

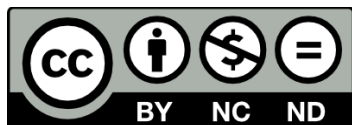


# ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ Ι

## Ενότητα 6: Διπολικό τρανζίστορ (BJT)

Χατζόπουλος Αλκιβιάδης

Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχ. Υπολογιστών



# 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.



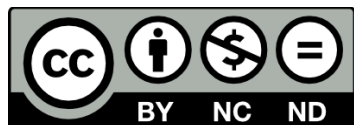
# Σχεδιασμός ενοτήτων:

- 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





# ΔΙΠΟΛΙΚΟ ΤΡΑΝΖΙΣΤΟΡ (BJT)



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



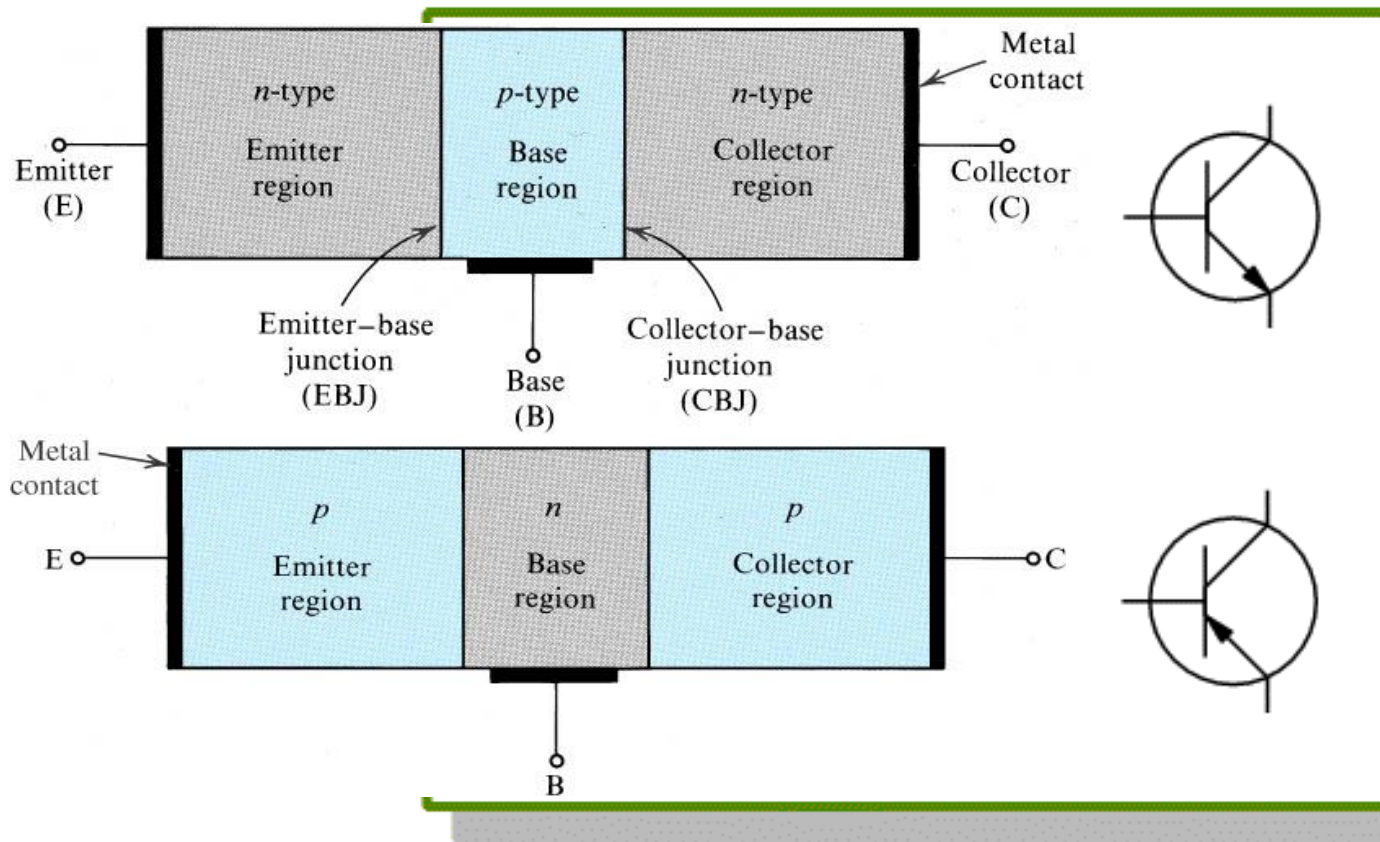
ΕΣΠΑ  
2007-2013  
πρόγραμμα για την ανάπτυξη  
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

# Περιεχόμενα ενότητας

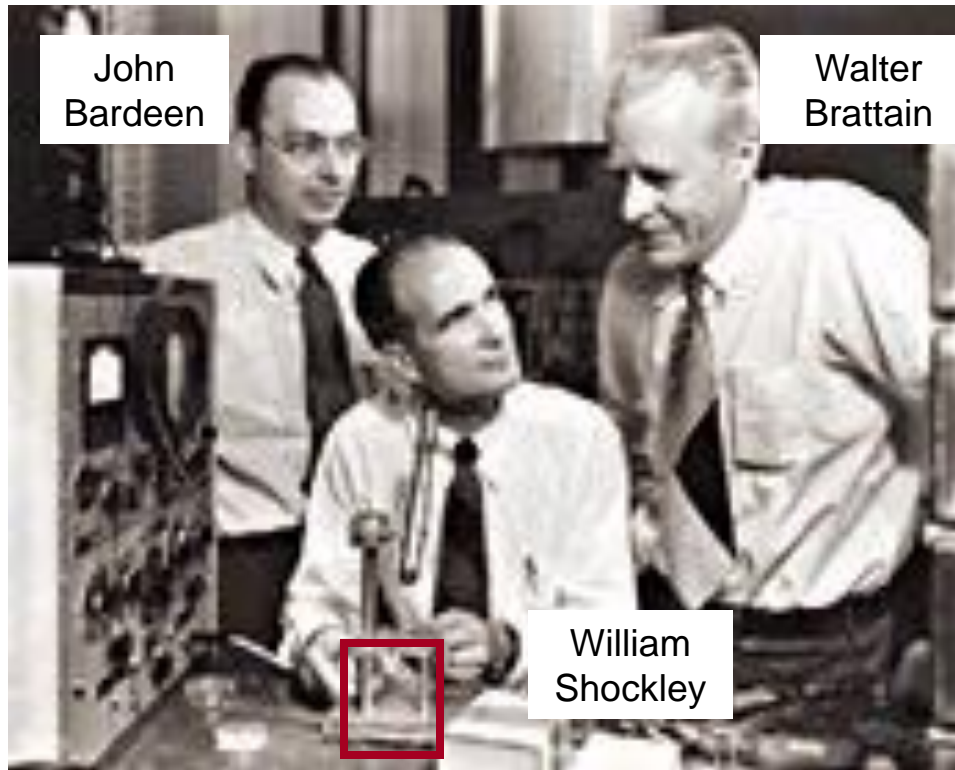
1. Εισαγωγή – διπολικό τρανζίστορ BJT, δομή (διαφ. 7- 11)
2. Ρεύματα στο διπολικό τρανζίστορ (διαφ. 12- 15)
3. Οριζόντιο BJT – περιοχές λειτουργίας και συνδεσμολογίες (διαφ. 16- 19)
4. Χαρακτηριστικές λειτουργίας (διαφ. 20- 21)



# Διπολικό τρανζίστορ επαφής (bipolar junction transistor, BJT) (1/5)

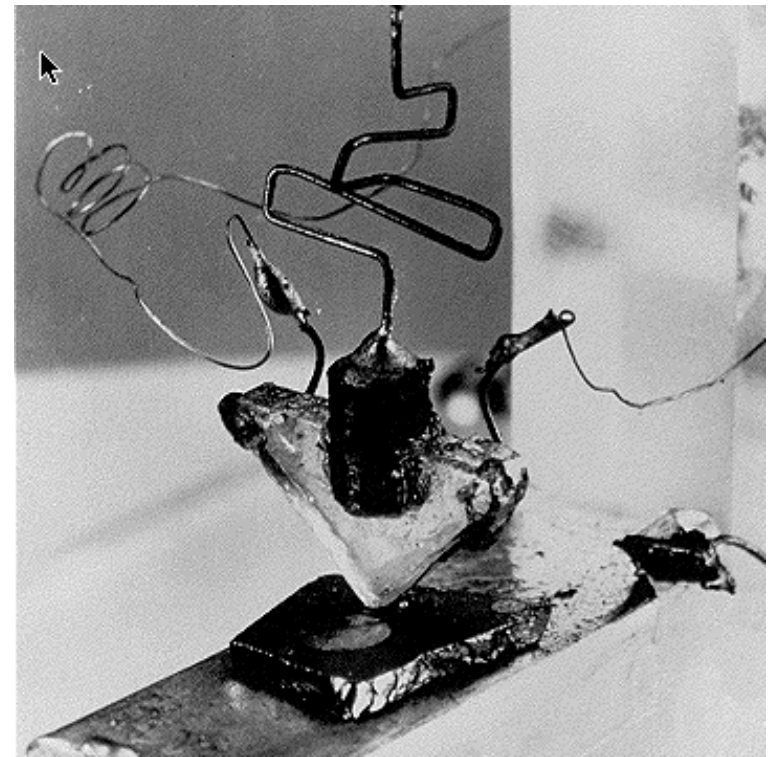


# Διπολικό τρανζίστορ επαφής (bipolar junction transistor, BJT) (2/5)



Εικόνα 1: Δεκέμβριος 1947

Bell Laboratories in Murray Hill, NJ



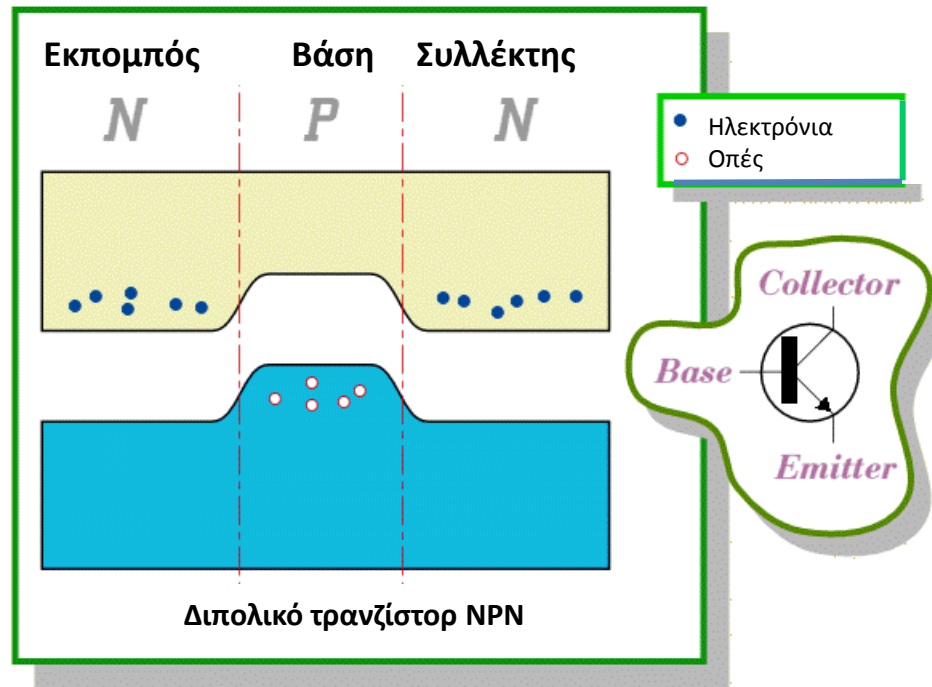
Εικόνα 2: Τρανζίστορ Γερμανίου

**Βραβείο Nobel Φυσικής, 1956**





# Διπολικό τρανζίστορ επαφής (bipolar junction transistor, BJT) (3/5)



Υλικό κατασκευής: γερμάνιο ή πυρίτιο

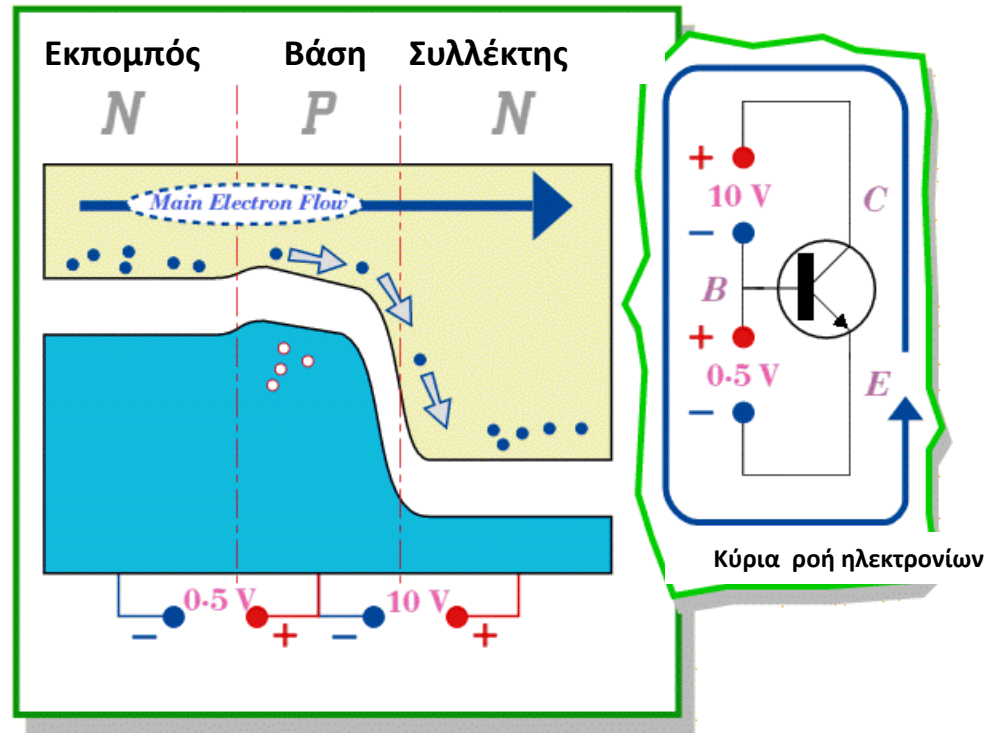
Ποσοστό προσμίξεων βάσης πολύ μικρότερο από εκπομπού ή συλλέκτη (20-100 φορές).



# Διπολικό τρανζίστορ επαφής (bipolar junction transistor, BJT) (4/5)

Κανονική λειτουργία τρανζίστορ: Β-Σ ανάστροφη πόλωση

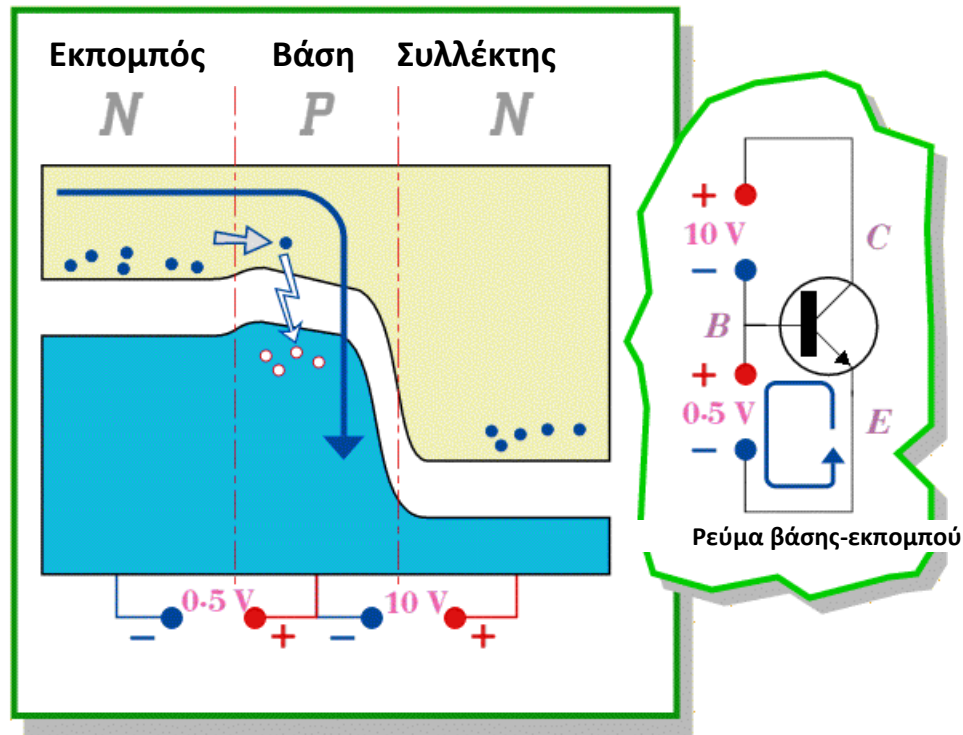
Β-Ε ορθή πόλωση



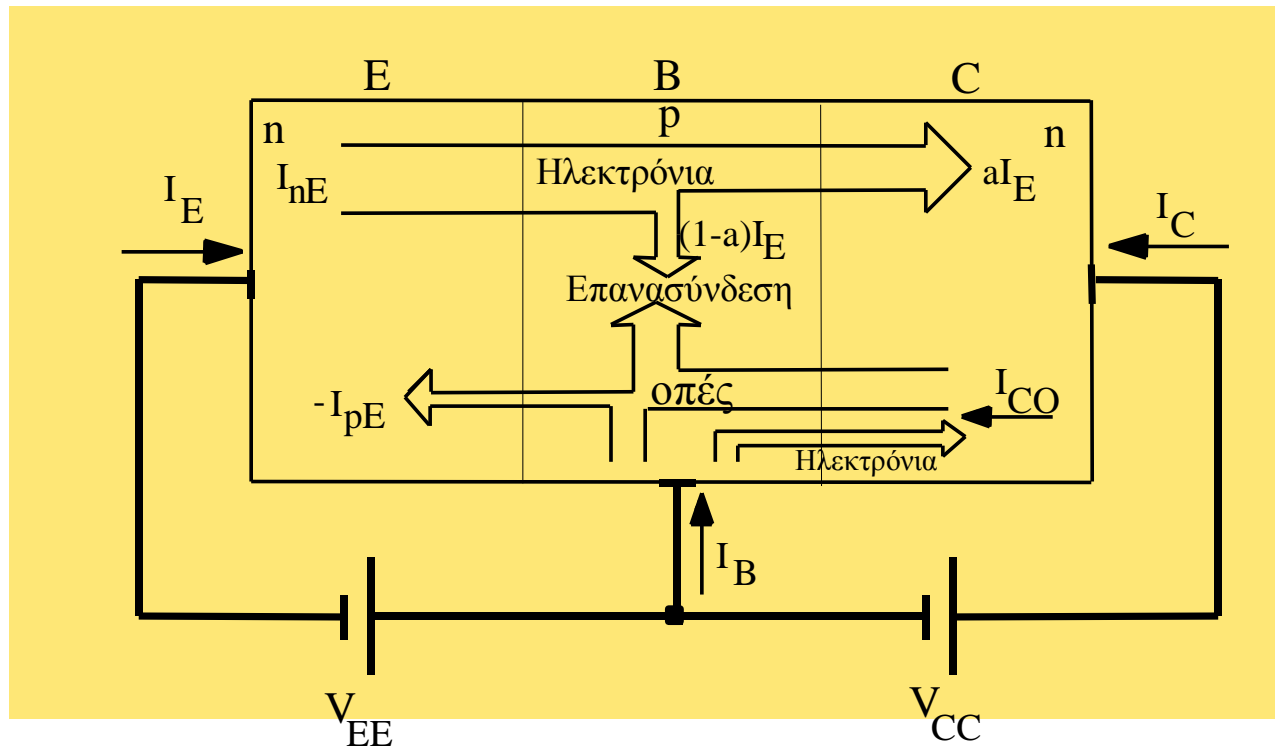
# Διπολικό τρανζίστορ επαφής (bipolar junction transistor, BJT) (5/5)

Κανονική λειτουργία τρανζίστορ: Β-Σ ανάστροφη πόλωση

Β-Ε ορθή πόλωση



# Τα ρεύματα σε τρανζίστορ npn (1/2)



$$\text{Στο C: } I_C + aI_E - I_{CO} = 0 \quad \Rightarrow \quad I_C = -aI_E + I_{CO}$$

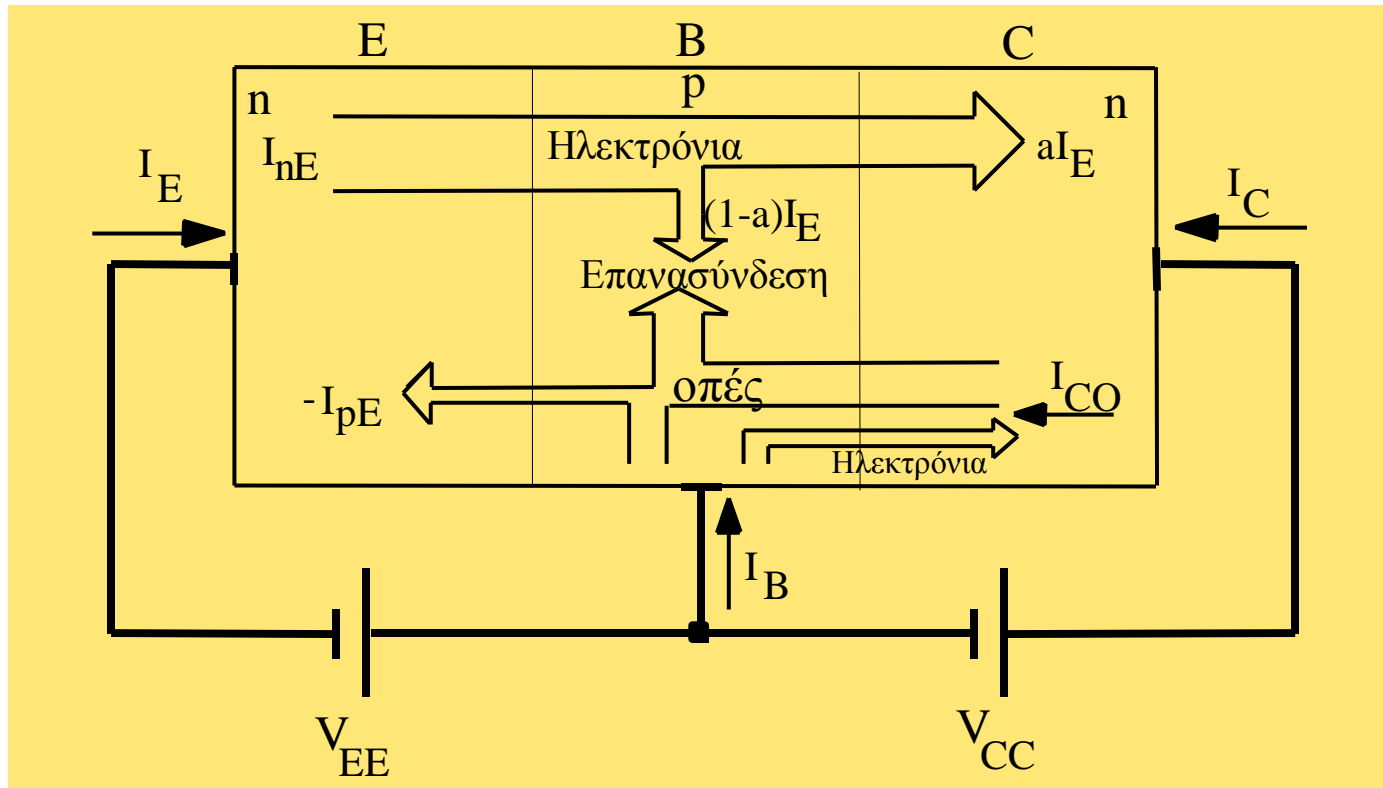
$$\text{Στη B: } I_B + (1-a)I_E + I_{CO} = 0 \quad \Rightarrow \quad I_E = -I_B / (1-a) - I_{CO} / (1-a)$$

$$\text{Συντελεστής } \mathbf{a} = -(I_C - I_{CO}) / I_E$$

$$\text{Συντελεστής } \mathbf{\beta} = a / (1-a)$$



# Τα ρεύματα σε τρανζίστορ npn (2/2)



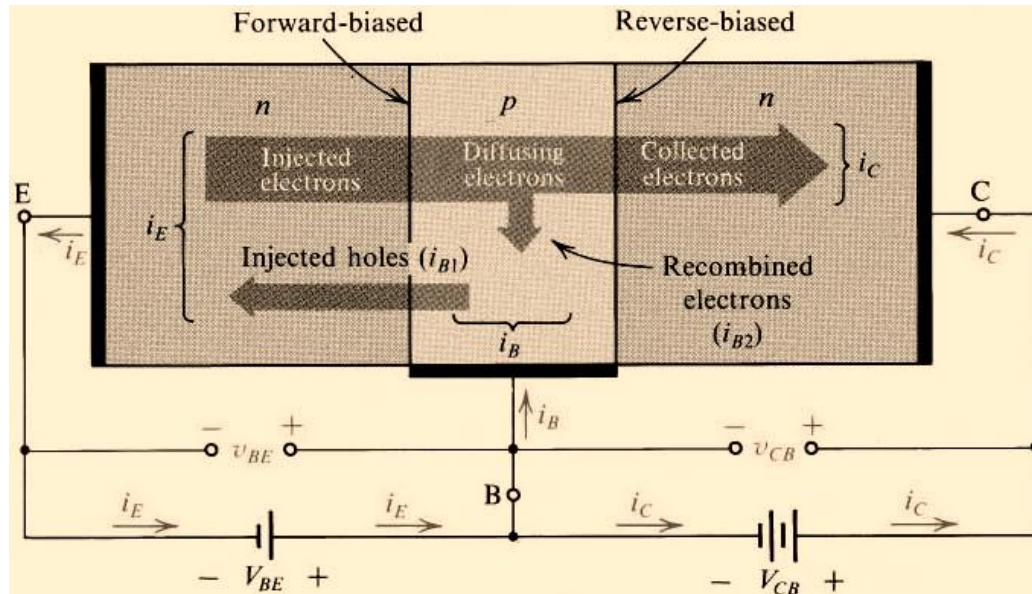
$$I_C = \beta I_B + (\beta + 1) I_{CO}$$

Για τα τρανζίστορ *πυριτίου* το  $I_{CO}$  θεωρείται **αμελητέο**, οπότε:

$$a = -I_C / I_E \quad , \quad \beta = I_C / I_B$$



# Τα ρεύματα σε τρανζίστορ πυριτίου ηρη (1/2)



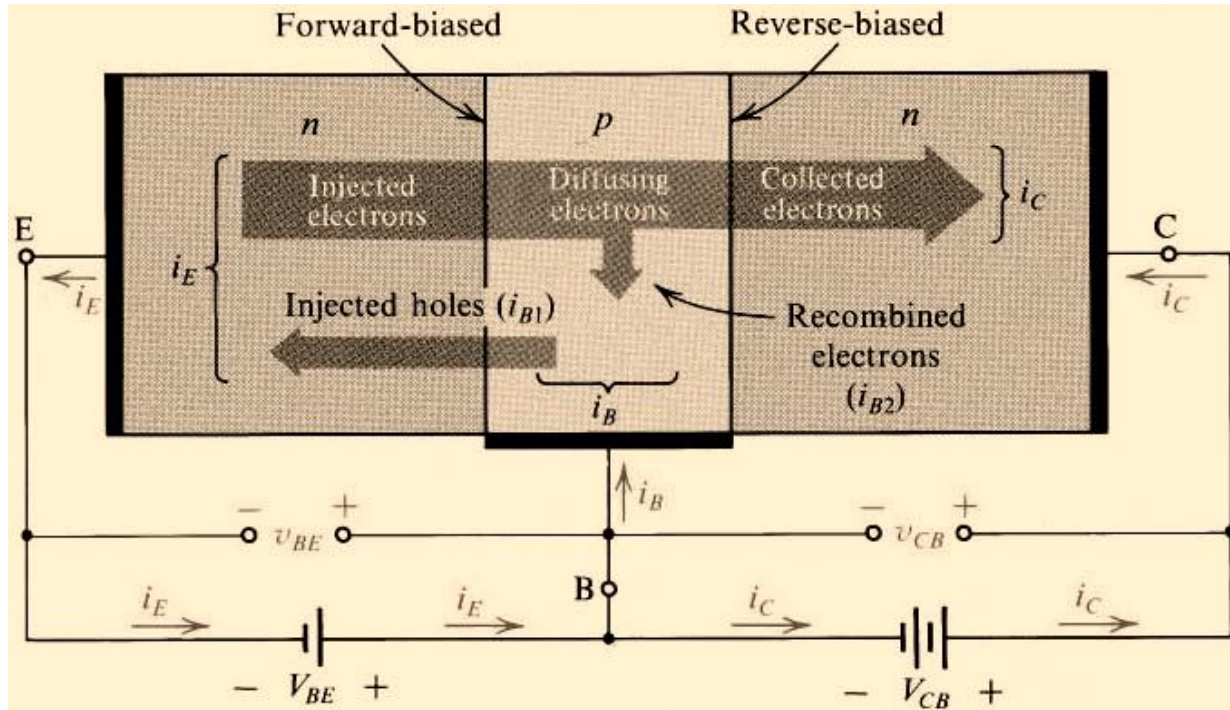
Ρεύμα συλλέκτη:  $i_C = I_S e^{v_{BE}/V_T}$   $I_S = \frac{A_E q D_n n_i^2}{N_A W}$

Ρεύμα βάσης:  $i_B = I_S \left( \frac{D_p N_A W}{D_n N_D L_p} + \frac{1}{2} \frac{W^2}{D_n \tau_b} \right) e^{v_{BE}/V_T} = \left( \frac{I_S}{\beta} \right) e^{v_{BE}/V_T}$

$\beta = 1 / \left( \frac{D_p N_A W}{D_n N_D L_p} + \frac{1}{2} \frac{W^2}{D_n \tau_b} \right)$   $I_C = \beta I_B$



# Τα ρεύματα σε τρανζίστορ πυριτίου ηρη (2/2)

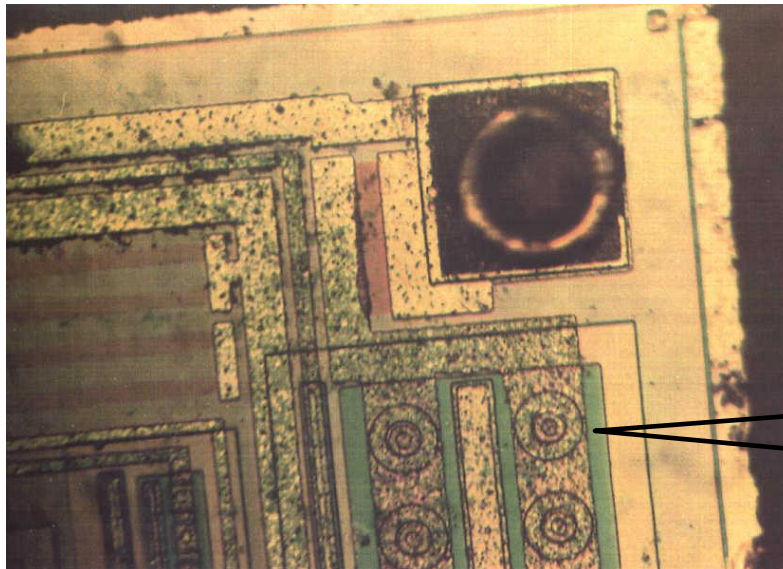
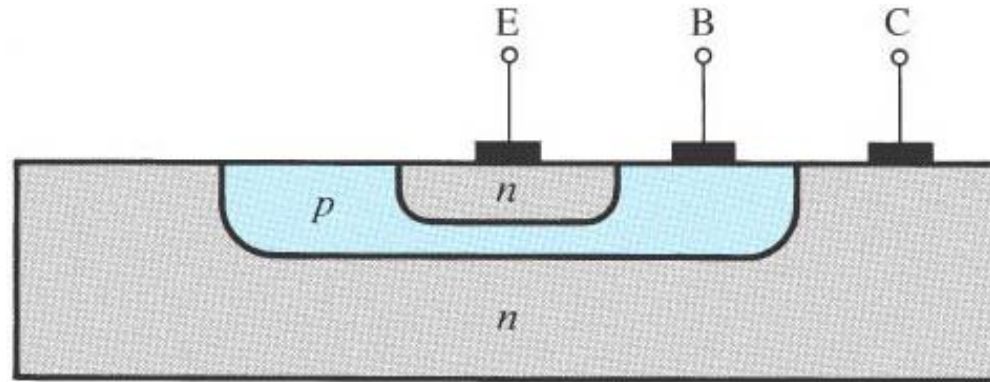


Ρεύμα εκπομπής:

$$i_E = i_C + i_B = \frac{\beta + 1}{\beta} i_C = \frac{\beta + 1}{\beta} I_S e^{v_{BE}/V_T} = (I_S/\alpha) e^{v_{BE}/V_T}$$

$$i_C = \alpha i_E \quad \alpha = \frac{\beta}{\beta + 1}$$

# Τομή τρανζίστορ npn



**Κάτοψη  
διπολικού  
τρανζίστορ**





# Σύγκριση FET-BJT

## ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΑΠΟ ΤΟ ΤΡΑΝΖΙΣΤΟΡ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΠΕΔΙΟΥ - FET

	FET	BJT
ΕΛΕΓΧΟΣ	ΑΠΟ ΤΑΣΗ	ΑΠΟ ΡΕΥΜΑ
ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ	ΔΕΚΑΔΕΣ ΜΩ (ΑΝΑΣΤΡΟΦΑ ΠΟΛΩΜΕΝΗ ΔΙΟΔΟΣ Η΄ ΠΥΚΝΩΤΗΣ)	ΧΙΛΙΑΔΕΣ Ω (ΟΡΘΑ ΠΟΛΩΜΕΝΗ ΔΙΟΔΟΣ)
ΤΥΠΟΣ ΦΟΡΕΩΝ	ΜΟΝΟ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΑ Η΄ ΜΟΝΟ ΟΠΕΣ	ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΑ ΚΑΙ ΟΠΕΣ

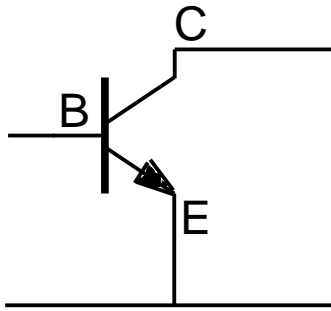


# Περιοχές λειτουργίας

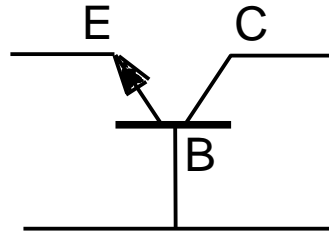
	ΠΟΛΩΣΗ ΕΠΑΦΗΣ	
	B - E	B - Σ
ΕΝΕΡΓΟΣ	ΟΡΘΗ	ΑΝΑΣΤΡΟΦΗ
ΑΠΟΚΟΠΗΣ	ΑΝΑΣΤΡΟΦΗ	ΑΝΑΣΤΡΟΦΗ
ΚΟΡΟΥ	ΟΡΘΗ	ΟΡΘΗ
ΑΝΑΣΤΡΟΦΗ	ΑΝΑΣΤΡΟΦΗ	ΟΡΘΗ



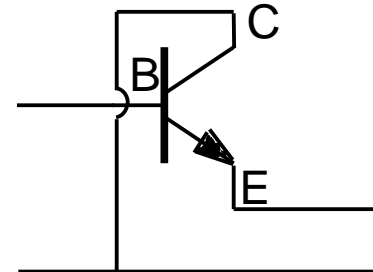
# Συνδεσμολογίες τρανζίστορ ηρη



κοινού εκπομπού



κοινής βάσης

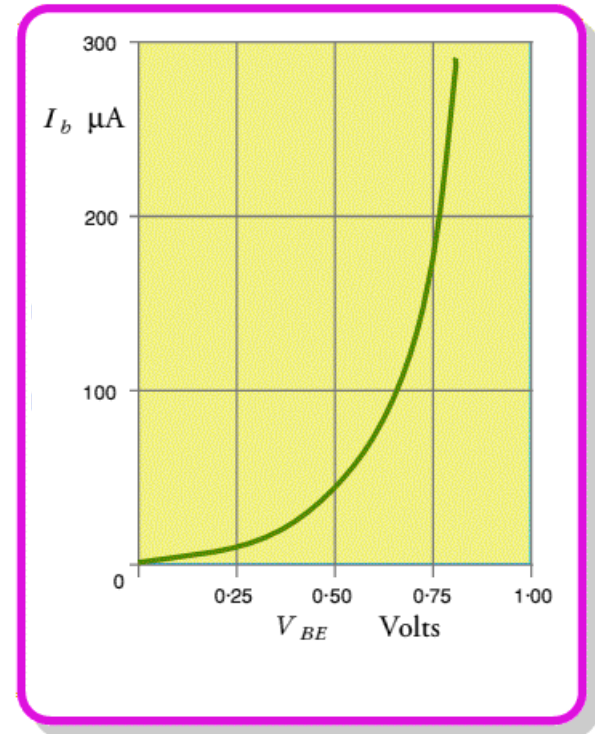
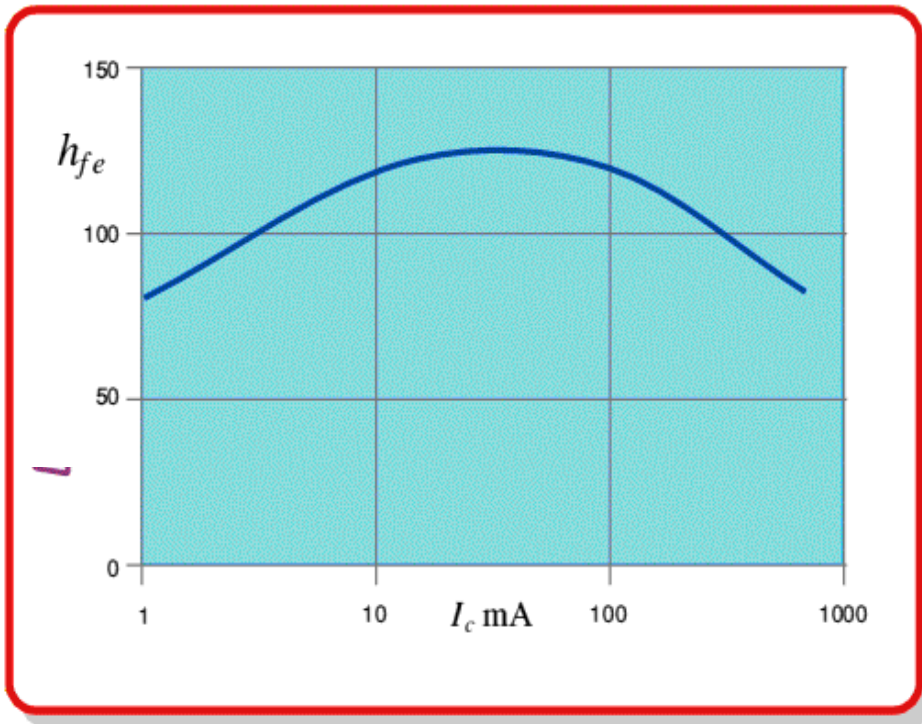


κοινού συλλέκτη



# Μεταβολή του $\beta$ με το ρεύμα

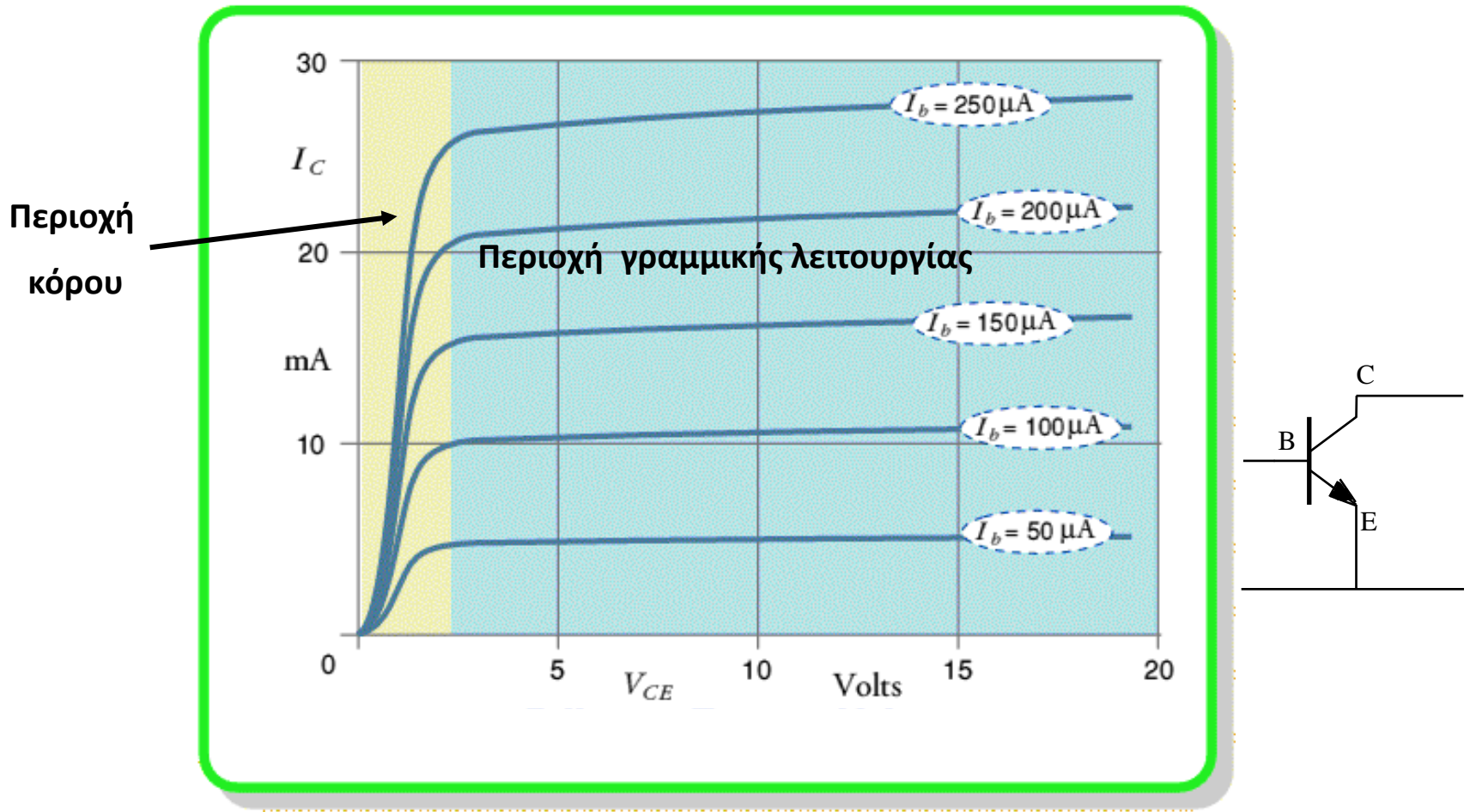
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ  $\beta$  ( $=h_{fe}$ ) ΜΕ ΤΟ ΡΕΥΜΑ  $I_c$



ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗ  $I_b - V_{BE}$



# Χαρακτηριστικές εξόδου σε συνδεσμολογία κοινού εκπομπού



# Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

- Εικόνα 1:

Δεκέμβριος 1947 Bell Laboratories in Murray Hill, NJ:

<http://home.planet.nl/~bleij326/indexenglish.html>

- Εικόνα 2:

Τρανζίστορ Γερμανίου:

<http://www.engr.sjsu.edu/WofMatE/Semiconductors.htm>



# Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Χατζόπουλος  
Αλκιβιάδης. «ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ Ι, Διπολικό τρανζίστορ (BJT)». 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/>

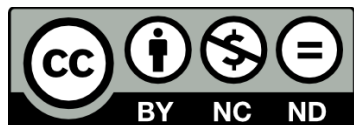






# Τέλος ενότητας

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