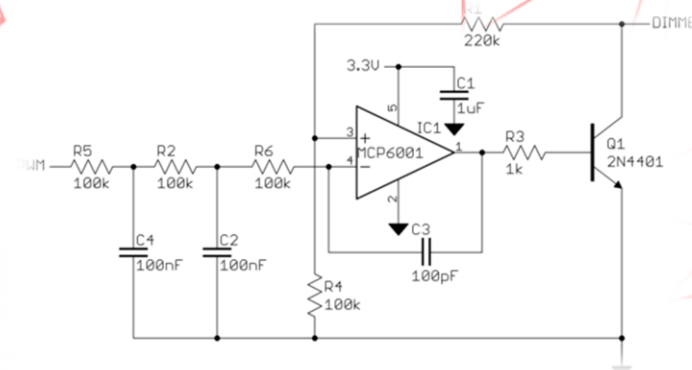
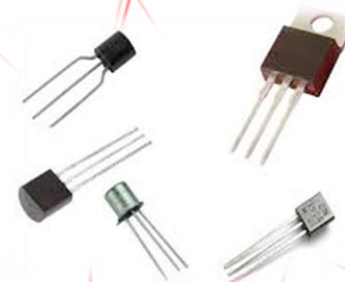
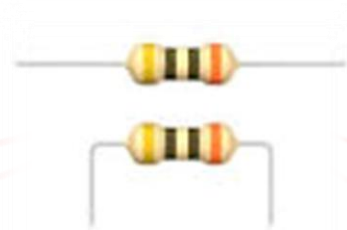
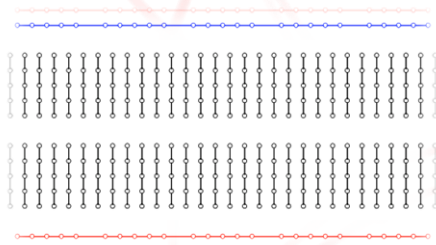


Ηλεκτρονική

➔ Νικόλαος Γιαννακέας



Περιεχόμενα του μαθήματος

- Εισαγωγή Ορισμός
- Γραμμή Φορτίου Τρανζίστορ
- DC Ανάλυση Κυκλωμάτων
- Κυκλώματα πόλωσης

Ευθεία Φορτίου Τρανζίστορ

Σημείο Λειτουργίας $Q(V_{CE}, I_C)$

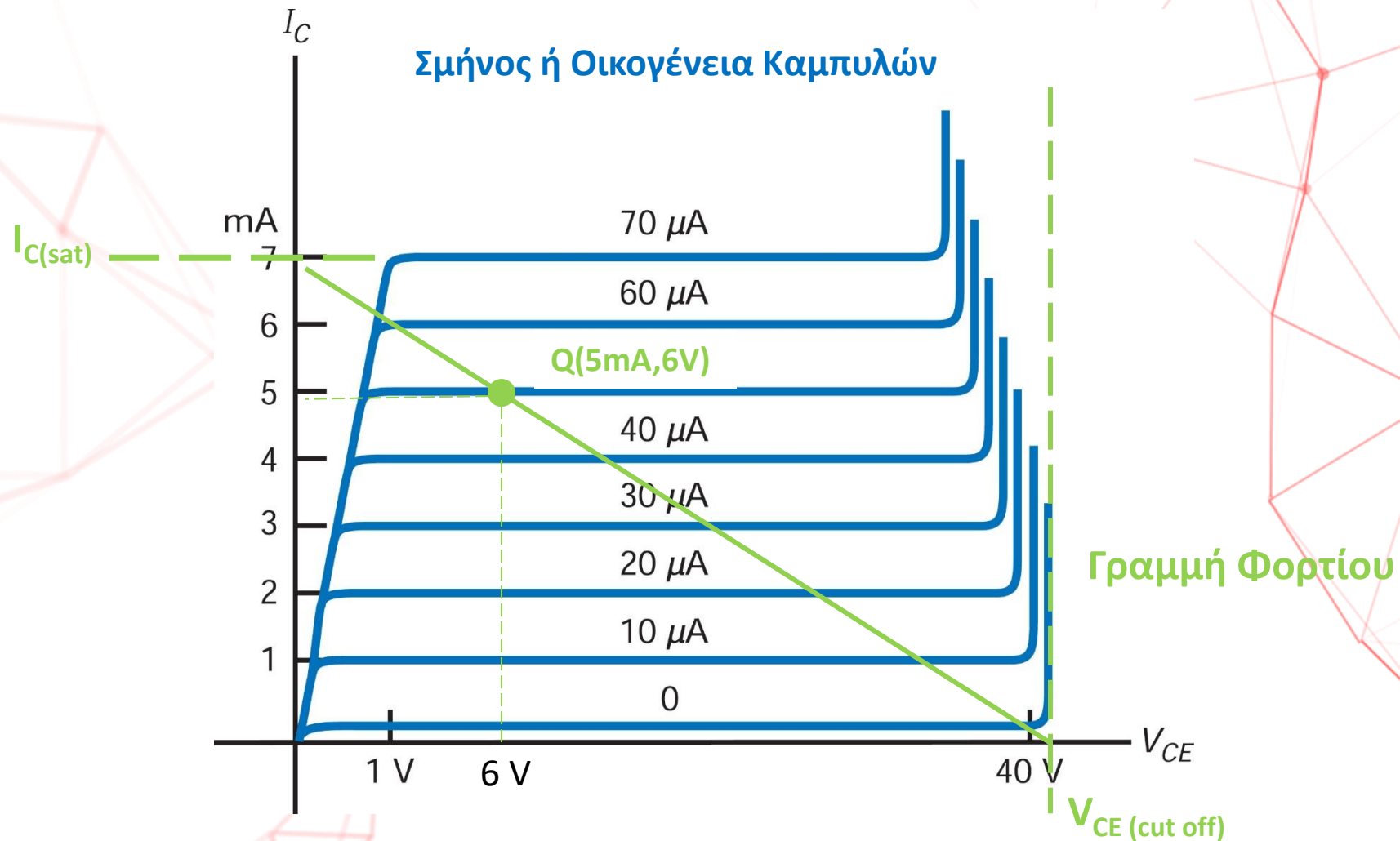
- Σημειώνεται επάνω στην χαρακτηριστική καμπύλη
- Το σημείο στο οποίο τέμνει η ευθεία φορτίου την χαρακτηριστική καμπύλη (εξόδου) **αποκαλύπτει γραφικά** και την περιοχή λειτουργίας του τρανζίστορ στο κύκλωμα
- π.χ. Για ενισχυτές μικρών σημάτων το σημείο Q πρέπει να βρίσκεται σταθερά στο μέσο περίπου του «πλατό» ρεύματος στην χαρακτηριστική καμπύλη

Ευθεία Φορτίου Τρανζίστορ

Μεθοδολογία για εύρεση $Q(V_{CE}, I_C)$

1. Υπολογίζεται η ένταση του ρεύματος συλλέκτη I_C συνήθως εκμεταλλευόμενοι το κύκλωμα εισόδου και τα ρεύματα I_B ή I_E μαζί με τις παραμέτρους β ή α αντίστοιχα (2^ο κΚ στο κύκλωμα εισόδου)
2. Αφού υπολογίσουμε το I_C πλέον στο κύκλωμα εισόδου δεν θα έχουμε δύο αγνώστους, αλλά μόνο έναν. Την τάση V_{CE} . Την υπολογίζουμε με 2^ο κΚ στο κύκλωμα εξόδου

Ευθεία Φορτίου Τρανζίστορ



Ευθεία Φορτίου Τρανζίστορ

Μεθοδολογία σχεδίασης της ευθείας φόρτιου

1. Εφαρμόζουμε 2^ο κΚ στον βρόχο (κύκλωμα) εξόδου και υπολογίζουμε το ρεύμα κόρου (saturation) του συλλέκτη I_{csat} μηδενίζοντας το V_{CE} στην εξίσωση
2. Από την ίδια εξίσωση στην συνέχεια μηδενίζουμε το I_C και υπολογίζουμε την μέγιστη τιμή τάσης η οποία ονομάζεται $V_{CE(cut\ off)}$.
3. Τοποθετούμε το I_{csat} πάνω στον άξονα του ρεύματος και την $V_{CE(cut\ off)}$ τον άξονα της τάσης και συνδέουμε τα σημεία.

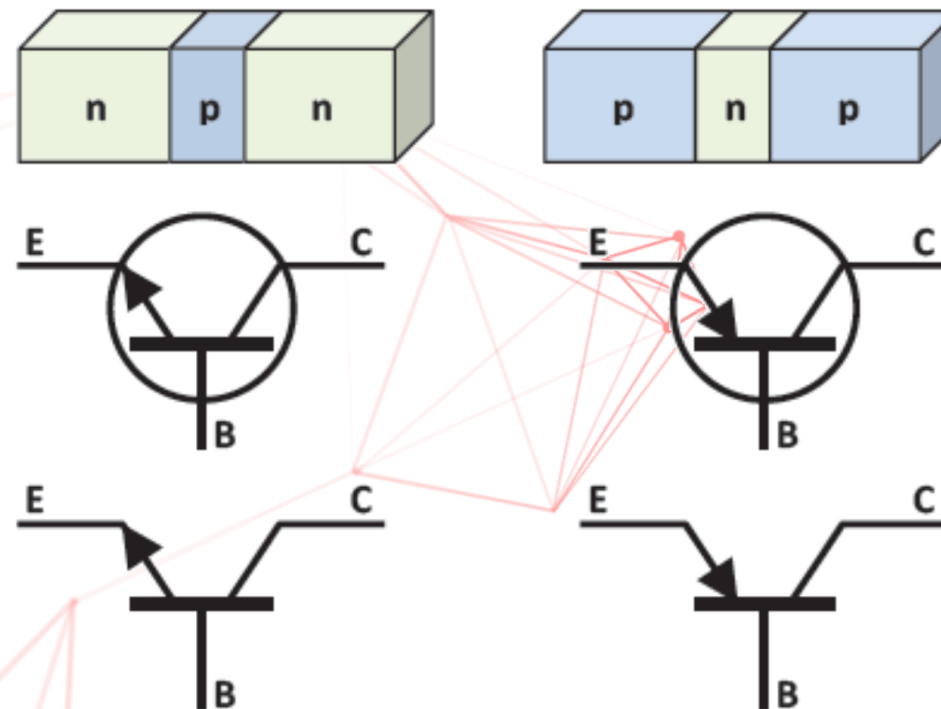
DC Ανάλυση

DC Ανάλυση κυκλωμάτων (Ορισμός)

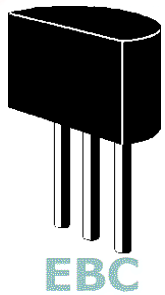
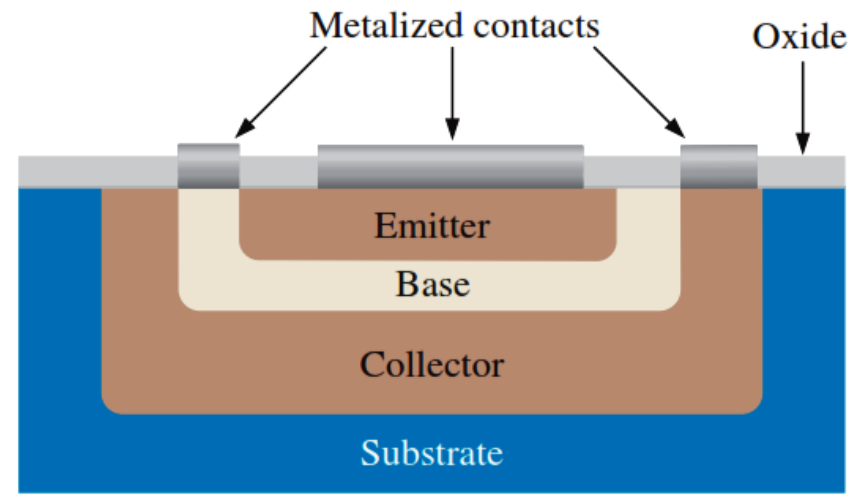
- Είναι η ανάλυση του κυκλώματος για τις **συνεχής συνιστώσες** τάσεων και εντάσεων στο κύκλωμα (...μέχρι τώρα μόνο συνεχής συνιστώσες έχουμε δει)
- Υπολογισμός συνεχών ρευμάτων και δυναμικών ($I_B, I_C, I_E, V_C, V_B, V_E, V_{BC}, V_{CE}, \beta$, κ.ο.κ)
- Εντοπισμός **σημείου λειτουργίας Q** και σχεδίαση **γραμμής φορτίου**
- Η DC ανάλυση των κυκλωμάτων **είναι απαραίτητη** και σε κυκλώματα στα οποία υπάρχουν εναλλασσόμενες συνιστώσες εντάσεων και τάσεων, και γίνεται **αφαιρώντας όλα τα στοιχεία** που συνεισφέρουν εναλλασσόμενα μεγέθη (βλ. ενισχυτές μικρών σημάτων)

Διπολικό Τρανζίστορ Επαφής - BJT

Δύο τύπου Τρανζίστορ



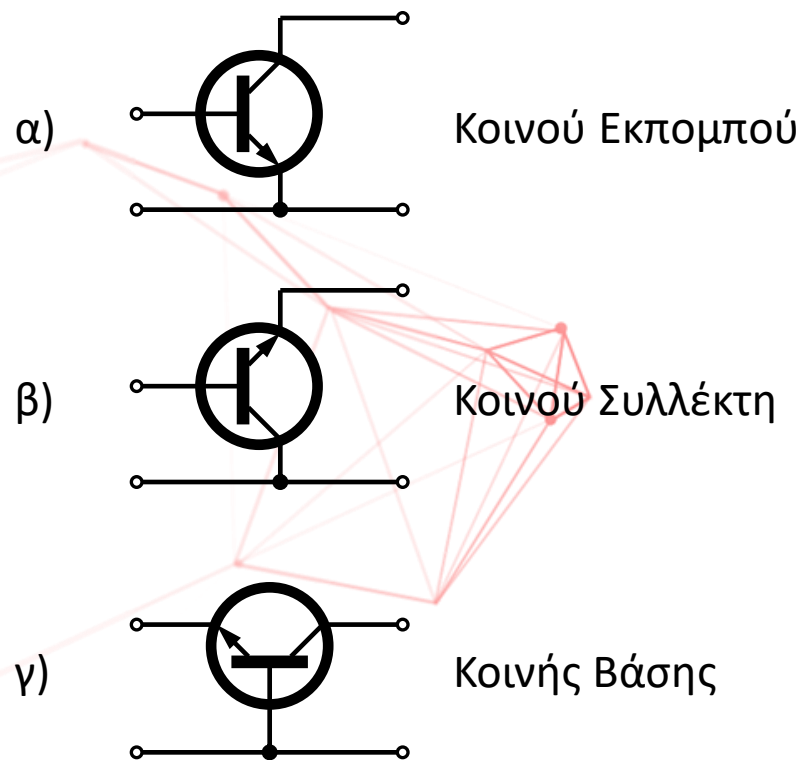
Διπολικό Τρανζίστορ Επαφής - BJT



Έχει 3 ακροδέκτες

1. εκπομπός (e)
2. βάση (b)
3. συλλέκτης (c)

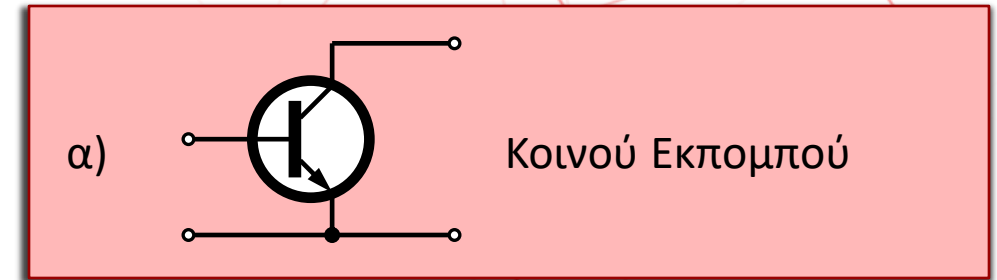
Κυκλώματα Πόλωσης: Σύνοψη



Κυκλώματα Πόλωσης Τρανζίστορ

Κυκλώματα πόλωσης τρανζίστορ

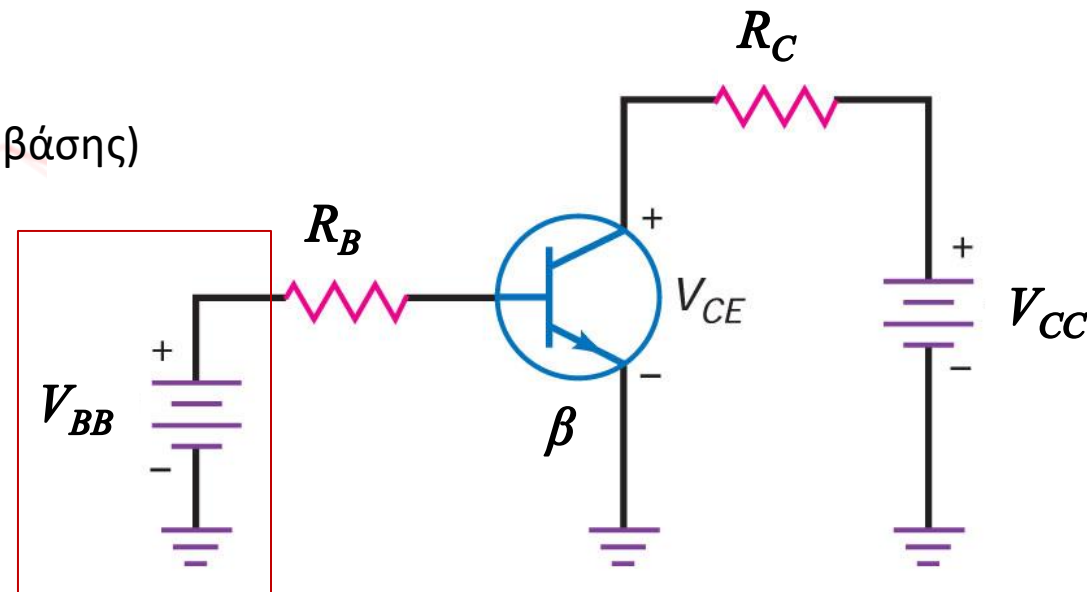
- Κύκλωμα Πόλωσης Βάσης
- Κύκλωμα Πόλωσης εκπομπού
- Κύκλωμα Πόλωσης με Διαιρέτη τάσης
- Κύκλωμα Πόλωσης εκπομπού διπλής τροφοδοσίας
- Κύκλωμα με ανάδραση από εκπομπό
- Κύκλωμα με ανάδραση από συλλέκτη και εκπομπό



Κυκλώματα Πόλωσης Τρανζίστορ

1. Πόλωση Βάσης

(Σταθερή τιμή του ρεύματος βάσης)

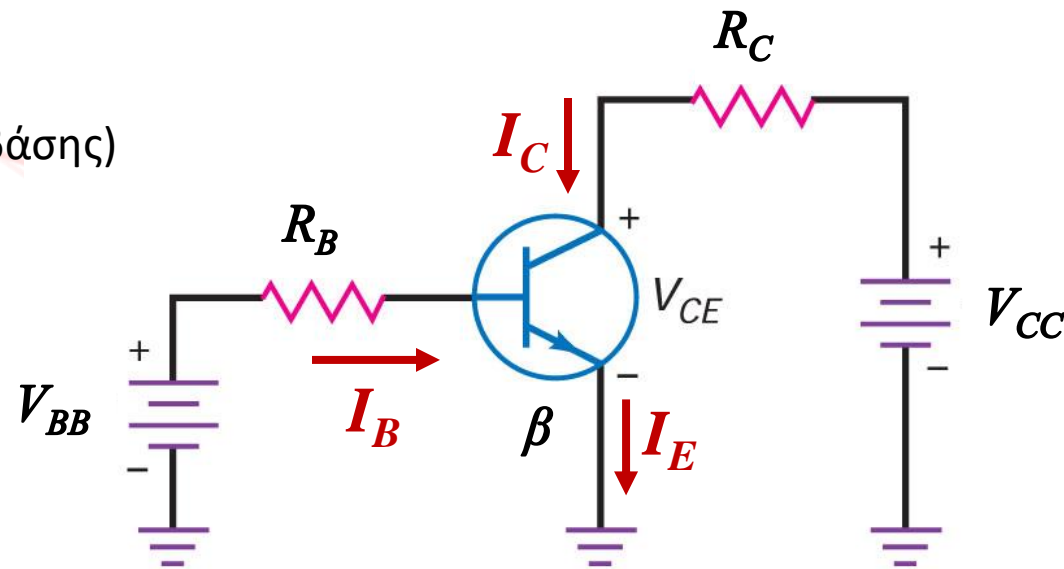


Πολώνεται η βάση με τη βοήθεια πηγής V_{BB}

Κυκλώματα Πόλωσης Τρανζίστορ

1. Πόλωση Βάσης

(Σταθερή τιμή του ρεύματος βάσης)



Συμβατική φορά ρευμάτων

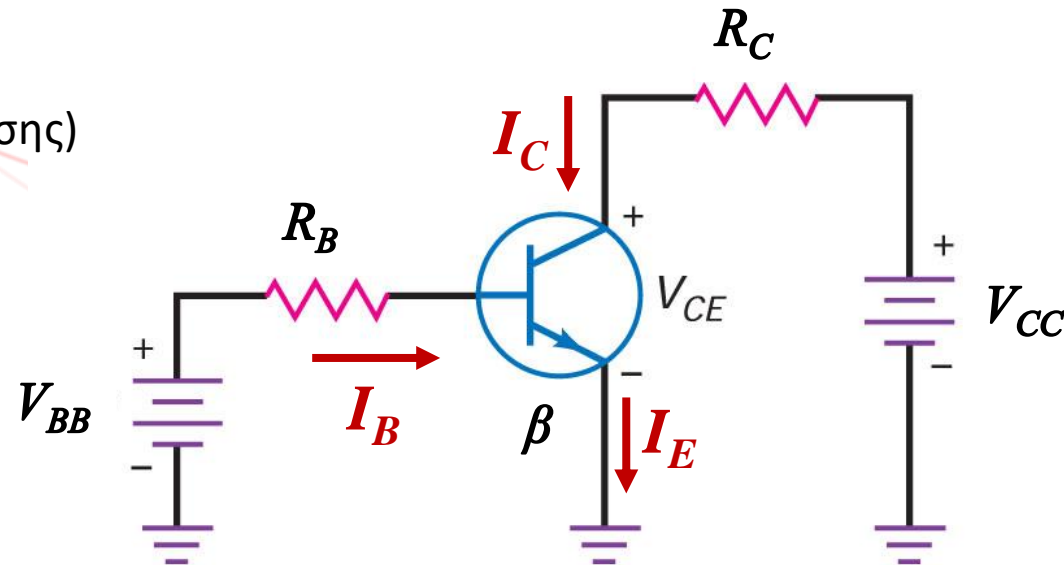
Κυκλώματα Πόλωσης Τρανζίστορ

1. Πόλωση Βάσης

(Σταθερή τιμή του ρεύματος βάσης)

Μεθοδολογία εύρεση Q

- Υπολογίζω με 2^ο κΚ στο βρόχο εισόδου το ρεύμα I_B
- Από το I_B και το κέρδος ρεύματος β υπολογίζω το I_C
- Με 2^ο κΚ στο βρόχο εξόδου υπολογίζω το V_{CE}



$$Q(I_{CQ}, V_{CEQ})$$

Κυκλώματα Πόλωσης Τρανζίστορ

1. Πόλωση Βάσης

(Σταθερή τιμή του ρεύματος βάσης)

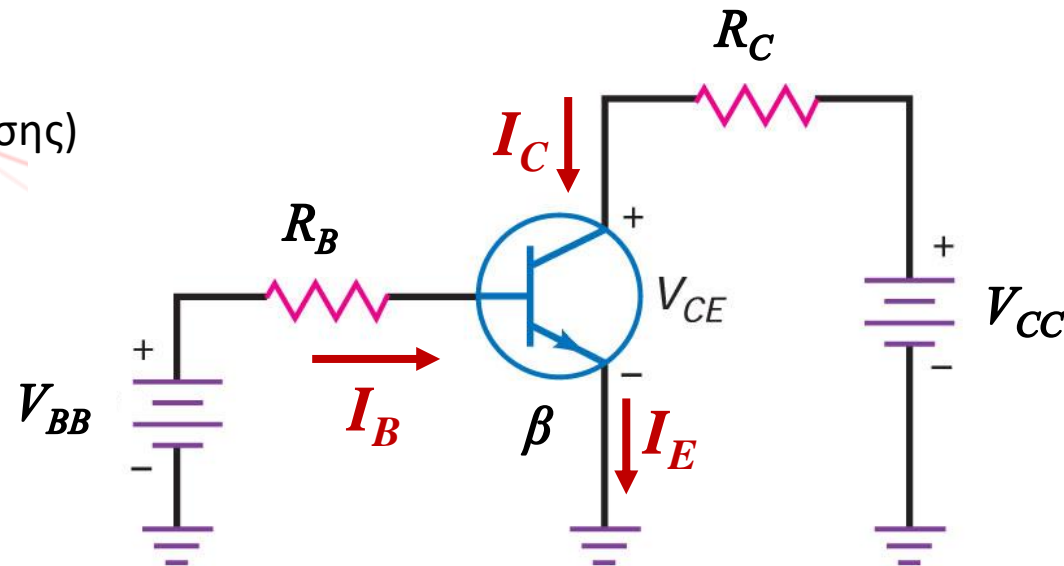
Μεθοδολογία Γραμμής Φορτίου

- 2^{ος} κΚ στον βρόχο εξόδου

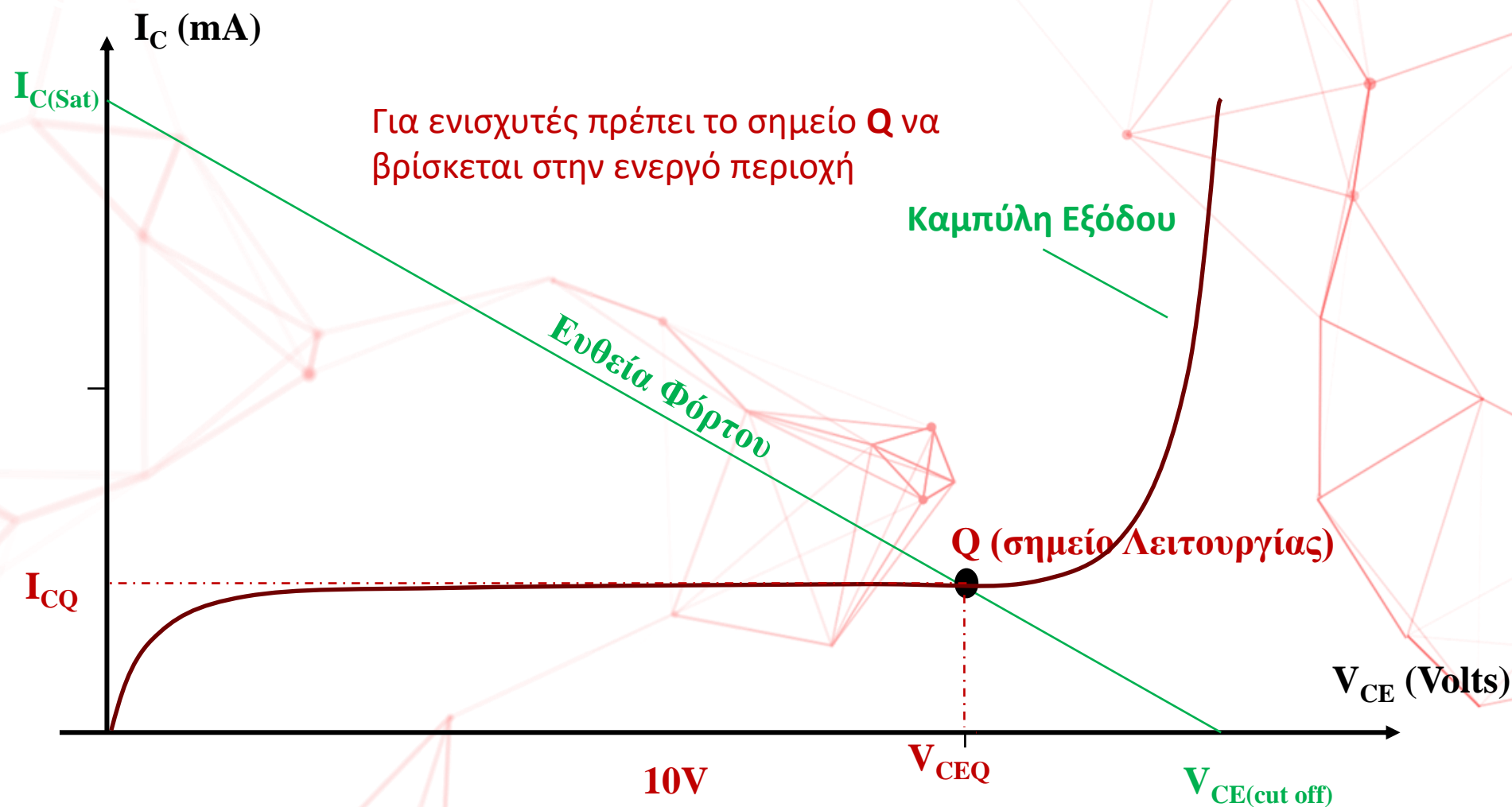
$$V_{CC} - I_C R_C - V_{CE} = 0$$

1. Για $I_{CQ} = 0$ βρίσκω το $V_{CE(\text{cut off})}$

2. Για $V_{CE} = 0$ βρίσκω το $I_{C(\text{Sat})}$



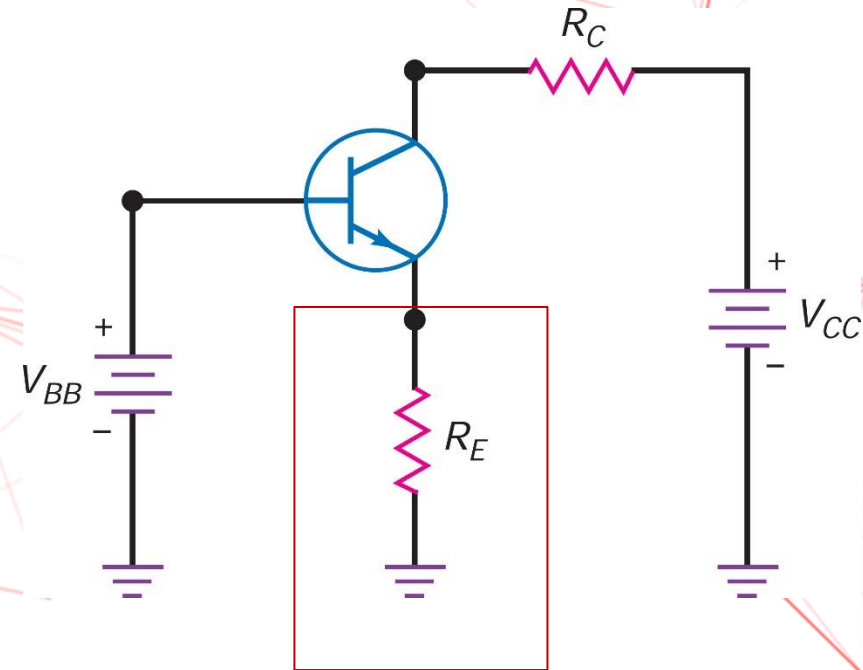
Κυκλώματα Πόλωσης Τρανζίστορ



Κυκλώματα Πόλωσης Τρανζίστορ

2. Πόλωση Εκπομπού

Είναι μια συνδεσμολογία η οποία σταθεροποιεί το σημείο Q

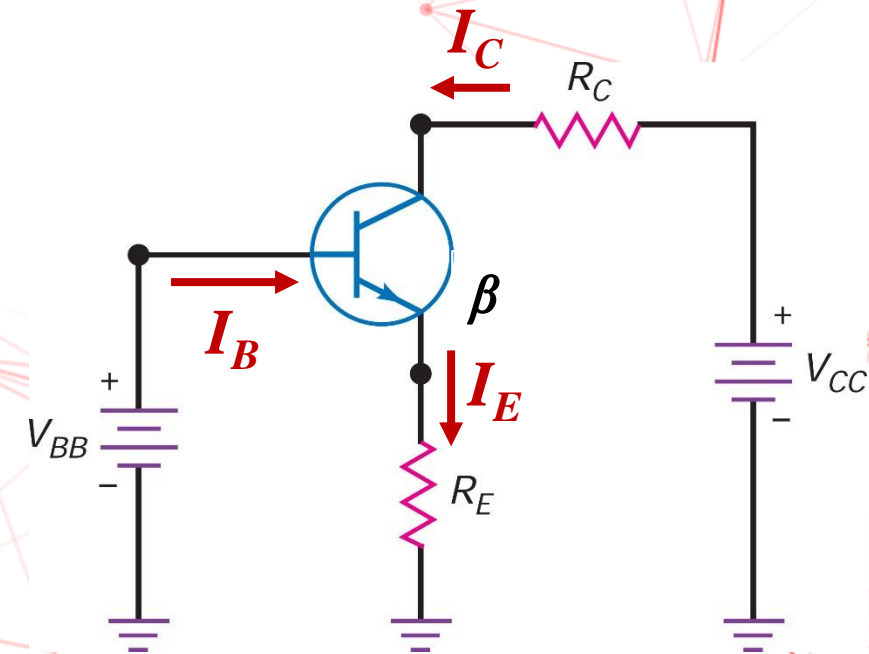


Δεν υπάρχει αντίσταση στην βάση αλλά στον εκπομπού

Κυκλώματα Πόλωσης Τρανζίστορ

2. Πόλωση Εκπομπού

Είναι μια συνδεσμολογία η οποία σταθεροποιεί το σημείο Q



Συμβατική φορά ρευμάτων

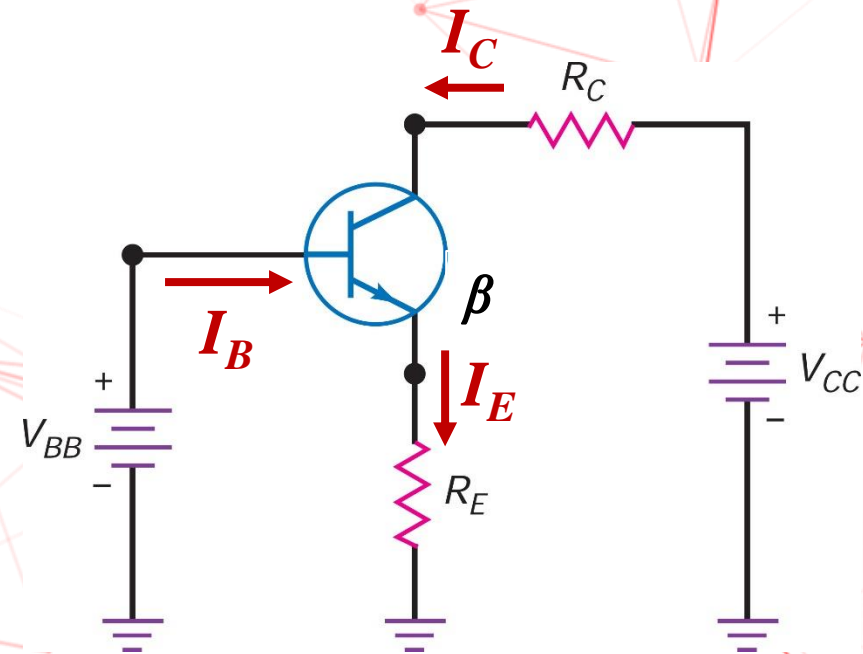
Κυκλώματα Πόλωσης Τρανζίστορ

2. Πόλωση Εκπομπού

Είναι μια συνδεσμολογία η οποία σταθεροποιεί το σημείο Q

Μεθοδολογία εύρεση Q

- Υπολογίζω με 2^ο κΚ στο βρόχο εισόδου το ρεύμα I_E
- Προσεγγιστικά θεωρώ το ρεύμα συλλέκτη ίσο με το ρεύμα εκπομπού (εκτός αν δίνεται η παράμετρος α)
- Με 2^ο κΚ στο βρόχο εξόδου υπολογίζω το V_{CE}



→ $Q(I_{CQ}, V_{CEQ})$

Κυκλώματα Πόλωσης Τρανζίστορ

2. Πόλωση Εκπομπού

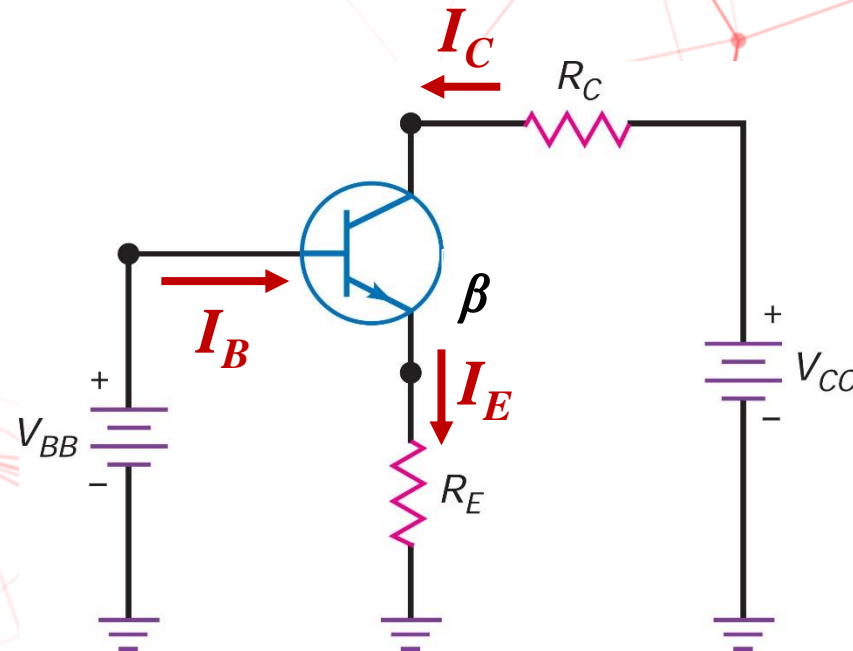
Είναι μια συνδεσμολογία η οποία σταθεροποιεί το σημείο Q

Μεθοδολογία Γραμμής Φορτίου

- 2^{ος} κΚ στον βρόχο εξόδου

$$\begin{aligned} V_{CC} - I_C R_C - I_E R_E - V_{CE} &= 0 \\ \xrightarrow{I_C = I_E} V_{CC} - I_C (R_C + R_E) - V_{CE} &= 0 \end{aligned}$$

1. Για $I_{CQ} = 0$ βρίσκω το $V_{CE(\text{cut off})}$
2. Για $V_{CE} = 0$ βρίσκω το $I_{C(\text{Sat})}$



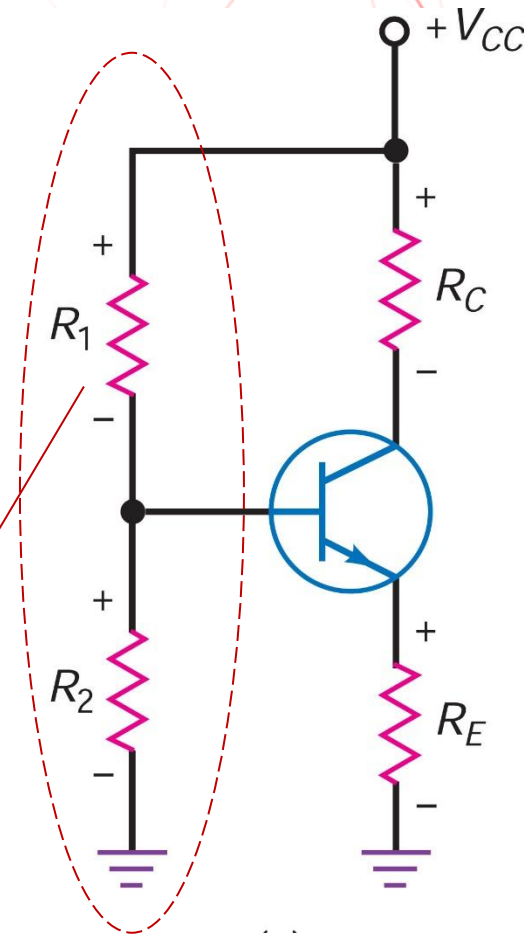
Συμβατική φορά ρευμάτων

Κυκλώματα Πόλωσης Τρανζίστορ

3. Πόλωση διαιρέτη τάσης

(Ευρέως χρησιμοποιούμενο. Εξάγεται από το κύκλωμα πόλωσης εκπομπού και διατηρεί το Q σταθερό)

Διαιρέτης Τάσης



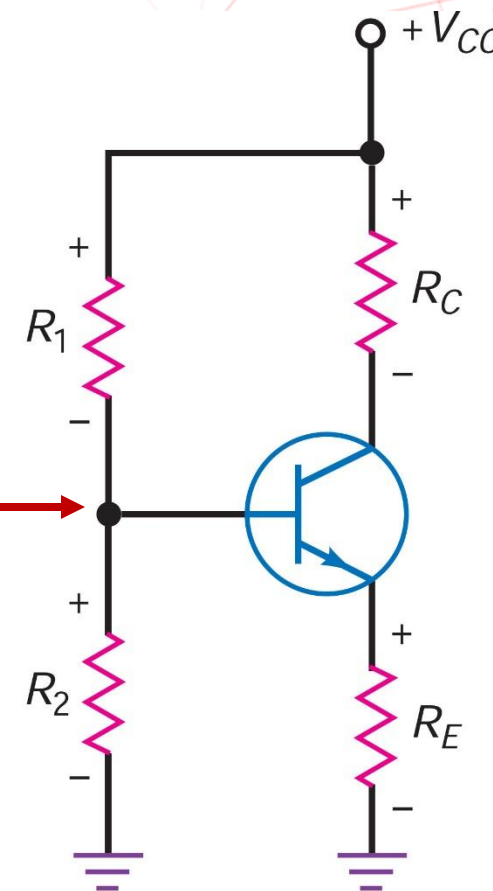
Κυκλώματα Πόλωσης Τρανζίστορ

3. Πόλωση διαιρέτη τάσης

(Ευρέως χρησιμοποιούμενο. Εξάγεται από το κύκλωμα πόλωσης εκπομπού και διατηρεί το Q σταθερό)

Δυναμικό βάσης V_B

Είναι σαν να έχουμε μια πηγή στην θέση της βάσης. Ενώ έχω αντίσταση στον εκπομπό.



Κυκλώματα Πόλωσης Τρανζίστορ

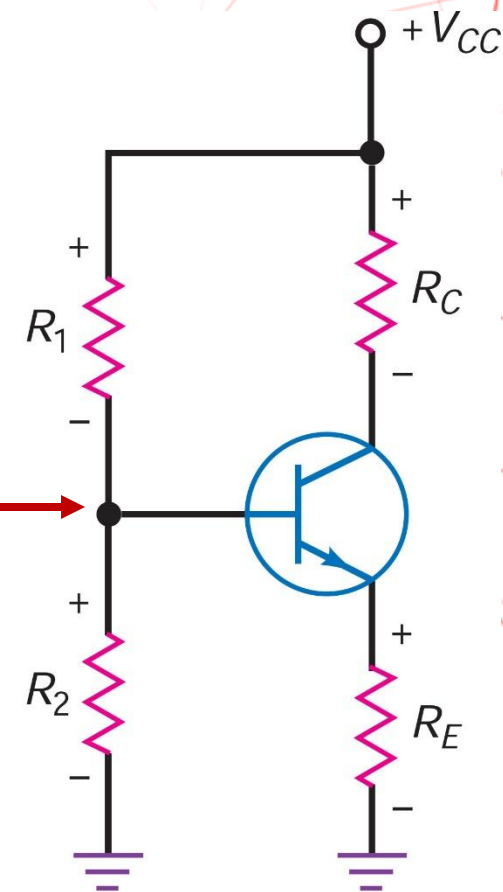
3. Πόλωση διαιρέτη τάσης

(Ευρέως χρησιμοποιούμενο. Εξάγεται από το κύκλωμα πόλωσης εκπομπού και διατηρεί το Q σταθερό)

Από τον τύπο διαιρέτη τάσης

$$V_B = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC}$$

Δυναμικό βάσης V_B



Κυκλώματα Πόλωσης Τρανζίστορ

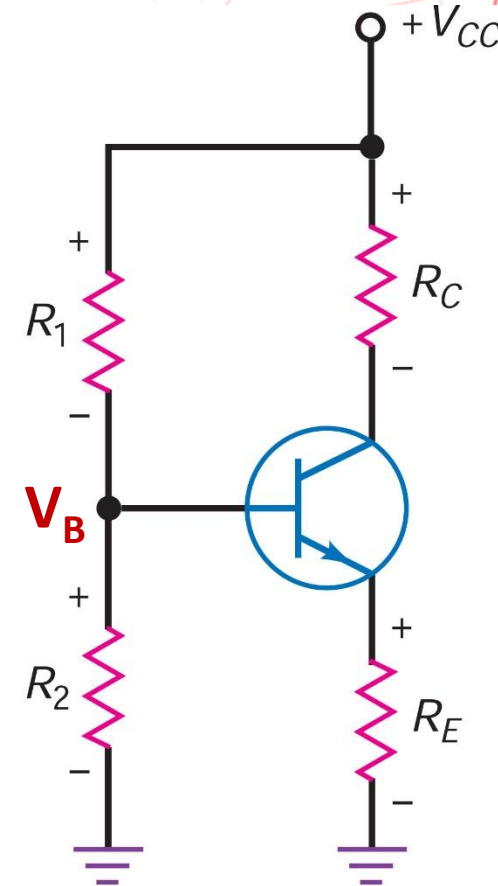
3. Πόλωση διαιρέτη τάσης

(Ευρέως χρησιμοποιούμενο. Εξάγεται από το κύκλωμα πόλωσης εκπομπού και διατηρεί το Q σταθερό)

Μεθοδολογία εύρεση Q

- Υπολογίζω το V_B από τον τύπου του διαίρετη τάσης
- Κάνω 2^ο κΚ από το V_B έως την γείωση του εκπομπού και βρίσκω το I_E
- $I_C \simeq I_E$
- Με 2^ο κΚ στο βρόχο εξόδου υπολογίζω το V_{CE}

→ $Q(I_{CQ}, V_{CEQ})$



Κυκλώματα Πόλωσης Τρανζίστορ

3. Πόλωση διαιρέτη τάσης

(Ευρέως χρησιμοποιούμενο. Εξάγεται από το κύκλωμα πόλωσης εκπομπού και διατηρεί το Q σταθερό)

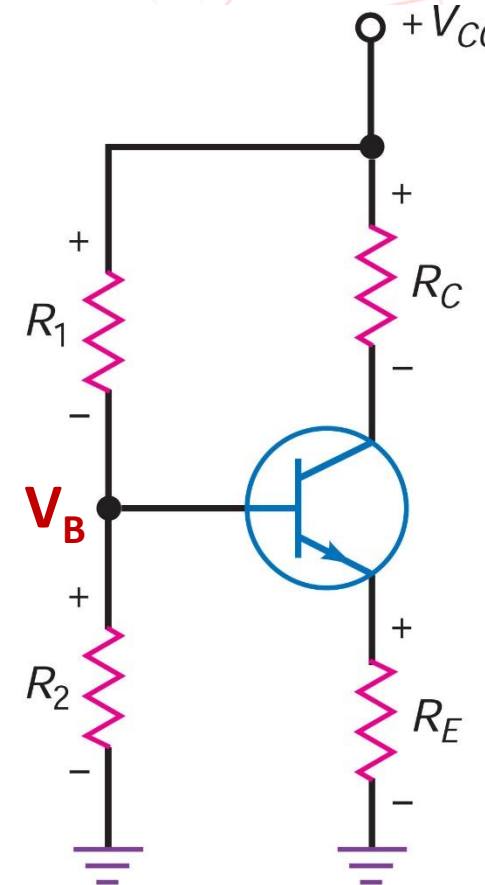
Μεθοδολογία Γραμμής Φορτίου

- 2^{ος} κΚ στον βρόχο εξόδου

$$\begin{aligned} V_{CC} - I_C R_C - I_E R_E - V_{CE} &= 0 \\ \xrightarrow{I_C = I_E} V_{CC} - I_C (R_C + R_E) - V_{CE} &= 0 \end{aligned}$$

1. Για $I_{CQ} = 0$ βρίσκω το $V_{CE(\text{cut off})}$

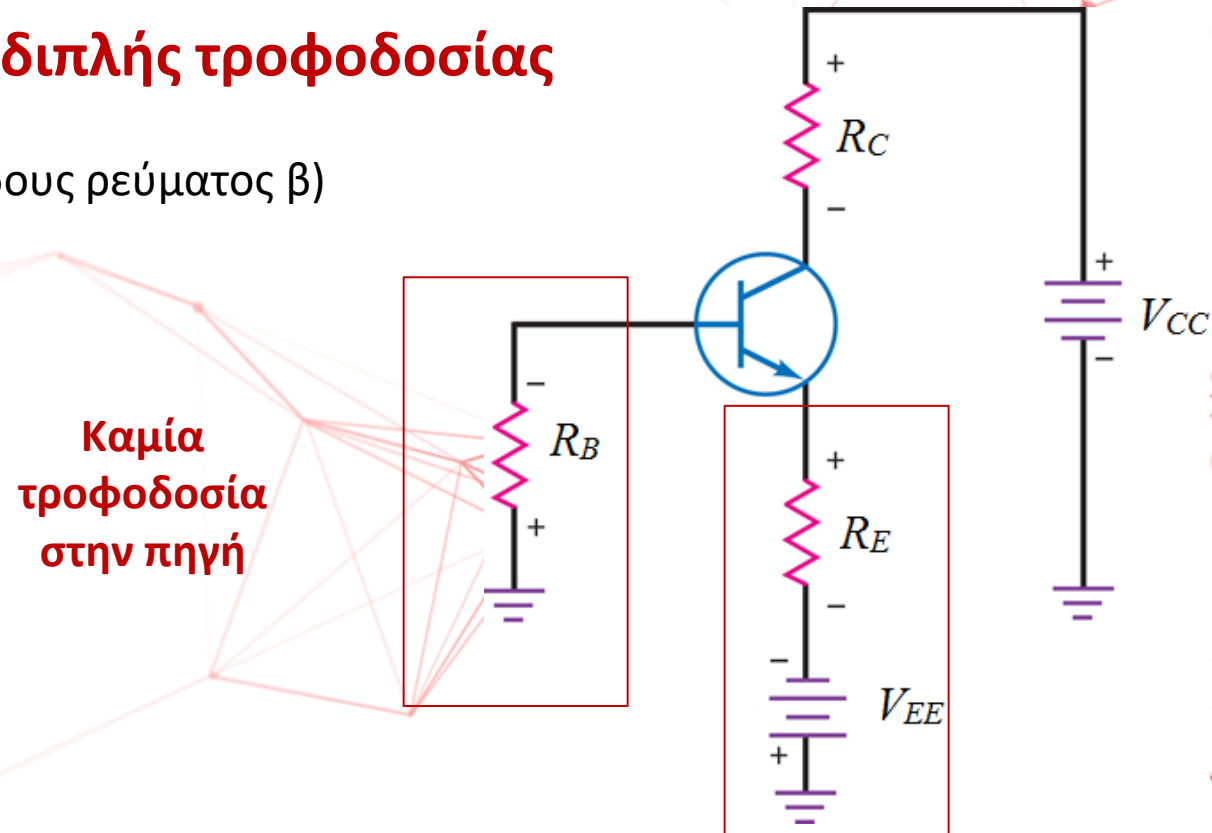
2. Για $V_{CE} = 0$ βρίσκω το $I_{C(\text{Sat})}$



Κυκλώματα Πόλωσης Τρανζίστορ

4. Πόλωση Εκπομπού διπλής τροφοδοσίας

(Σταθερό Q ανεξαρτήτως κέρδους ρεύματος β)



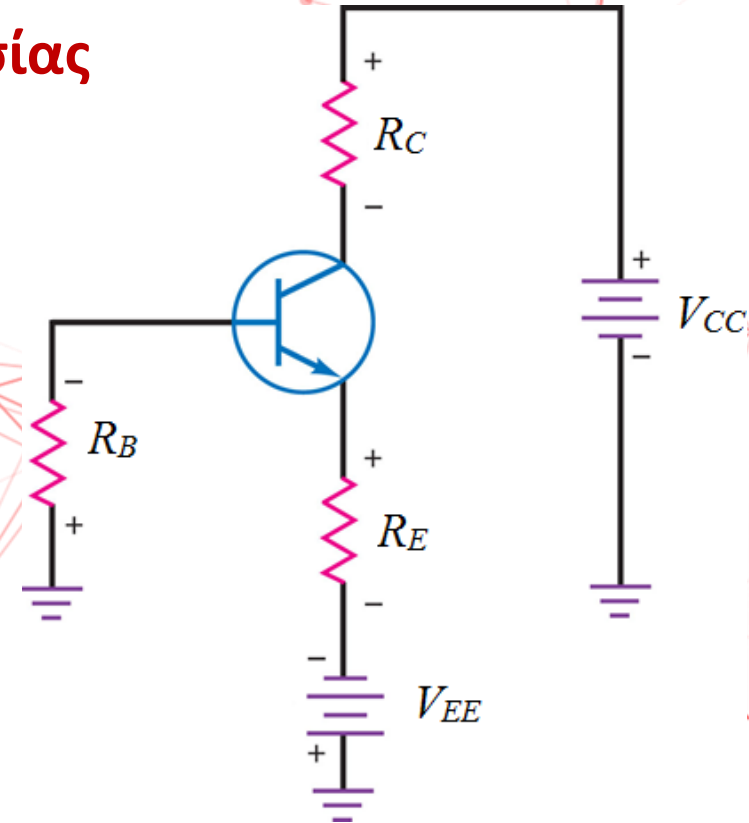
Κυκλώματα Πόλωσης Τρανζίστορ

4. Πόλωση Εκπομπού διπλής τροφοδοσίας

(Σταθερό Q ανεξαρτήτως κέρδους ρεύματος β)

Είναι μια συνδεσμολογία η οποία δεν πολώνει την δίοδο βάσης εκπομπού D_{VE} με πηγή στον κλάδο της βάσης

Μπορώ να θεωρήσω το ρεύμα της βάσης I_B **αμελητέο χωρίς να θεωρώ ότι το τρανζίστορ είναι σε αποκοπή**



Κυκλώματα Πόλωσης Τρανζίστορ

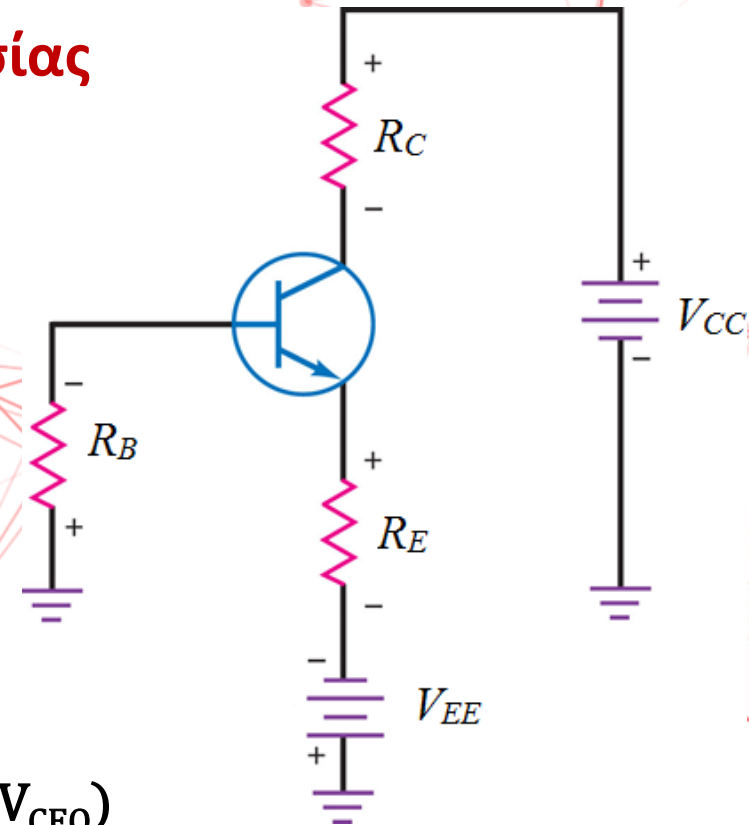
4. Πόλωση Εκπομπού διπλής τροφοδοσίας

(Σταθερό Q ανεξαρτήτως κέρδους ρεύματος β)

Μεθοδολογία εύρεση Q

- Θεωρώ το I_B αμελητέο
- Κάνω 2^ο κΚ στον βρόχο εισόδου χωρίς πτώση τάσης στην R_B . Βρίσκω το I_E
- Προσέγγιση $I_C = I_E$
- Με 2^ο κΚ στο βρόχο εξόδου υπολογίζω το V_{CE}

→ $Q(I_{CQ}, V_{CEQ})$



Κυκλώματα Πόλωσης Τρανζίστορ

4. Πόλωση Εκπομπού διπλής τροφοδοσίας

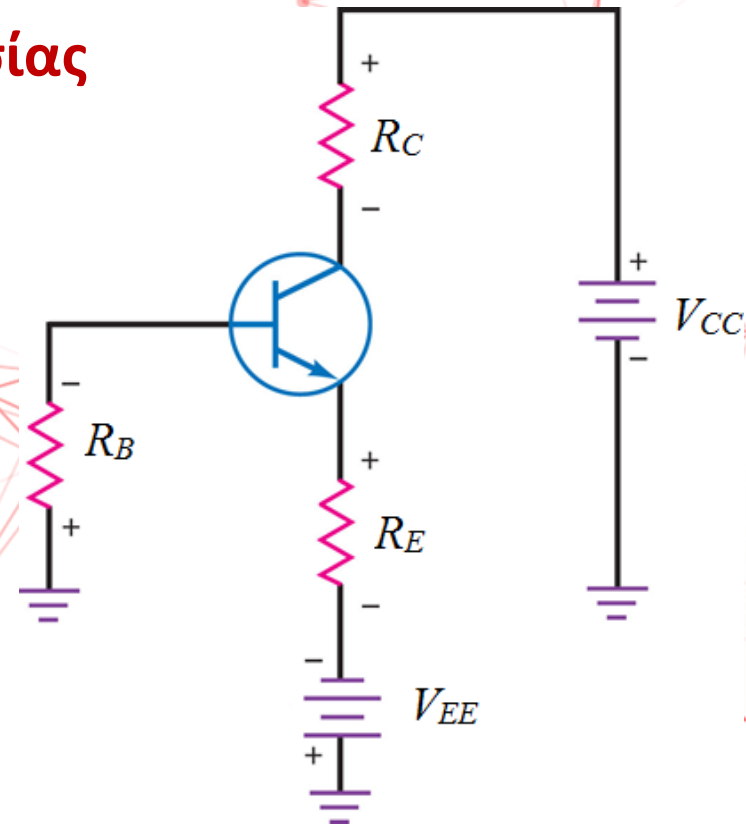
(Σταθερό Q ανεξαρτήτως κέρδους ρεύματος β)

Μεθοδολογία Γραμμής Φορτίου

- 2^{ος} κΚ στον βρόχο εξόδου

$$\begin{aligned} V_{CC} - I_C R_C - I_E R_E - V_{CE} + V_{EE} &= 0 \\ \xrightarrow{I_C = I_E} V_{CC} - I_C (R_C + R_E) - V_{CE} + V_{EE} &= 0 \end{aligned}$$

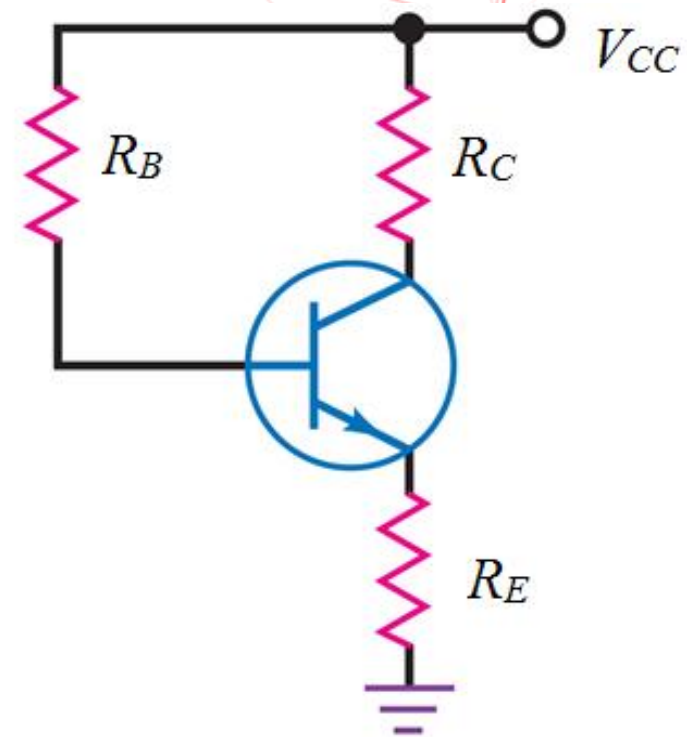
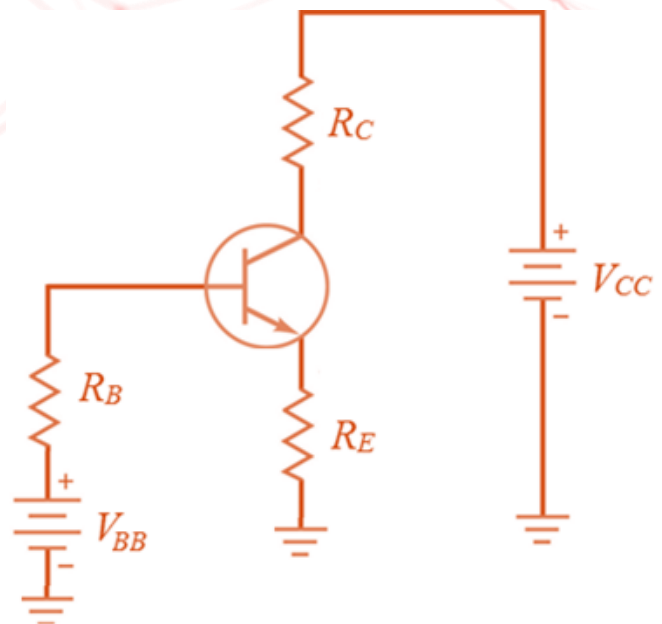
1. Για $I_{CQ} = 0$ βρίσκω το $V_{CE(\text{cut off})}$
2. Για $V_{CE} = 0$ βρίσκω το $I_{C(\text{Sat})}$



Κυκλώματα Πόλωσης Τρανζίστορ

5. Πόλωση με ανάδραση από τον εκπομπό

(Η πρώτη προσπάθεια σταθεροποίησης του Q. Ιστορικής σημασίας)



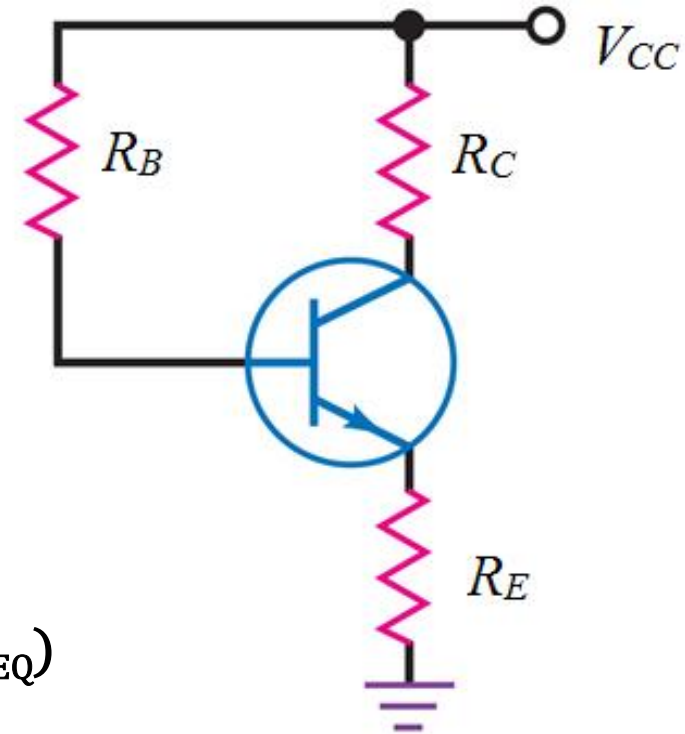
Κυκλώματα Πόλωσης Τρανζίστορ

5. Πόλωση με ανάδραση από τον εκπομπό

(Η πρώτη προσπάθεια σταθεροποίησης του Q.
Ιστορικής σημασίας)

Μεθοδολογία εύρεση Q

- Εφαρμόζω 2^ο κΚ στον βρόχο εισόδου και αντικαθιστώ το I_E με β επί I_B . Έτσι έχω μόνο ένα άγνωστο. Βρίσκω το I_B
- $I_C = \beta \times I_B$
- Με 2^ο κΚ στο βρόχο εξόδου $\longrightarrow Q(I_{CQ}, V_{CEQ})$ υπολογίζω το V_{CE}



Κυκλώματα Πόλωσης Τρανζίστορ

5. Πόλωση με ανάδραση από τον εκπομπό

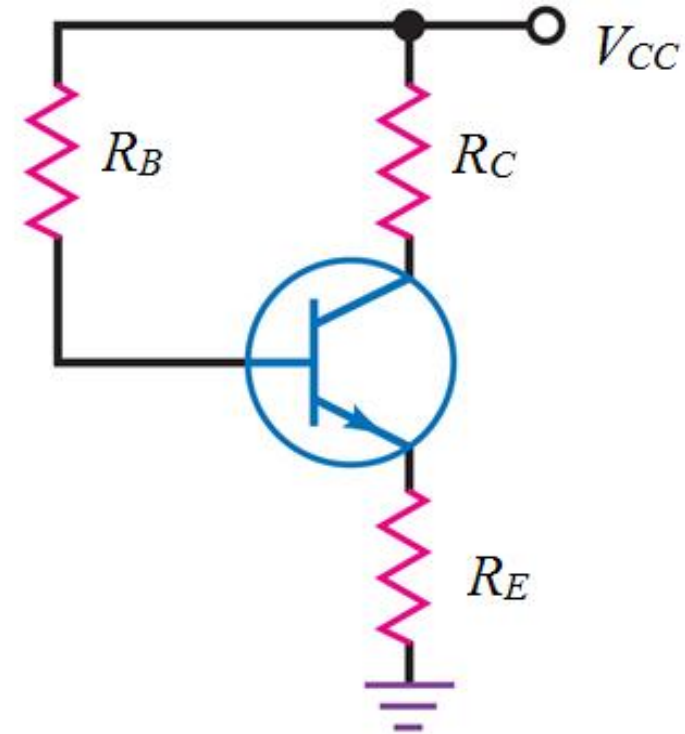
(Η πρώτη προσπάθεια σταθεροποίησης του Q.
Ιστορικής σημασίας)

Μεθοδολογία Γραμμής Φορτίου

- 2^{ος} κΚ στον βρόχο εξόδου

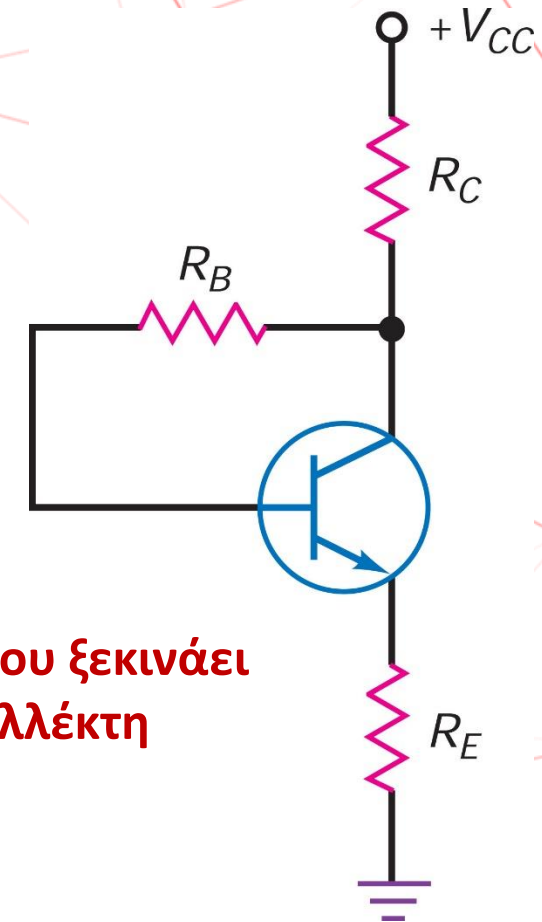
$$\begin{aligned} V_{CC} - I_C R_C - I_E R_E - V_{CE} &= 0 \\ \xrightarrow{I_C = I_E} V_{CC} - I_C (R_C + R_E) - V_{CE} &= 0 \end{aligned}$$

1. Για $I_{CQ} = 0$ βρίσκω το $V_{CE(\text{cut off})}$
2. Για $V_{CE} = 0$ βρίσκω το $I_{C(\text{Sat})}$



Κυκλώματα Πόλωσης Τρανζίστορ

6. Πόλωση με ανάδραση από συλλέκτη και εκπομπό
(και αυτό από τις πρώτες προσπάθειες σταθεροποίησης του Q.
Ιστορικής σημασίας)



**Ο βρόχος εισόδου ξεκινάει
από τον συλλέκτη**

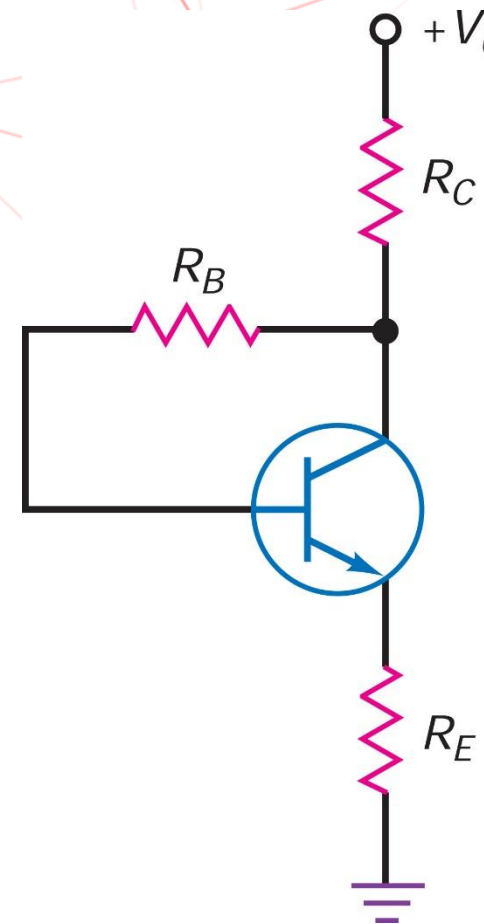
Κυκλώματα Πόλωσης Τρανζίστορ

6. Πόλωση με ανάδραση από συλλέκτη και εκπομπό
(και αυτό από τις πρώτες προσπάθειες σταθεροποίησης του Q.
Ιστορικής σημασίας)

Μεθοδολογία εύρεση Q

- Εφαρμόζω 2^ο κΚ στον βρόχο εισόδου και αντικαθιστώ και το I_E και το I_C με β επί I_B . Έτσι έχω μόνο ένα άγνωστο. Βρίσκω το I_B
- $I_C = \beta \times I_B$
- Με 2^ο κΚ στο βρόχο εξόδου υπολογίζω το V_{CE}

→ $Q(I_{CQ}, V_{CEQ})$



Κυκλώματα Πόλωσης Τρανζίστορ

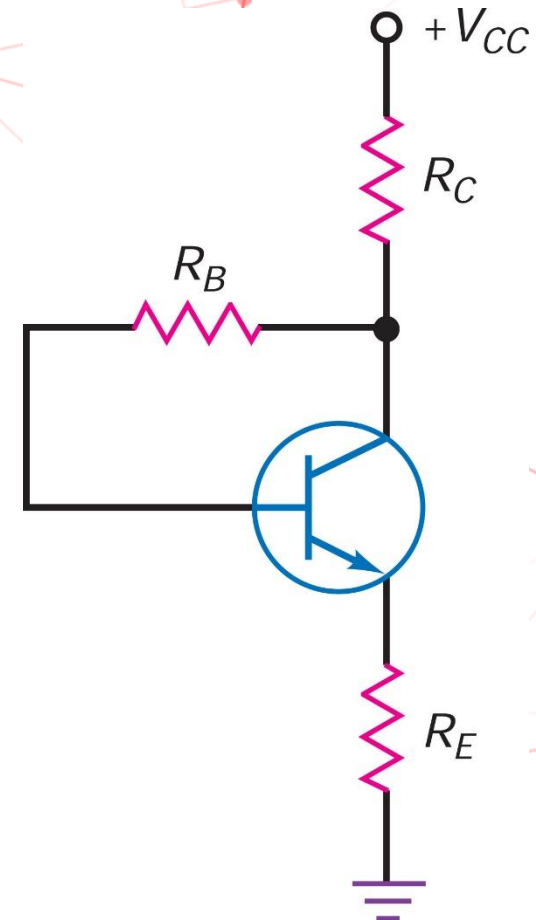
6. Πόλωση με ανάδραση από συλλέκτη και εκπομπό
(και αυτό από τις πρώτες προσπάθειες σταθεροποίησης του Q. Ιστορικής σημασίας)

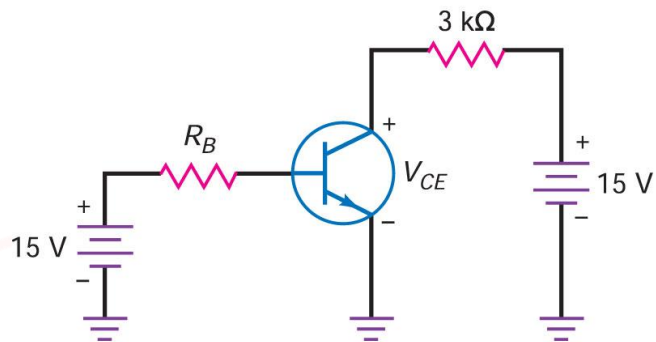
Μεθοδολογία Γραμμής Φορτίου

- 2^{ος} κΚ στον βρόχο εξόδου

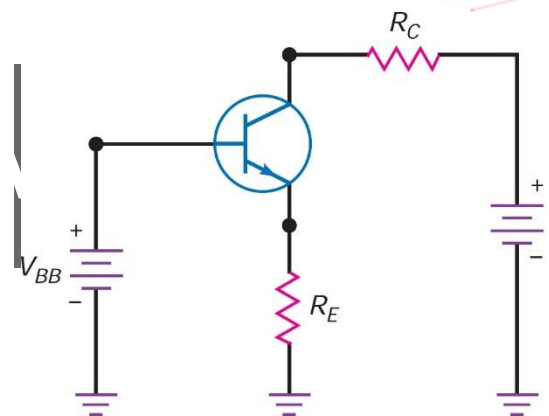
$$\begin{aligned} V_{CC} - I_C R_C - I_E R_E - V_{CE} &= 0 \\ \xrightarrow{I_C = I_E} V_{CC} - I_C (R_C + R_E) - V_{CE} &= 0 \end{aligned}$$

1. Για $I_{CQ} = 0$ βρίσκω το $V_{CE(\text{cut off})}$
2. Για $V_{CE} = 0$ βρίσκω το $I_{C(\text{Sat})}$

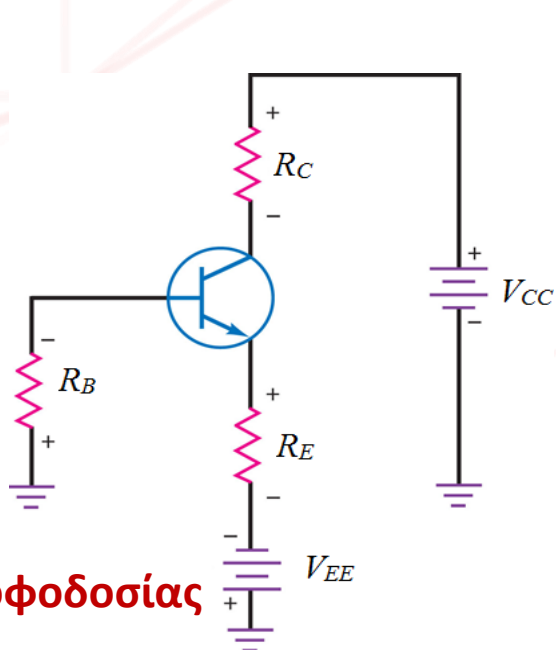
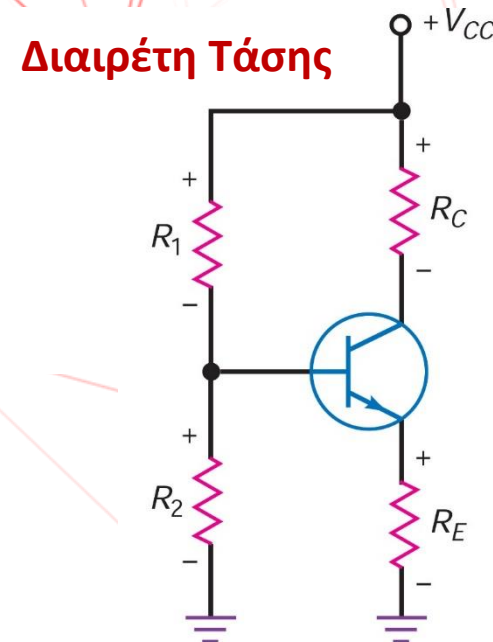




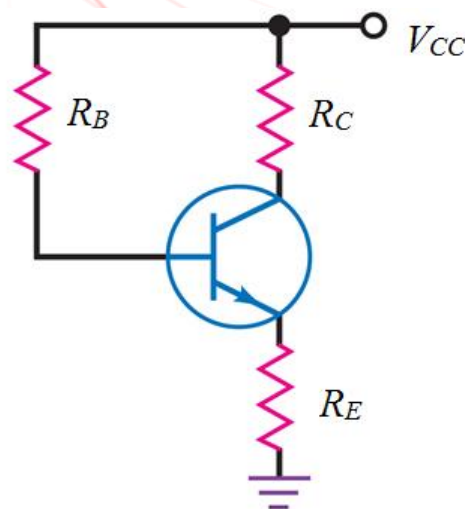
Πόλωση Βάσης



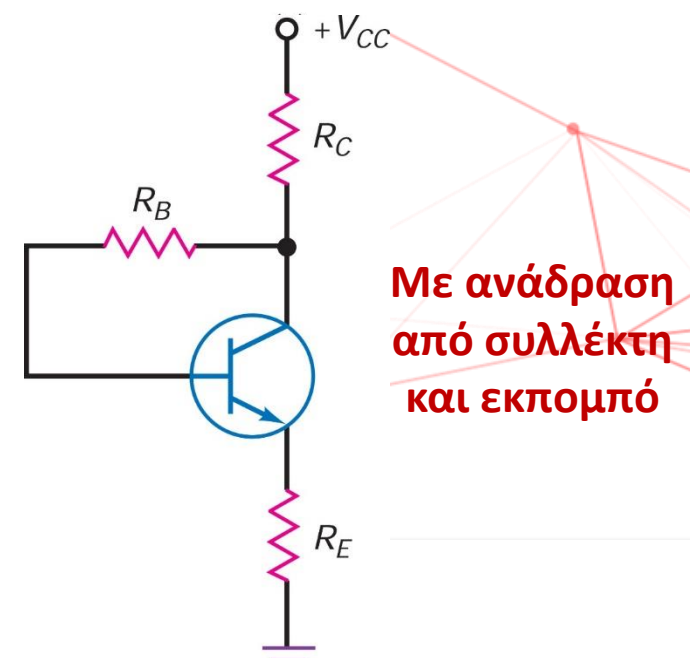
Πόλωση Εκπομπού



Εκπομπού Διπλής τροφοδοσίας



Με ανάδραση από εκπομπό



Με ανάδραση από συλλέκτη και εκπομπό