

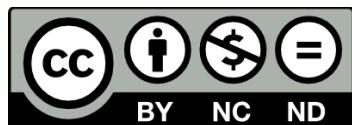


# ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ Ι

## Ενότητα 7: Πόλωση των BJT - Ισοδύναμα κυκλώματα

Χατζόπουλος Αλκιβιάδης

Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχ. Υπολογιστών



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

# Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



# Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη 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.



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



# Σχεδιασμός ενοτήτων:

- 1. Ημιαγωγική δίοδος
- 2. Ένωση pn
- 3. Τρανζίστορ FET
- 4. Πόλωση των FET - Ισοδύναμα κυκλώματα
- 5. Ενισχυτές με FET
- 6. Διπολικό τρανζίστορ (BJT)
- 7. Πόλωση των BJT - Ισοδύναμα κυκλώματα
- 8. Ενισχυτές με διπολικά τρανζίστορ
- 9. Ενισχυτές με ενεργό φορτίο
- 10. Κατασκευή ολοκληρωμένων κυκλωμάτων



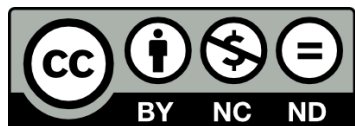


ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΑΝΟΙΚΤΑ  
ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΑ  
ΜΑΘΗΜΑΤΑ



# ΠΟΛΩΣΗ ΤΩΝ ΒJT - ΙΣΟΔΥΝΑΜΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ  
*επένδυση στην κοινωνία της γνώσης*

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ  
2007-2013  
πρόγραμμα για την ανάπτυξη  
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

# Περιεχόμενα ενότητας

1. Εισαγωγή – πόλωση τρανζίστορ BJT (διαφ. 7- 9)
2. Επιδράσεις στο σημείο λειτουργίας(διαφ. 10-15)
3. Επιλογή σημείου λειτουργίας – ευθεία φορτίου κυκλώματα πόλωσης (διαφ. 16- 27)
4. Καθρέπτες ρεύματος (διαφ. 28 – 31)
5. Συντελεστές σταθερότητας (διαφ. 32 – 36)
6. Ισοδύναμα κυκλώματα (διαφ. 37-43)

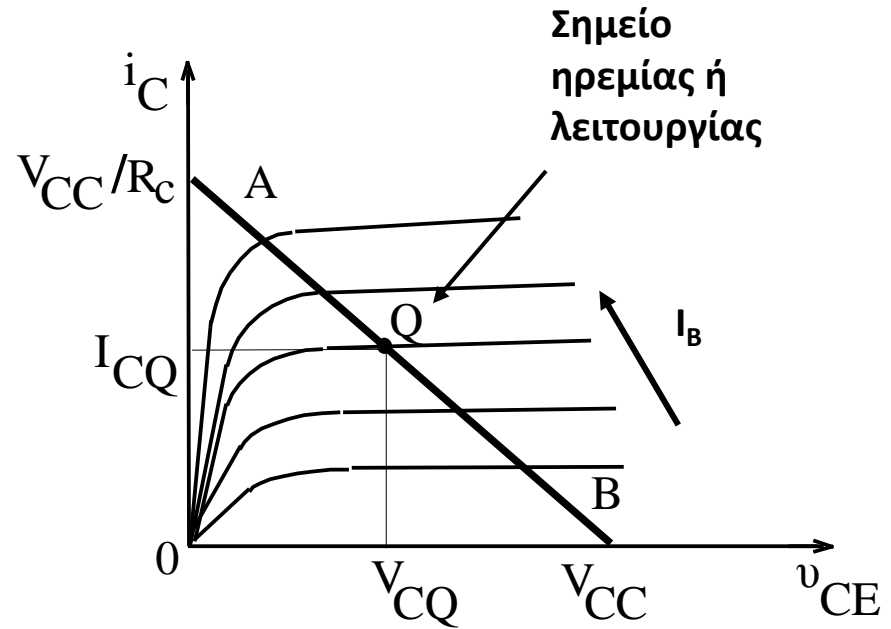
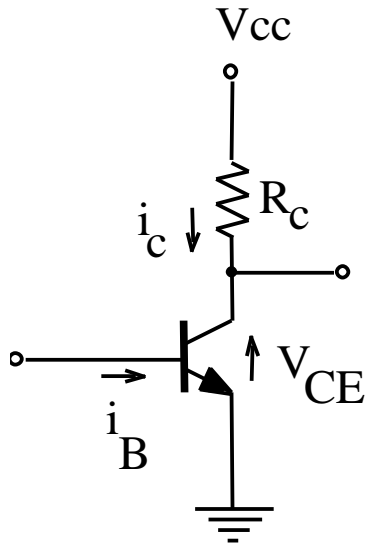


# Επιλογή σημείου λειτουργίας ή ηρεμίας Q

1. Ευαισθησία παραμέτρων ως προς τη μεταβολή του Q.
2. Πλάτος σήματος εισόδου.
3. Ισχύς που καταναλίσκεται στο τρανζίστορ.
4. Θερμοκρασία περιβάλλοντος λειτουργίας.



# Κύκλωμα κοινού εκπομπού και ευθεία φόρτου



$$I_C = \beta I_B + (\beta + 1) I_{CO}$$

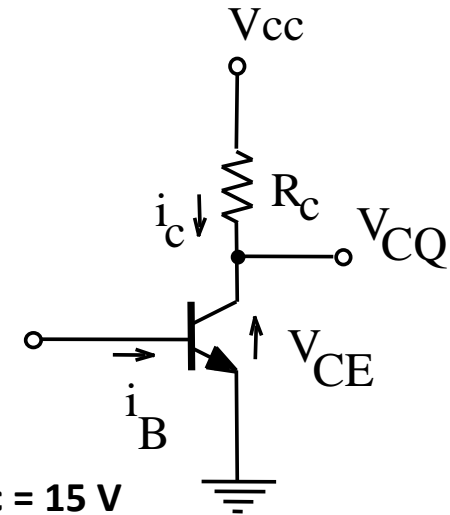
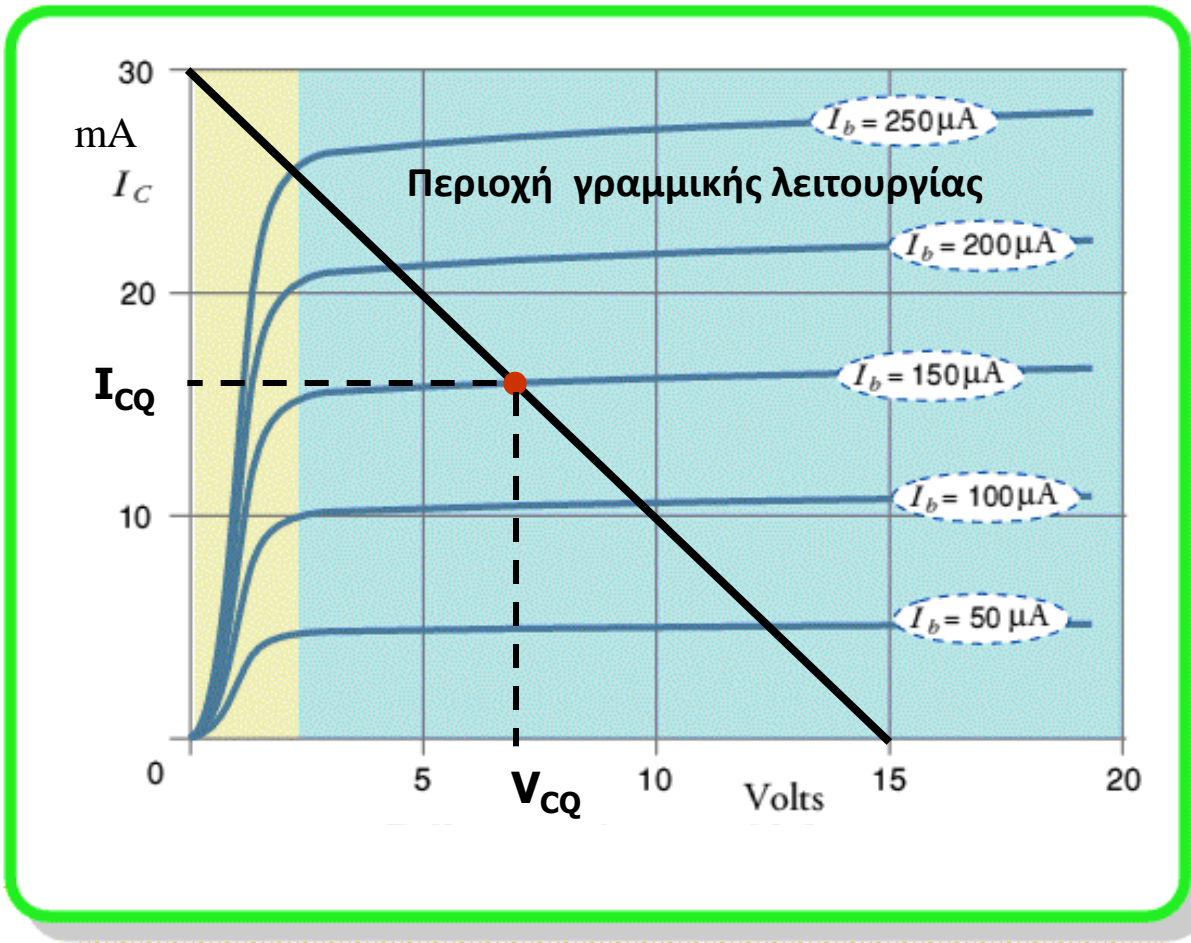
$$V_{CC} = i_C R_C + v_{CE} \Rightarrow i_C = -v_{CE}/R_C + V_{CC}/R_C$$

Ευθεία φόρτου DC





# Σημείο ηρεμίας σε συνδ. κοινού ΕΚΠΟΜΠΟΥ



$$V_{CC} = 15 \text{ V}$$

$$V_{CC}/R_C = 30 \text{ mA}$$

$$R_C = 500 \Omega$$

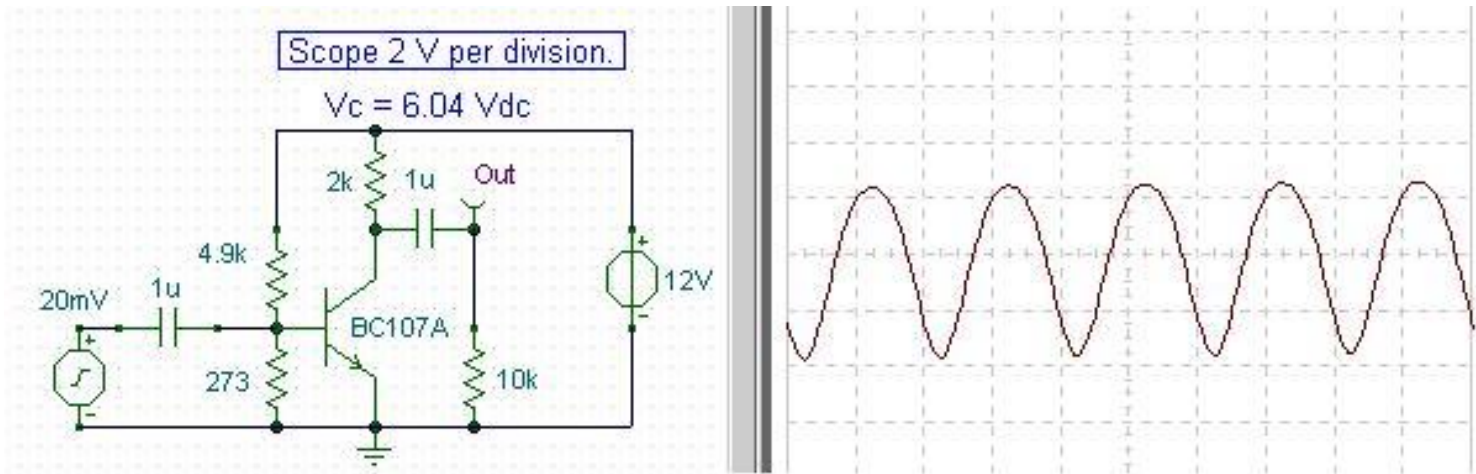
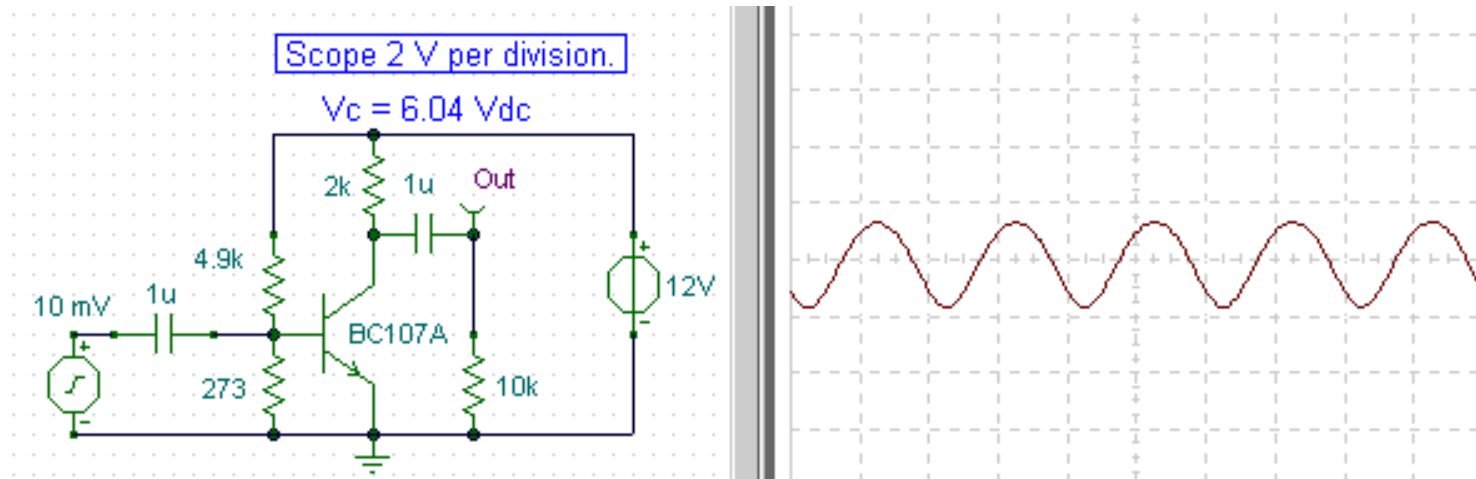
$$V_{CQ} = 7 \text{ V}$$

$$I_{CQ} = (15 - 7)/0.5$$

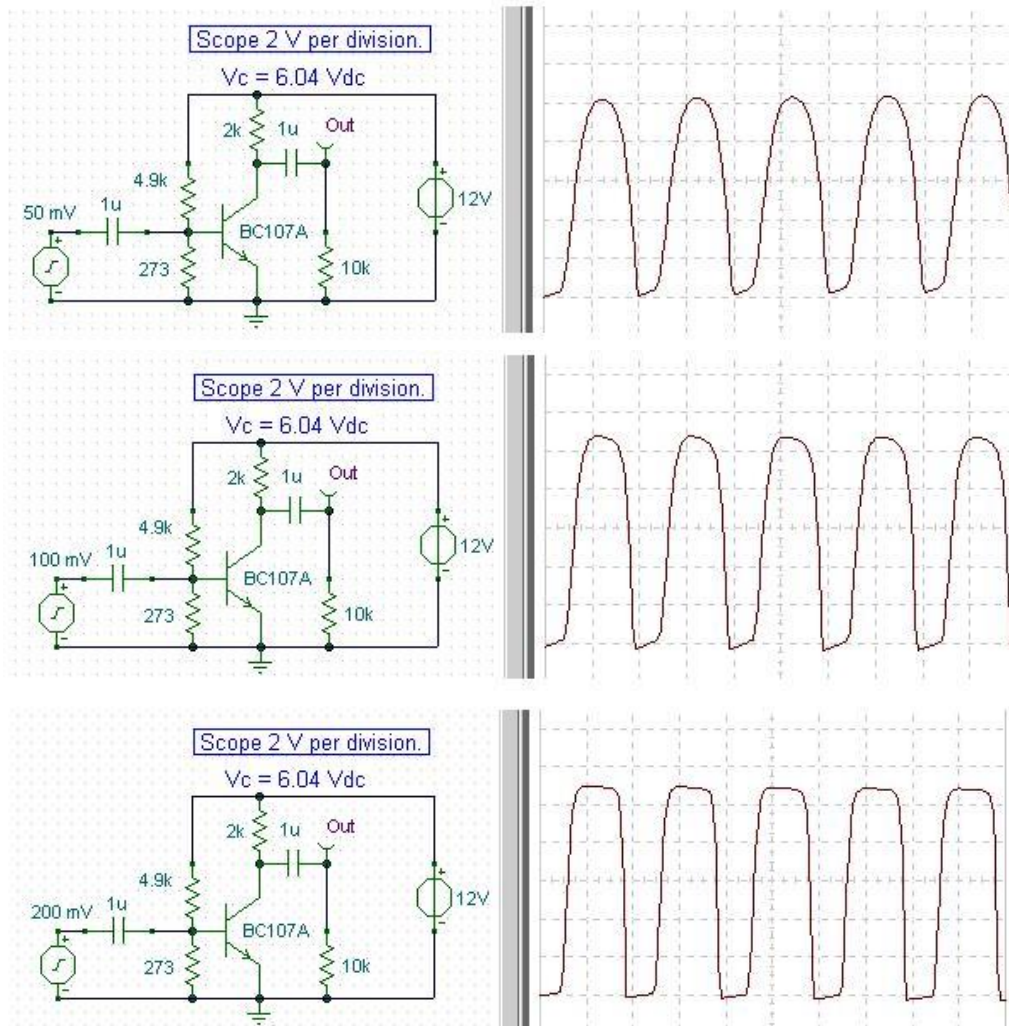
$$= 16 \text{ mA}$$



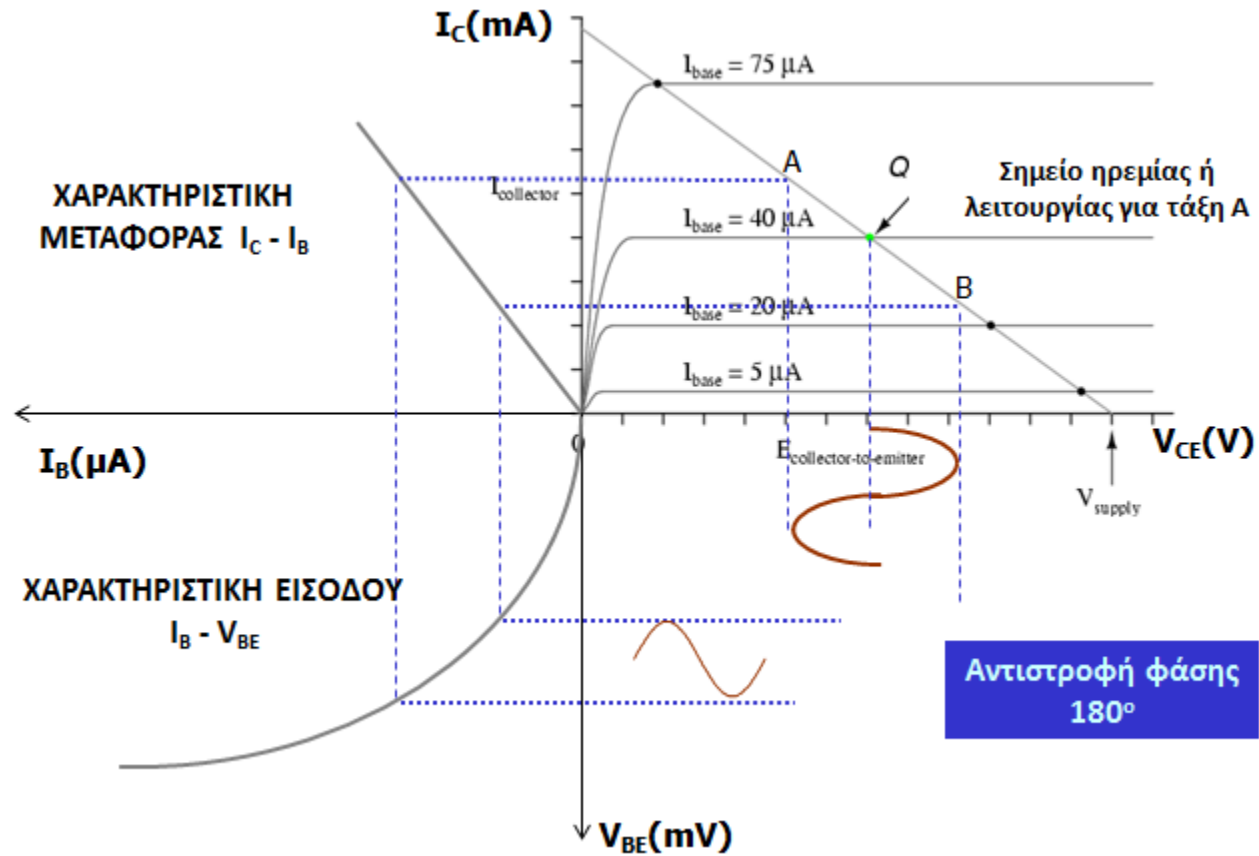
# Επίδραση του πλάτους του σήματος εισόδου (1/3)



# Επίδραση του πλάτους του σήματος εισόδου (2/3)



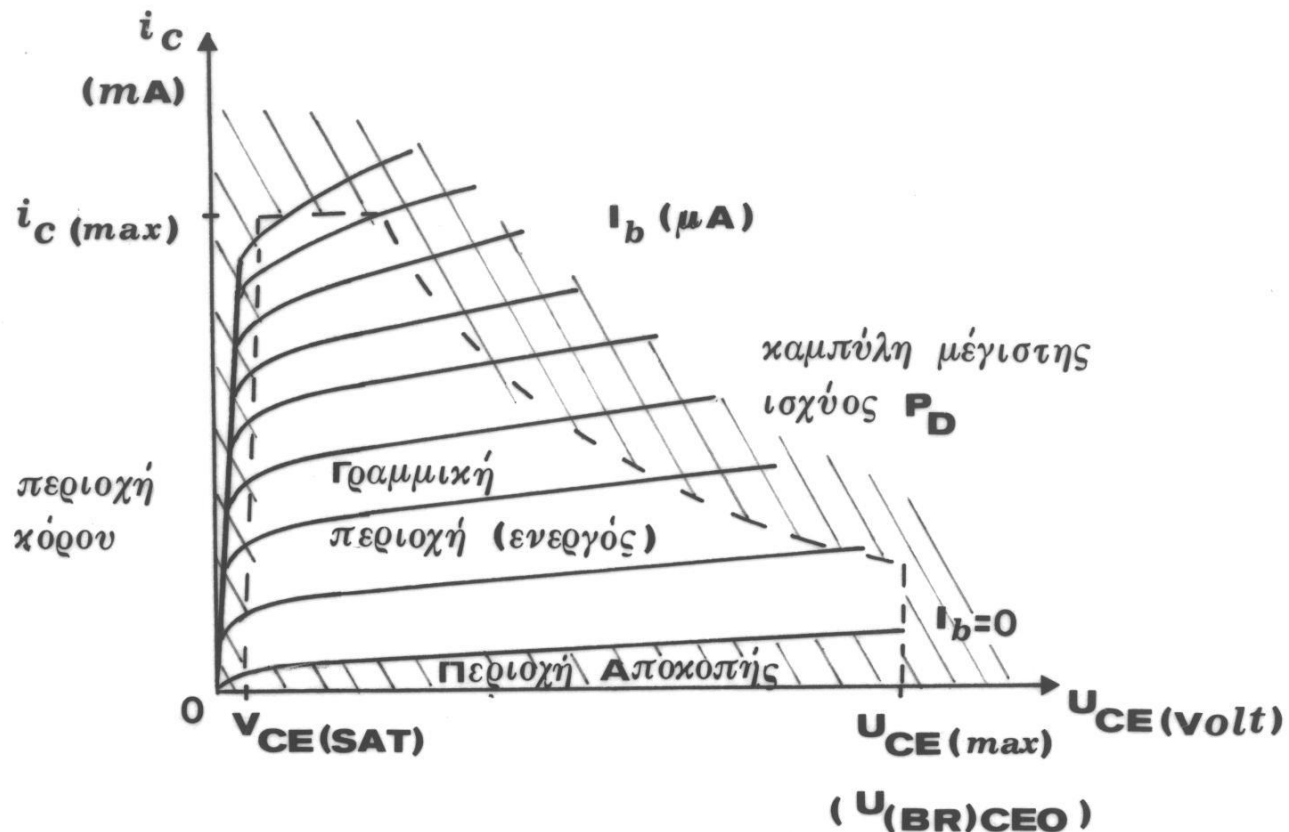
# Επίδραση του πλάτους του σήματος εισόδου (3/3)



# Επίδραση στην κατανάλωση ισχύος

$$P_D = I_B V_{BE} + I_C V_{CE}$$

$$P_D < P_{MAX}$$



# Επίδραση θερμοκρασίας περιβάλλοντος στο σημείο λειτουργίας (1/2)

## Μεταβολή του $I_{CO}$

$$I_{CO} = \frac{qD_p}{WN_D} A^2 e^{-E_g/kT}$$

$$\frac{dI_{CO}}{dT} = \frac{E_g}{kT^2} I_{CO} \begin{cases} \rightarrow \approx 0,09 I_{CO} / ^\circ\text{C} \text{ στο Γερμάνιο} \\ \rightarrow \approx 0 \text{ στο Πυρίτιο} \end{cases}$$



# Επίδραση θερμοκρασίας περιβάλλοντος στο σημείο λειτουργίας (2/2)

## Μεταβολή της $V_{BE}$

$$I = I_{EO} (e^{qV_{BE}/nkT} - 1) \cong I_{EO} e^{qV_{BE}/nkT}$$

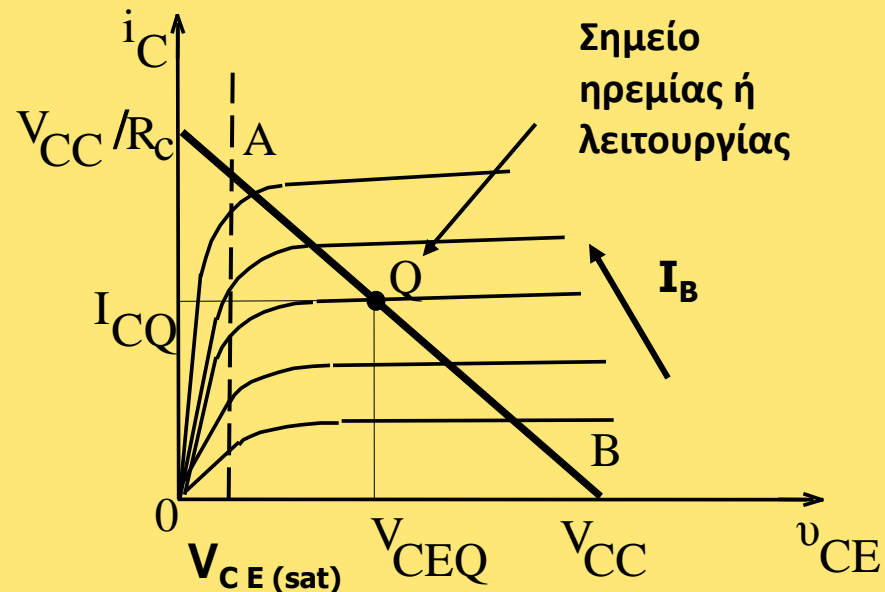
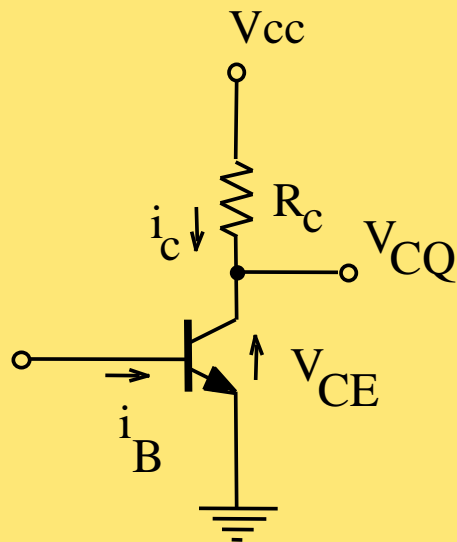
$$V_{BE} = \frac{nkT}{q} (\ln I - \ln I_{EO})$$

$$\frac{\partial V_{BE}}{\partial T} = \frac{nk}{q} (\ln I - \ln I_{EO}) - \frac{nkT}{q} \frac{1}{I_{EO}} \frac{dI_{EO}}{dT} = \frac{V_{BE}}{T} - \frac{nE_g}{qT}$$

$$\frac{\partial V_{BE}}{\partial T} = \begin{cases} \approx -1,6 \text{ mV /}^\circ\text{C} & \text{στο Γερμάνιο} \\ \approx -2 \text{ mV /}^\circ\text{C} & \text{στο Πυρίτιο} \end{cases}$$



# Επιλογή σημείου λειτουργίας



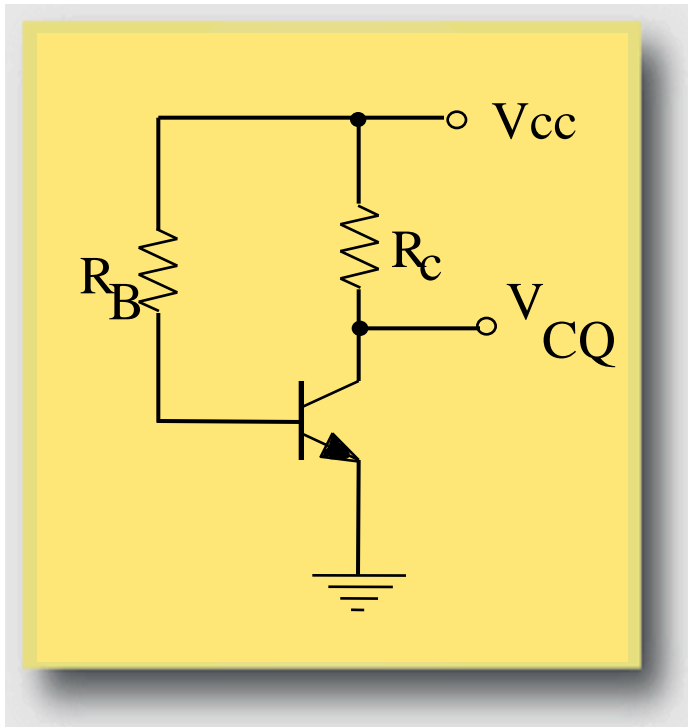
$$\begin{aligned}V_{CQ} &= V_{CE(sat)} + (V_{CC} - V_{CE(sat)}) / 2 \\ &= (V_{CC} + V_{CE(sat)}) / 2 \approx V_{CC} / 2\end{aligned}$$

$$I_{CQ} = (V_{CC} - V_{CQ}) / R_C \approx V_{CC} / 2R_C$$





# Κύκλωμα πόλωσης ρεύματος βάσης



$$I_B = (V_{CC} - V_{BE}) / R_B$$

Για  $V_{BE} \approx 0$ ,  $I_{CO} \approx 0$  και  $V_{CQ} \approx V_{CC}/2$

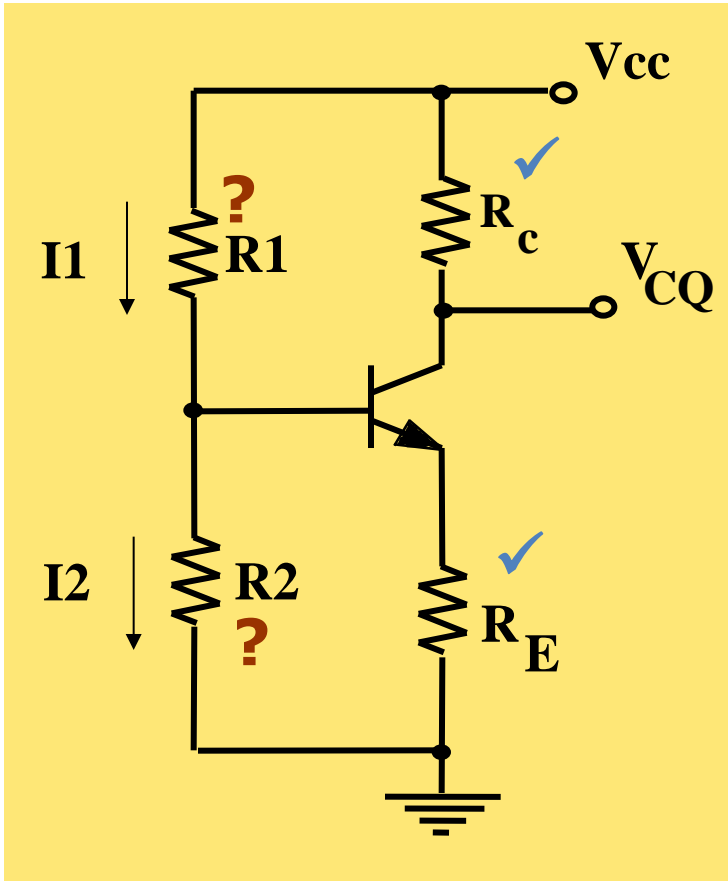
**ΕΠΙΛΟΓΗ :**  $I_B = V_{CC} / 2\beta R_C$

$\Rightarrow$

$$R_B = 2\beta R_C$$



# Κύκλωμα πόλωσης εκπομπού (1/2)



Επιλογή σημείου Q στο μέσο της ενεργού περιοχής:

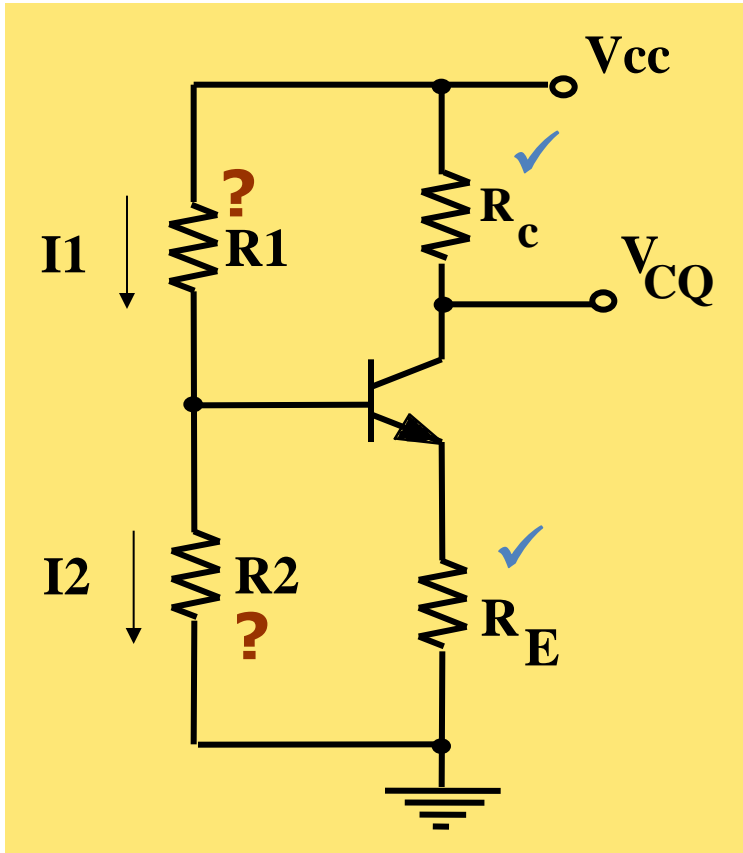
$$\begin{aligned}V_{CEQ} &= V_{CE(sat)} + (V_{CC} - V_{CE(sat)}) / 2 \\ &= (V_{CC} + V_{CE(sat)}) / 2 \approx V_{CC} / 2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_{CQ} &= V_{CEQ} + I_{EQ} R_E \quad \approx I_{CQ} \\ &\approx V_{CC} / 2 + (V_{CC} - V_{CQ}) R_E / R_C\end{aligned}$$

$$V_{CQ} = \frac{V_{CC}}{2} \left( 1 + \frac{R_E}{R_C + R_E} \right)$$



# Κύκλωμα πόλωσης εκπομπού (2/2)



Επιλογή:

$$V_{CQ} = \frac{V_{CC}}{2} \left( 1 + \frac{R_E}{R_C + R_E} \right)$$

$$I_{CQ} = (V_{CC} - V_{CQ}) / R_C$$

$$I_{BQ} = (I_{CQ} - (\beta + 1) I_{CO}) / \beta$$

$$V_{BQ} = V_{BE} + (I_{CQ} + I_{BQ}) R_E$$

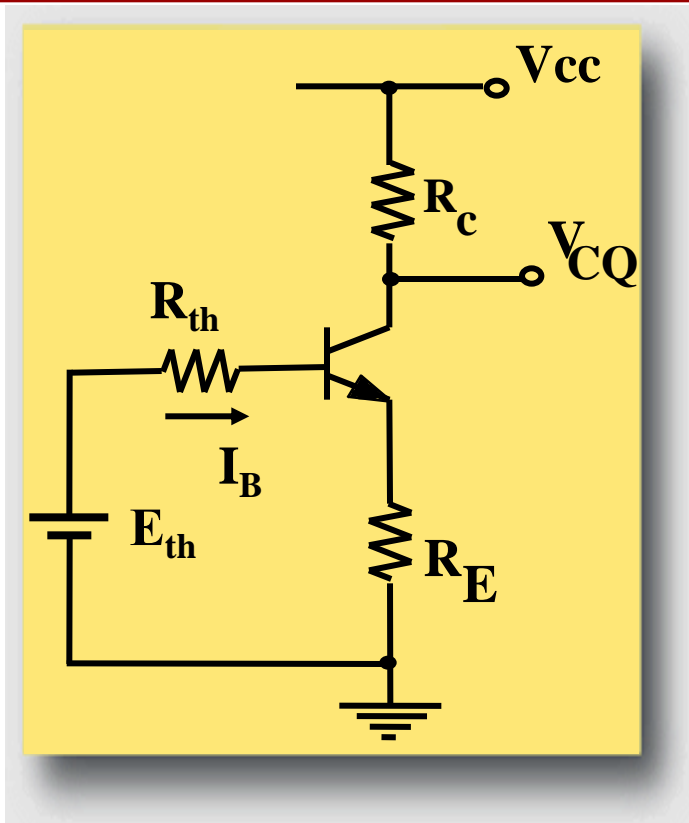
$$10 R_E \leq R_2 \leq 20 R_E$$

$$I_2 = V_{BQ} / R_2$$

$$R_1 = (V_{CC} - V_{BQ}) / (I_B + I_2)$$



# Ευθεία φορτίου στον ενισχυτή κοινού εκπομπού



$$V_{CC} = u_{CE} + i_C R_C + i_E R_E$$

$$\approx u_{CE} + i_C (R_C + R_E)$$

$$u_{CE} = V_{CE} + u_{ce}$$

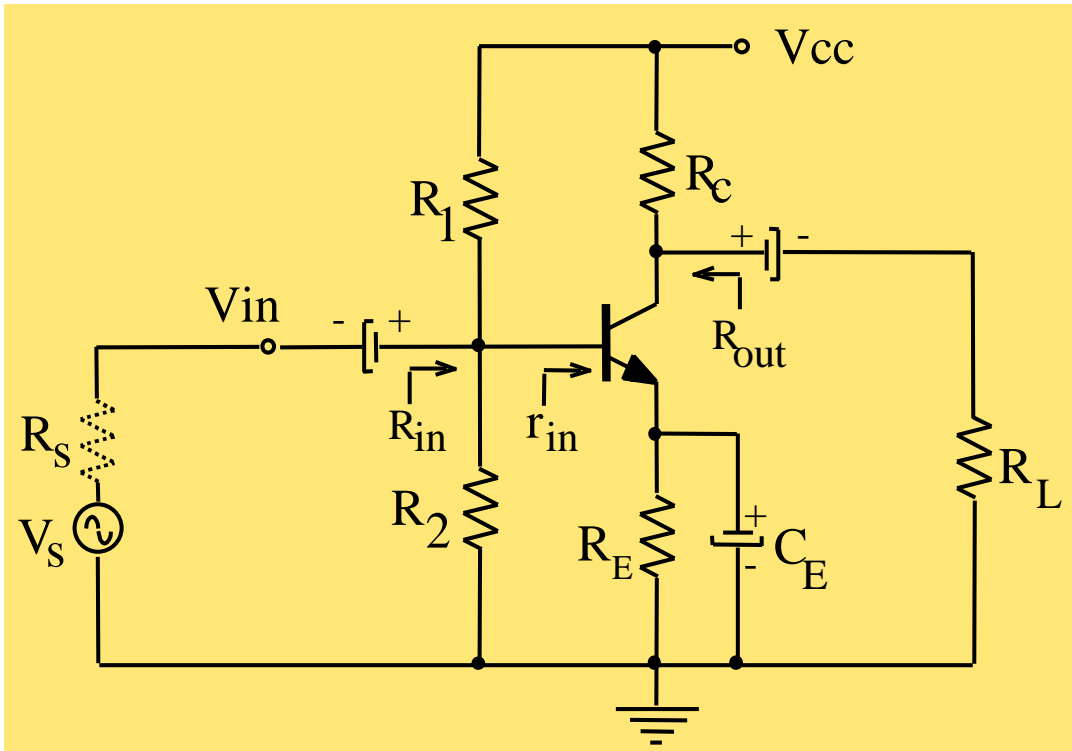
$$i_C = I_C + i_c$$

$$V_{CC} \approx V_{CEQ} + I_{CQ} \overbrace{(R_C + R_E)}^{R_{dc}} \quad \text{dc E.}\Phi.$$

$$0 \approx u_{ce} + i_c \underbrace{(R_C + R_E)}_{R_{ac}} \quad \text{ac E.}\Phi.$$



# Ευθεία φορτίου ac και βέλτιστη επιλογή σημείου ηρεμίας στον ενισχυτή κοινού εκπομπού (1/3)



$$i_c = - (1 / R_{ac}) u_{ce}$$

$$R_C // R_L$$

$$i_c - I_{CQ} = - (1 / R_{ac}) (u_{CE} - V_{CE})$$

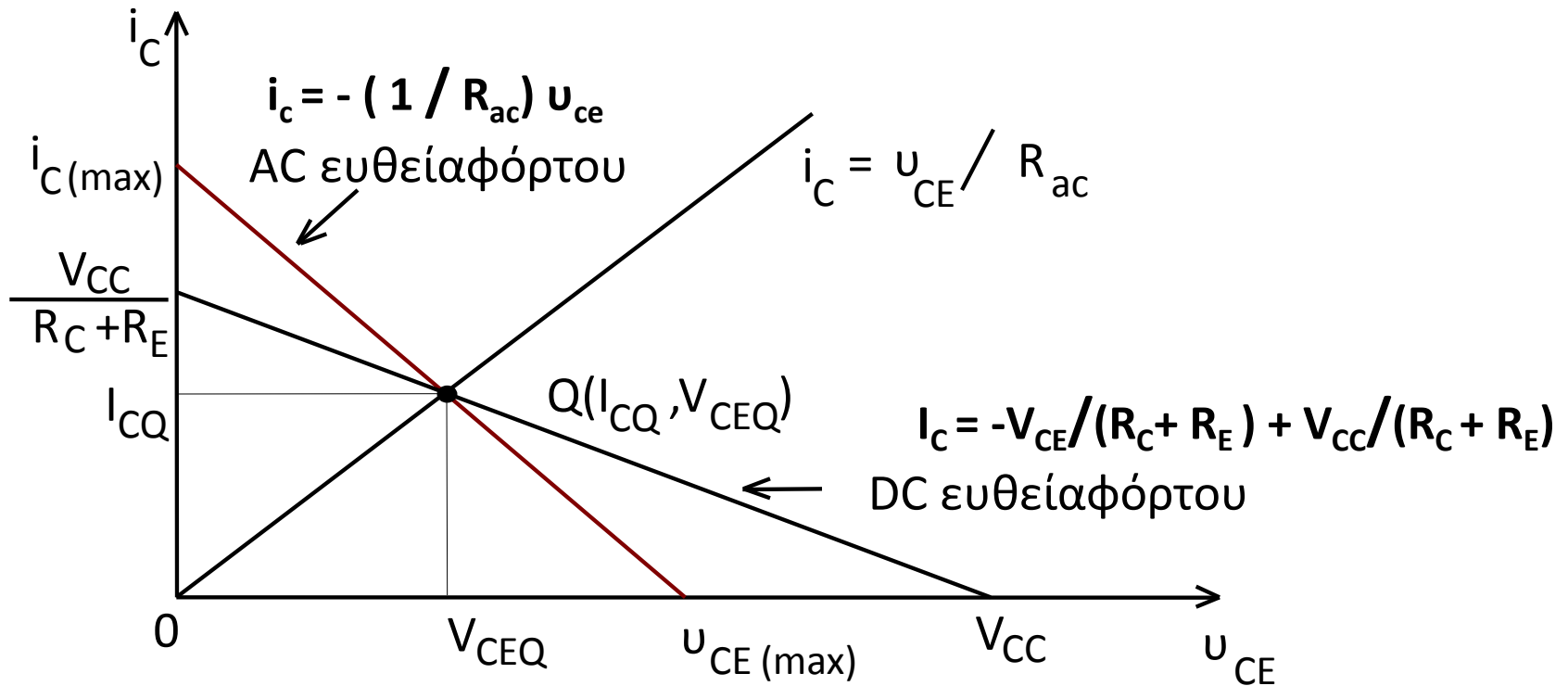
όταν  $u_{CE} = 0$ , τότε:

$$i_{Cmax} = I_{CQ} + V_{CE} / R_{ac}$$

**ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΕΠΙΛΟΓΗ ΣΗΜΕΙΟΥ ΗΡΕΜΙΑΣ:  $i_{Cmax} = 2 I_{CQ}$**

$$\text{Οπότε: } I_{CQ} = V_{CE} / R_{ac}$$

# Ευθεία φορτίου ac και βέλτιστη επιλογή σημείου ηρεμίας στον ενισχυτή κοινού εκπομπού (2/3)



# Ευθεία φορτίου ac και βέλτιστη επιλογή σημείου ηρεμίας στον ενισχυτή κοινού εκπομπού (3/3)

$$V_{CC} = V_{CEQ} + I_{CQ} R_{dc} = V_{CEQ} (1 + R_{dc} / R_{ac})$$

$I_{CQ} = V_{CEQ} / R_{ac}$

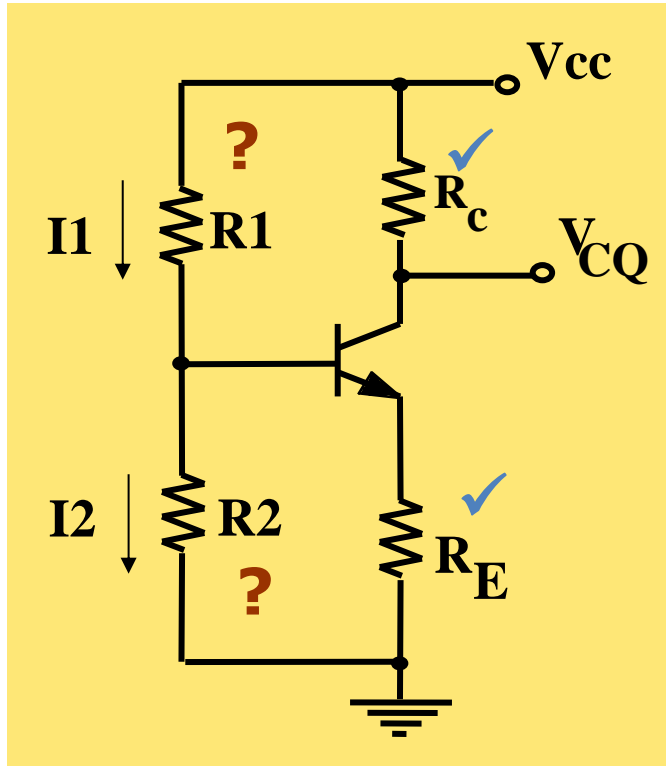
$$\Rightarrow V_{CEQ} = \frac{V_{CC}}{(1 + R_{dc} / R_{ac})}$$

**ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΕΠΙΛΟΓΗ Q**

$$I_{CQ} = \frac{V_{CC}}{(R_{ac} + R_{dc})}$$



# Μετατόπιση του Q με το β σε κύκλωμα πόλωσης εκπομπού



$$E_{th} = V_{CC} R_2 / (R_1 + R_2)$$

$$R_{th} = R_1 R_2 / (R_1 + R_2)$$

$$V_{CQ} = V_{CC} - I_{CQ} R_C$$

$$= V_{CC} - \beta R_C (E_{th} - V_{BE}) / (R_{th} + (\beta+1) R_E)$$

Αν  $R_{th} \gg (\beta+1) R_E$  τότε:

$$V_{CQ} = V_{CC} - \beta R_C (E_{th} - V_{BE}) / R_{th} \quad \text{☹}$$

Αν  $R_{th} \ll (\beta+1) R_E$  τότε:

$$V_{CQ} = V_{CC} - \beta R_C (E_{th} - V_{BE}) / (\beta+1) R_E \quad \text{☺}$$

$$0,1 (\beta+1) R_E \leq R_{th} \leq 0,2 (\beta+1) R_E$$

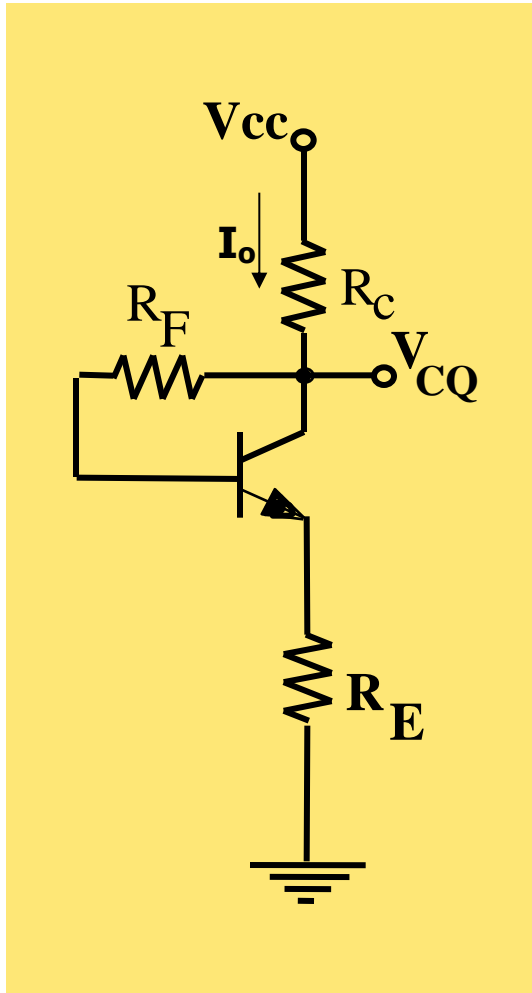
$$10 R_E \leq R_2 \leq 20 R_E$$

$\approx R_{th}$





# Κύκλωμα πόλωσης συλλέκτη - βάσης



Επιλογή

$$V_{CQ} = \frac{V_{CC}}{2} \left(1 + \frac{R_E}{R_C + R_E}\right)$$

✓  $I_0 = I_E = (V_{CC} - V_{CQ}) / R_C$

✓  $V_{BQ} = I_0 R_E + V_{BE}$

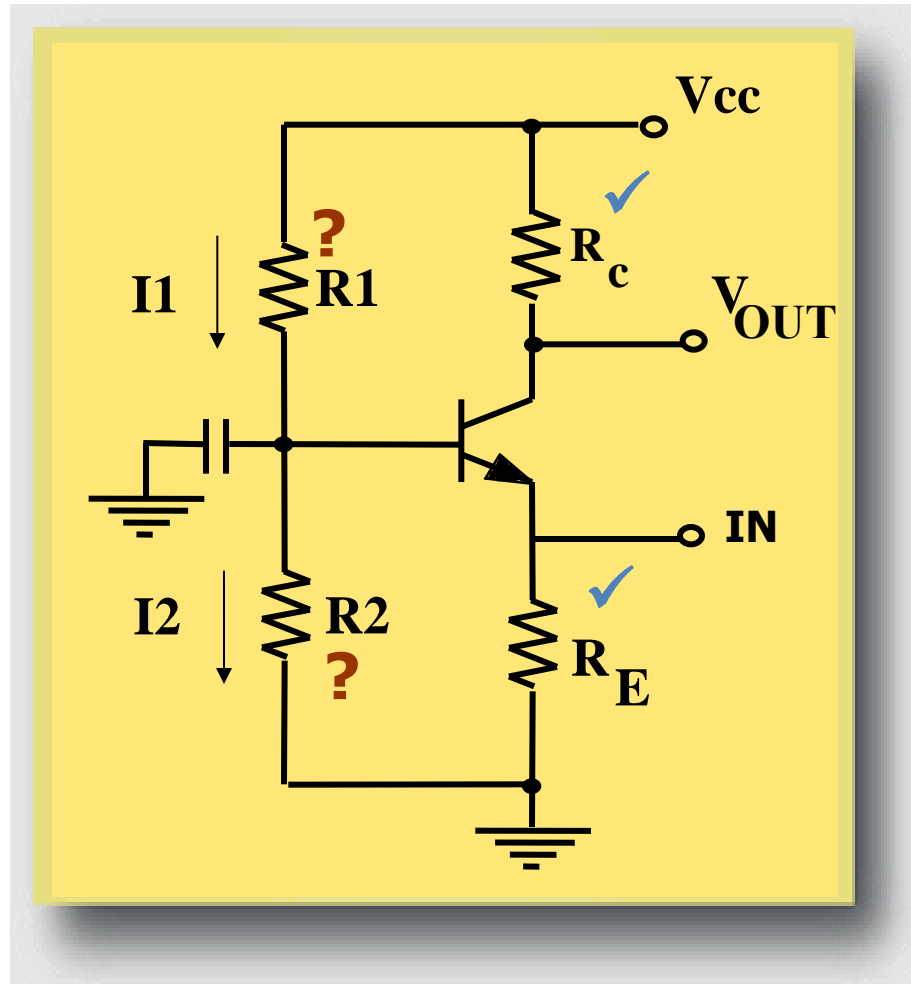
$$I_B = (I_0 - I_C) / \beta - I_{CO}(\beta + 1) / \beta$$

✓  $\Rightarrow I_B = I_0 / (\beta + 1) - I_{CO}$

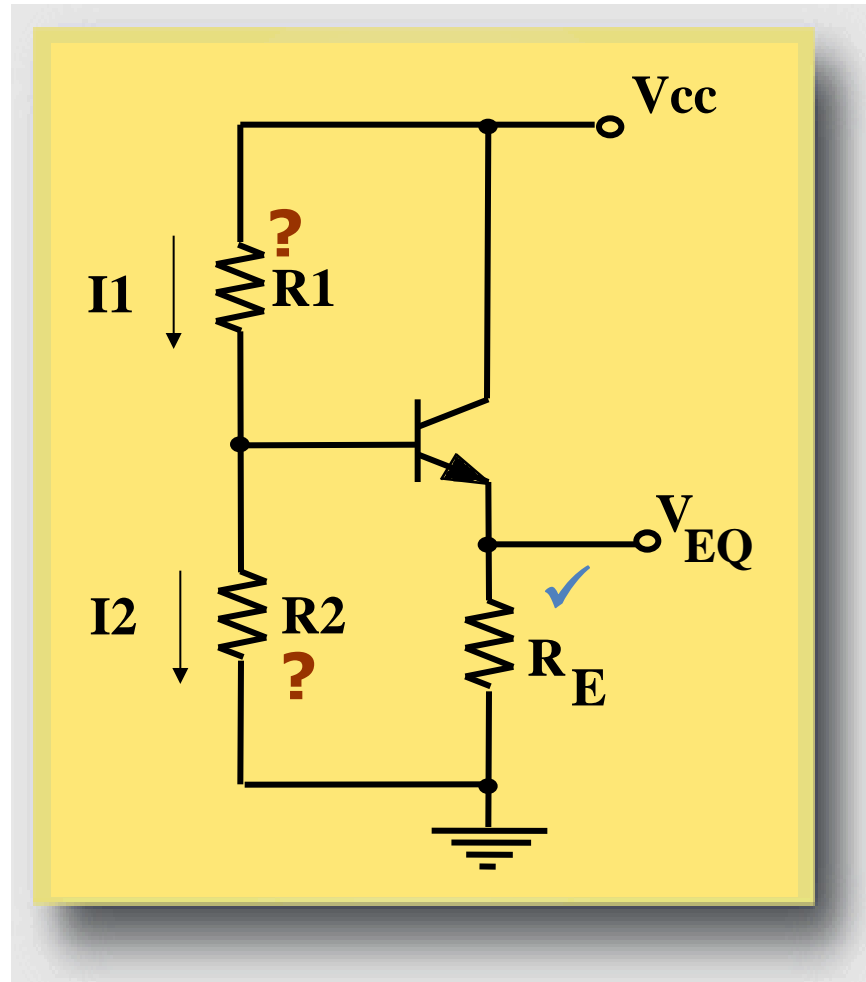
✓  $R_F = (V_{CQ} - V_{BQ}) / I_B$



# Κύκλωμα πόλωσης κοινής βάσης



# Κύκλωμα πόλωσης κοινού συλλέκτη



# Πόλωση ολοκληρωμένων κυκλωμάτων

## Πηγές ρεύματος με κύκλωμα «καθρέπτη» ρεύματος (1/3)

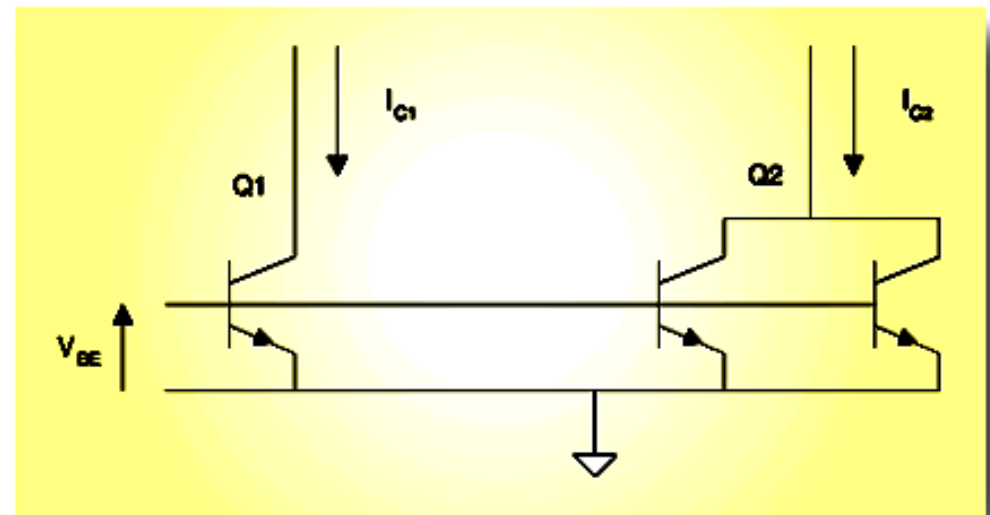
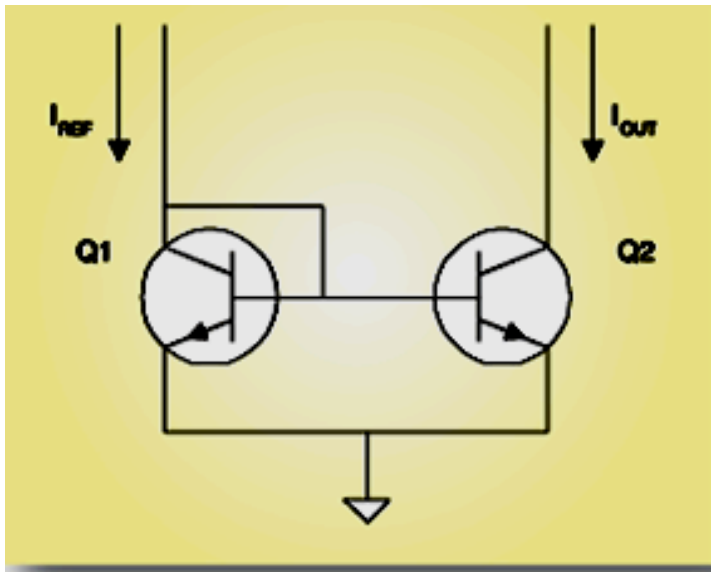
$$i_C = I_S \exp(V_{BE}/nV_T)$$

$$V_{BE1} = V_{BE2} = V_{BE}$$

$$I_{B1} = I_{B2} = I_B$$

$$I_{OUT} = I_{REF} - 2I_B \approx I_{REF}$$

$$I_{C2} = 2I_{C1}$$

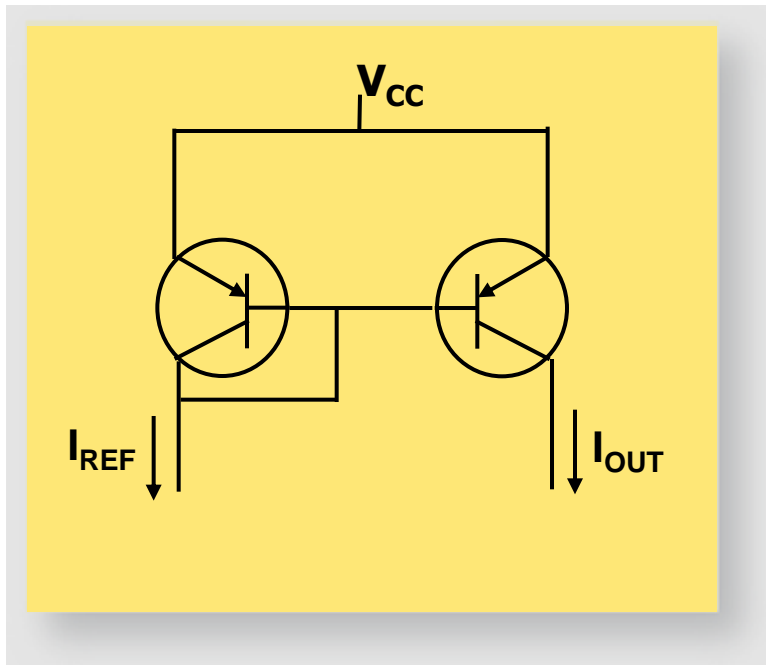


ΚΥΚΛΩΜΑ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

ΚΥΚΛΩΜΑ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΕΞΟΔΩΝ

# Πόλωση ολοκληρωμένων κυκλωμάτων

## Πηγές ρεύματος με κύκλωμα «καθρέπτη» ρεύματος (2/3)



$$V_{BE1} = V_{BE2} = V_{BE}$$

$$I_{B1} = I_{B2} = I_B$$

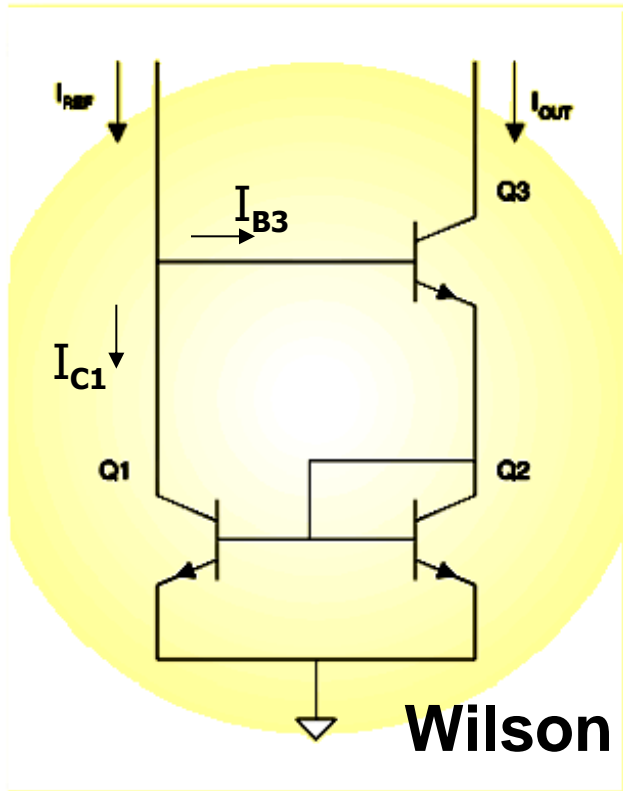
$$I_{OUT} = I_{REF} - 2I_B \approx I_{REF}$$

ΚΥΚΛΩΜΑ ΠΗΓΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ



# Πόλωση ολοκληρωμένων κυκλωμάτων

## Πηγές ρεύματος με κύκλωμα «καθρέπτη» ρεύματος (3/3)



$$I_{B3} = I_{OUT}/\beta = I_{REF} - I_{C1}$$

$$= I_{REF} - I_{C2} =$$

$$= I_{REF} - (I_{E3} - 2 I_{C2} / \beta) =$$

$$= I_{REF} - I_{OUT}(\beta+1)/\beta + 2 I_{C1} / \beta =$$

$$= I_{REF} - I_{OUT}(\beta+1)/\beta + 2 (I_{REF} - I_{OUT}/\beta) / \beta$$

$$\Rightarrow I_{OUT} = I_{REF} [1 - 2 / (\beta^2 + 2\beta + 2)]$$

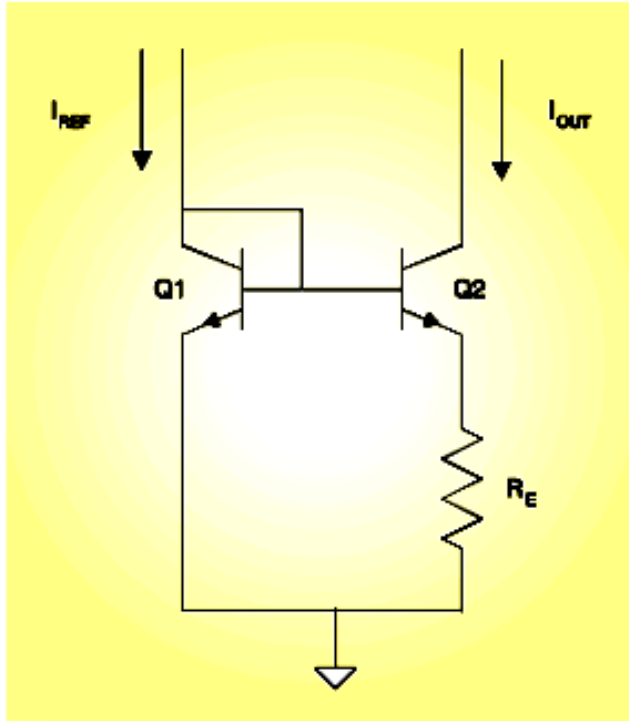
$$R_0 \approx \beta r_{o3}/2 \quad (\text{Υψηλή})$$

Μικρή ευαισθησία ως προς τα  $I_B$ .



# Πόλωση ολοκληρωμένων κυκλωμάτων

## Πηγές ρεύματος Widlar



Ισχύει  $V_{BE} = V_T \ln(i_C/I_S)$ .

Για δύο ίδια τρανζίστορ με  $i_{C1}$  και  $i_{C2}$  θα είναι:

$V_{BE1} = V_T \ln(i_{C1}/I_S)$  και  $V_{BE2} = V_T \ln(i_{C2}/I_S)$  οπότε:

$$\begin{aligned}\Delta V_{BE} &= V_{BE1} - V_{BE2} = V_T [\ln(i_{C1}/I_S) - \ln(i_{C2}/I_S)] = \\ &= V_T \ln(i_{C1}/i_{C2}).\end{aligned}$$

Στο κύκλωμα είναι:  $V_{BE1} = V_{BE2} + I_{out} R_E \Rightarrow$

$$\Delta V_{BE} = I_{out} R_E = V_T \ln(I_{REF} / I_{out})$$

Για επιθυμητά  $I_{out}$  και  $I_{REF}$  υπολογίζεται η τιμή της  $R_E$ .

**Χρησιμοποιείται για μικρά ρεύματα.**

**Υλοποιείται με μικρές τιμές αντιστάσεων, κατάλληλες για ολοκληρωμένα κυκλώματα.**



# Συντελεστής σταθερότητας τάσης $S_V$

$$S_V = \frac{dV_{CQ}}{dT} = \frac{\partial V_{CQ}}{\partial V_{BE}} \frac{\partial V_{BE}}{\partial T} + \frac{\partial V_{CQ}}{\partial I_{CO}} \frac{\partial I_{CO}}{\partial T}$$

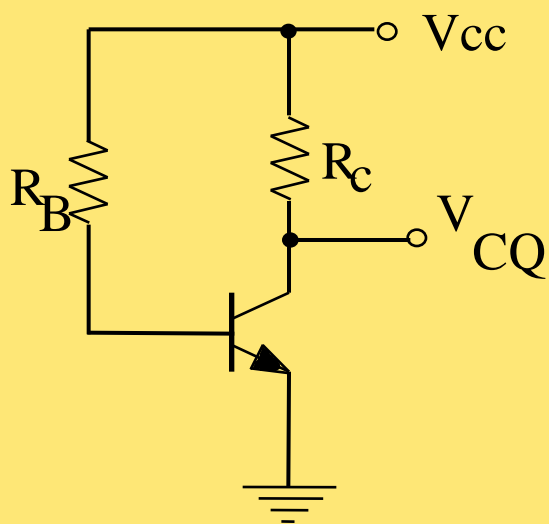
$$\frac{\partial V_{BE}}{\partial T} = \begin{cases} \approx -1,6 \text{ mV /}^\circ\text{C} & \text{στο Γερμάνιο} \\ \approx -2 \text{ mV /}^\circ\text{C} & \text{στο Πυρίτιο} \end{cases}$$

$$\frac{\partial I_{CO}}{\partial T} = \begin{cases} \approx 0,09 I_{CO} /^\circ\text{C} & \text{στο Γερμάνιο} \\ \approx 0 & \text{στο Πυρίτιο} \end{cases}$$





# Υπολογισμός συντελεστή $S_V$ στο κύκλωμα πόλωσης ρεύματος βάσης



$$I_B = (V_{CC} - V_{BE}) / R_B$$

$$I_C = \beta I_B + (\beta + 1) I_{CO} = \beta (V_{CC} - V_{BE}) / R_B + (\beta + 1) I_{CO}$$

$$V_{CQ} = V_{CC} - I_{CQ} R_C$$

$$= V_{CC} - \beta R_C (V_{CC} - V_{BE}) / R_B - (\beta + 1) R_C I_{CO}$$

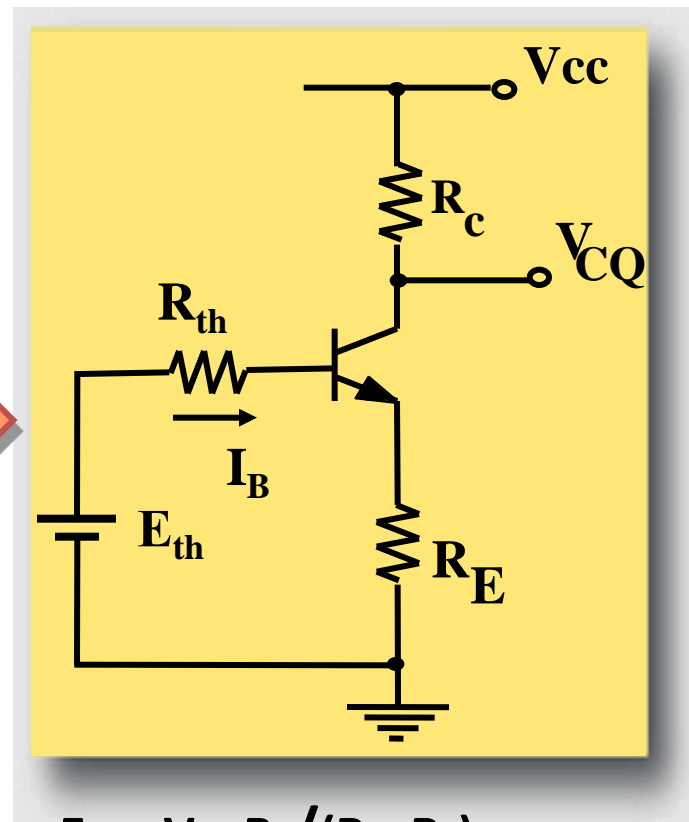
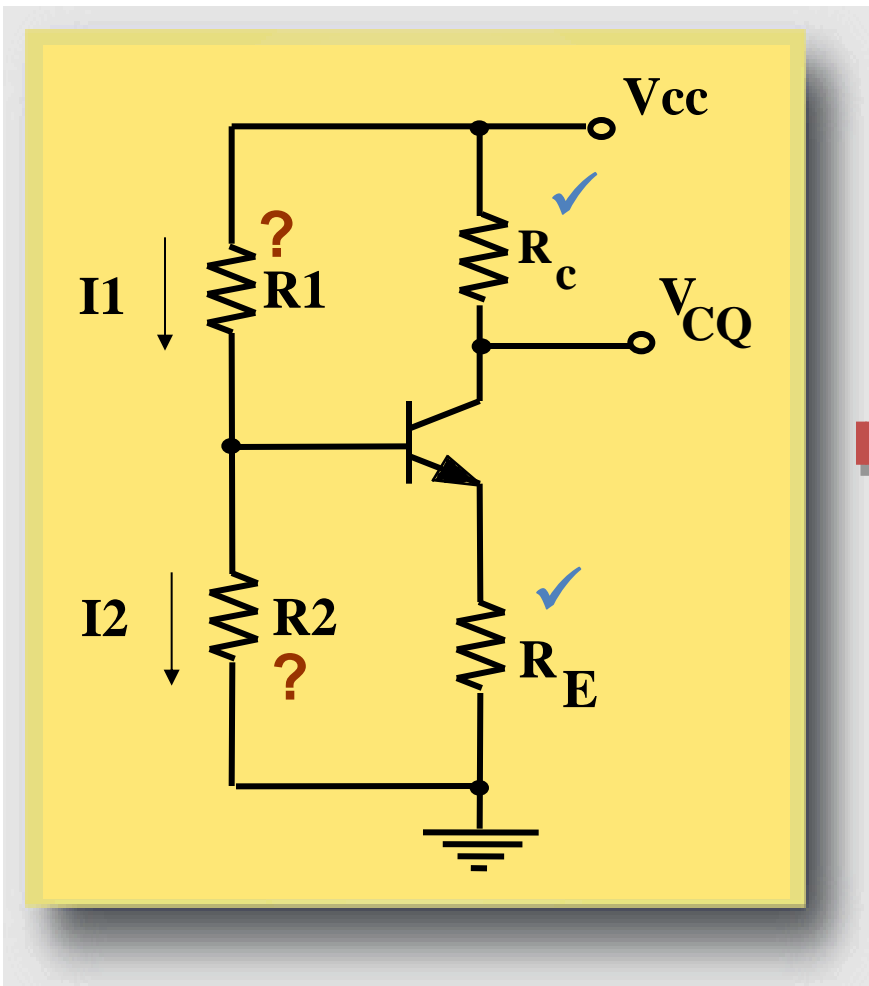
$$S_V = \frac{\partial V_{CQ}}{\partial V_{BE}} \frac{\partial V_{BE}}{\partial T} + \frac{\partial V_{CQ}}{\partial I_{CO}} \frac{\partial I_{CO}}{\partial T}$$

$$S_V = \frac{\beta R_C}{R_B} \frac{\partial V_{BE}}{\partial T} - (\beta + 1) R_C \frac{\partial I_{CO}}{\partial T}$$

$$S_V = -0,002 \beta R_C / R_B \quad \text{στο Πυρίτιο}$$



# Υπολογισμός συντελεστή $S_V$ στο κύκλωμα πόλωσης εκπομπού (1/3)

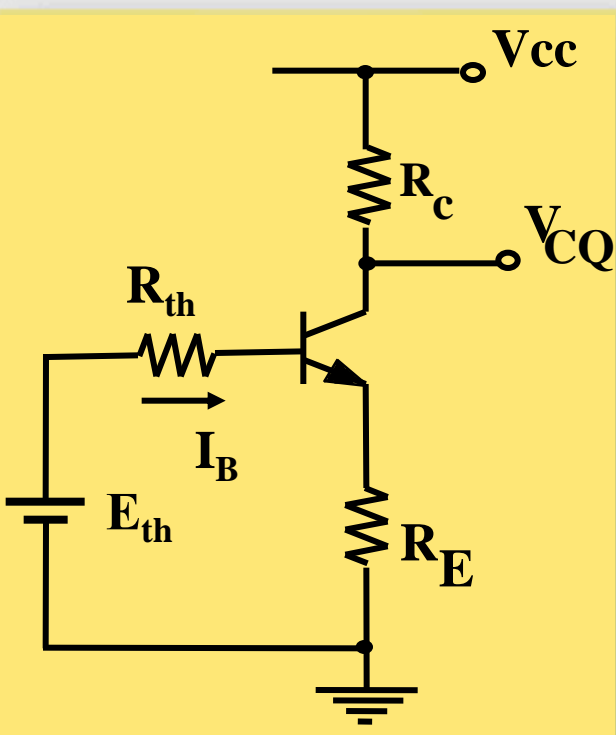


$$E_{th} = V_{CC} R_2 / (R_1 + R_2)$$

$$R_{th} = R_1 R_2 / (R_1 + R_2)$$



# Υπολογισμός συντελεστή $S_V$ στο κύκλωμα πόλωσης εκπομπού (2/3)



$$V_{CQ} = V_{CC} - I_{CQ} R_C$$

$$I_C = \beta I_B + (\beta + 1) I_{CO}$$

$$I_B = (E_{th} - V_{BE} - I_E R_E) / R_{th}$$

$$I_E = I_B + I_C = (\beta + 1) I_B + (\beta + 1) I_{CO}$$

}  $I_B$

$$I_B = \frac{E_{th} - V_{BE} - R_E (\beta + 1) I_{CO}}{R_{th} + (\beta + 1) R_E}$$

$$E_{th} = V_{CC} R_2 / (R_1 + R_2)$$

$$R_{th} = R_1 R_2 / (R_1 + R_2)$$



# Υπολογισμός συντελεστή $S_V$ στο κύκλωμα πόλωσης εκπομπού (3/3)

$$V_{CQ} = V_{CC} - \beta R_C \frac{E_{th} - V_{BE}}{R_{th} + (\beta+1) R_E} - \frac{R_C (\beta+1) I_{CO} (R_{th} + R_E)}{R_{th} + (\beta+1) R_E}$$

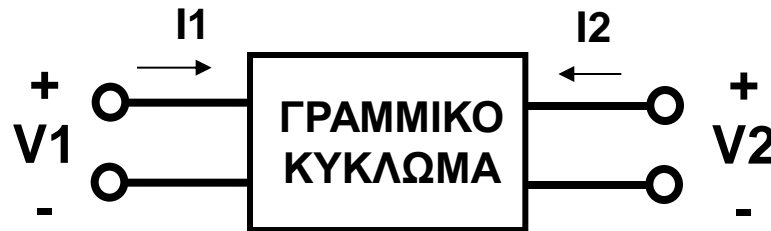
$$S_V = \frac{\partial V_{CQ}}{\partial V_{BE}} \frac{\partial V_{BE}}{\partial T} + \frac{\partial V_{CQ}}{\partial I_{CO}} \frac{\partial I_{CO}}{\partial T}$$

$$S_V = \frac{\beta R_C}{R_{th} + (\beta+1) R_E} \frac{\partial V_{BE}}{\partial T} - \frac{R_C (\beta+1) (R_{th} + R_E)}{R_{th} + (\beta+1) R_E} \frac{\partial I_{CO}}{\partial T}$$

$$S_V = -0,002 \beta R_C / (R_{th} + (\beta+1) R_E) \text{ στο Πυρίτιο}$$



# Το τρανζίστορ ως δίθυρο (ή τετράπολο) (1/4)



Z- Παράμετροι:

$$V_1 = z_{11} I_1 + z_{12} I_2$$

$$V_2 = z_{21} I_1 + z_{22} I_2$$

$$z_{11} = V_1 / I_1 \quad \text{με} \quad I_2 = 0 \quad (\text{έξοδος ανοικτοκυκλωμένη})$$

$$z_{12} = V_1 / I_2 \quad \text{με} \quad I_1 = 0 \quad (\text{είσοδος ανοικτοκυκλωμένη})$$



# Το τρανζίστορ ως δίθυρο (ή τετράπολο) (2/4)



Υ - Παράμετροι:

$$I_1 = y_{11} V_1 + y_{12} V_2$$

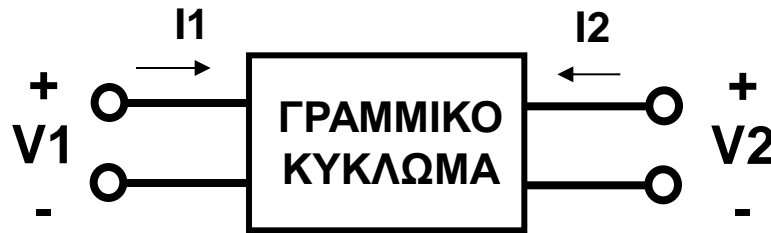
$$I_2 = y_{21} V_1 + y_{22} V_2$$

$$y_{11} = I_1 / V_1 \text{ με } V_2 = 0 \text{ (έξοδος βραχυκυκλωμένη)}$$

$$y_{12} = I_1 / V_2 \text{ με } V_1 = 0 \text{ (είσοδος βραχυκυκλωμένη)}$$



# Το τρανζίστορ ως δίθυρο (ή τετράπολο) (3/4)



h - Παράμετροι:

$$V_1 = h_{11} I_1 + h_{12} V_2$$

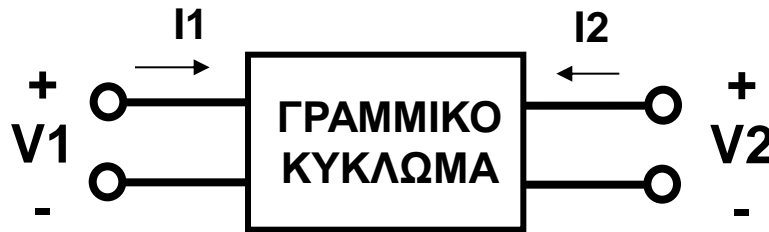
$$I_2 = h_{21} I_1 + h_{22} V_2$$

$$h_{11} = V_1 / I_1 \text{ με } V_2 = 0 \text{ (έξοδος βραχυκυκλωμένη)}$$

$$h_{12} = V_1 / V_2 \text{ με } I_1 = 0 \text{ (είσοδος ανοικτοκυκλωμένη)}$$



# Το τρανζίστορ ως δίθυρο (ή τετράπολο) (4/4)



h - Παράμετροι σε συνδ. κοινού εκπομπού:

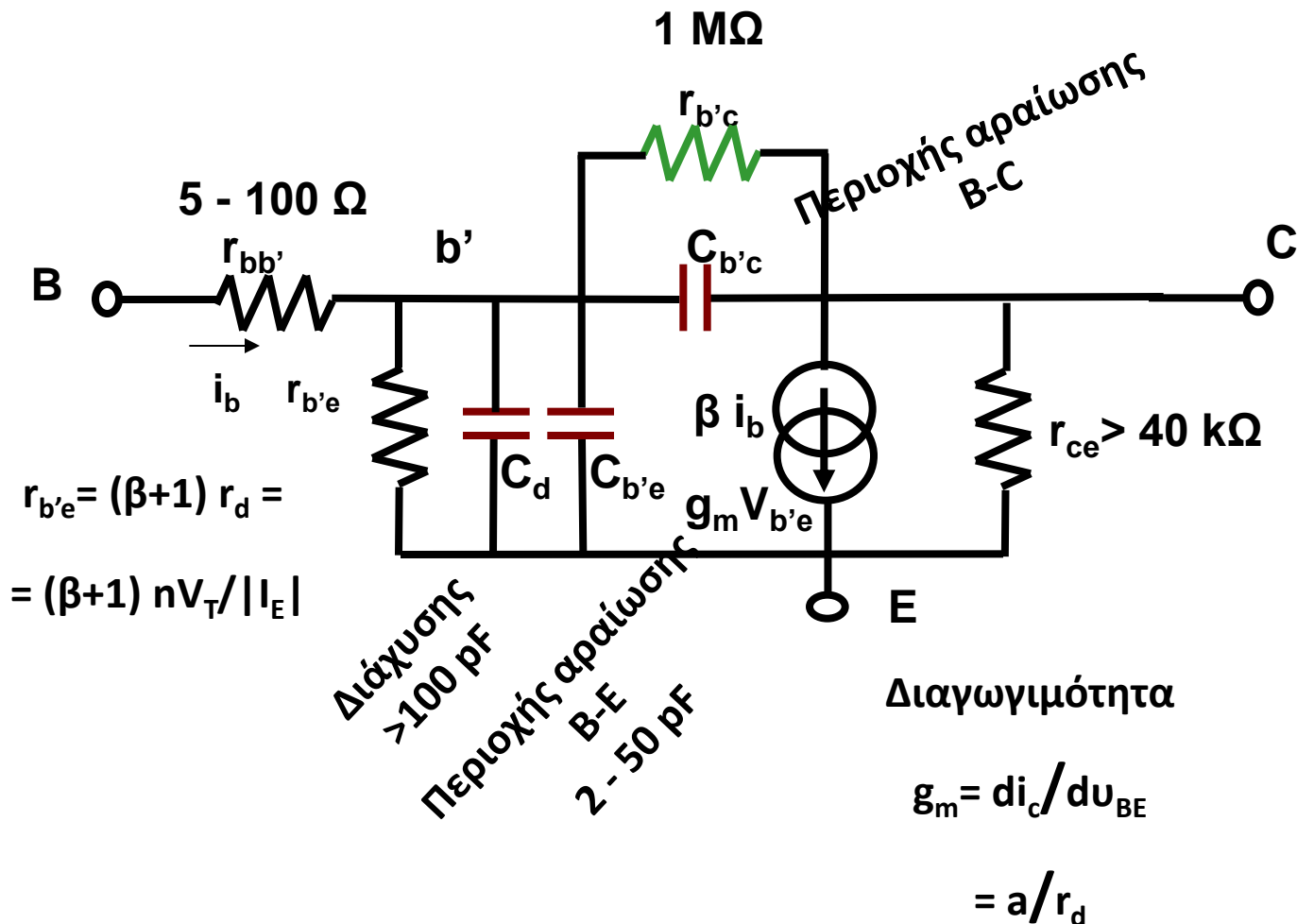
$$V_1 = h_{ie} I_1 + h_{re} V_2$$

$$I_2 = h_{fe} I_1 + h_{oe} V_2$$

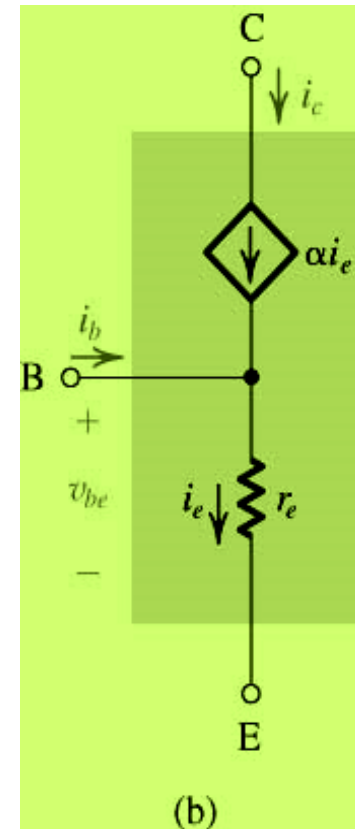
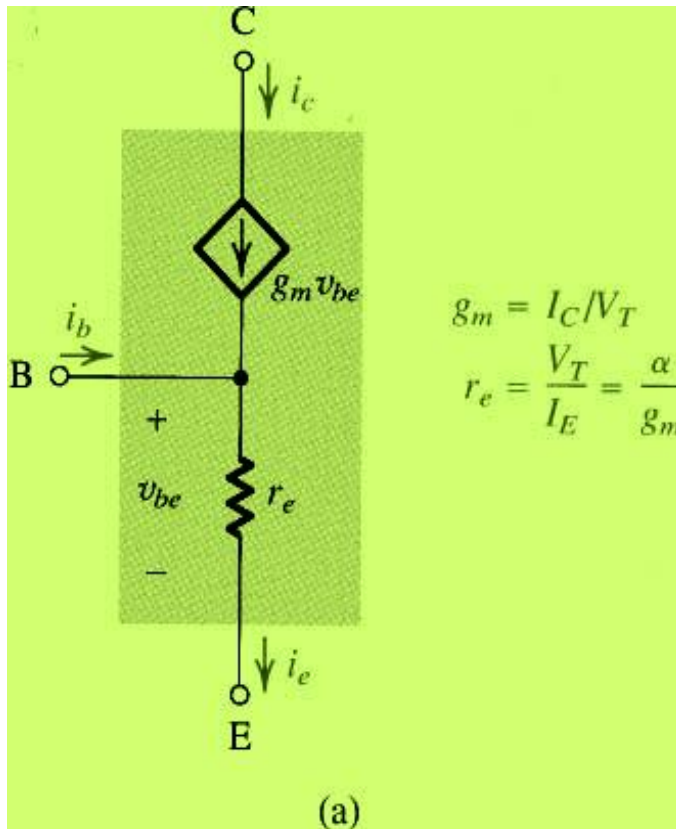




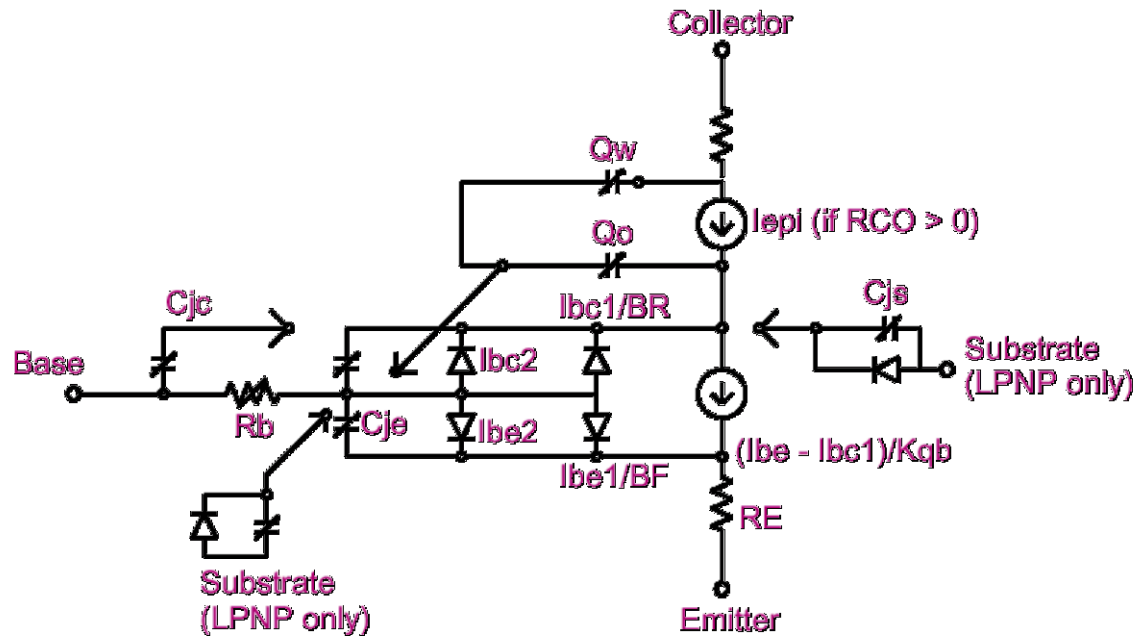
# Υβριδικό-π ισοδύναμο του τρανζίστορ



# T-ισοδύναμο του τρανζίστορ



# Ισοδύναμο κύκλωμα r<sub>π</sub> τρανζίστορ στο πρόγραμμα SPICE



# Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Χατζόπουλος Αλκιβιάδης. «ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ Ι, Πόλωση των BJT - Ισοδύναμα κυκλώματα». Έκδοση: 1.0. Θεσσαλονίκη 2015 Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: [http://opencourses.auth.gr/eclass\\_courses](http://opencourses.auth.gr/eclass_courses).



# Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά - Μη Εμπορική Χρήση - Όχι Παράγωγα Έργα 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».



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

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

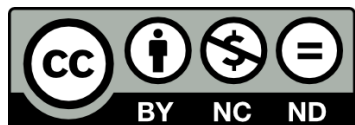
[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>





# Τέλος ενότητας

Επεξεργασία: Σβάρνα Κωνσταντίνα  
Θεσσαλονίκη, Εαρινό εξάμηνο 2015



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ