

ΨΣ014 – Ηλεκτρονική

6-7-8: Διπολικά τρανζίστορ

Γιάννης Λιαπέρδος

Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου
Σχολή Οικονομίας και Τεχνολογίας
Τμήμα Ψηφιακών Συστημάτων



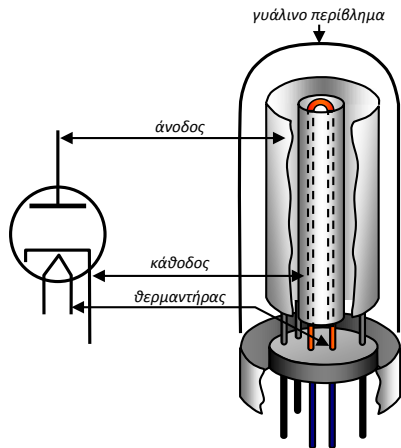
Περιεχόμενα

- 1 **Ιστορικά Στοιχεία**
- 2 Αρχή λειτουργίας
- 3 Κατασκευή
- 4 Τύποι
- 5 Βασικές συνδεσμολογίες
- 6 Περιοχές λειτουργίας
- 7 Χαρακτηριστικές
- 8 Πόλωση
- 9 Μοντέλα λειτουργίας – Ισοδύναμα κυκλώματα
- 10 Ζεύγη διπολικών τρανζίστορ
- 11 Ασκήσεις



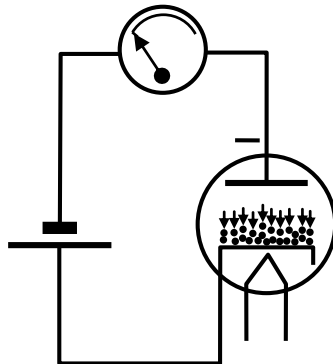
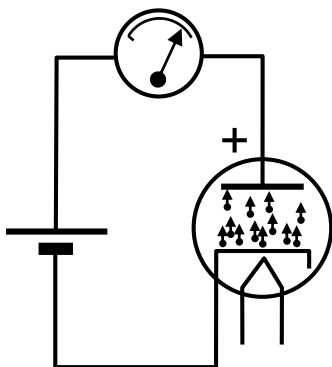
Ηλεκτρονικές λυχνίες κενού

- Δομή διόδου ηλεκτρονικής λυχνίας και κυκλωματικό της σύμβολο



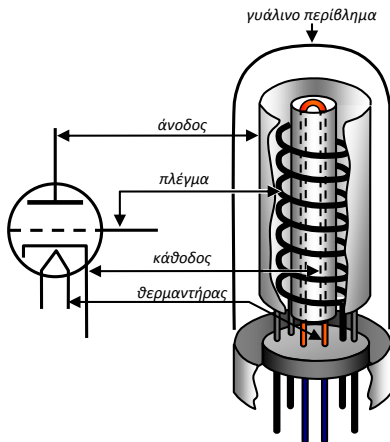
Ηλεκτρονικές λυχνίες κενού

- Αρχή λειτουργίας διόδου ηλεκτρονικής λυχνίας



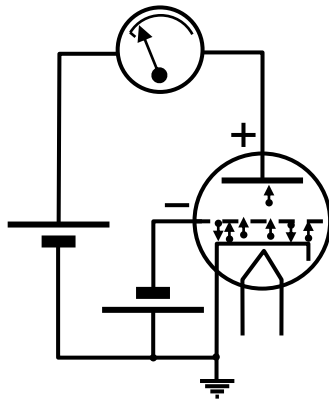
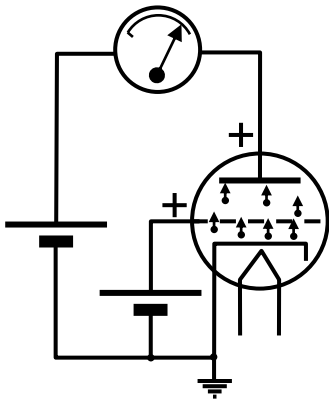
Ηλεκτρονικές λυχνίες κενού

- Δομή τριόδου ηλεκτρονικής λυχνίας και κυκλωματικό της σύμβολο



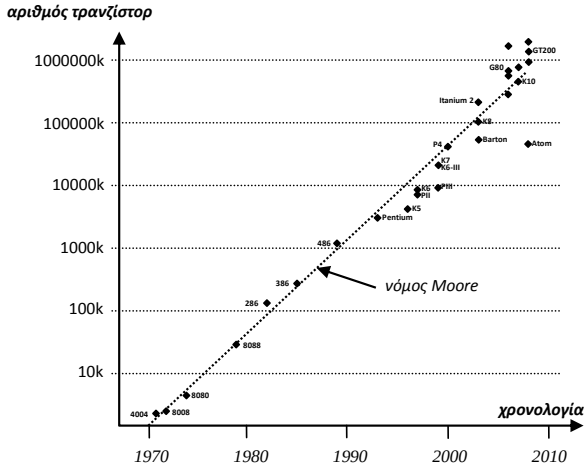
Ηλεκτρονικές λυχνίες κενού

- Αρχή λειτουργίας τριόδου ηλεκτρονικής λυχνίας



Νόμος του Moore

- Χρονολογική αύξηση του αριθμού των τρανζίστορ που χρησιμοποιούν διάφοροι τύποι επεξεργαστών



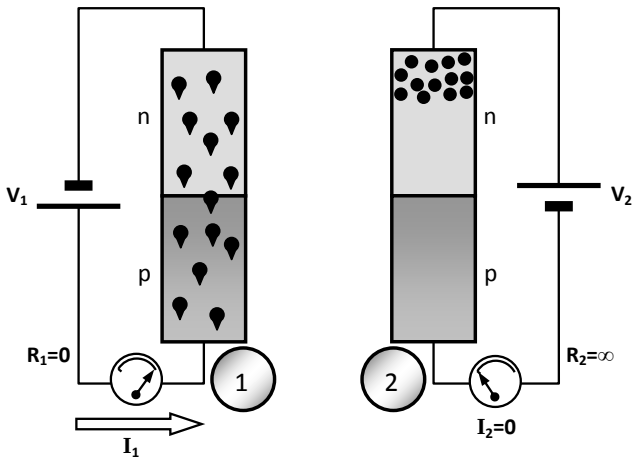
Περιεχόμενα

- 1 Ιστορικά Στοιχεία
- 2 Αρχή λειτουργίας
- 3 Κατασκευή
- 4 Τύποι
- 5 Βασικές συνδεσμολογίες
- 6 Περιοχές λειτουργίας
- 7 Χαρακτηριστικές
- 8 Πόλωση
- 9 Μοντέλα λειτουργίας – Ισοδύναμα κυκλώματα
- 10 Ζεύγη διπολικών τρανζίστορ
- 11 Ασκήσεις



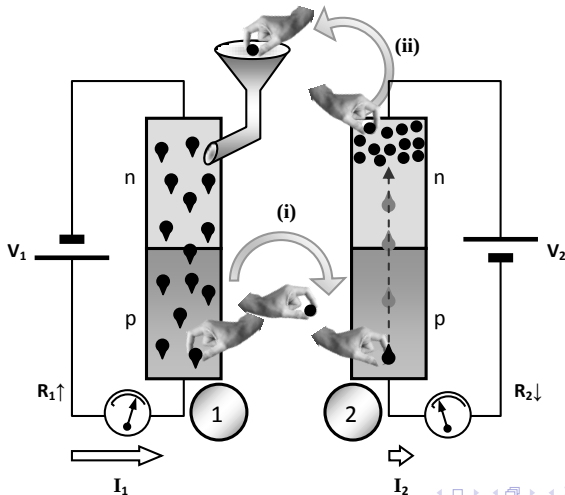
Αρχή λειτουργίας του διπολικού τρανζίστορ

- Δύο ανεξάρτητες επαφές pn



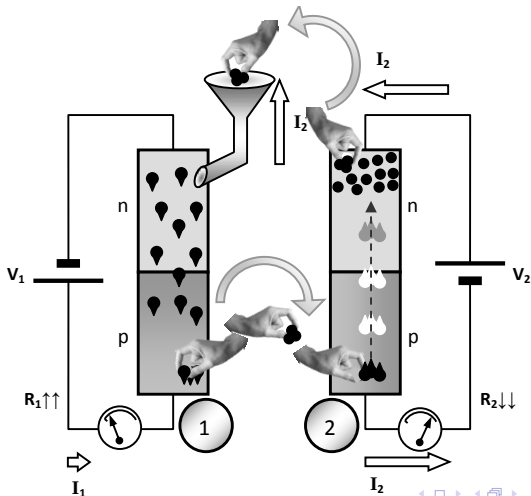
Αρχή λειτουργίας του διπολικού τρανζίστορ

- 'Υποκλέπουμε' ένα ηλεκτρόνιο από τη μία επαφή και το 'εγχέουμε' στην άλλη



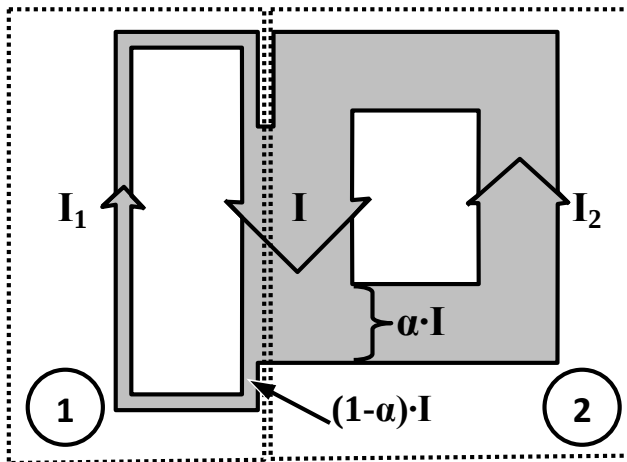
Αρχή λειτουργίας του διπολικού τρανζίστορ

- 'Υποκλέπουμε' πολλά ηλεκτρόνια από τη μία επαφή και τα 'εγχέουμε' στην άλλη



Αρχή λειτουργίας του διπολικού τρανζίστορ

- Σχέση των ρευμάτων στις δύο επαφές



Αρχή λειτουργίας του διπολικού τρανζίστορ

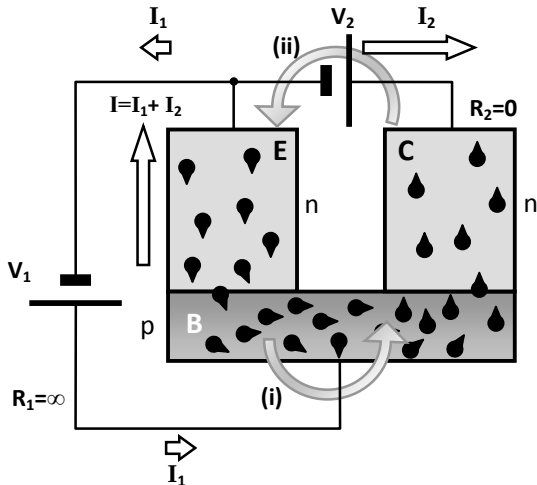
- Απολαβή ρεύματος

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{\alpha \cdot I}{(1 - \alpha) \cdot I} = \frac{\alpha}{1 - \alpha} = \beta$$



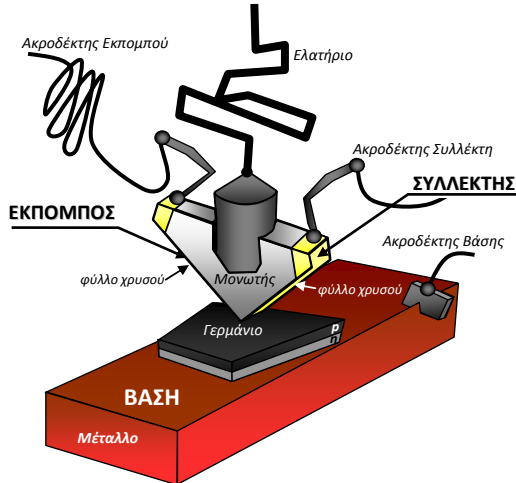
Αρχή λειτουργίας του διπολικού τρανζίστορ

- Υλοποίηση



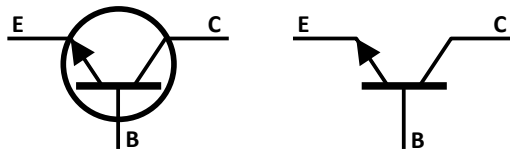
Αρχή λειτουργίας του διπολικού τρανζίστορ

- Δομή του πρώτου τρανζίστορ (σημειακής επαφής)



Αρχή λειτουργίας του διπολικού τρανζίστορ

- Κυκλωματικά σύμβολα τρανζίστορ npn



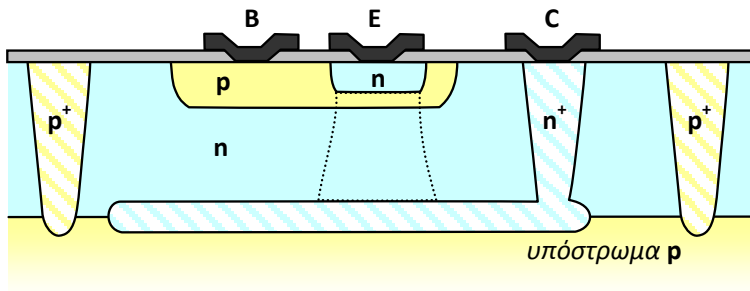
Περιεχόμενα

- 1 Ιστορικά Στοιχεία
- 2 Αρχή λειτουργίας
- 3 Κατασκευή**
- 4 Τύποι
- 5 Βασικές συνδεσμολογίες
- 6 Περιοχές λειτουργίας
- 7 Χαρακτηριστικές
- 8 Πόλωση
- 9 Μοντέλα λειτουργίας – Ισοδύναμα κυκλώματα
- 10 Ζεύγη διπολικών τρανζίστορ
- 11 Ασκήσεις



Κατασκευή του διπολικού τρανζίστορ

- Εγκάρσια τομή διπολικού τρανζίστορ (npn)



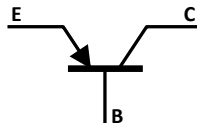
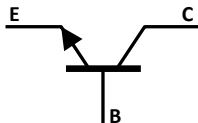
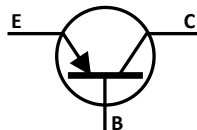
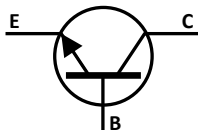
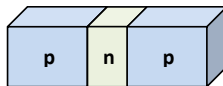
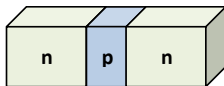
Περιεχόμενα

- 1 Ιστορικά Στοιχεία
- 2 Αρχή λειτουργίας
- 3 Κατασκευή
- 4 Τύποι**
- 5 Βασικές συνδεσμολογίες
- 6 Περιοχές λειτουργίας
- 7 Χαρακτηριστικές
- 8 Πόλωση
- 9 Μοντέλα λειτουργίας – Ισοδύναμα κυκλώματα
- 10 Ζεύγη διπολικών τρανζίστορ
- 11 Ασκήσεις



Τύποι διπολικού τρανζίστορ

- Σχηματική αναπαράσταση και κυκλωματικά σύμβολα διπολικών τρανζίστορ



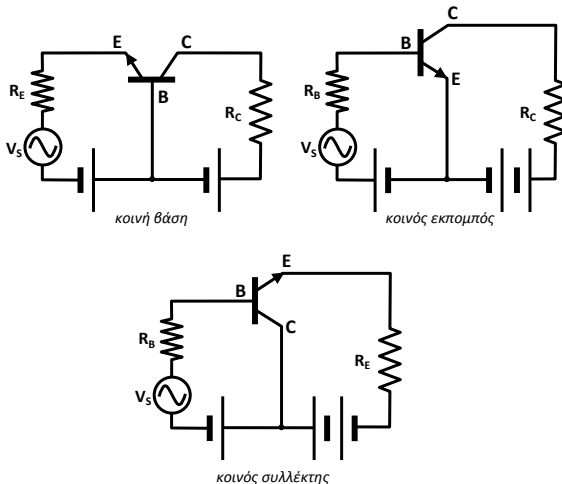
Περιεχόμενα

- 1 Ιστορικά Στοιχεία
- 2 Αρχή λειτουργίας
- 3 Κατασκευή
- 4 Τύποι
- 5 Βασικές συνδεσμολογίες**
- 6 Περιοχές λειτουργίας
- 7 Χαρακτηριστικές
- 8 Πόλωση
- 9 Μοντέλα λειτουργίας – Ισοδύναμα κυκλώματα
- 10 Ζεύγη διπολικών τρανζίστορ
- 11 Ασκήσεις



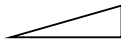
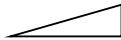
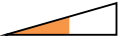
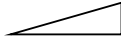
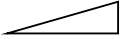
Βασικές συνδεσμολογίες του διπολικού τρανζίστορ

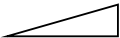
- Βασικές συνδεσμολογίες του διπολικού τρανζίστορ



Βασικές συνδεσμολογίες του διπολικού τρανζίστορ

- Χαρακτηριστικά συνδεσμολογιών διπολικού τρανζίστορ

Χαρακτηριστικό	Συνδεσμολογία		
	ΚΟΙΝΟΥ ΕΚΠΟΜΠΟΥ	ΚΟΙΝΗΣ ΒΑΣΗΣ	ΚΟΙΝΟΥ ΣΥΛΛΕΚΤΗ
Διαφορά φάσης εισόδου – εξόδου	180°	0°	0°
Απολαβή τάσης (A_V)			
Απολαβή ρεύματος (A_I)			
Απολαβή ισχύος			
Αντίσταση εισόδου			
Αντίσταση εξόδου			

 = χαμηλή,
  = μέση,
  = υψηλή.



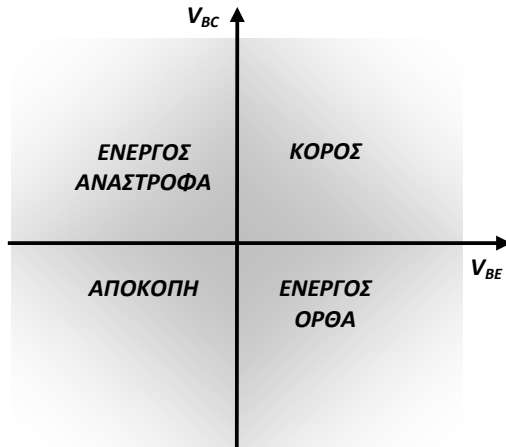
Περιεχόμενα

- 1 Ιστορικά Στοιχεία
- 2 Αρχή λειτουργίας
- 3 Κατασκευή
- 4 Τύποι
- 5 Βασικές συνδεσμολογίες
- 6 Περιοχές λειτουργίας**
- 7 Χαρακτηριστικές
- 8 Πόλωση
- 9 Μοντέλα λειτουργίας – Ισοδύναμα κυκλώματα
- 10 Ζεύγη διπολικών τρανζίστορ
- 11 Ασκήσεις



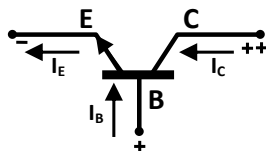
Περιοχές (τρόποι) λειτουργίας του διπολικού τρανζίστορ

- Περιοχές λειτουργίας του διπολικού τρανζίστορ

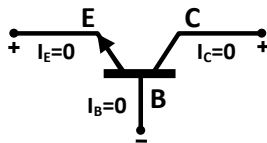


Περιοχές (τρόποι) λειτουργίας του διπολικού τρανζίστορ

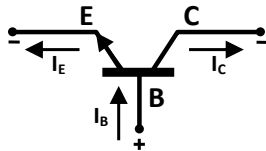
- Φορά των ρευμάτων στους διάφορους τρόπους λειτουργίας του διπολικού τρανζίστορ



ενεργός



αποκοπή



κόρος



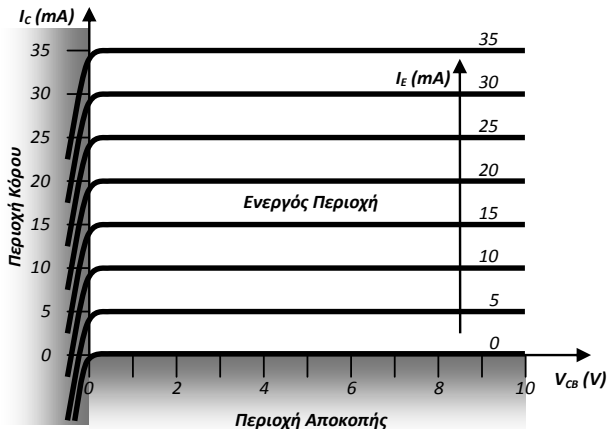
Περιεχόμενα

- 1 Ιστορικά Στοιχεία
- 2 Αρχή λειτουργίας
- 3 Κατασκευή
- 4 Τύποι
- 5 Βασικές συνδεσμολογίες
- 6 Περιοχές λειτουργίας
- 7 Χαρακτηριστικές**
- 8 Πόλωση
- 9 Μοντέλα λειτουργίας – Ισοδύναμα κυκλώματα
- 10 Ζεύγη διπολικών τρανζίστορ
- 11 Ασκήσεις



Χαρακτηριστικές του διπολικού τρανζίστορ

- Σμήνος χαρακτηριστικών $I_C - V_{CB}$ για ιδανικό διπολικό τρανζίστορ



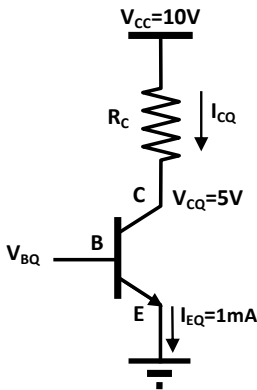
Περιεχόμενα

- 1 Ιστορικά Στοιχεία
- 2 Αρχή λειτουργίας
- 3 Κατασκευή
- 4 Τύποι
- 5 Βασικές συνδεσμολογίες
- 6 Περιοχές λειτουργίας
- 7 Χαρακτηριστικές
- 8 Πόλωση**
- 9 Μοντέλα λειτουργίας – Ισοδύναμα κυκλώματα
- 10 Ζεύγη διπολικών τρανζίστορ
- 11 Ασκήσεις

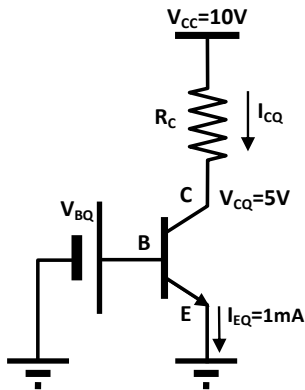


Πόλωση του διπολικού τρανζίστορ (λειτουργία στην ενεργό περιοχή)

- Άμεση πόλωση στη βάση



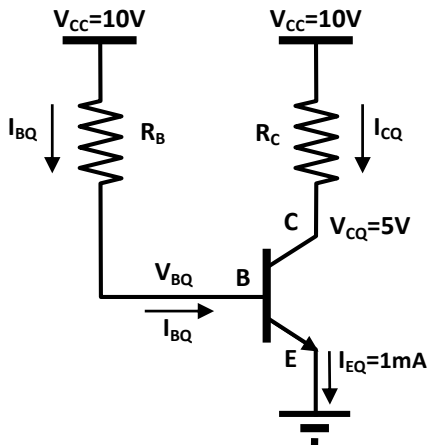
(i)



(ii)

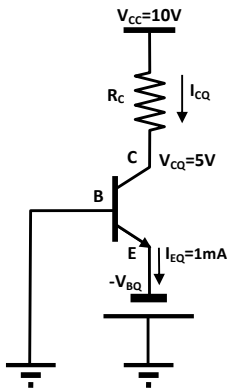
Πόλωση του διπολικού τρανζίστορ (λειτουργία στην ενεργό περιοχή)

- Πόλωση στη βάση μέσω αντιστάτη

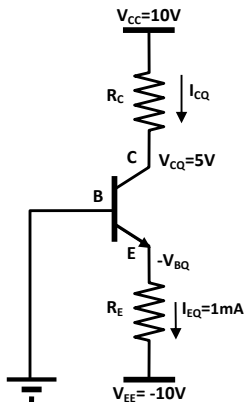


Πόλωση του διπολικού τρανζίστορ (λειτουργία στην ενεργό περιοχή)

- Πόλωση στον εκπομπό



(i)

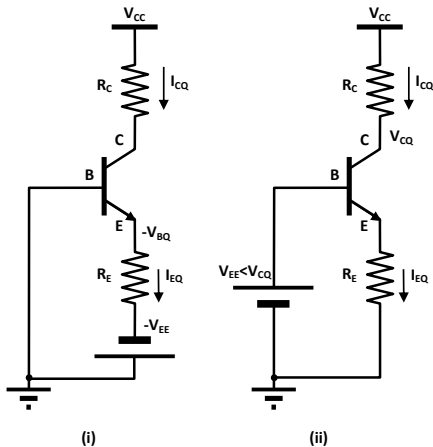


(ii)



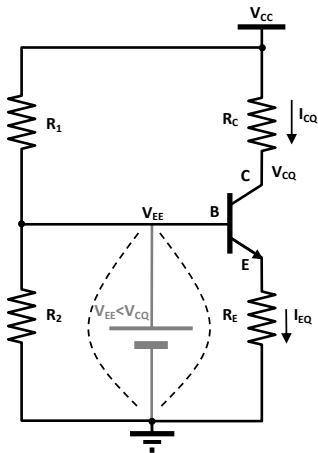
Πόλωση του διπολικού τρανζίστορ (λειτουργία στην ενεργό περιοχή)

- Πόλωση στη βάση και στον εκπομπό



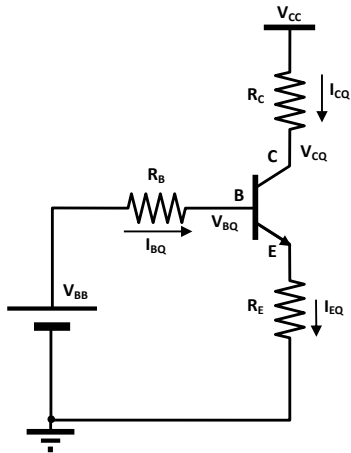
Πόλωση του διπολικού τρανζίστορ (λειτουργία στην ενεργό περιοχή)

- Πόλωση μέσω διαιρέτη τάσης



Πόλωση του διπολικού τρανζίστορ (λειτουργία στην ενεργό περιοχή)

- Πόλωση μέσω διαιρέτη τάσης – ισοδύναμο κύκλωμα



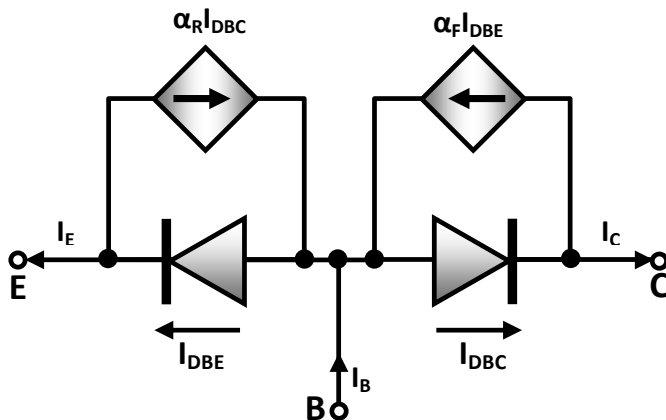
Περιεχόμενα

- 1 Ιστορικά Στοιχεία
- 2 Αρχή λειτουργίας
- 3 Κατασκευή
- 4 Τύποι
- 5 Βασικές συνδεσμολογίες
- 6 Περιοχές λειτουργίας
- 7 Χαρακτηριστικές
- 8 Πόλωση
- 9 Μοντέλα λειτουργίας – Ισοδύναμα κυκλώματα**
- 10 Ζεύγη διπολικών τρανζίστορ
- 11 Ασκήσεις



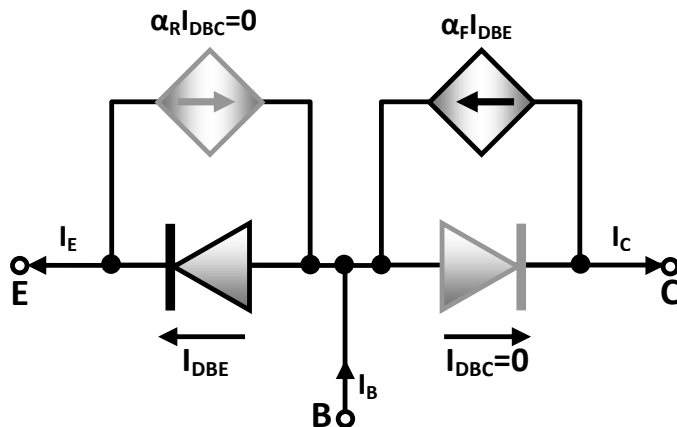
Μοντέλο των Ebers – Moll

- Ισοδύναμο κύκλωμα για το μοντέλο Ebers-Moll του διπολικού τρανζίστορ



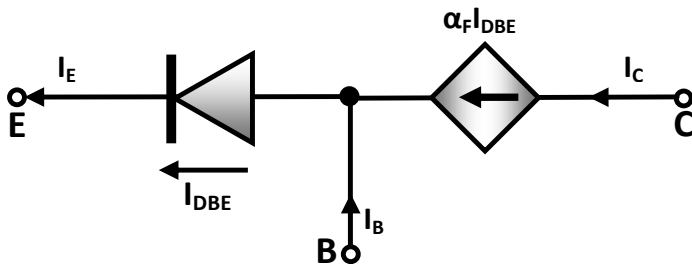
Μοντέλο των Ebers – Moll

- Απλοποίηση του ισοδύναμου κυκλώματος Ebers-Moll για την περίπτωση ορθά ενεργού λειτουργίας [active mode]



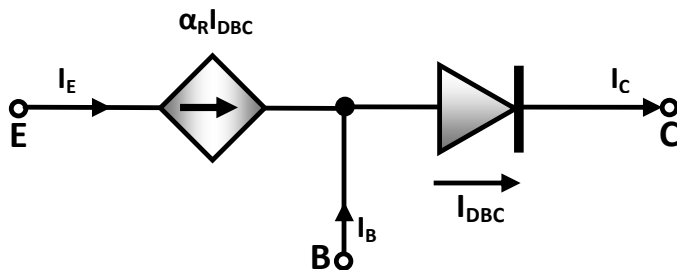
Μοντέλο των Ebers – Moll

- Ισοδύναμο κύκλωμα για το μοντέλο Ebers-Moll του διπολικού τρανζίστορ – Περίπτωση ορθά ενεργού λειτουργίας [Forward active mode]



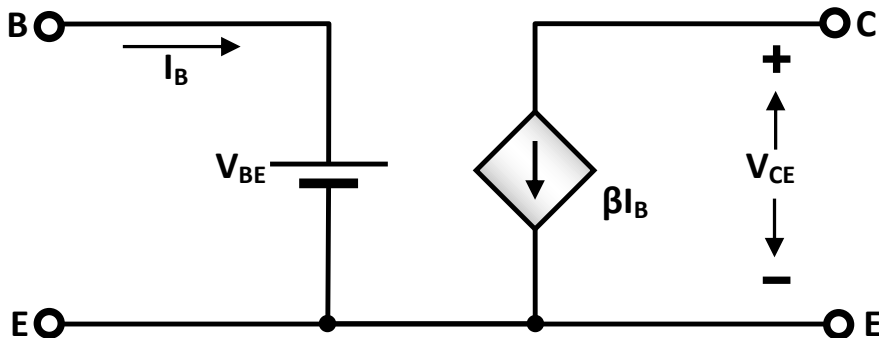
Μοντέλο των Ebers – Moll

- Ισοδύναμο κύκλωμα για το μοντέλο Ebers-Moll του διπολικού τρανζίστορ – Περίπτωση ανάστροφα ενεργού λειτουργίας [Reverse mode]



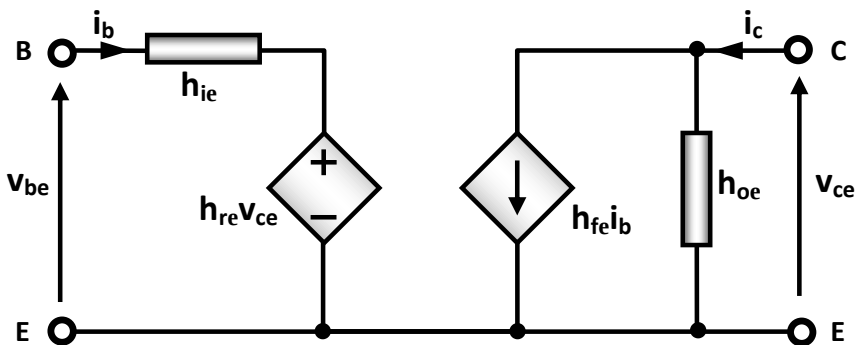
Μοντέλο για το συνεχές (DC)

- Ισοδύναμο κύκλωμα διπολικού τρανζίστορ για το συνεχές (DC)



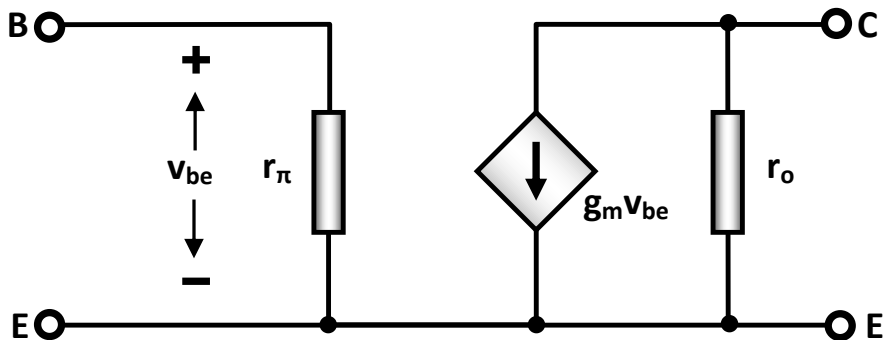
Μοντέλα μικρού σήματος

- h-υβριδικό ισοδύναμο κύκλωμα διπολικού τρανζίστορ σε συνδεσμολογία κοινού εκπομπού



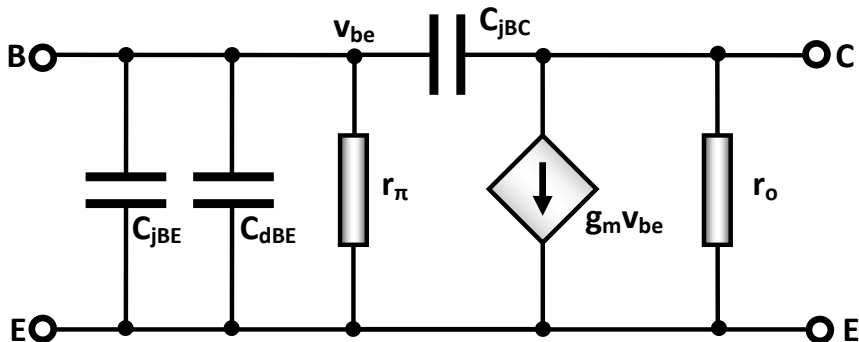
Μοντέλα μικρού σήματος

- π -υβριδικό ισοδύναμο κύκλωμα διπολικού τρανζίστορ για χαμηλές συχνότητες



Μοντέλα μικρού σήματος

- π -υβριδικό ισοδύναμο κύκλωμα διπολικού τρανζίστορ για υψηλές συχνότητες

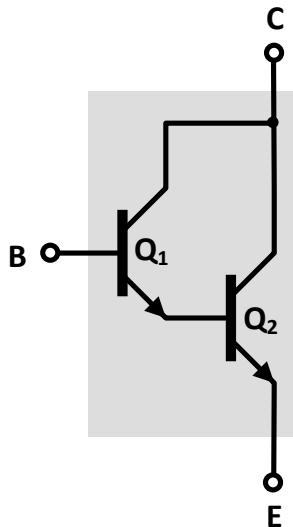


Περιεχόμενα

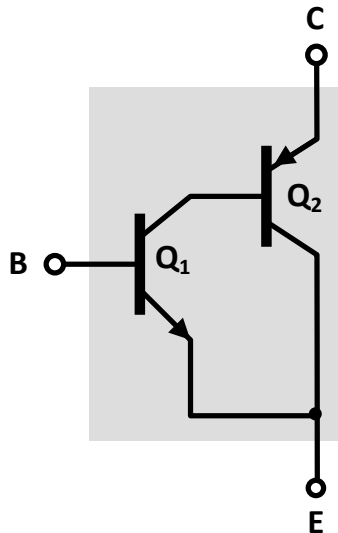
- 1 Ιστορικά Στοιχεία
- 2 Αρχή λειτουργίας
- 3 Κατασκευή
- 4 Τύποι
- 5 Βασικές συνδεσμολογίες
- 6 Περιοχές λειτουργίας
- 7 Χαρακτηριστικές
- 8 Πόλωση
- 9 Μοντέλα λειτουργίας – Ισοδύναμα κυκλώματα
- 10 Ζεύγη διπολικών τρανζίστορ**
- 11 Ασκήσεις



Συνδεσμολογία Darlington



Συνδεσμολογία Sziklai



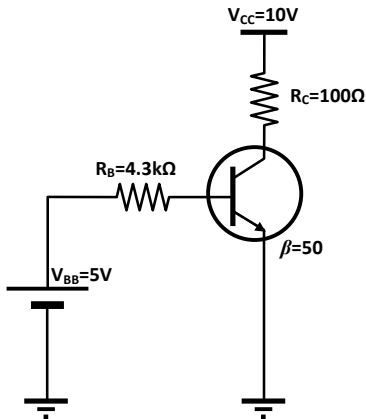
Περιεχόμενα

- 1 Ιστορικά Στοιχεία
- 2 Αρχή λειτουργίας
- 3 Κατασκευή
- 4 Τύποι
- 5 Βασικές συνδεσμολογίες
- 6 Περιοχές λειτουργίας
- 7 Χαρακτηριστικές
- 8 Πόλωση
- 9 Μοντέλα λειτουργίας – Ισοδύναμα κυκλώματα
- 10 Ζεύγη διπολικών τρανζίστορ
- 11 Ασκήσεις**



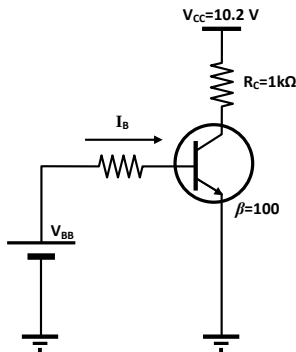
Άσκηση 1

- Δίνεται το κύκλωμα του πιο κάτω σχήματος, όπου το τρανζίστορ είναι κατασκευασμένο σε πυρίτιο. Να βρεθεί το δυναμικό στον συλλέκτη του τρανζίστορ. Σε ποια περιοχή λειτουργεί το τρανζίστορ;



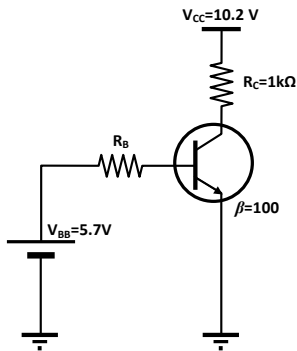
Άσκηση 2

- Δίνεται το κύκλωμα του πιο κάτω σχήματος, όπου το τρανζίστορ είναι κατασκευασμένο σε πυρίτιο. Να βρεθεί η ελάχιστη τιμή του ρεύματος βάσης (I_B) για την οποία το τρανζίστορ θα τεθεί στην περιοχή κόρου. (Υπενθυμίζεται πως για τα τρανζίστορ πυριτίου η τιμή της τάσης συλλέκτη-εκπομπού στο όριο της ενεργού περιοχής και της περιοχής κόρου [$V_{CE_{sat}}$] είναι περίπου ίση με $0.2V$).



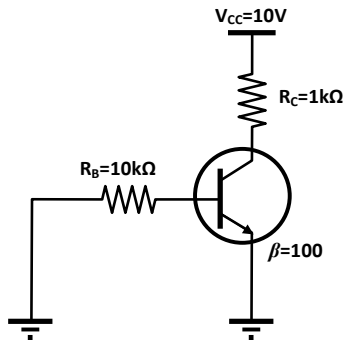
Άσκηση 3

- Δίνεται το κύκλωμα του πιο κάτω σχήματος, όπου το τρανζίστορ είναι κατασκευασμένο σε πυρίτιο. Να βρεθεί η ελάχιστη τιμή της αντίστασης R_B για την οποία το τρανζίστορ θα τεθεί στην περιοχή κόρου. (Υπενθυμίζεται πως για τα τρανζίστορ πυριτίου η τιμή της τάσης συλλέκτη-εκπομπού στο όριο της ενεργού περιοχής και της περιοχής κόρου [$V_{CE_{sat}}$] είναι περίπου ίση με $0.2V$).



Άσκηση 4

- Δίνεται το κύκλωμα του πιο κάτω σχήματος, όπου το τρανζίστορ είναι κατασκευασμένο σε πυρίτιο. Ζητείται το δυναμικό στον συλλέκτη του τρανζίστορ. Σε ποια περιοχή λειτουργεί το τρανζίστορ;



Άσκηση 5

- Δίνεται το κύκλωμα του πιο κάτω σχήματος, όπου το τρανζίστορ είναι κατασκευασμένο σε πυρίτιο. Ζητείται το δυναμικό στον συλλέκτη του τρανζίστορ. Σε ποια περιοχή λειτουργεί το τρανζίστορ;

