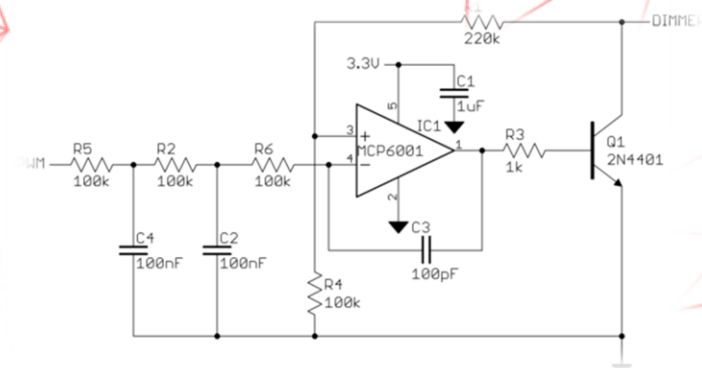
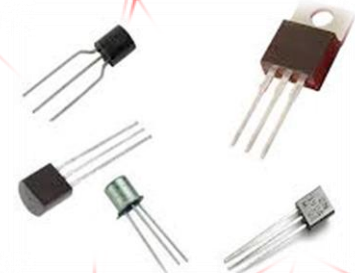
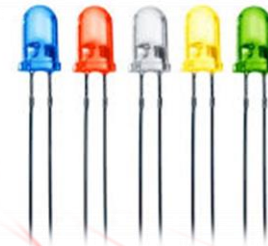
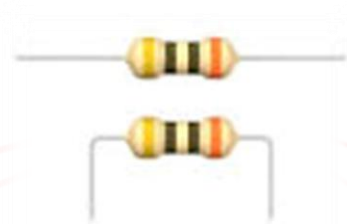
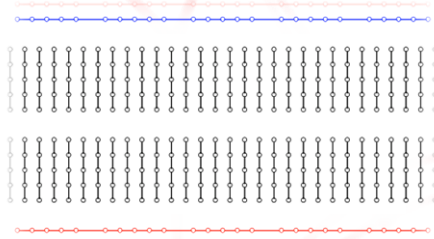


Ηλεκτρονική

➔ Νικόλαος Γιαννακέας



Περιεχόμενα του μαθήματος

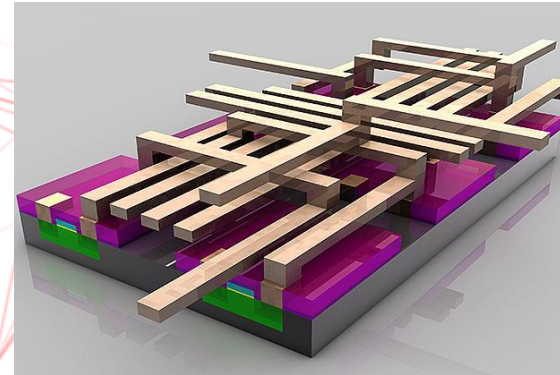
- Εισαγωγή Ορισμός
- Ιστορική Αναδρομή
- Διπολικό τρανζίστορ Επαφής (BJT)
- Αναγνώριση Ακροδεκτών
- Αρχή λειτουργίας
- Κυκλώματα πόλωσης
- Χαρακτηριστικές καμπύλες
- Εφαρμογές τρανζίστορ

Τρανζίστορ (transistor)

- Το **τρανζίστορ** (transistor), (ελλ. Κρυσταλλοτρίοδος) και (παλαιότερα) κρυσταλλολυχνία, είναι διάταξη ημιαγωγών στερεάς κατάστασης
- διάφορες **εφαρμογές** στην ηλεκτρονική, μερικές εκ των οποίων είναι η **ενίσχυση**, η σταθεροποίηση τάσης, η διαμόρφωση συχνότητας, η **λειτουργία ως διακόπτης** και ως μεταβλητή ωμική αντίσταση
- ανάλογα με την τάση με την οποία πολώνεται, ρυθμίζει την ροή του ηλεκτρικού ρεύματος που απορροφά από συνδεδεμένη πηγή τάσης

Τρανζίστορ (transistor)

- ➔ Τα τρανζίστορ κατασκευάζονται είτε ως **ξεχωριστά ηλεκτρονικά εξαρτήματα** είτε ως τμήματα κάποιου **ολοκληρωμένου κυκλώματος**



Ιστορική Αναδρομή

Προπομποί

- Οι πρώτες πατέντες που σχετίζονταν με την **αρχή λειτουργίας** του τρανζίστορ κατοχυρώθηκαν το 1928 από τον Γιούλιους Έντγκαρ Λιλινφελντ (Julius Edgar Lilienfeld) στην Γερμανία.
- Το 1934 ο Γερμανός φυσικός Όσκαρ Χάιλ (Oskar Heil) κατοχύρωσε **ευρεσιτεχνία για το τρανζίστορ επίδρασης πεδίου** (field effect)
- Αυτή τους η εργασία ακολούθησε τις προσπάθειες τους κατά τη διάρκεια του **Β΄ Παγκοσμίου Πολέμου** να παρασκευάσουν **γερμάνιο υψηλής καθαρότητας**

Ιστορική Αναδρομή

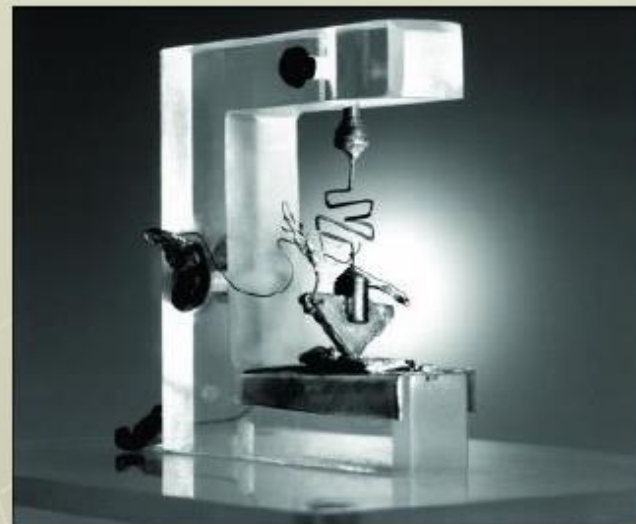
Προπομποί

- Η προηγούμενη τεχνολογία που βασιζόταν σε λυχνίες **δεν προσέφερε** αρκετά **ταχεία εναλλαγή** για να εξυπηρετήσει επαρκώς αυτή τη λειτουργία
- Έτσι, η ομάδα των παραπάνω ερευνητών χρησιμοποίησε **διόδους στερεάς κατάστασης**
- Με τις γνώσεις που απέκτησαν από αυτές, προσπάθησαν να κατασκευάσουν μία τρίοδο, πράγμα που αρχικά αποδείχθηκε δύσκολο
- Οι **Bardeen και Brattain** τελικά κατάφεραν να κατασκευάσουν μία διάταξη που λειτουργούσε

Ιστορική Αναδρομή



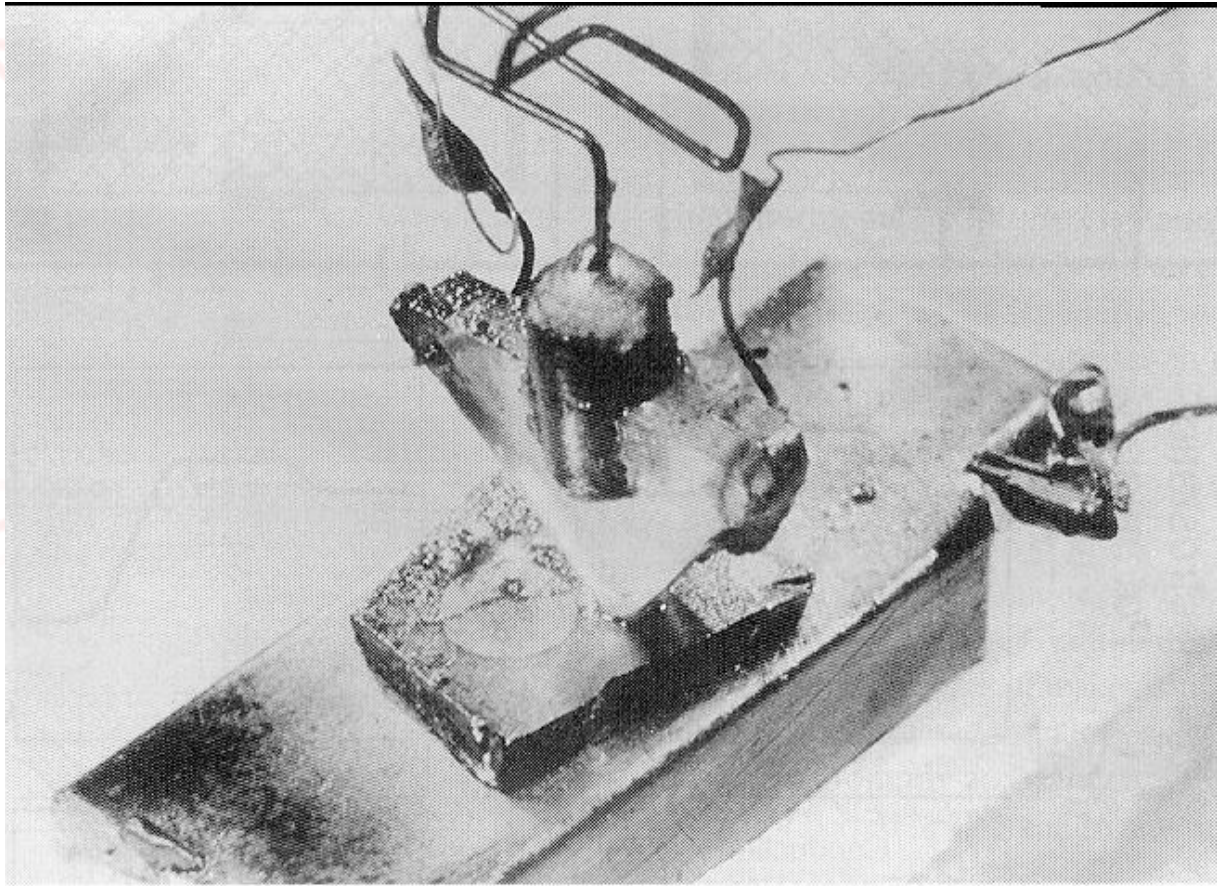
Οι Bardeen, Shockley, και Brattain των Bell Labs.
Ανακάλυψη του διπολικού τρανζίστορ το 1947.



Το πρώτο διπολικό τρανζίστορ κατασκευασμένο από Ge.

Νόμπελ Φυσικής 1956

Ιστορική Αναδρομή



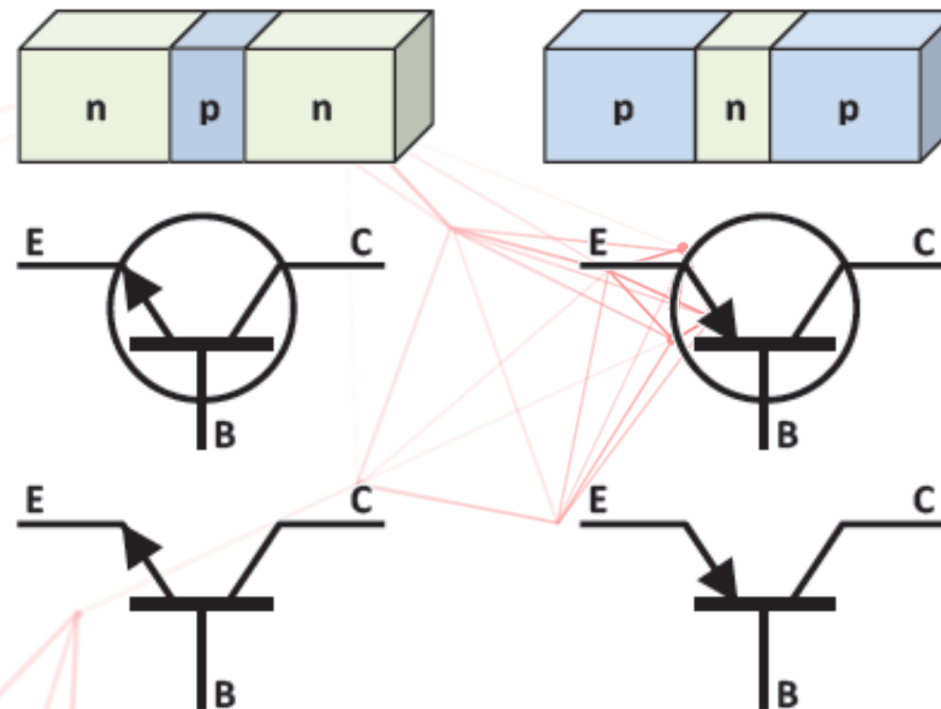
Το πρώτο τρανζίστορ
Bell Labs, 1948

Ιστορική Αναδρομή

- Το πρώτο τρανζίστορ πυριτίου κατασκευάστηκε από **την Texas Instruments** το 1954
- Το πρώτο **MOS τρανζίστορ** κατασκευάστηκε από τους Kahng και Atalla στα Bell Labs το 1960
- Είναι το **κυριότερο συστατικό** όλων σχεδόν των σύγχρονων ηλεκτρονικών κατασκευών
- Η πλατιά χρήση του οφείλεται κυρίως στη δυνατότητα παραγωγής του σε **τεράστιες ποσότητες** που μειώνουν το κόστος ανά μονάδα

Διπολικό Τρανζίστορ Επαφής - BJT

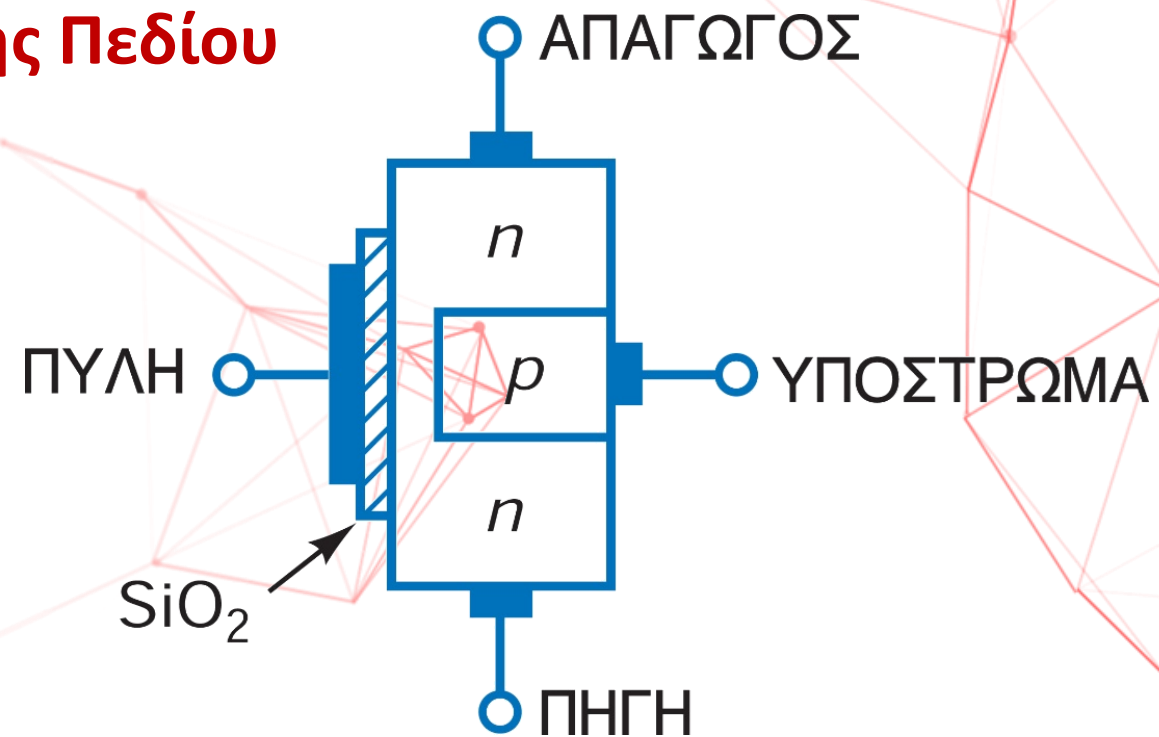
Δύο τύπου Τρανζίστορ



The diagram illustrates the cross-sectional structure of an n-channel MOSFET. The central region is an n-type semiconductor, labeled n , which forms the channel. This channel is flanked by p-type semiconductor regions, labeled p , which serve as the source and drain. The top and bottom surfaces of the device are covered by a thin layer of silicon dioxide, labeled "Πύλη" (Gate). The top contact is labeled "Απαγωγός" (Drain) and the bottom contact is labeled "Πηγή" (Source). The gate is connected to a "Gate (G)" terminal. The source and drain are connected to "Source (S)" and "Drain (D)" terminals, respectively. The regions on the left and right sides of the channel are labeled "Περιοχή απογύμνωσης" (Exposure region). The channel itself is labeled "n-channel". The contacts are labeled "Ωμικές επαφές" (Ohmic contacts).

Ιστορική Αναδρομή

Τρανζίστορ Επίδρασης Πεδίου MOSFET



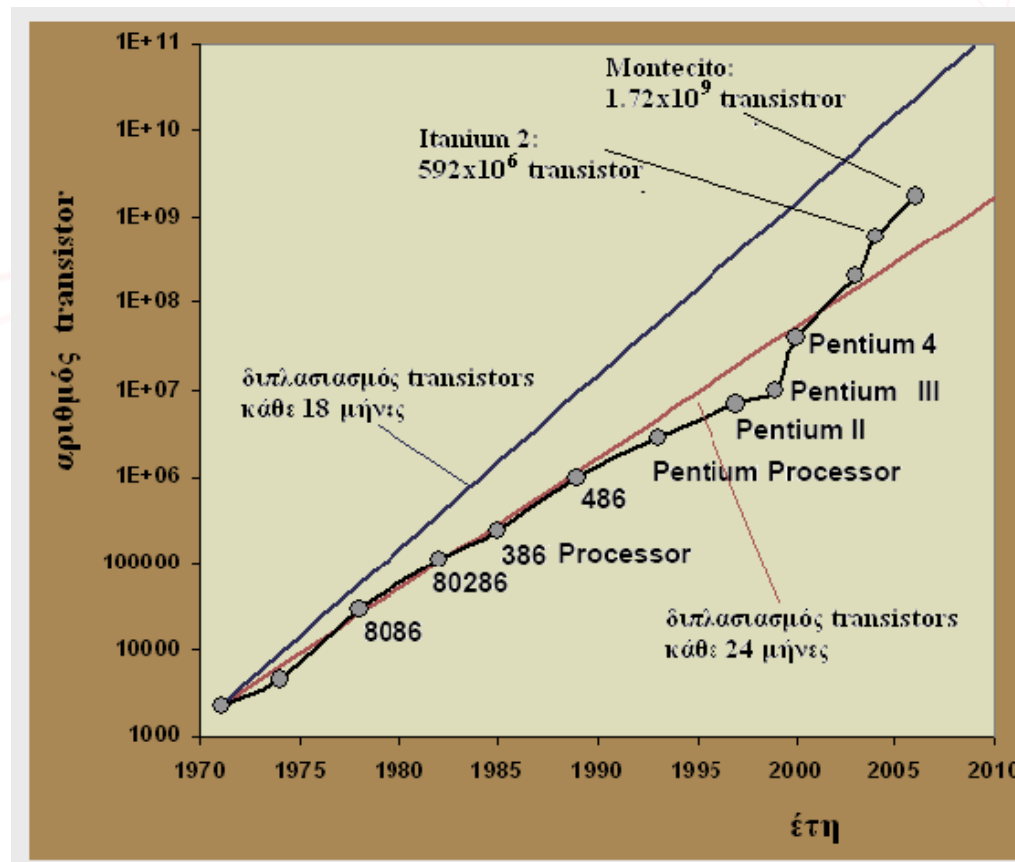
Ιστορική Αναδρομή

Νόμος του Moore

Το 1965, ο Gordon Moore παρατήρησε ότι ο αριθμός των τρανζίστορ σε ένα chip διπλασιάζεται κάθε 18 με 24 μήνες.

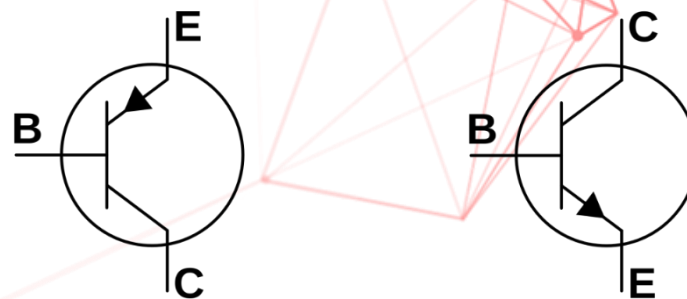
Έκανε την πρόβλεψη ότι η τεχνολογία ημιαγωγών θα διπλασιάζει την δυνατότητα ολοκλήρωσης κάθε 18 μήνες

Ιστορική Αναδρομή



Διπολικό Τρανζίστορ Επαφής - BJT

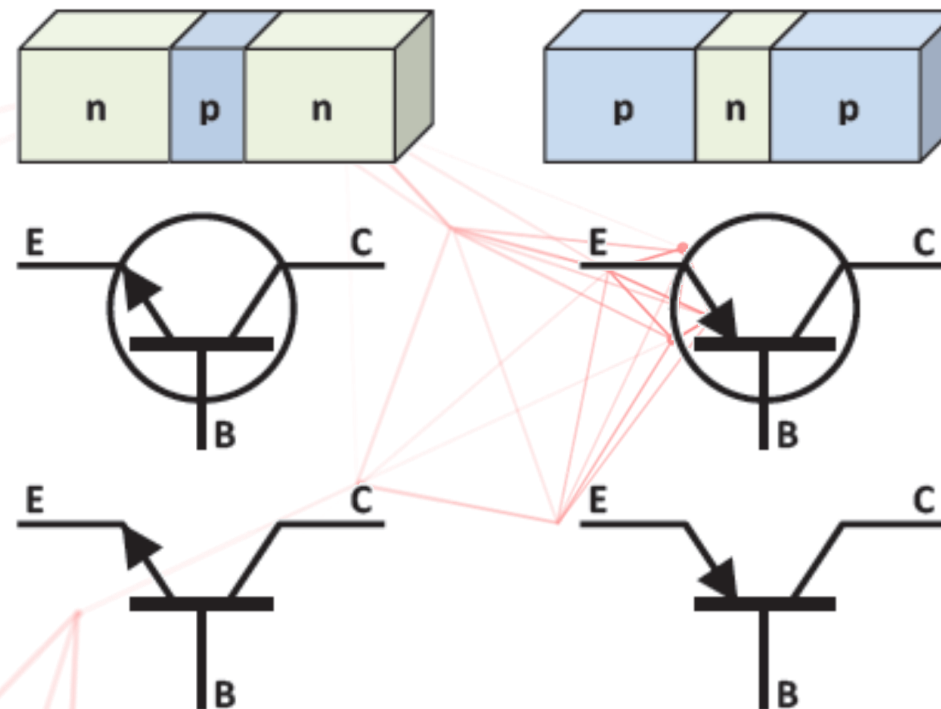
- Τα **διπολικά τρανζίστορ επαφής** (Bipolar Junction Transistor) ήταν τα πλέον διαδεδομένα τρανζίστορ στις δεκαετίες του 1960 και 1970
- Ακόμα και μετά την αύξηση της χρήσης των MOSFET παρέμειναν στη κυκλοφορία κυρίως σε αναλογικά κυκλώματα όπως οι απλοί ενισχυτές λόγω της απλότητας κατασκευής τους και της γραμμικότητας που παρουσιάζει το σήμα τους



Σύμβολα για τρανζίστορ BJT

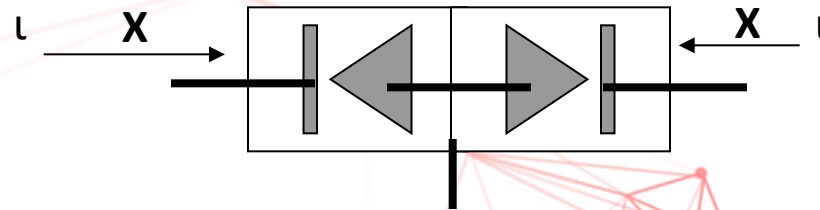
Διπολικό Τρανζίστορ Επαφής - BJT

Δύο τύπου Τρανζίστορ



Διπολικό Τρανζίστορ Επαφής - BJT

Το τρανζίστορ είναι σαν δυο δίοδοι ενωμένες (πλάτη με πλάτη)



Φυσιολογικά θα σκεφτείτε ότι η ένωση δυο διόδων πλάτη με πλάτη δεν θα αφήσει το ρεύμα να περάσει

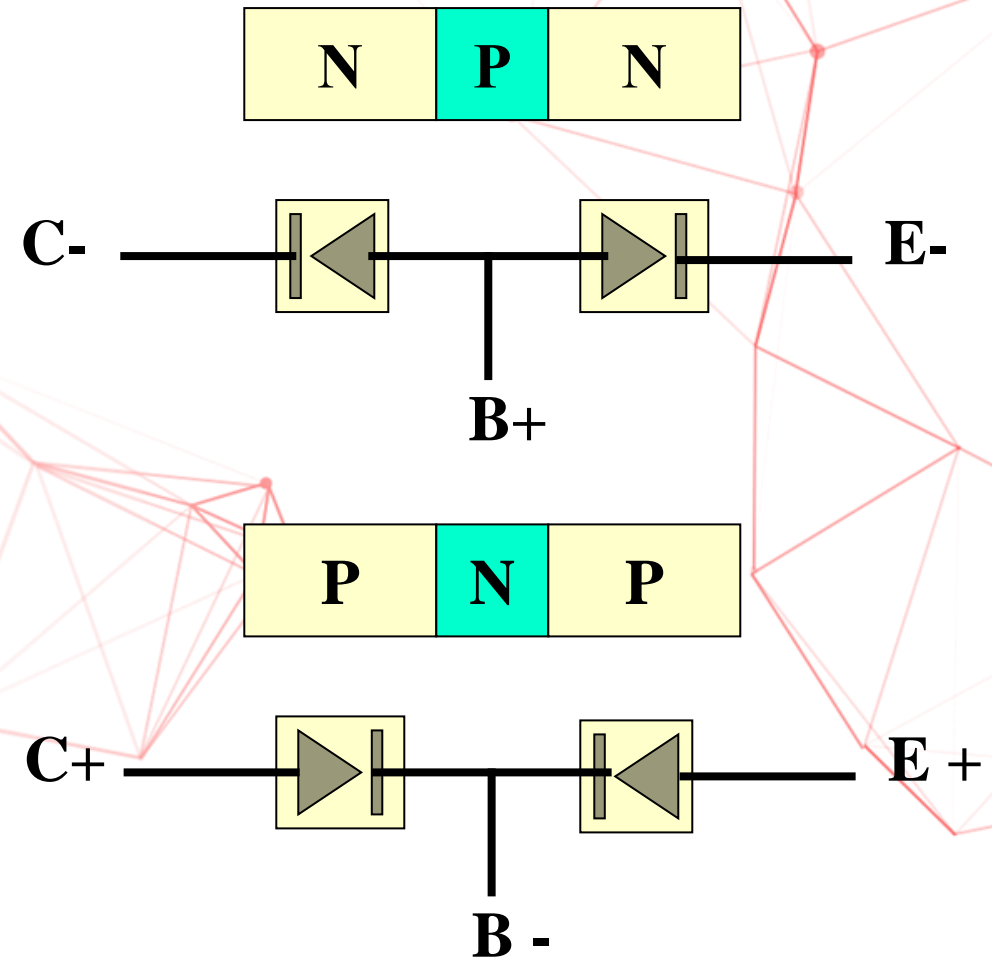
ΑΥΤΟ ΕΙΝΑΙ ΑΛΗΘΕΙΑ

Διπολικό Τρανζίστορ Επαφής - BJT

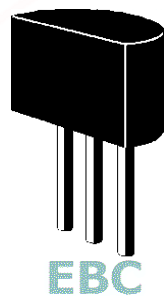
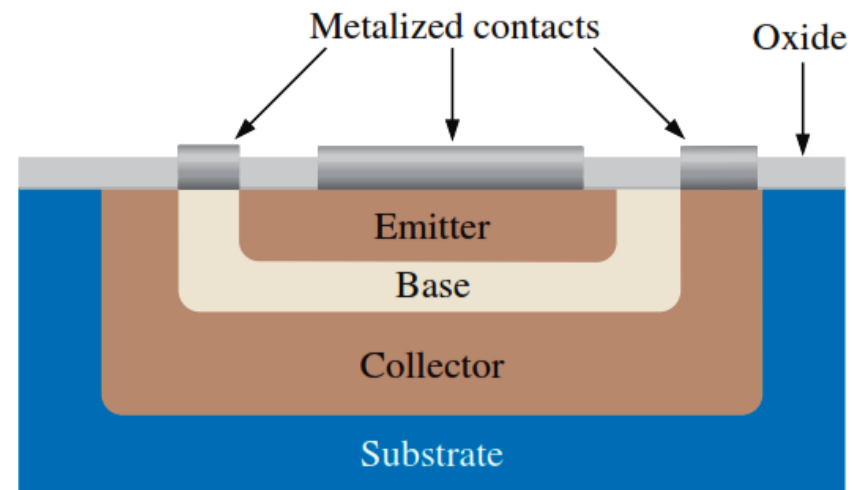
Το τρανζίστορ **n-p-n** λειτουργεί με θετική τάση στο συλλέκτη ως προς τον εκπομπό.

Το τρανζίστορ **p-n-p** λειτουργεί με αρνητική τάση στο συλλέκτη ως προς τον εκπομπό.

Συχνά οι δύο τύποι συνδυάζονται για να σχηματιστεί ένα συμπληρωματικό ζεύγος



Διπολικό Τρανζίστορ Επαφής - BJT



Έχει 3 ακροδέκτες

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

Αναγνώριση ακροδεκτών τρανζίστορ

Οι ακροδέκτες ονομάζονται:

- **E – Emitter – Εκπομπός**
- **B – Base - Βάση**
- **C – Collector - Συλλέκτης**

➔ Υπάρχουν μερικοί γενικοί κανόνες για το συμβολισμό των ακροδεκτών των τρανζίστορ που θα αναφέρουμε, αλλά επειδή ο αριθμός των τρανζίστορ που κυκλοφορούν στην αγορά είναι μεγάλος υπάρχει ένα **φύλλο δεδομένων** που περιέχει τα χαρακτηριστικά και τη θέση των ακροδεκτών πάνω στο κέλυφος (Data sheet)

Αναγνώριση ακροδεκτών τρανζίστορ

Οι ακροδέκτες ονομάζονται:

- **E – Emitter – Εκπομπός**
- **B – Base - Βάση**
- **C – Collector - Συλλέκτης**

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	2N4123	Unit
Collector-Emitter Voltage	V_{CE0}	30	Vdc
Collector-Base Voltage	V_{CB0}	40	Vdc
Emitter-Base Voltage	V_{EB0}	5.0	Vdc
Collector Current – Continuous	I_C	200	mAdc
Total Device Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	625 5.0	mW mW/°C
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{stg}	-55 to +150	°C

THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction to Case	$R_{\theta JC}$	83.3	°C/W
Thermal Resistance, Junction to Ambient	$R_{\theta JA}$	200	°C/W

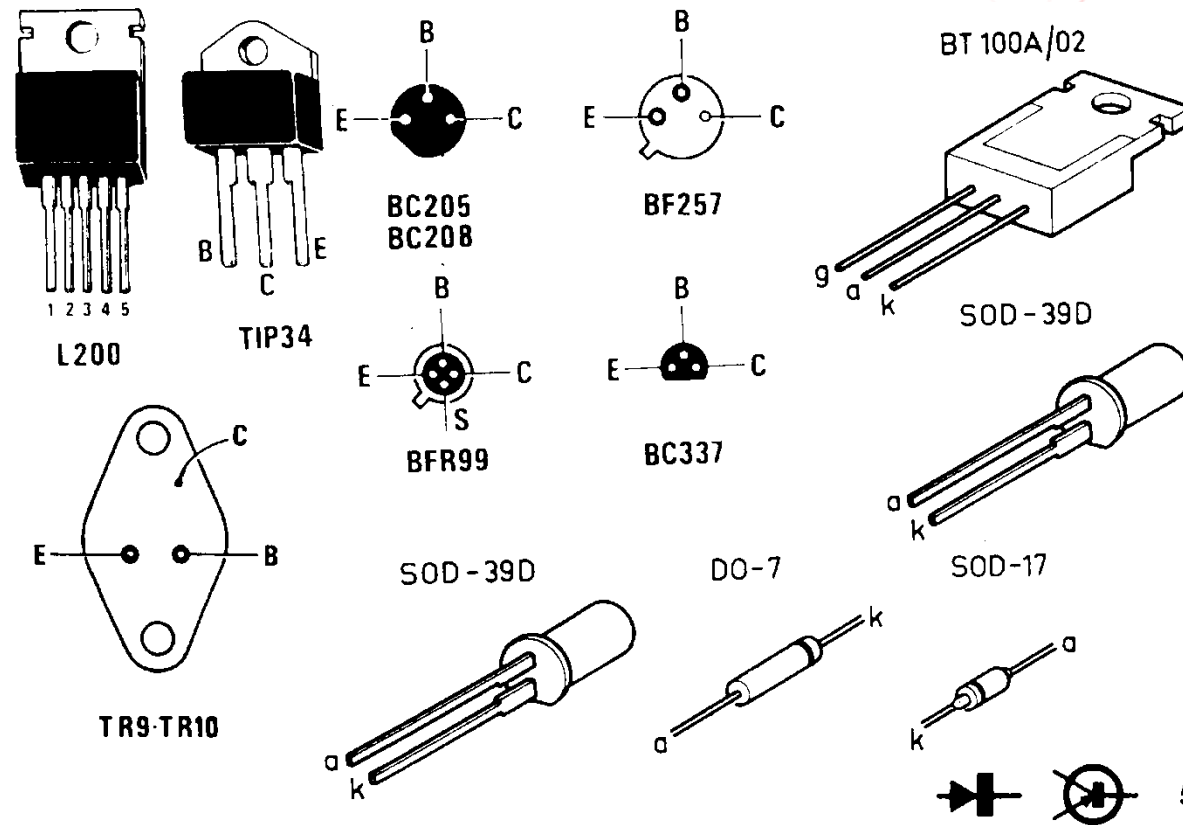


Αναγνώριση ακροδεκτών τρανζίστορ

Μπορούμε να ξέρουμε όμως τη θέση των ακροδεκτών από την εξωτερική εμφάνιση των τρανζίστορ. Έτσι αυτά μπορούν να :

1. **Έχουν μία τελεία στο σώμα τους.** Η τελεία αυτή δείχνει τον ακροδέκτη του συλλέκτη, οπότε ο πιο μακρινός ακροδέκτης είναι ο εκπομπός και στη μέση η βάση.
2. **Έχουν μια προεξοχή στο σώμα τους.** Η προεξοχή αυτή δείχνει τον ακροδέκτη του εκπομπού, οπότε ο πιο μακρινός ακροδέκτης είναι ο συλλέκτης και στη μέση η βάση.
3. **Στα τρανζίστορ ισχύος το μεταλλικό περίβλημα** είναι πάντα ο συλλέκτης και οι δύο ακροδέκτες ο εκπομπός και η βάση. Αυτοί αν δε γράφουν τίποτα (συνήθως υπάρχουν τα σύμβολα E, B), μπορούμε με ένα ωμόμετρο να βρούμε τη βάση.

Αναγνώριση ακροδεκτών τρανζίστορ



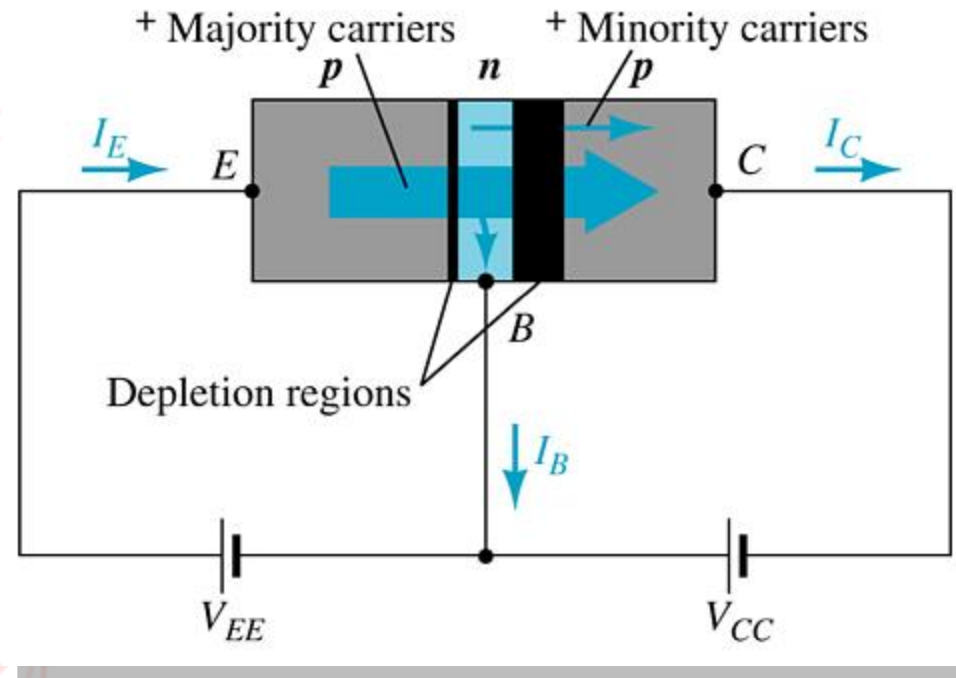
Τρανζίστορ του εμπορίου και αναγνώριση ακροδεκτών

Αρχή λειτουργίας

Συνδέοντας τις εξωτερικές πηγές, V_{EE} and V_{CC} , όπως στο σχήμα:

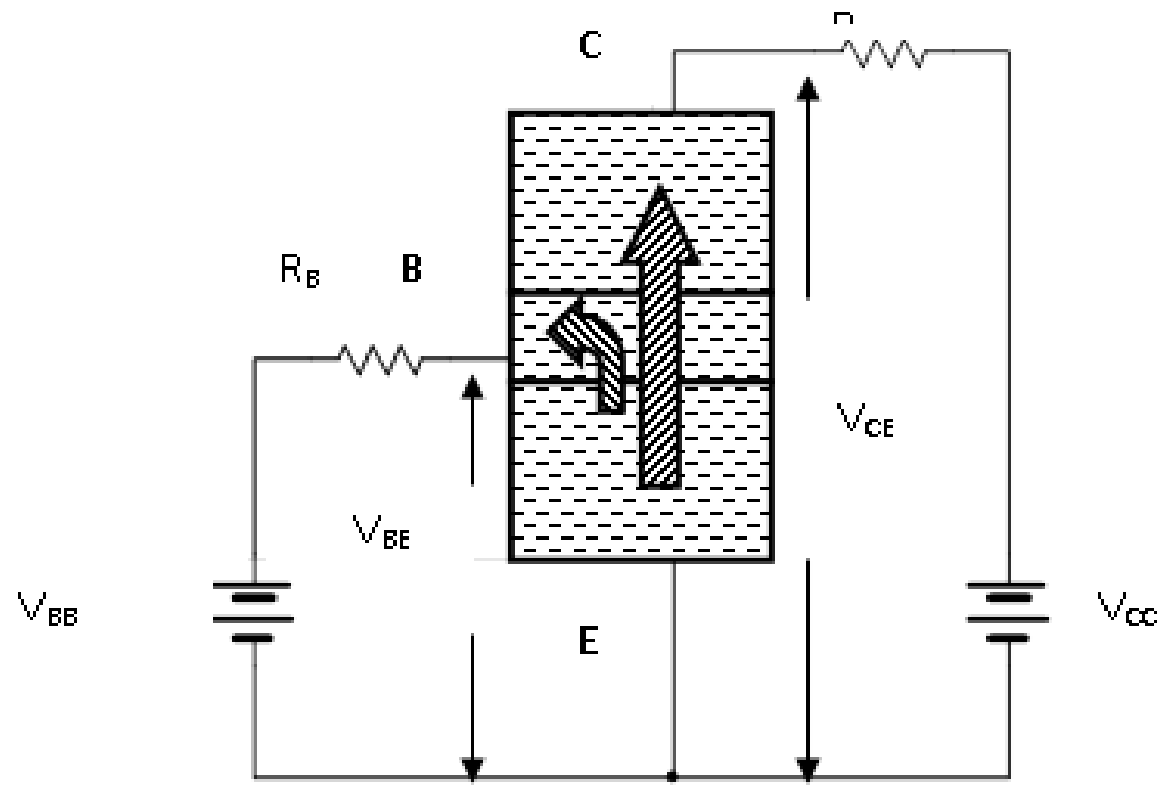
- Η επαφή Εκπομπού – Βάσης πολώνεται ορθά
- Η επαφή Βάσης – Συλλέκτη πολώνεται ανάστροφα

Συμβατική
Φορά
ρευμάτων



Συνδέοντας τις εξωτερικές πηγές, V_{EE} and V_{CC} , όπως στο σχήμα:

Αρχή λειτουργίας



Αρχή λειτουργίας

Γιατί το μεγαλύτερο ρεύμα διέρχεται τον Συλλέκτη αντί της βάσης;

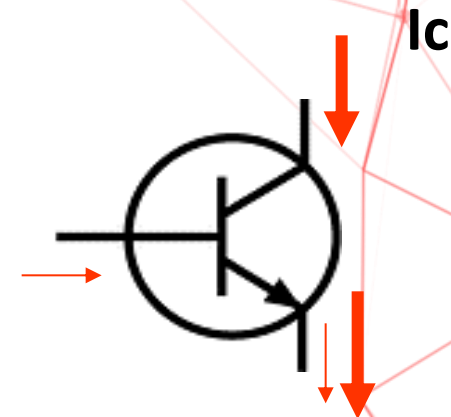
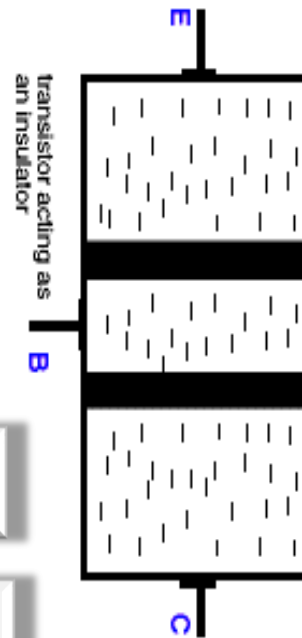
- Η βάση B είναι σκόπιμα πολύ **μικρή σε πάχος**, για να βρίσκονται τα ηλεκτρόνια πολύ κοντά στον συλλέκτη.
- Η βάση B είναι σκόπιμα **ελαφρά εμπλουτισμένη**, με φορείς p , για να έχουν τα ηλεκτρόνια μέσα σε αυτή μεγάλο χρόνο ζωής, δηλαδή να καθυστερείται η εξουδετέρωσή τους από τις οπές.

Αρχή λειτουργίας

Ένα μικρό ρεύμα ελέγχει ένα πολύ μεγαλύτερο ρεύμα

Διακόπτοντας το μικρό ρεύμα διακόπτεται και το πολύ μεγαλύτερο Ρεύμα

Αυξάνοντας το μικρό ρεύμα το πολύ μεγαλύτερο ρεύμα αυξάνεται



Διαδρομή ρεύματος

$$I_E = I_B + I_C$$

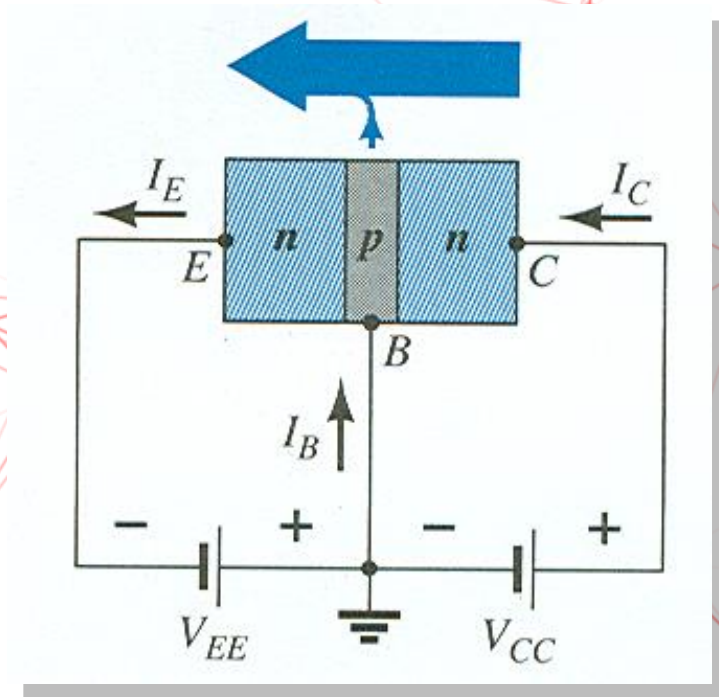
Αρχή λειτουργίας

Το ρεύμα του Εκπομπού καταλήγει στο Συλλέκτη και τη Βάση

$$I_E = I_C + I_B$$

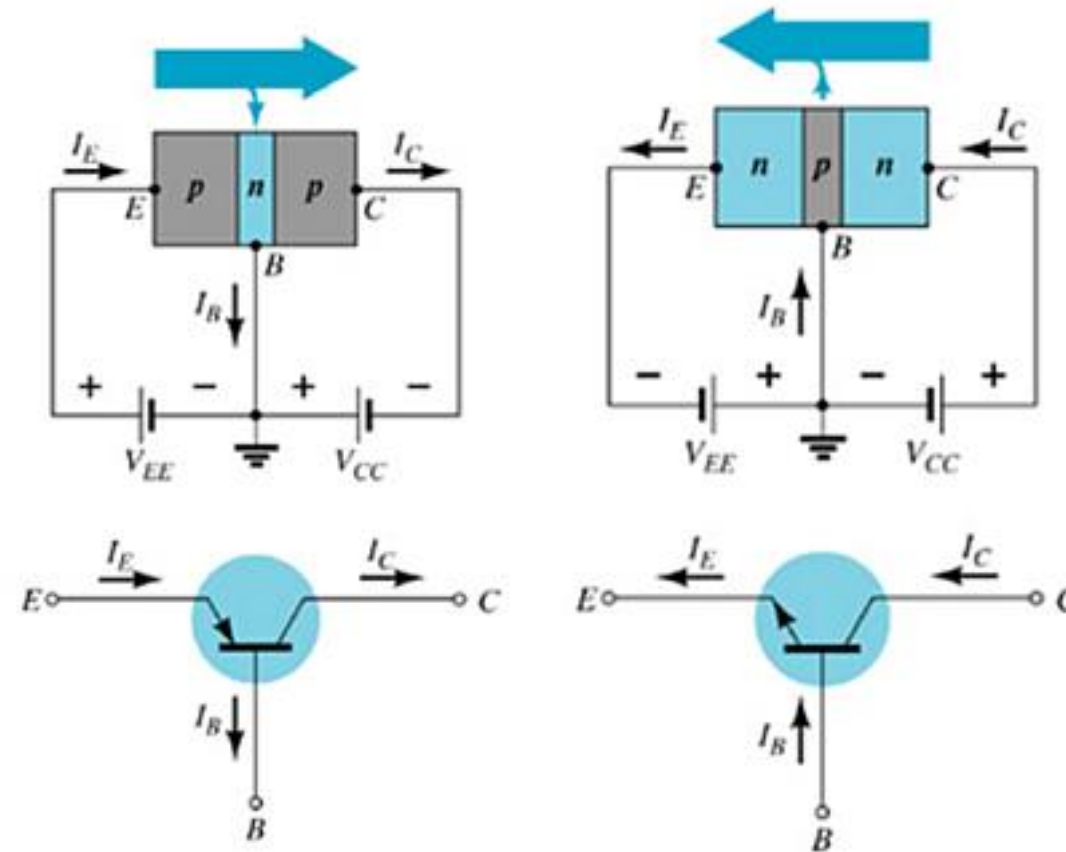
Το ρεύμα Συλλέκτη αποτελείται από ρεύμα φορέων πλειονότητας και μειονότητας:

$$I_C = I_{C_{\text{majority}}} + I_{C_{\text{minority}}}$$



Κυκλώματα Πόλωσης: Κοινής Βάσης

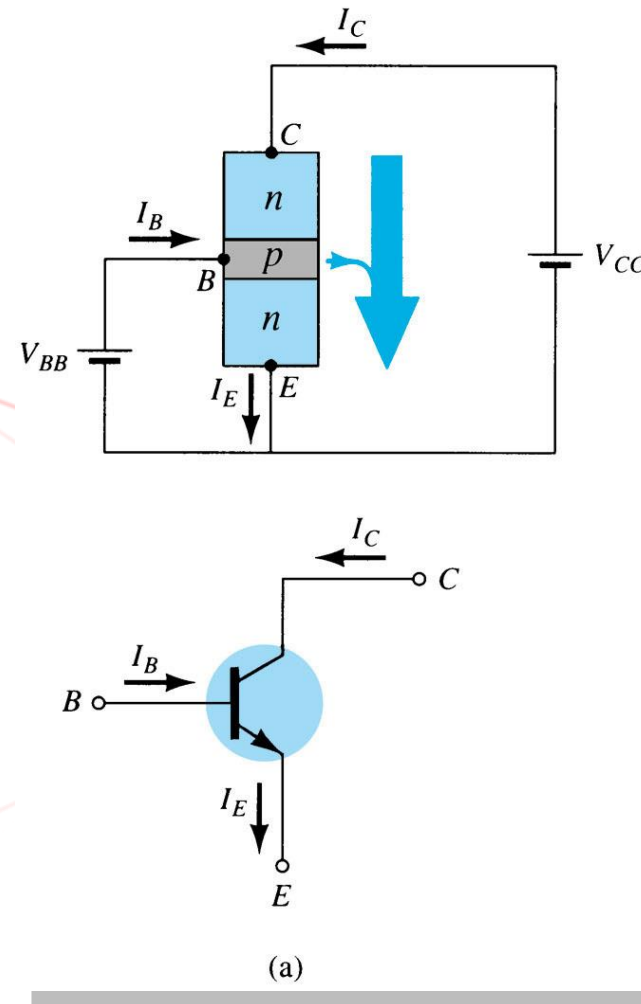
Η Βάση είναι κοινό ηλεκτρόδιο τόσο στο κύκλωμα εισόδου όσο και στην έξοδο



Κυκλώματα Πόλωσης: Κοινού Εκπομπού

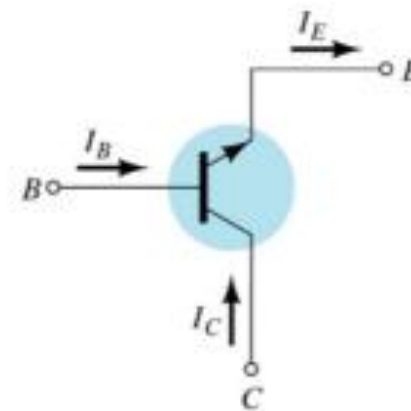
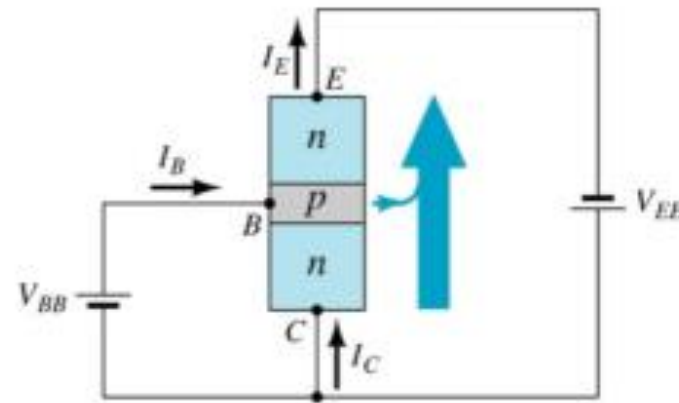
Ο Εκπομπός είναι κοινός μεταξύ εισόδου (B-E) και εξόδου (E-C).

Η είσοδος είναι στη Βάση και η έξοδος στο Συλλέκτη

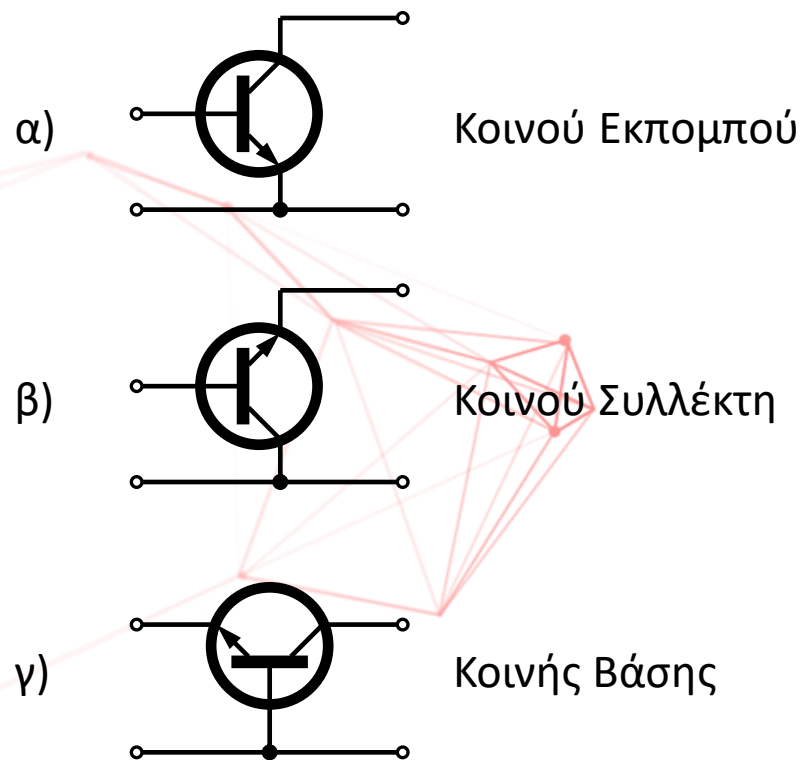


Κυκλώματα Πόλωσης: Κοινού Συλλέκτη

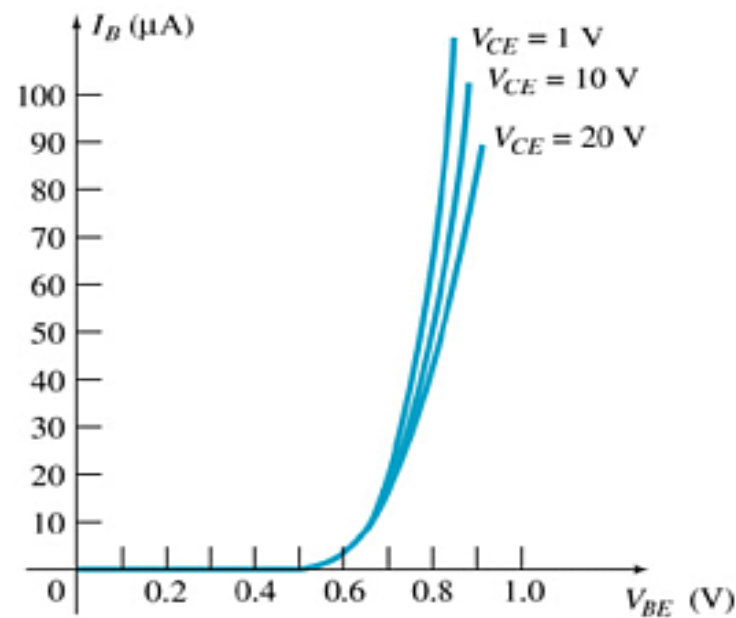
Είσοδος στη βάση
Έξοδος στον Εκπομπό
Κοινός ο Συλλέκτης



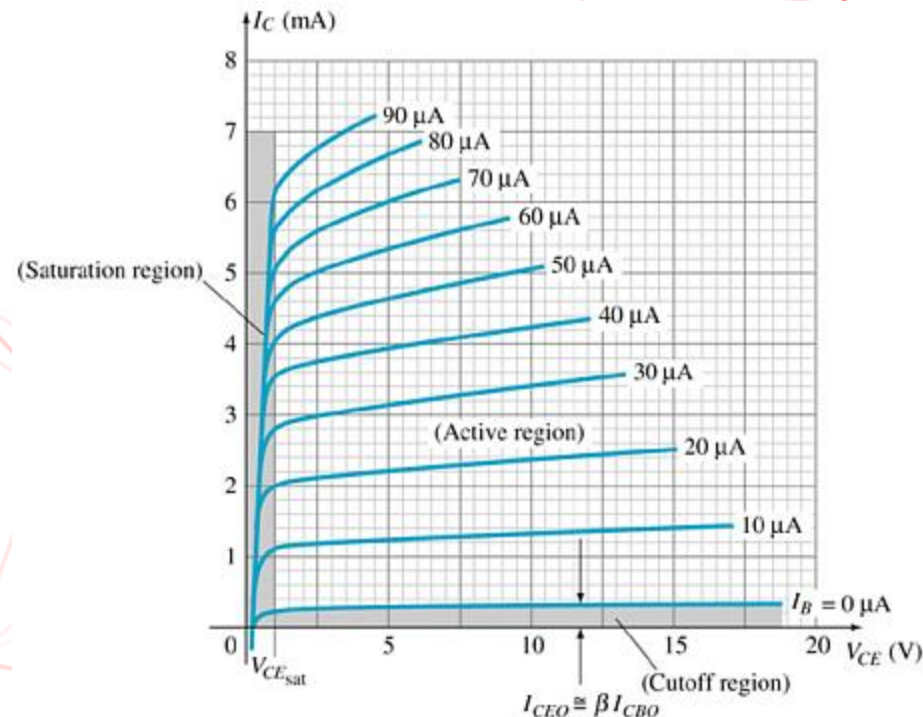
Κυκλώματα Πόλωσης: Σύνοψη



Χαρακτηριστικές Καμπύλες - Λειτουργία

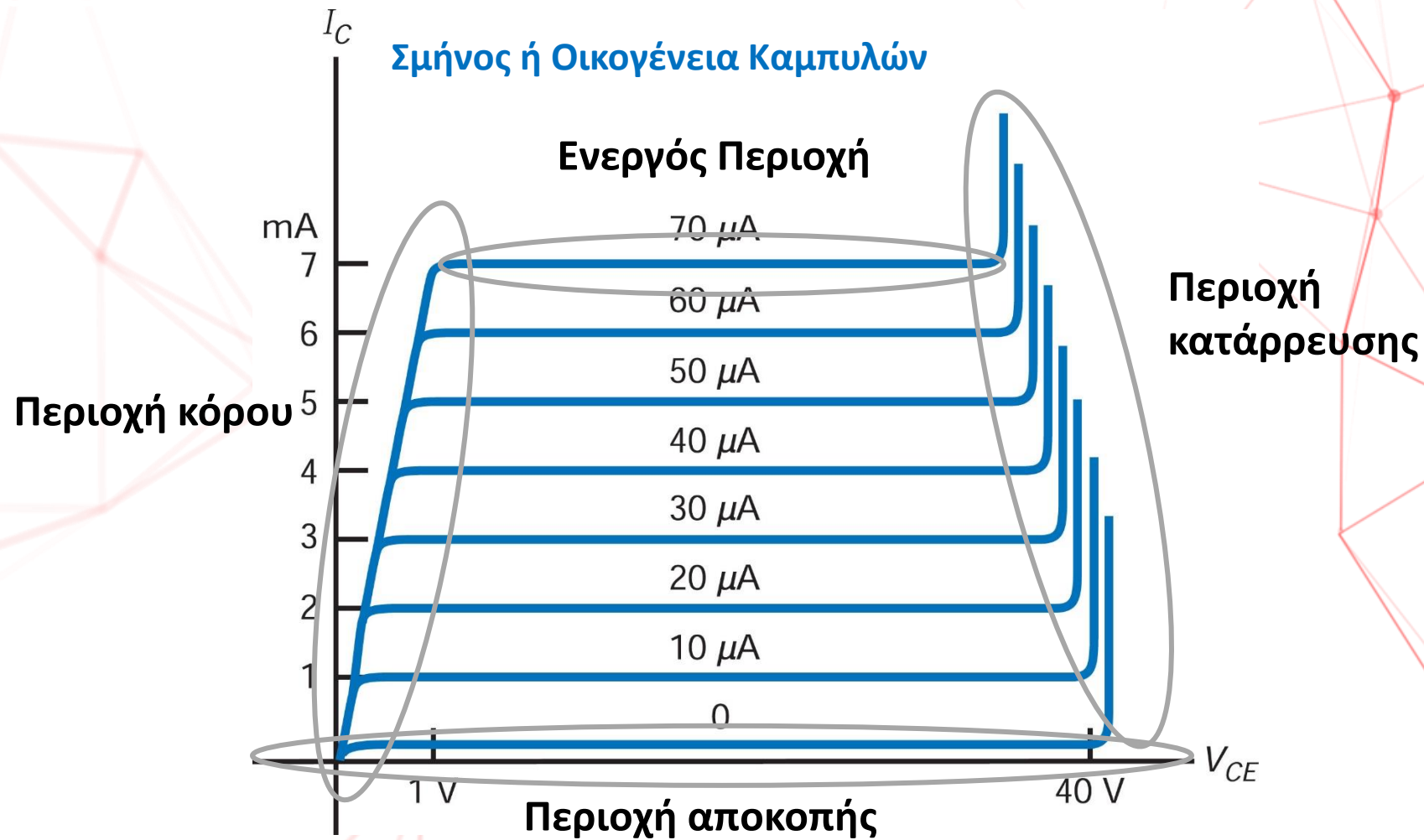


Χαρακτηριστικές Βάσης
(Εισόδου)

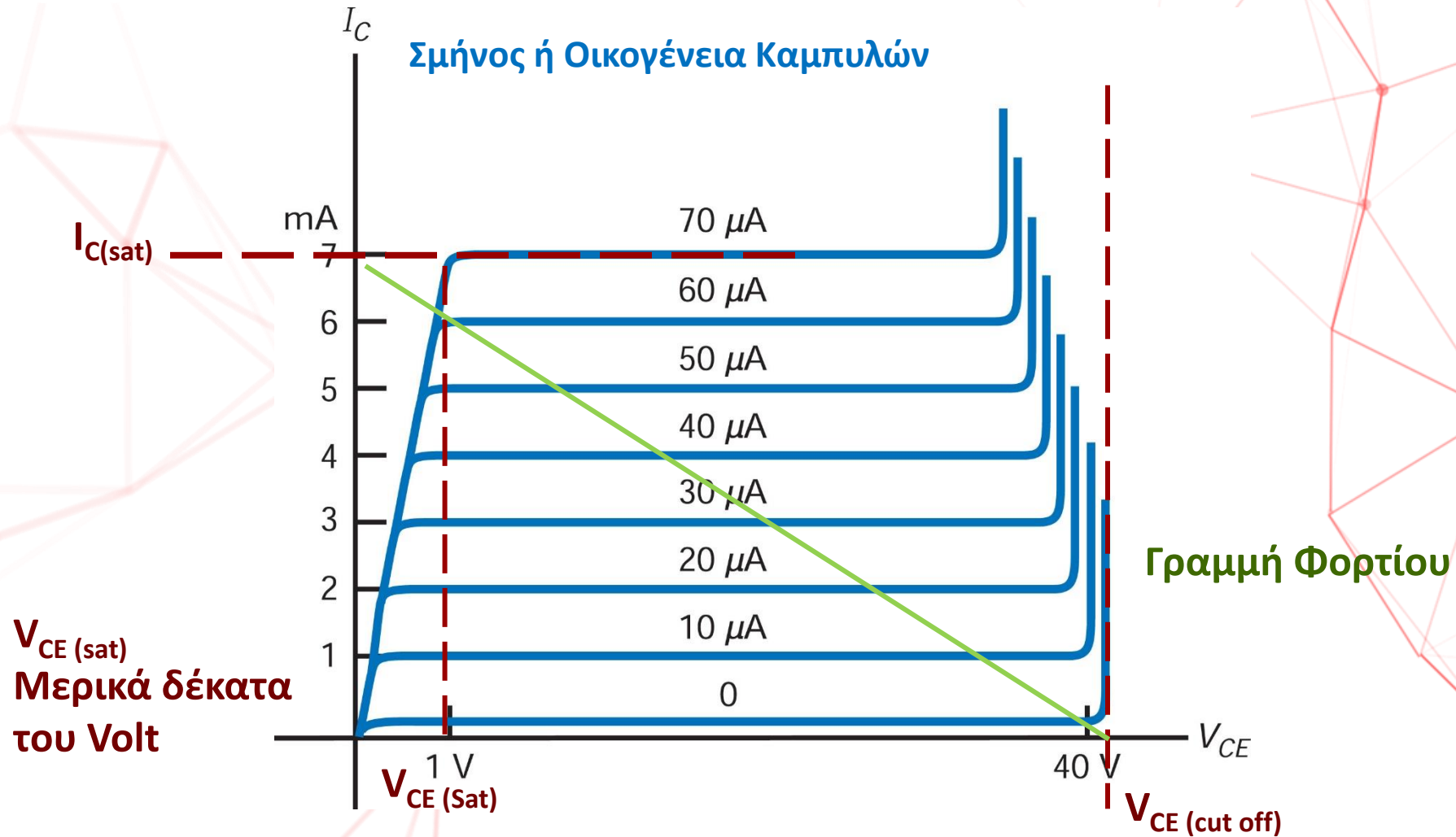


Χαρακτηριστικές Συλλέκτη
(Εξόδου)

Χαρακτηριστικές Καμπύλες - Λειτουργία



Χαρακτηριστικές Καμπύλες - Λειτουργία



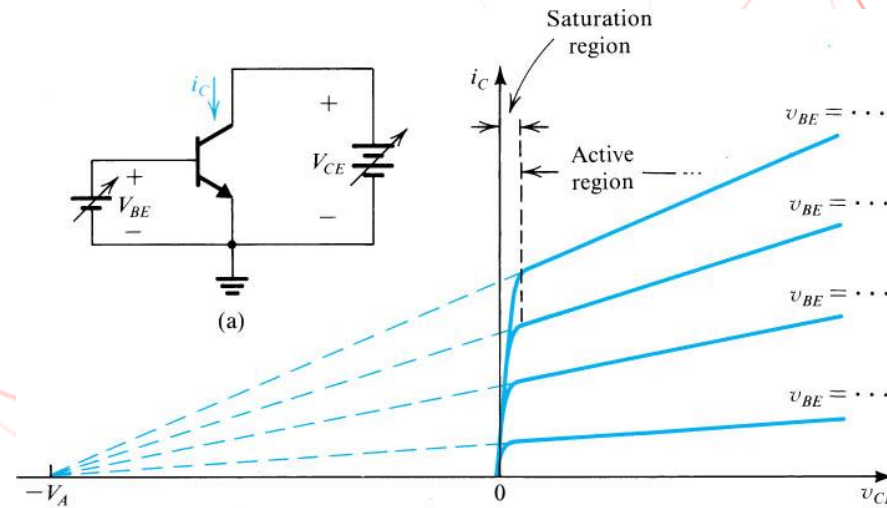
Χαρακτηριστικές Καμπύλες - Λειτουργία

$$i_C = I_S e^{v_{BE}/V_T} \left(1 + \frac{v_{CE}}{V_A}\right)$$

$$r_o \equiv \left[\frac{\partial i_C}{\partial v_{CE}} \Big|_{v_{BE} = \text{σταθ}} \right]^{-1}$$

$$r_o \cong \frac{V_A}{I_C}$$

- Φαινόμενο Early:
 - Το ρεύμα συλλέκτη στην πράξη εξαρτάται ελαφρά από την V_{CE} στην ενεργό περιοχή.
 - Η τάση Early, V_A , είναι χαρακτηριστικό του τρανζίστορ (50 ως 100).
 - Μη μηδενική κλίση σημαίνει πεπερασμένη αντίσταση εξόδου, r_o .
- Για μικρές τιμές της V_{CE} η επαφή συλλέκτη-βάσης πολώνεται ορθά και το τρανζίστορ μπαίνει στον κόρο.



Χαρακτηριστικές Καμπύλες - Λειτουργία

1. **Περιοχή αποκοπής:** Είναι η περιοχή ανάμεσα από την καμπύλη για $I_B=0$ και τον άξονα V_{CE} . Η επαφή B-E δεν είναι πολωμένη ορθά ή είναι, αλλά η τάση V_{BE} δεν έχει ξεπεράσει το φράγμα δυναμικού ($I_B=0, I_C=0$)
2. **Περιοχή Κόρου:** Η τάση V_{BE} είναι ορθά πολωμένη και άγει. Η τάση V_{CE} δεν έχει αρκετά μεγάλη τιμή για να συλλέξει όλα τα ηλεκτρόνια.
3. **Ενεργός περιοχή:** Η τάση V_{BE} είναι ορθά πολωμένη και άγει. Όσο και να αυξάνει η τάση V_{CE} το ρεύμα I_C παραμένει σταθερό. Στην περιοχή αυτή ισχύει $I_C=\beta I_B$.
4. **Περιοχή κατάρρευσης:** Αποτελούν τα τμήματα που εκφράζουν την απότομη αύξηση του ρεύματος I_C . Η τάση V_{CE} έχει πάρει **μεγάλες τιμές**, με συνέπεια τα ηλεκτρόνια να δέχονται μεγάλη επιτάχυνση (φαινόμενο της “χιονοστιβάδας”)

Χαρακτηριστικές Καμπύλες - Λειτουργία

Περιοχή λειτουργίας	Πόλωση	
	Δίοδος ΒΕ	Δίοδος ΒC
Αποκοπή	ανάστροφα	ορθά
Περιοχή Κόρου	ορθά	ορθά
Ενεργός Περιοχή	ορθά	ανάστροφα
Ενεργός Κατάρρευσης	Πολύ μεγάλη V_{cc}	

Χαρακτηριστικές Καμπύλες - Λειτουργία

Σε ποια περιοχή λειτουργεί το Τρανζίστορ;

Μεθοδολογία Επίλυσης Ασκήσεων

- Θεωρούμε ότι το τρανζίστορ λειτουργεί στην ενεργό περιοχή (θεωρούμε την $V_{BE} = 0.7V$)
- Βρίσκουμε το ρεύμα I_B και την V_{BC}
 - Αν $I_B > 0$ και $V_{BC} < 0$ τότε όντως λειτουργεί στην ενεργό περιοχή
 - Αν $I_B > 0$ και $V_{BC} > 0$ τότε λειτουργεί στον κόρο
 - Αν $I_B < 0$ λειτουργεί στην αποκοπή

Ρεύματα

Ρεύματα Εκπομπού – Συλλέκτη - Βάσης:

$$I_E = I_C + I_B$$

$$I_C \cong I_E \quad \text{Προσεγγιστικά}$$

$$I_B \ll I_C$$

Σχέσεις μεταξύ παραμέτρων β and α

$$\alpha = \frac{\beta}{\beta + 1} \quad \beta = \frac{\alpha}{\alpha - 1}$$

Σχέσεις Ρευμάτων

$$I_C = \beta I_B$$

$$I_E = (\beta + 1) I_B$$

Παράμετρος β

Σε DC λειτουργία: $\beta_{dc} = \frac{I_C}{I_B}$

Η παράμετρος β αντιπροσωπεύει την ενισχυτική δράση του transistor

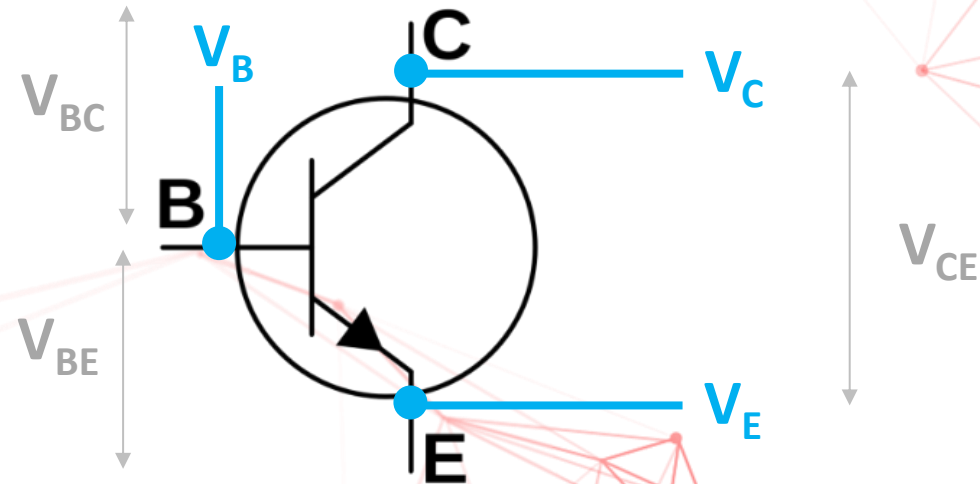
Παράμετρος α

Σε DC λειτουργία: $\alpha_{dc} = \frac{I_C}{I_E}$

Ιδανικά: $\alpha = 1$

Πραγματικά: $0.9 < \alpha < 0.998$

Διαφορές δυναμικού



Διαφορές Δυναμικού

$$V_{BE} = V_B - V_E$$

$$V_{CE} = V_C - V_E$$

$$V_{BC} = V_B - V_C$$

Ισχύς

ΚΒ $P_{Cmax} = V_{CB} I_C$

ΚΕ $P_{Cmax} = V_{CE} I_C$

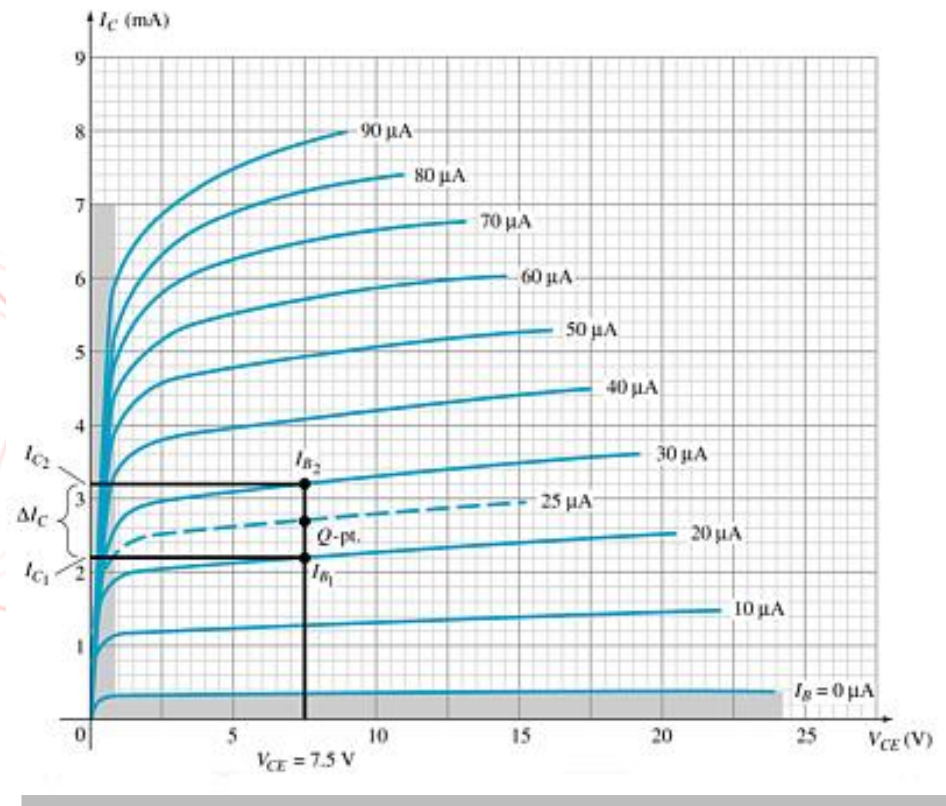
ΚΣ $P_{Cmax} = V_{CE} I_E$

Γραφικός Υπολογισμός παραμέτρου β

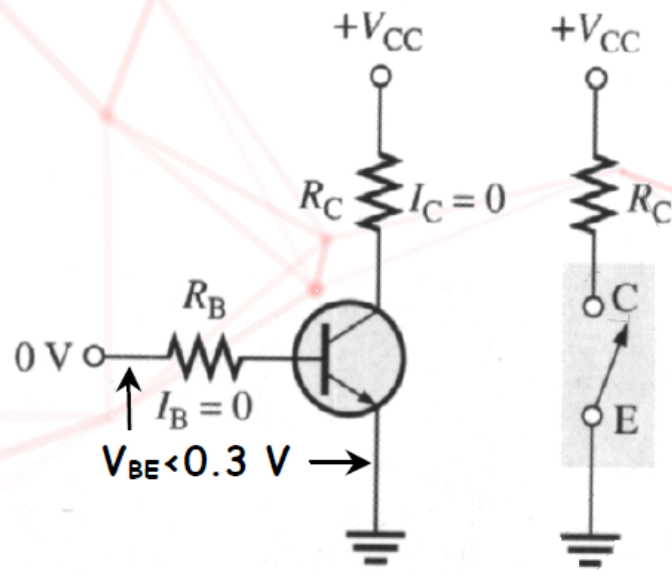
Υπολογίζοντας τη β απο τις I-V

$$\begin{aligned}\beta_{AC} &= \frac{(3.2 \text{ mA} - 2.2 \text{ mA})}{(30 \mu\text{A} - 20 \mu\text{A})} \\ &= \frac{1 \text{ mA}}{10 \mu\text{A}} \Big|_{V_{CE}=7.5} \\ &= 100\end{aligned}$$

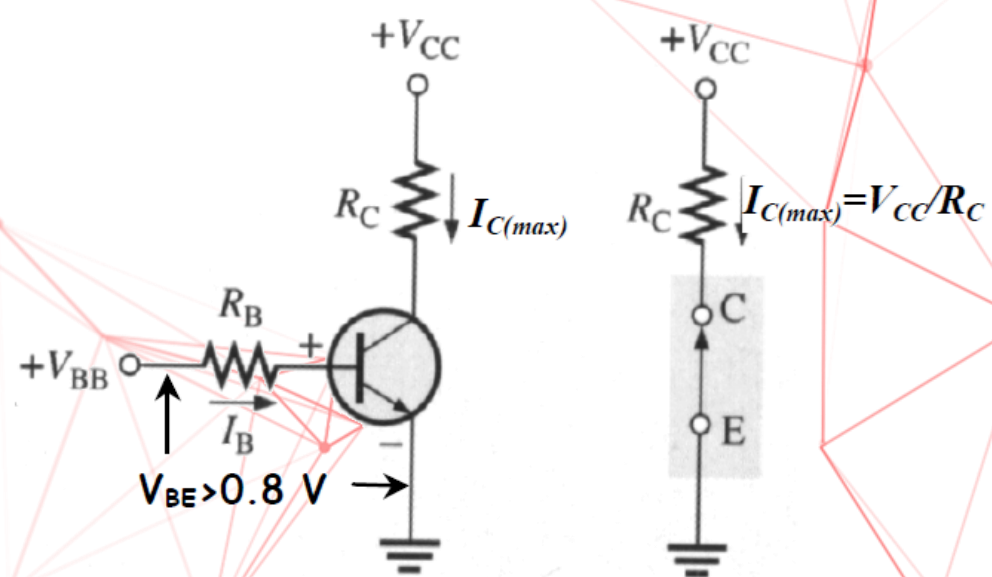
$$\begin{aligned}\beta_{DC} &= \frac{2.7 \text{ mA}}{25 \mu\text{A}} \Big|_{V_{CE}=7.5} \\ &= 108\end{aligned}$$



Εφαρμογές Τρανζίστορ

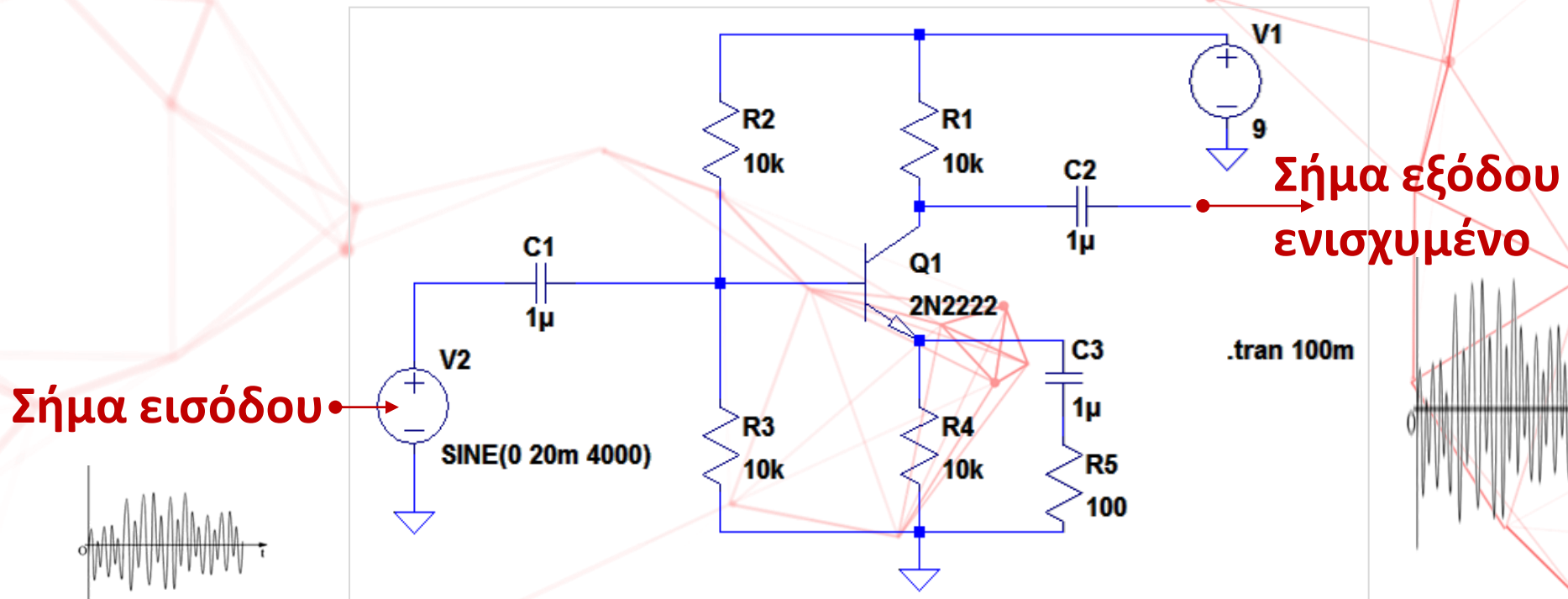


A. Κατάσταση αποκοπής:
Ανοιχτός Διακόπτης



B. Κατάσταση κόρου:
Κλειστός Διακόπτης

Εφαρμογές Τρανζίστορ



Εφαρμογές Τρανζίστορ

- Το τρανζίστορ λειτουργεί με βάση τον κώδικα (binary code 0 & 1 on-off)
- Σε ένα μικρό chip μπορεί να εκτελέσει χιλιάδες οδηγίες το δευτερόλεπτο

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Αυτοκίνητα
Τηλεοράσεις
Ηλεκτρονικούς Υπολογιστές
Ιατρικά εργαλεία
Διαστημικά Λεωφορεία

