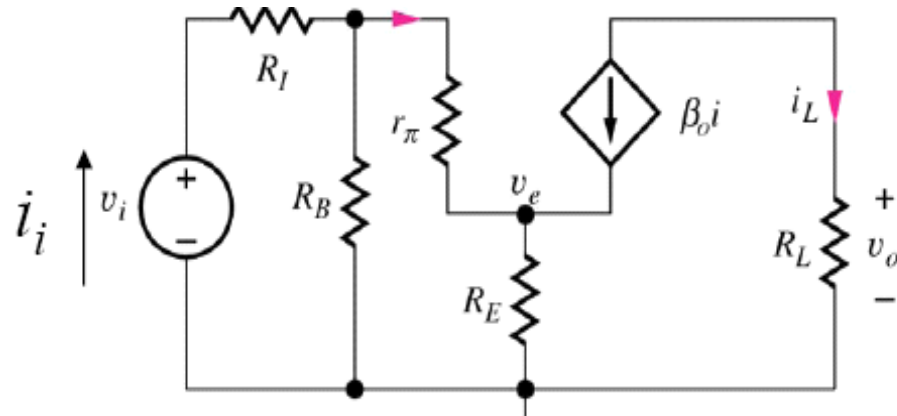
$$v_x = r_o \left( i_x + \beta i_x \frac{R_E}{R_E + R_{th} + r_\pi} \right) + i_x \left( (R_{th} + r_\pi) // R_E \right)$$

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

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



# Απολαβή ρεύματος



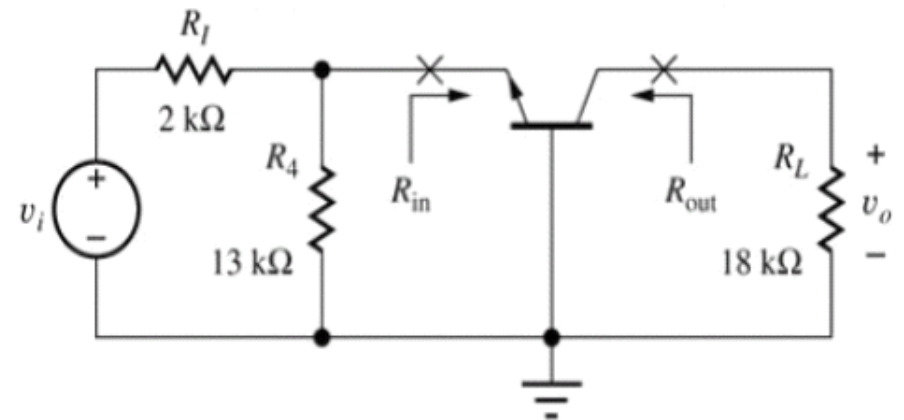
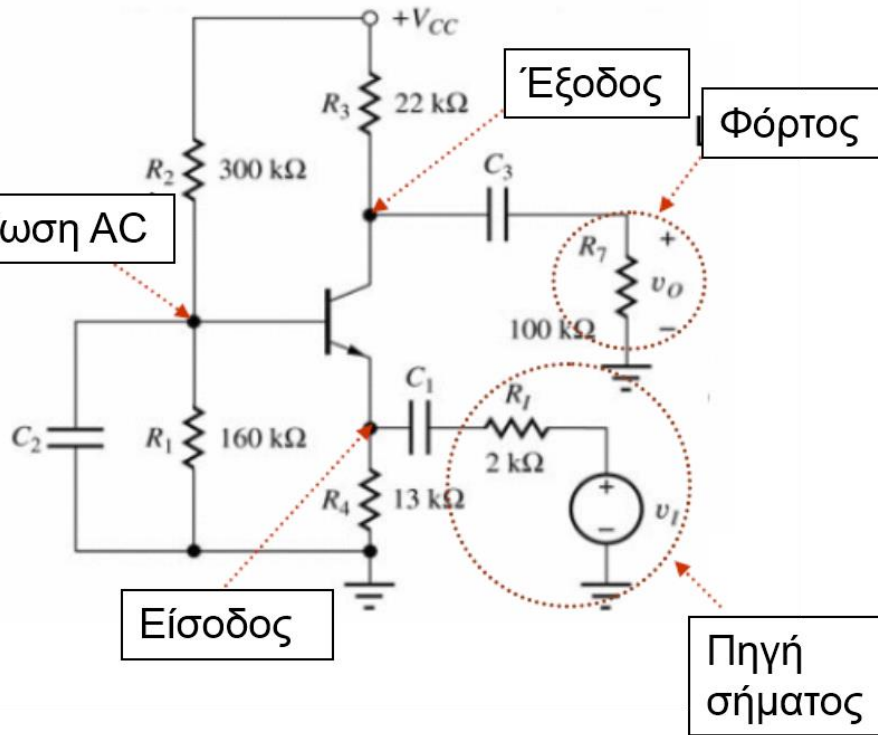
Απολαβή ρεύματος μεταξύ Βάσης και Συλλέκτη

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

Ολική απολαβή ρεύματος

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

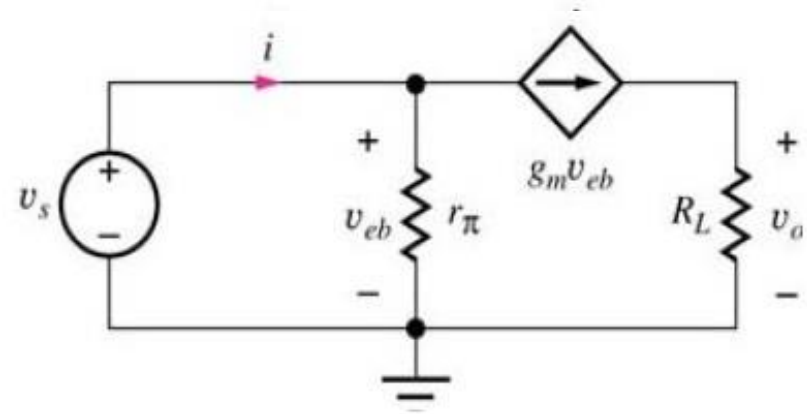
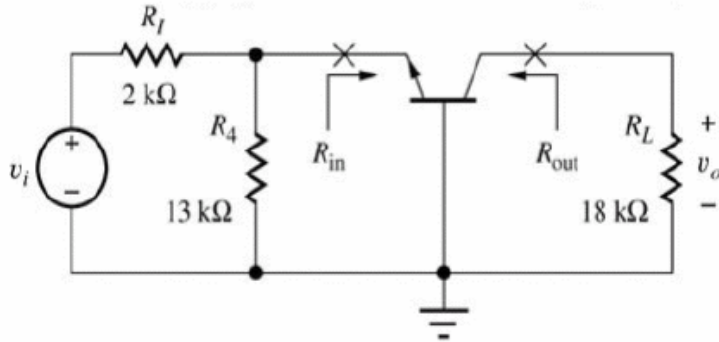
# Ενισχυτής κοινής Βάσης



$$R_L = R_3 \parallel R_7$$



# Απολαβή τάσης

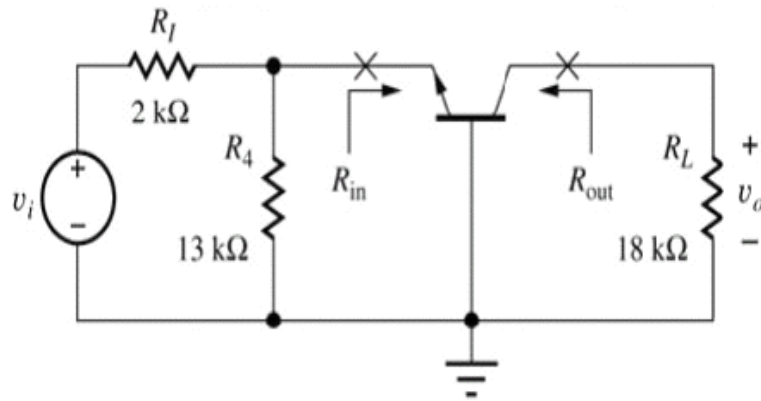


$$A_{vt}^{CB} \equiv \frac{v_o}{v_e} = +g_m R_L$$

Δεν έχουμε αναστροφή της τάσης εξόδου.

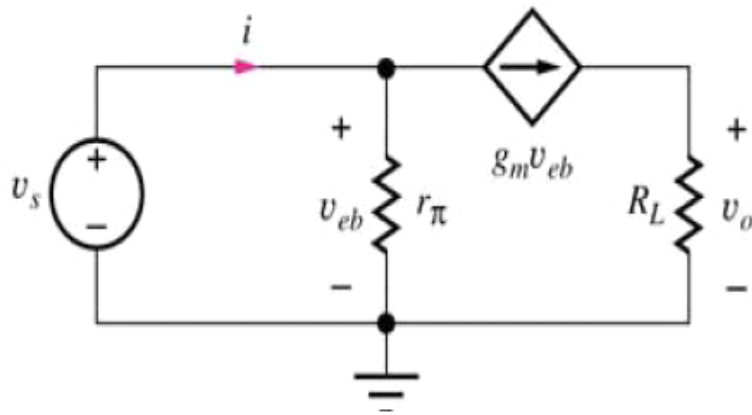
Το μέτρο της απολαβής είναι ίδιο με του ενισχυτή κοινού εκπομπού χωρίς αντίσταση  $R_E$ .

# Αντίσταση εισόδου



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

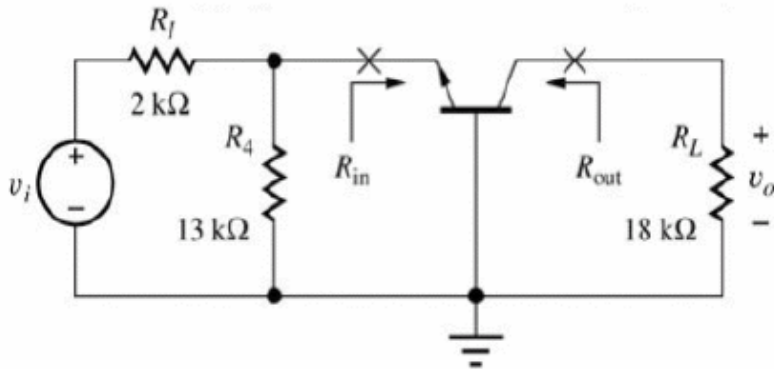
$$R_{in}^{CB} = \frac{v_e}{i} = \frac{r_\pi}{r_\pi g_m + 1} = r_\pi // \left( \frac{1}{g_m} \right) \cong \frac{1}{g_m}$$



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



# Ολική απολαβή τάσης



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

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

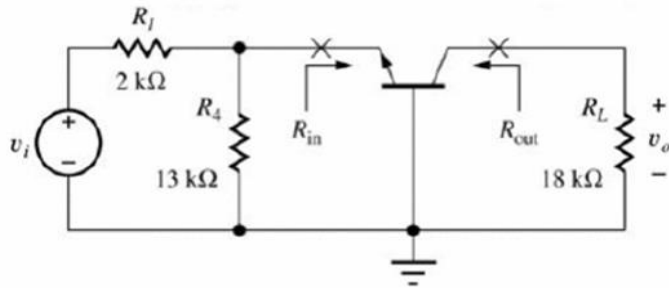
Για  $g_m R_I \ll 1 \Rightarrow A_u^{CB} = +g_m R_L$  για  $R_4 \gg R_I$

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

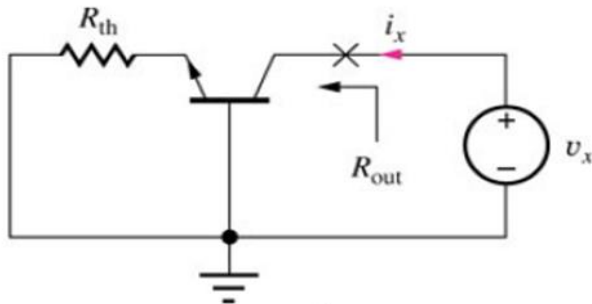
Για να επιτύχουμε μεγάλη απολαβή πρέπει η  $R_I$  να είναι πολύ μικρή.



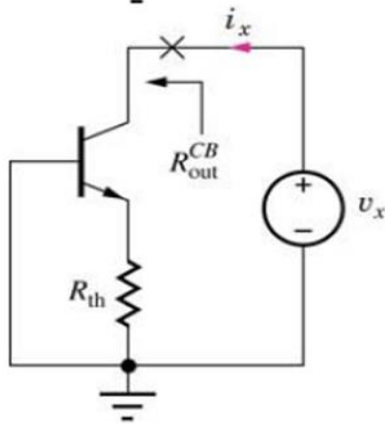
# Αντίσταση εξόδου



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



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

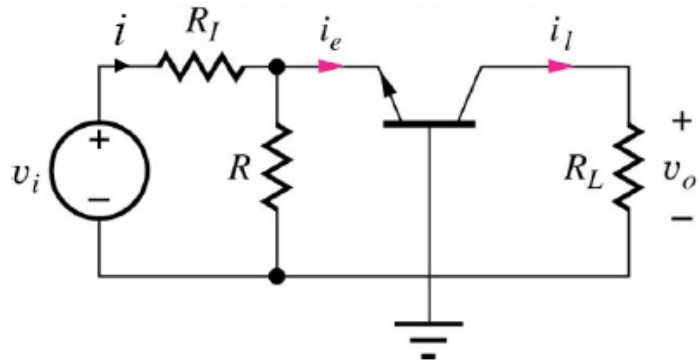


$$R_{out}^{CB} = r_o \left( 1 + \frac{\beta R_{th}}{R_{th} + r_\pi} \right)$$

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**

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

**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

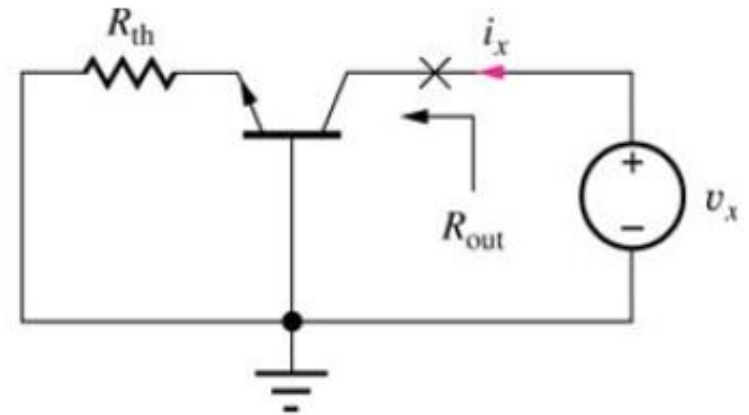
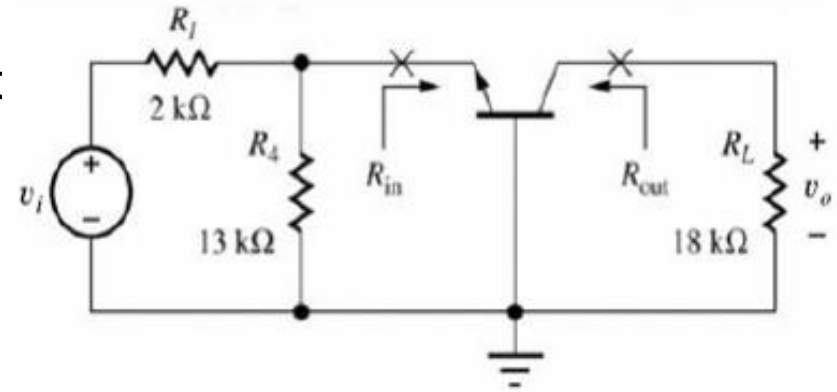
Να υπολογιστεί η ολική απολαβή τάσης  
Δίνονται:  $\beta=100$ ,  $I_C=245\mu\text{A}$ ,  $V_{CE}=3.64\text{V}$ ,  
 $g_m=9.8\text{mS}$ ,  $r_\pi=10.2\text{k}\Omega$ .

Υποθέτουμε λειτουργία στην ενεργό περιοχή και συνθήκες μικρού σήματος.

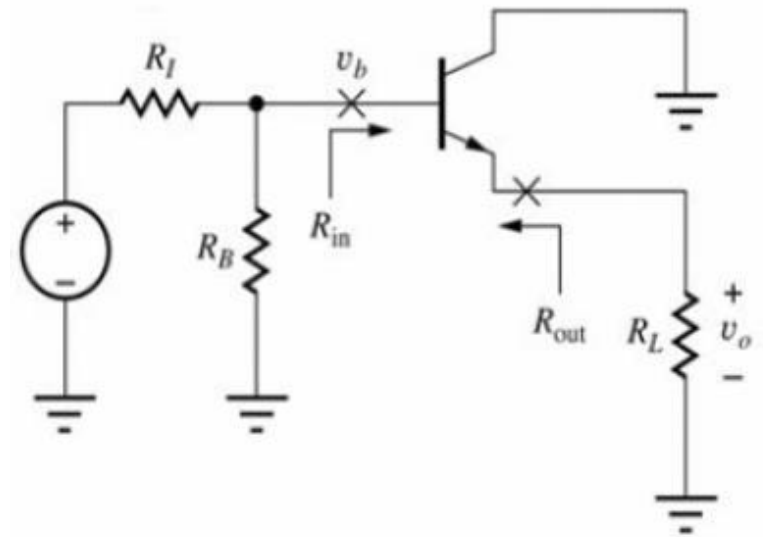
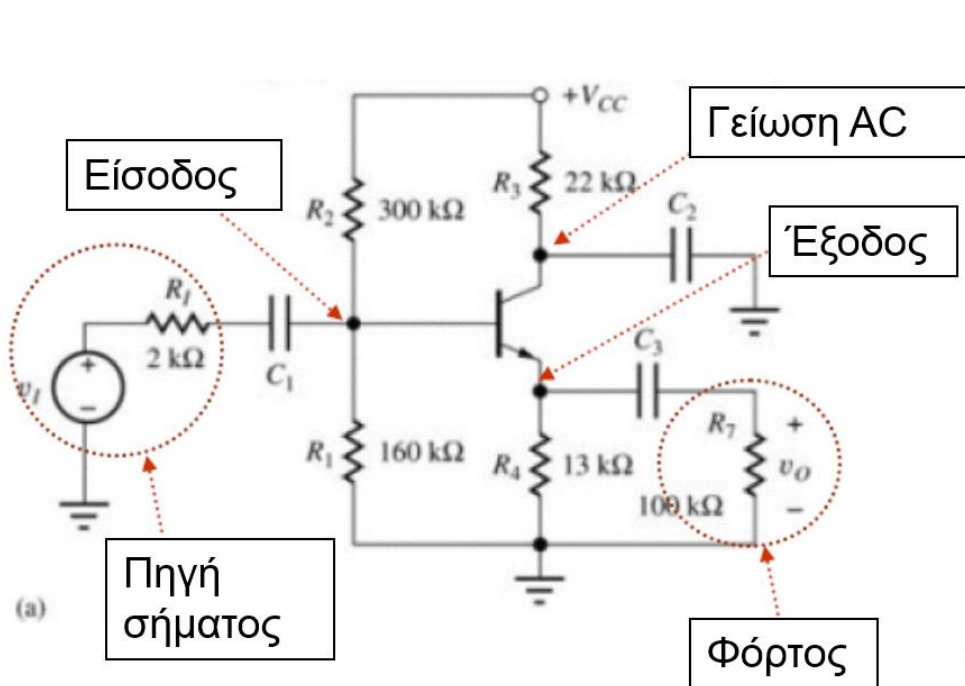
$$A_v = \frac{g_m R_L}{1 + g_m (R_4 \parallel R_I)} \left( \frac{R_4}{R_I + R_4} \right)$$

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

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



# Ενισχυτής κοινού Συλλέκτη ή Ακολουθητής Εκπομπού

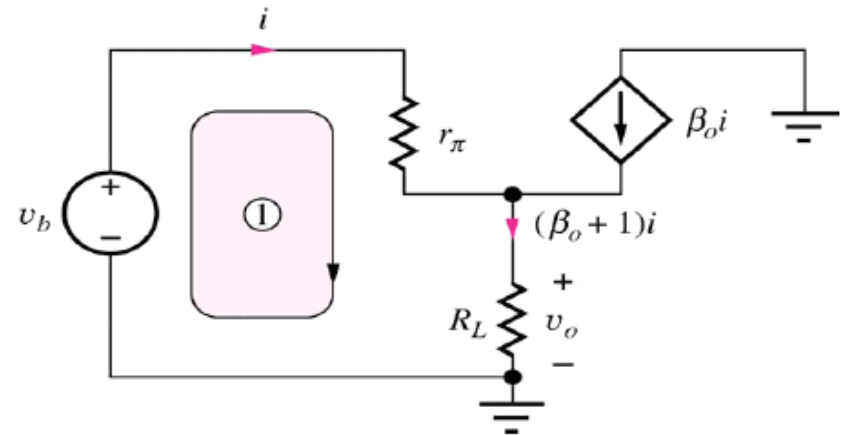
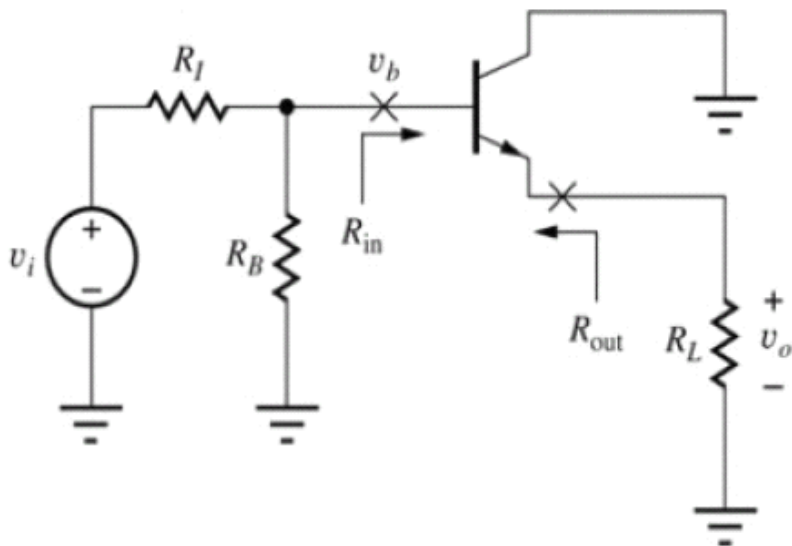


$$R_L = R_4 // R_7$$

$$R_B = R_1 // R_2$$



# Απολαβή τάσης



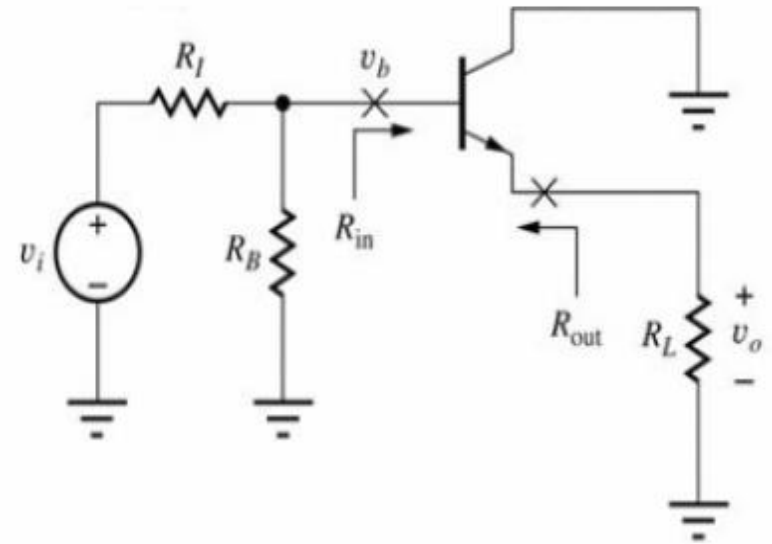
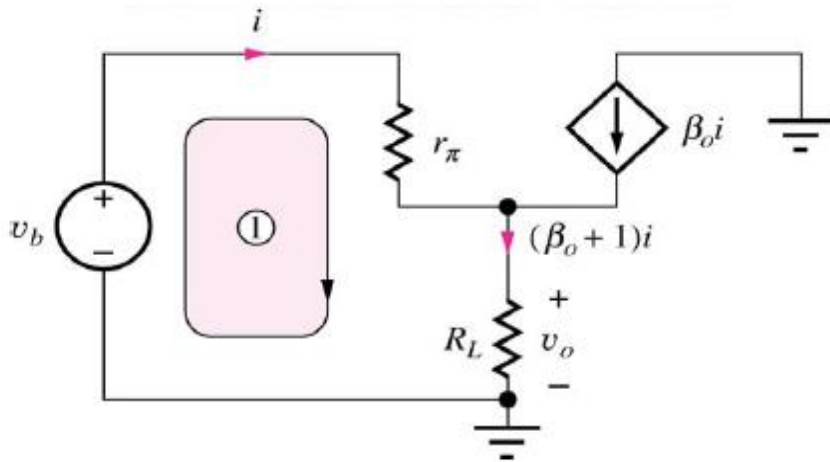
$$A_{vt}^{CC} = \frac{v_o}{v_b} = \frac{(\beta + 1)R_L}{r_\pi + (\beta + 1)R_L} \quad A_{vt}^{CC} \cong \frac{g_m R_L}{1 + g_m R_L} \text{ για } \beta \gg 1$$

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





# Αντίσταση εισόδου και ολική απολαβή τάσης



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

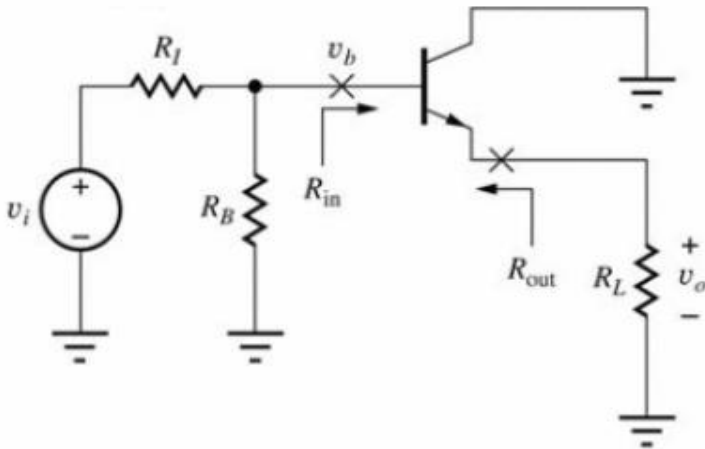
$$A_v^{CC} = \frac{v_o}{v_i} = \left( \frac{v_o}{v_b} \right) \left( \frac{v_b}{v_i} \right) = A_{vt} \left( \frac{v_b}{v_i} \right)$$

Μεγάλη αντίσταση εισόδου.

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

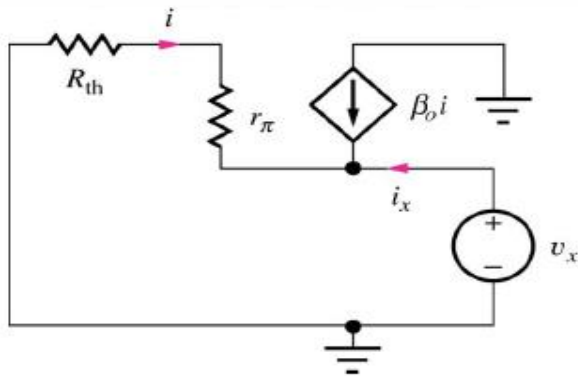


# Αντίσταση εξόδου



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

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



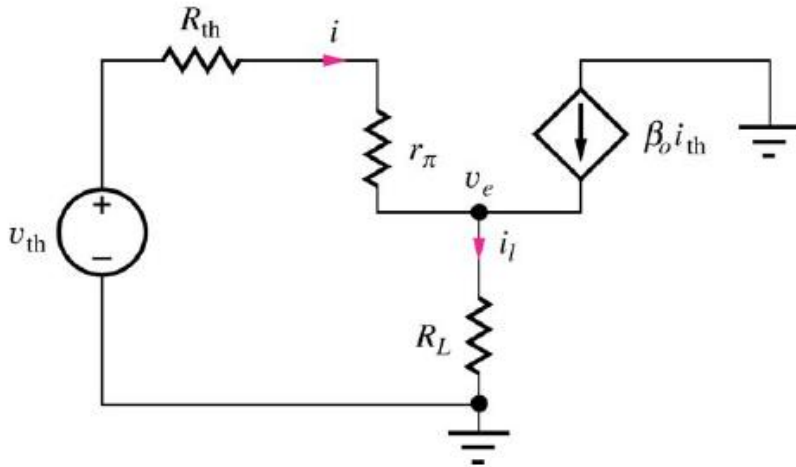
$$R_{out}^{CC} = \frac{a}{g_m} + \frac{R_{th}}{\beta + 1} \cong \frac{1}{g_m} + \frac{R_{th}}{\beta + 1}$$

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

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:  $\beta=100$ ,  $I_C=245\mu\text{A}$ ,  $V_{CE}=3.64\text{V}$ ,  $g_m=9.8\text{mS}$ ,

Υποθέτουμε λειτουργία στην ενεργό περιοχή και μικρού σήματος.

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

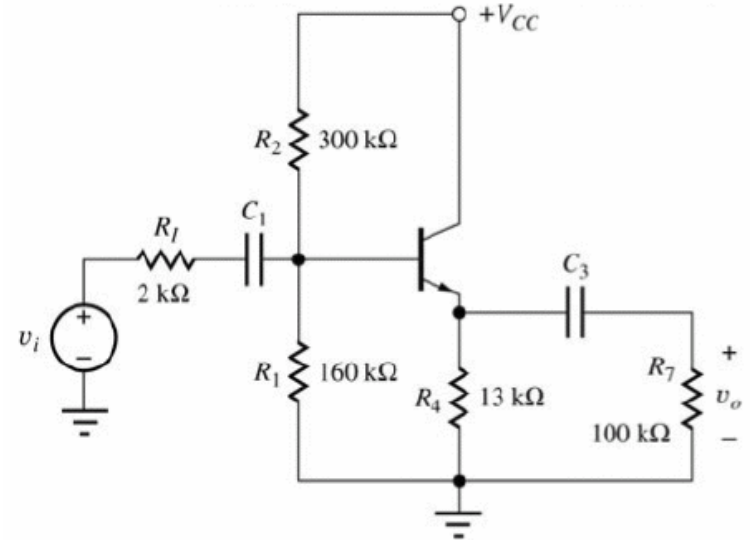
$$R_B = R_1 // R_2 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = 104,35\text{k}\Omega$$

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

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

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

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



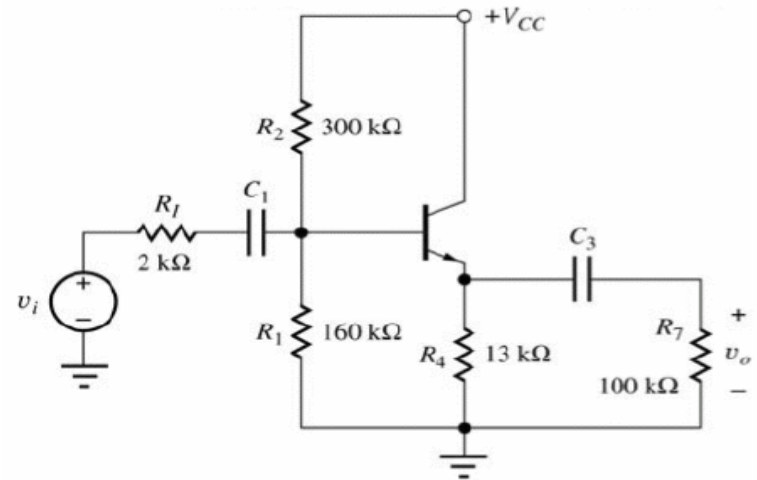
$$A_v \approx 0,97$$

# 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

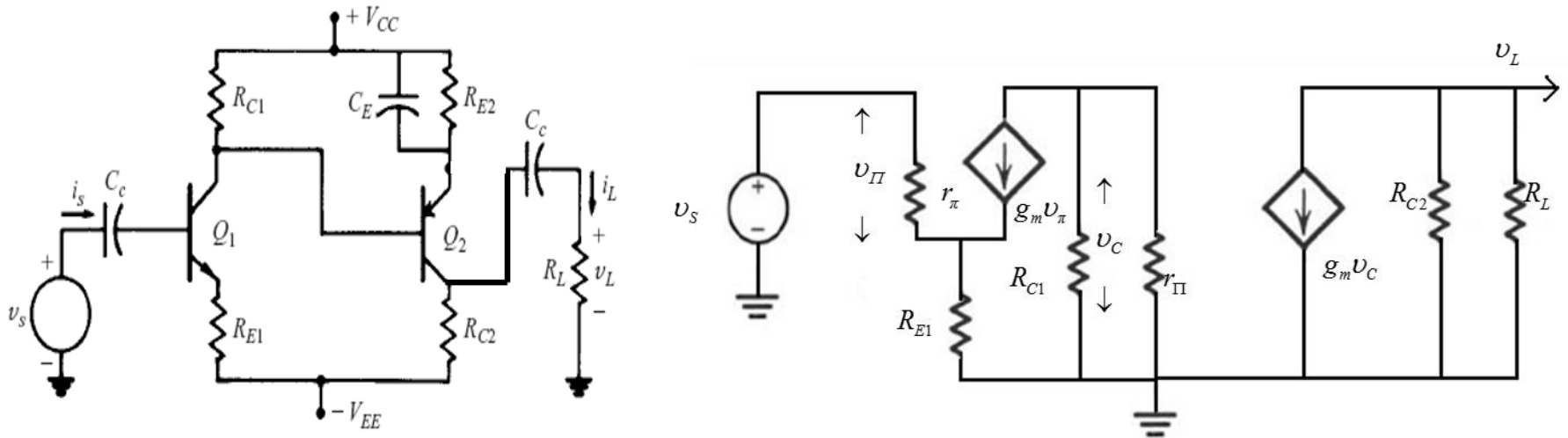
	C-E ( $R_E=0$ )	C-E with $R_E \neq 0$	C-C	C-B
Απολαβή τάσης	$-g_m R_L$ (high)	$-R_L/R_E$ (moderate)	1	$+g_m R_L$ (high)
Αντίσταση εισόδου	$r_\pi$ (moderate)	$\beta R_E$ (high)	$\beta R_L$ (high)	$1/g_m$ (low)
Αντίσταση εξόδου	$r_o$ (moderate)	$r_o(1+g_m R_E)$ (high)	$1/g_m$ (low)	$r_o(1+g_m(R_L  R_4))$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



# Άσκηση 1 (1 από 2)

Για το κύκλωμα του σχήματος υπολογίστε την ολική απολαβή τάσης στις ενδιάμεσες 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  $C_C=C_E\rightarrow\infty$ .



# Άσκηση 1 (2 από 2)

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

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

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

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

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



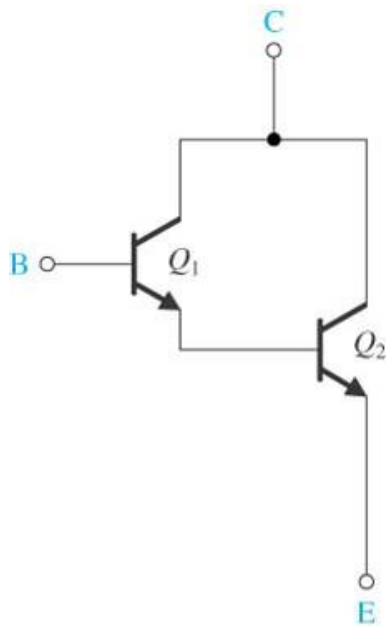


# Άσκηση 2

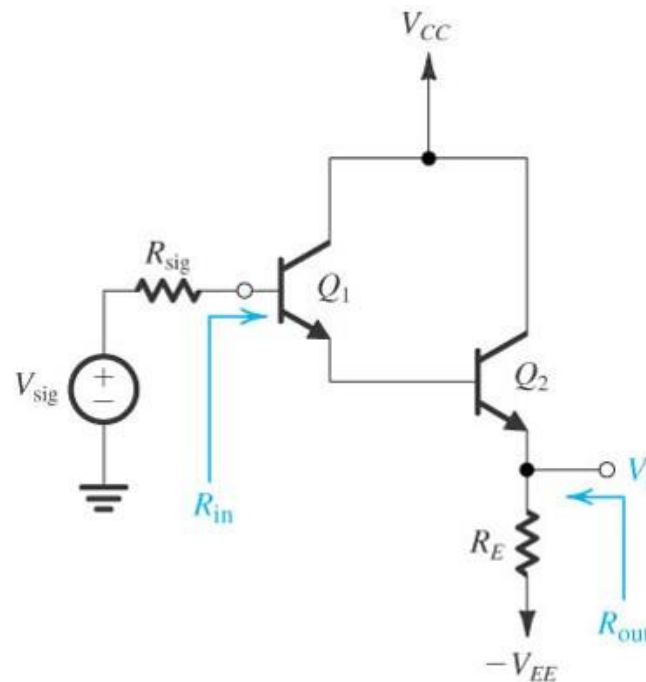
Η συνδεσμολογία δύο τρανζίστορ με τη μορφή που φαίνεται στο σχήμα (a) είναι γνωστή ως ζεύγος Darlington.

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  $R_{\text{out}}$ .



(a)



(b)

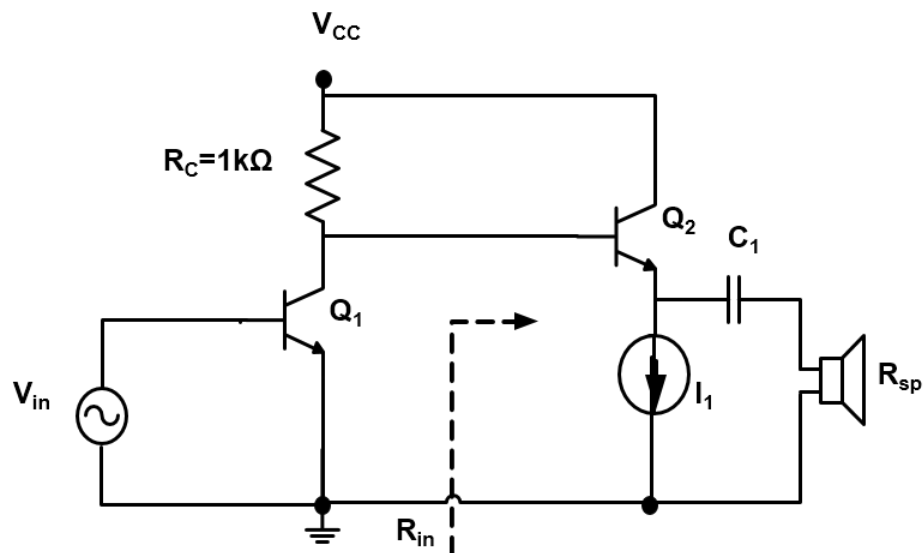
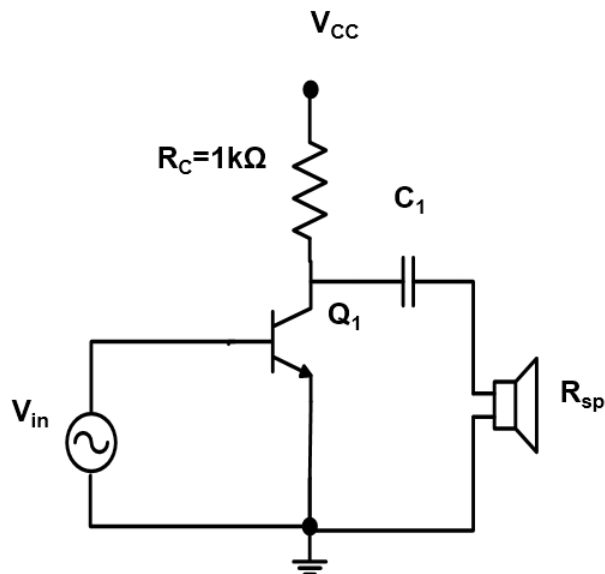
# Άσκηση 3

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 μεγάφωνου.

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:  $V_{CC}=15V$ ,  $R_1=100k\Omega$ ,  $R_2=47k\Omega$ ,  $R_E=3.9k\Omega$ ,  $R_C=6.8k\Omega$ ,  $r_o=\infty$  και  $\beta=100$ .

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

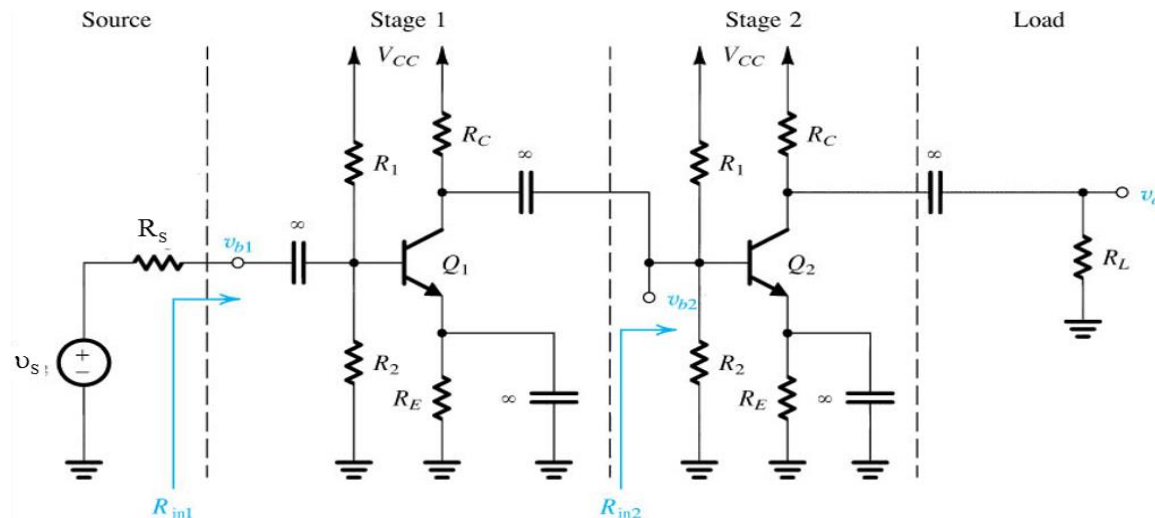
β) Σχεδιάστε το ισοδύναμο μικρού σήματος όλου του ενισχυτή και υπολογίστε τις τιμές των στοιχείων του.

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  $u_o/u_s$ .



# Τέλος Ενότητας



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



# Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αθηνών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Σημειώματα

# Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση 1.01.



# Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Εθνικών και Καποδιστριακών Πανεπιστημίων Αθηνών, Αραπογιάννη Αγγελική 2014. «Ηλεκτρονική. Ενότητα 8: Απόκριση κατά Συχνότητα των Ενισχυτών μιας βαθμίδας με διπολικά τρανζίστορ». Έκδοση: 1.0. Αθήνα 2014. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:  
<http://opencourses.uoa.gr/courses/DI4/>





# Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.



# Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.

