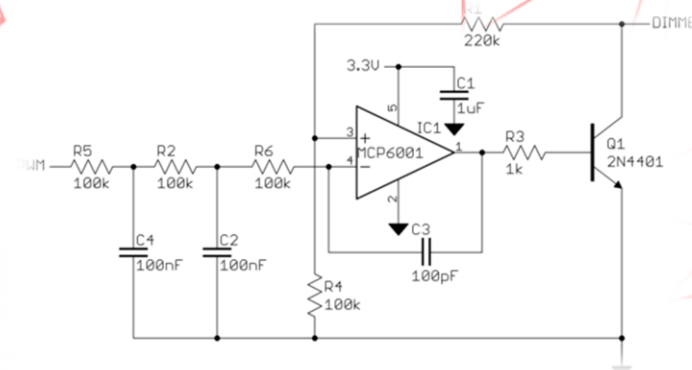
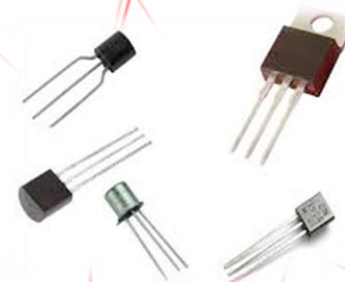
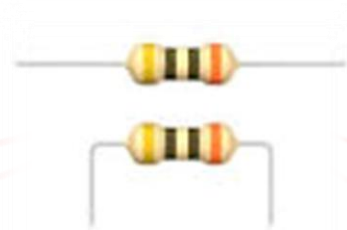
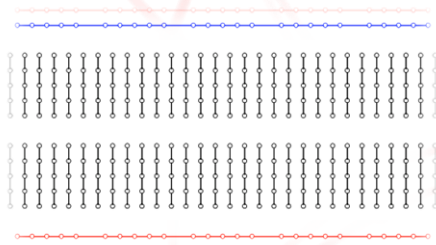


Ηλεκτρονική

➔ Νικόλαος Γιαννακέας

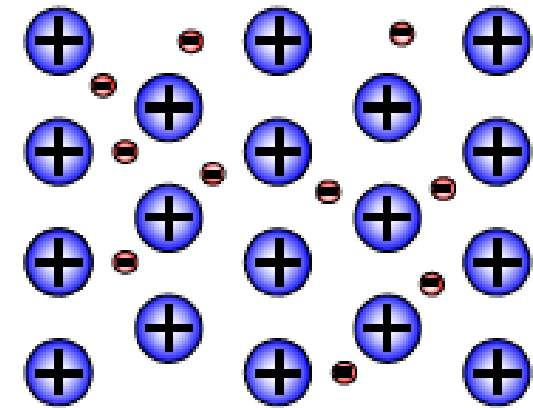


Περιεχόμενα του μαθήματος

- Ηλ. Κυκλώματα - Νόμος Ohm - Ολικές Αντιστάσεις/Πυκνωτές
- Μέθοδοι επίλυσης κυκλωμάτων
- Ημιαγωγοί – Επαφή PN
- Απλή Δίοδος
- Ειδικοί Τύποι Διόδων
- Εφαρμογές Διόδων
- Διπολικά Τρανζίστορ
- Πόλωση Τρανζίστορ
- Ενισχυτές

Εισαγωγή - Κυκλώματα - Νόμος ΟΗΜ

- Ένα μοντέλο για την εξήγηση της **ηλεκτρικής αγωγιμότητας** των μετάλλων προτάθηκε από τον **P. Drude** το 1900
- Σε ένα μέταλλο τα **ηλεκτρόνια σθένους**, λόγω της χαλαρής διασύνδεσής τους με τον πυρήνα σχηματίζουν ένα **νέφος ελεύθερων ηλεκτρονίων**, κανένα από τα οποία δεν ανήκει σε συγκεκριμένο άτομο
- Τα ηλεκτρόνια αυτά μπορούν να κινηθούν ανάμεσα στα εναπομένοντα **θετικά φορτισμένα ιόντα**, που αποτελούνται από τους πυρήνες των ατόμων & τα ισχυρά συνδεδεμένα προς αυτούς ηλεκτρόνια των εσωτερικών τροχιών (στιβάδων)



Εισαγωγή - Κυκλώματα - Νόμος ΟΗΜ

Periodic System of Elements

Dimitri Mendeleev (1869)

IA 1 1.01 H Hydrogen 1s¹

IIA 2 4.00 He Helium 1s²

3 6.94 Li Lithium 2s¹ 4 9.01 Be Beryllium 2s²

11 23.0 Na Sodium 3s¹ 12 24.3 Mg Magnesium 3s²

IIIB 19 39.1 K Potassium 4s¹ **IVB** 20 40.1 Ca Calcium 4s² **VB** 21 45.0 Sc Scandium 3d¹4s² **VIB** 22 47.9 Ti Titanium 3d²4s² **VIB** 23 50.9 V Vanadium 3d³4s² **VIB** 24 52.0 Cr Chromium 3d⁵4s¹ **VIB** 25 54.9 Mn Manganese 3d⁵4s² **VIB** 26 55.9 Fe Iron 3d⁶4s² **VIB** 27 58.9 Co Cobalt 3d⁷4s² **VIB** 28 58.7 Ni Nickel 3d⁸4s² **VIB** 29 63.5 Cu Copper 3d¹⁰4s¹ **VIB** 30 65.4 Zn Zinc 3d¹⁰4s²

31 69.7 Ga Gallium 4s²4p¹ 32 72.6 Ge Germanium 4s²4p² 33 74.9 As Arsenic 4s²4p³ 34 79.0 Se Selenium 4s²4p⁴ 35 79.9 Br Bromine 4s²4p⁵ 36 83.8 Kr Krypton 4s²4p⁶

37 85.5 Rb Rubidium 5s¹ 38 87.6 Sr Strontium 5s² 39 88.9 Y Yttrium 4d¹5s² 40 91.2 Zr Zirconium 4d²5s² 41 92.9 Nb Niobium 4d⁴5s¹ 42 95.9 Mo Molybdenum 4d⁵5s¹ 43 98 Tc Technetium 4d⁵5s² 44 101 Ru Ruthenium 4d⁷5s¹ 45 103 Rh Rhodium 4d⁸5s¹ 46 106 Pd Palladium 4d¹⁰ 47 108 Ag Silver 4d¹⁰5s¹ 48 112 Cd Cadmium 4d¹⁰5s² 49 114.5 In Indium 5s²5p¹ 50 118.7 Sn Tin 5s²5p² 51 122 Sb Antimony 5s²5p³ 52 127.8 Te Tellurium 5s²5p⁴ 53 127 I Iodine 5s²5p⁵ 54 131 Xe Xenon 5s²5p⁶

55 133 Cs Cesium 6s¹ 56 137 Ba Barium 6s² 57 139 La* Lanthanum 5d¹6s² 58 140 Ce Cerium 4f¹5d¹6s² 59 141 Pr Praseodymium 4f³6s² 60 144 Nd Neodymium 4f⁴6s² 61 145 Pm Promethium 4f⁵6s² 62 150 Sm Samarium 4f⁶6s² 63 152 Eu Europium 4f⁷6s² 64 157 Gd Gadolinium 4f⁷5d¹6s² 65 159 Tb Terbium 4f⁹6s² 66 163 Dy Dysprosium 4f¹⁰6s² 67 157 Ho Holmium 4f¹¹6s² 68 167 Er Erbium 4f¹²6s² 69 169 Tm Thulium 4f¹³6s² 70 173 Yb Ytterbium 4f¹⁴6s² 71 175 Lu Lutetium 5d¹6s²

87 223 Fr Francium 7s¹ 88 226 Ra Radium 7s² 89 227 Ac** Actinium 6d¹7s² 90 232 Th Thorium 6d²7s² 91 231 Pa Protactinium 5f¹6d¹7s² 92 238 U Uranium 5f³6d¹7s² 93 237 Np Neptunium 5f⁴6d¹7s² 94 244 Pu Plutonium 5f⁶7s² 95 243 Am Americium 5f⁷7s² 96 247 Cm Curium 5f⁷6d¹7s² 97 247 Bk Berkelium 5f⁹7s² 98 251 Cf Californium 5f¹⁰7s² 99 252 Es Einsteinium 5f¹¹7s² 100 257 Fm Fermium 5f¹²7s² 101 258 Md Mendelevium 5f¹³7s² 102 259 No Nobelium 5f¹⁴7s² 103 260 Lr Lawrencium 6d¹7s²

Alkaline metals **Alkaline-earth metals**

Lanthanides* **Actinides****

Coarse metals **Elemental semiconductors** **Halogens** **Noble gases**

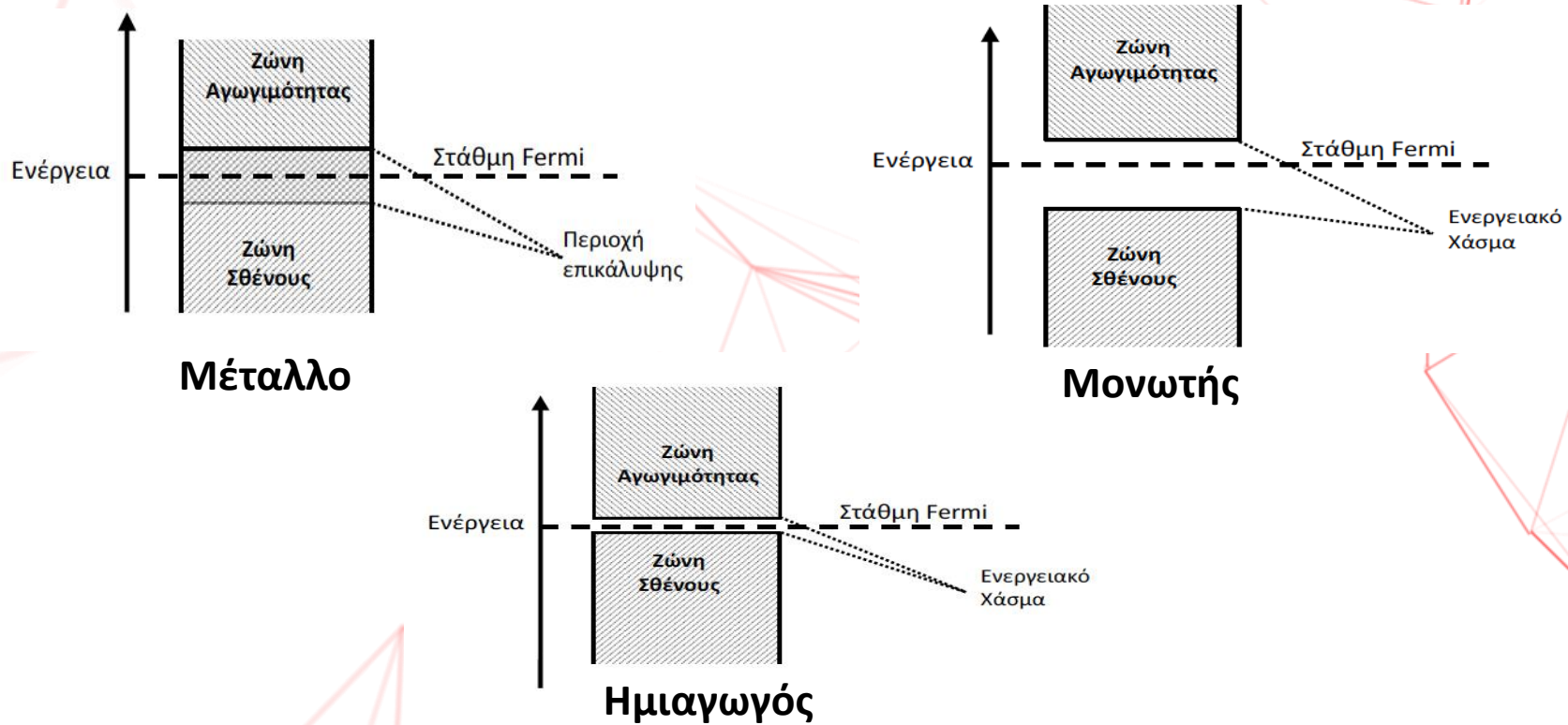
Explanation

11 23.0 Na Sodium 3s¹

Atomic weight
Atomic number (i. e. # of protons)
Outer shell electron configuration

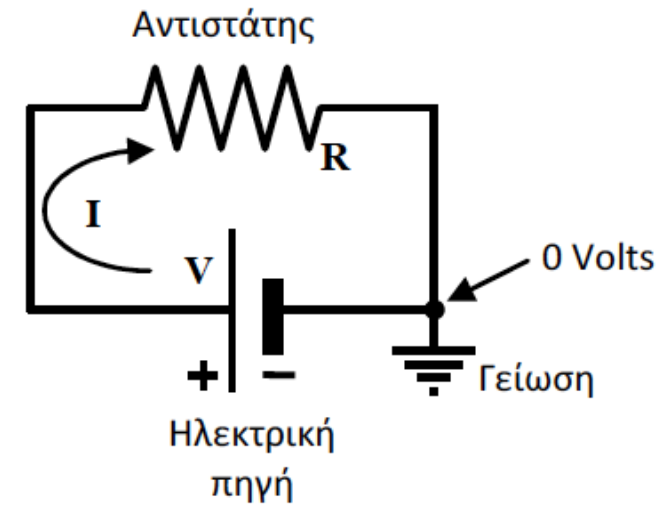
Rare-earth elements

Εισαγωγή - Κυκλώματα - Νόμος ΟΗΜ

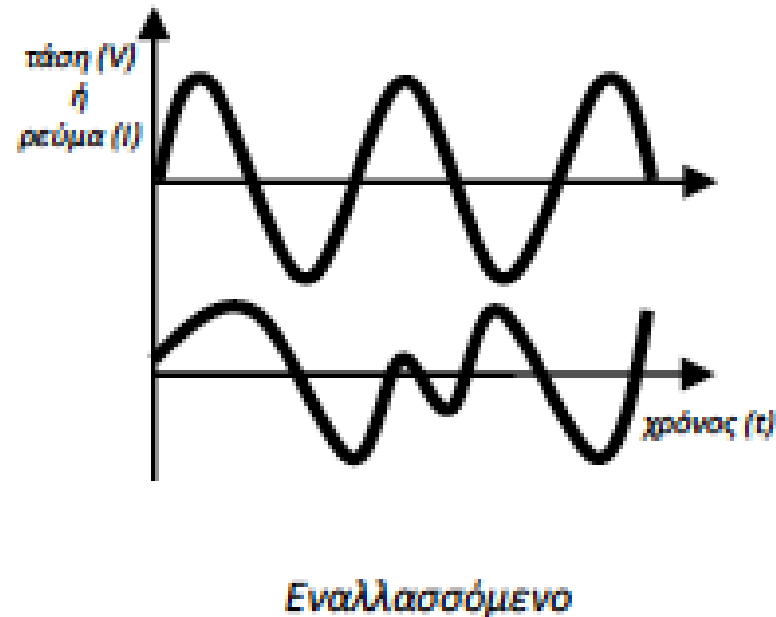
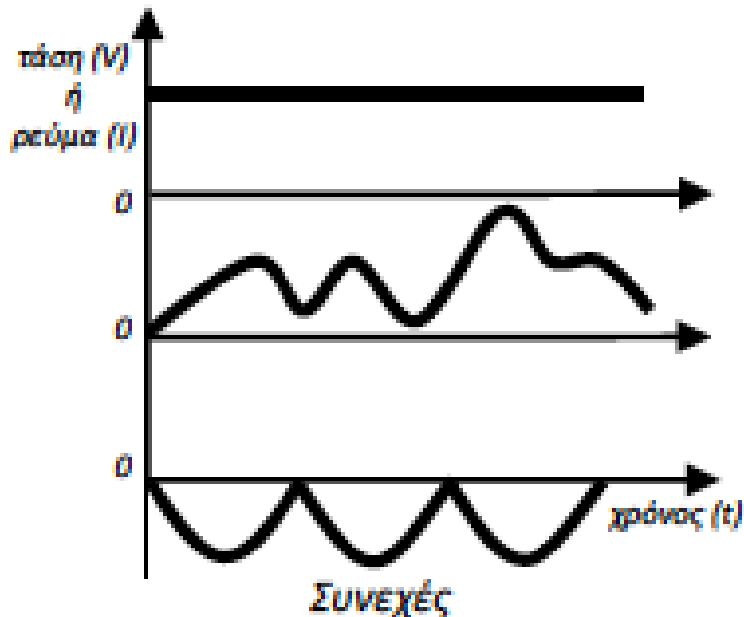


Εισαγωγή - Κυκλώματα - Νόμος ΟΗΜ

- Η απαραίτητη **διαφορά δυναμικού** μπορεί να εξασφαλισθεί με τη χρήση μιας ηλεκτρικής πηγής, ο **θετικός πόλος** της οποίας βρίσκεται σε **υψηλότερο δυναμικό** σε σχέση με τον **αρνητικό**
- Αν συνδέσουμε τα δύο άκρα του αντιστάτη με τους πόλους της ηλεκτρικής πηγής μέσω αγωγών αμελητέας αντίστασης παίρνουμε ένα απλό ηλεκτρικό κύκλωμα του
- Ο όρος «**κύκλωμα**» προκύπτει από το γεγονός ότι οι ηλεκτρικοί φορείς (ηλεκτρόνια), ξεκινώντας από την πηγή, συγκεκριμένα από τον αρνητικό πόλο, κινούνται μέσω του αντιστάτη «κυκλικά» για να καταλήξουν και πάλι στην πηγή (στον θετικό πόλο)
- Οι αρνητικοί φορείς τείνουν να κινηθούν από χαμηλότερα προς υψηλότερα δυναμικά



Εισαγωγή - Κυκλώματα - Νόμος ΟΗΜ



- Ένα σήμα ρεύματος ή τάσης ονομάζεται **συνεχές (DC -Direct Current)** όταν κατά την εξέλιξη του χρόνου διατηρεί σταθερό πρόσημο
- Όταν ένα σήμα ρεύματος ή τάσης εναλλάσσει την πολικότητά του ονομάζεται **εναλλασσόμενο (AC- Alternating Current)**

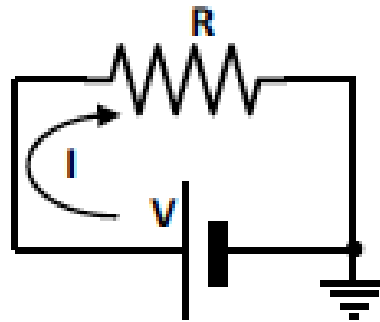
Εισαγωγή - Κυκλώματα - Νόμος ΟΗΜ

➤ Έστω ότι στα άκρα της αντίστασης R εφαρμόζουμε τάση V , τότε η ένταση I του ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα δίνεται από τη σχέση:

$$I = \frac{V}{R} \text{ (Νόμος του Ohm)}$$

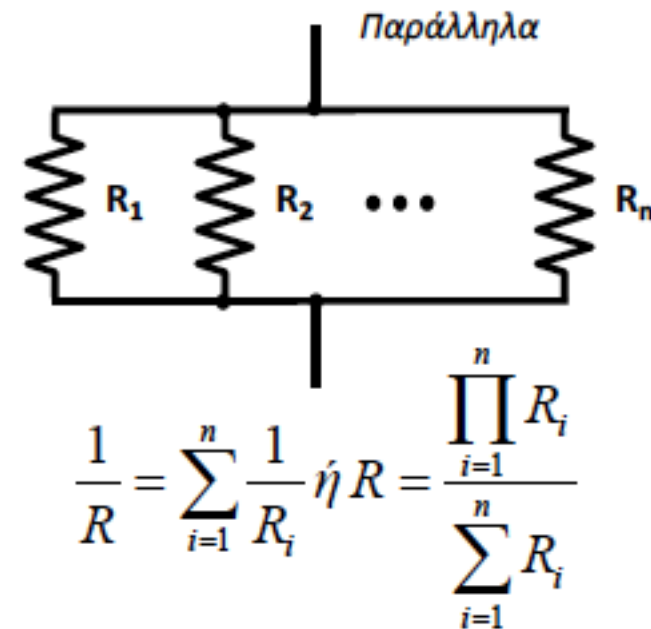
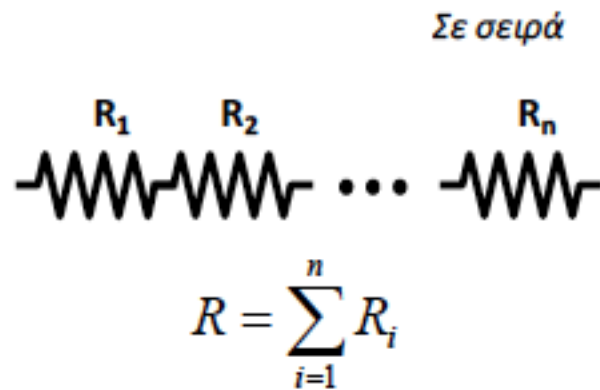


$$R = \frac{V}{I}$$



Εισαγωγή - Κυκλώματα - Νόμος ΟΗΜ

- Μια απλή εφαρμογή βασικών νόμων & του νόμου του Ohm προκύπτουν οι χρήσιμες σχέσεις για την ολική αντίσταση συστημάτων αντιστάσεων που είναι συνδεδεμένοι σε σειρά & παράλληλα



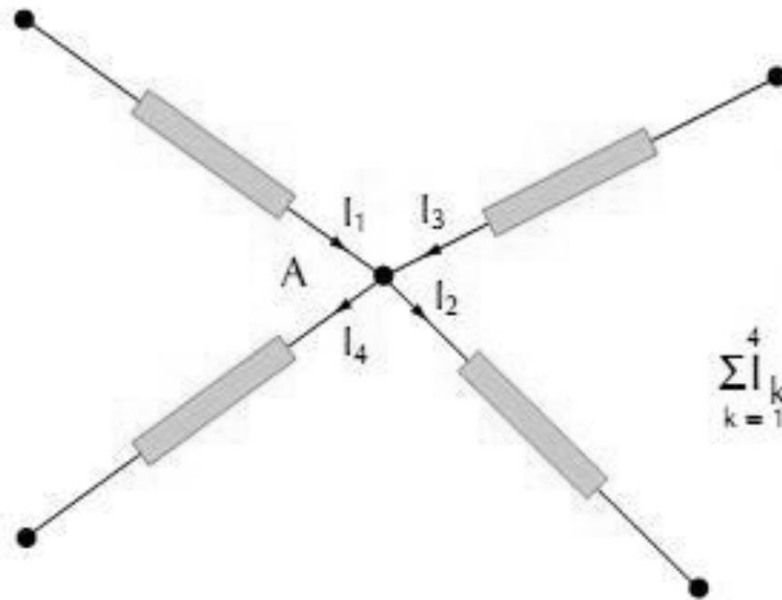
Μέθοδοι επίλυσης κυκλωμάτων

1. Νόμος Ohm – Συνδεσμολογίες Στοιχείων
2. Κανόνες Kirchhoff
3. Μέθοδος των απλών βρόχων (M.A.B)
4. Μέθοδος των κόμβων (M.K)
5. Θεώρημα μέγιστης μεταφοράς ισχύος
6. Θεώρηματα Thevenin - Norton

Μέθοδοι επίλυσης κυκλωμάτων

2. Κανόνες Kirchhoff

- Το αλγεβρικό άθροισμα όλων των ρευμάτων σε κάθε κόμβο ενός κυκλώματος ισούται με μηδέν



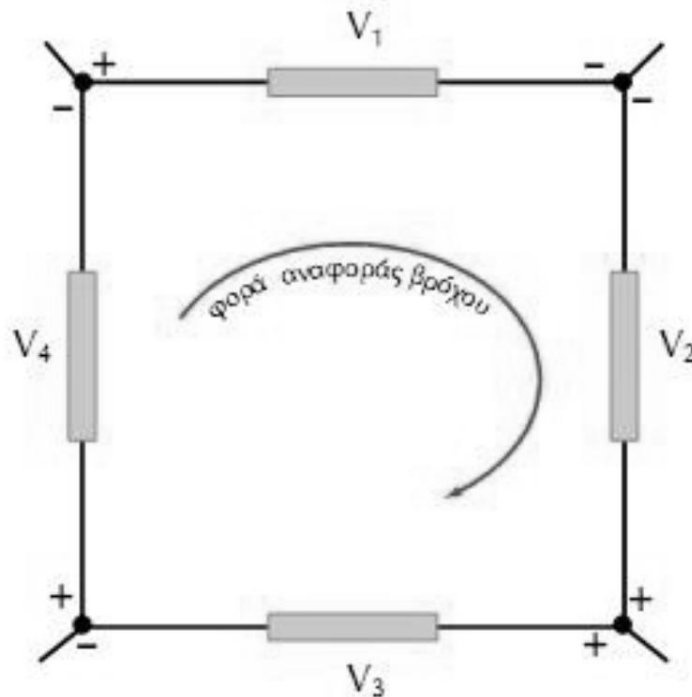
$$\sum_{k=1}^n I_k = 0$$

$$\sum_{k=1}^4 I_k = 0 \Rightarrow I_1 - I_2 + I_3 - I_4 = 0$$

Μέθοδοι επίλυσης κυκλωμάτων

2. Κανόνες Kirchhoff

- Το αλγεβρικό άθροισμα όλων των τάσεων σε κάθε βρόχο ενός κυκλώματος ισούται με μηδέν



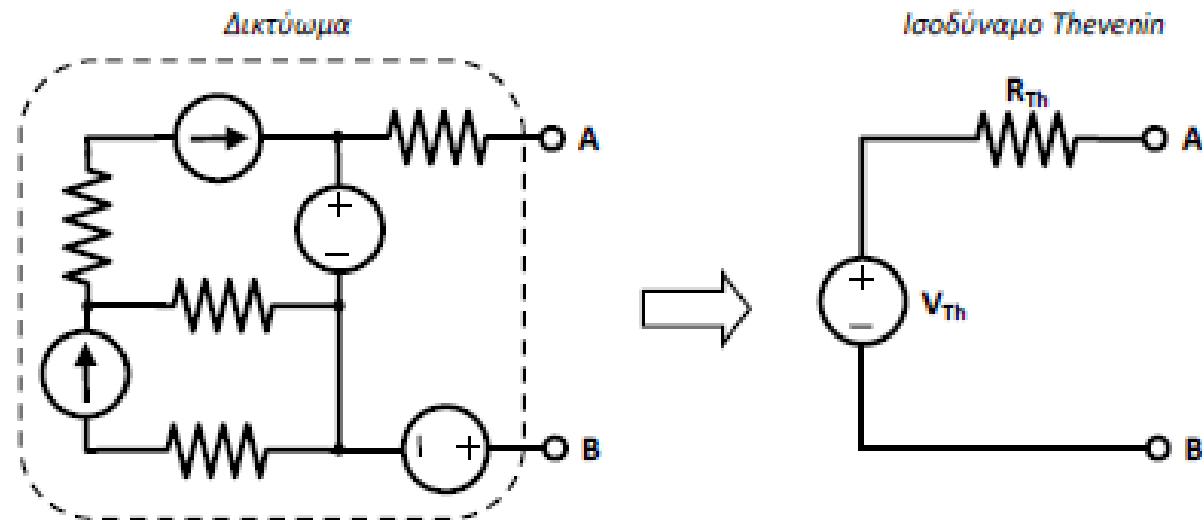
$$\sum_{k=1}^n V_k = 0$$

$$\sum_{k=1}^4 V_k = 0 \Rightarrow V_1 - V_2 + V_3 + V_4 = 0$$

Μέθοδοι επίλυσης κυκλωμάτων

6. Θεώρημα Thevenin

- Κάθε δικτύωμα δύο ακροδεκτών που περιλαμβάνει ανεξάρτητες πηγές τάσης ή/ε ρεύματος & αντιστάσεις μπορεί να γραφεί ισοδύναμα ως ένα απλό δίκτυωμα αποτελούμενο από μια πηγή τάσης & μια αντίσταση σε σειρά



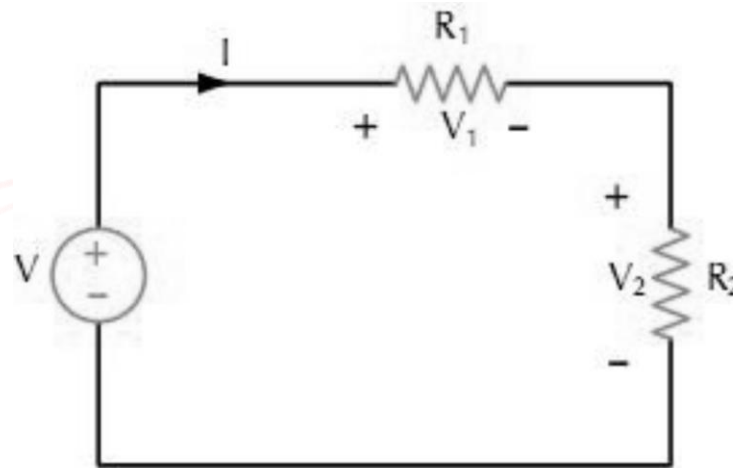
Μέθοδοι επίλυσης κυκλωμάτων

6. Θεώρημα Thevenin

- Η τιμή της πηγής τάσης ονομάζεται **τάση Thevenin (V_{Th})** & ταυτίζεται με την **τάση ανοικτού κυκλώματος μεταξύ των ακροδεκτών A & B**
- Η τιμή της αντίστασης ονομάζεται **αντίσταση Thevenin (R_{Th})** & υπολογίζεται ως εξής:
 - Βραχυκυκλώνουμε όλες τις πηγές τάσης, ανοικτοκυκλώνουμε όλες τις πηγές ρεύματος, & υπολογίζουμε την αντίσταση μεταξύ των ακροδεκτών A & B
 - => Η αντίσταση που θα προκύψει είναι η αντίσταση Thevenin
 - Βραχυκυκλώνοντας δύο σημεία τα αναγκάζουμε να βρεθούν στο ίδιο δυναμικό
 - Αυτό μπορεί να γίνει διασυνδέοντάς τα μέσω αγωγού μηδενικής αντίστασης
 - Ανοικτοκυκλώνοντας ένα στοιχείο αναγκάζουμε το ρεύμα που το διαρρέει να μηδενισθεί

Εισαγωγή - Κυκλώματα - Νόμος ΟΗΜ

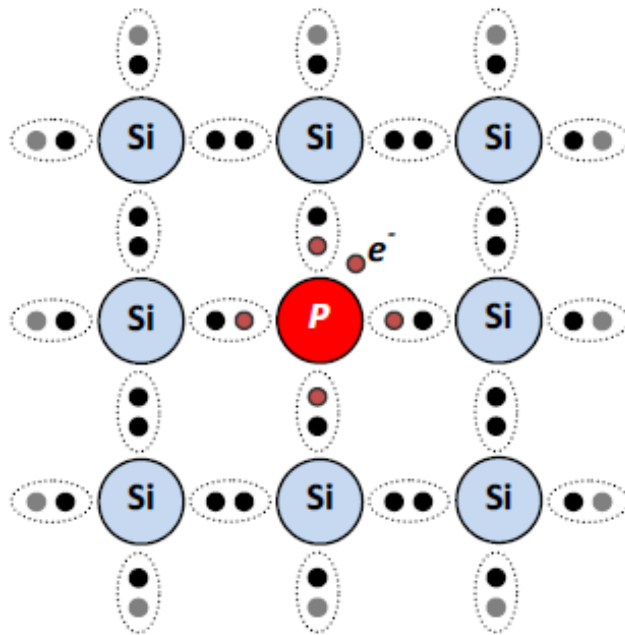
- ➔ Ο Διαιρέτης τάσης χρησιμοποιείται για τον καταμερισμό της τάσης σε δύο ή περισσότερες αντιστάσεις



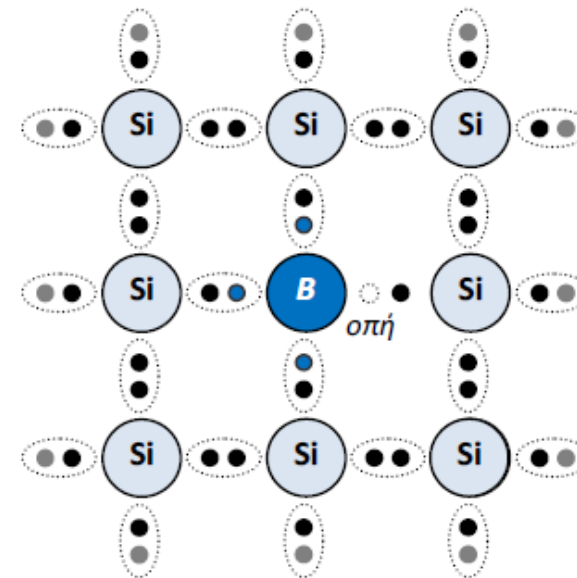
$$\left. \begin{array}{l} V_1 = I \cdot R_1 \\ V_2 = I \cdot R_2 \end{array} \right\} \Rightarrow \begin{array}{l} V_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot V \\ V_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V \end{array}$$

Ημιαγωγοί - Επαφή PN

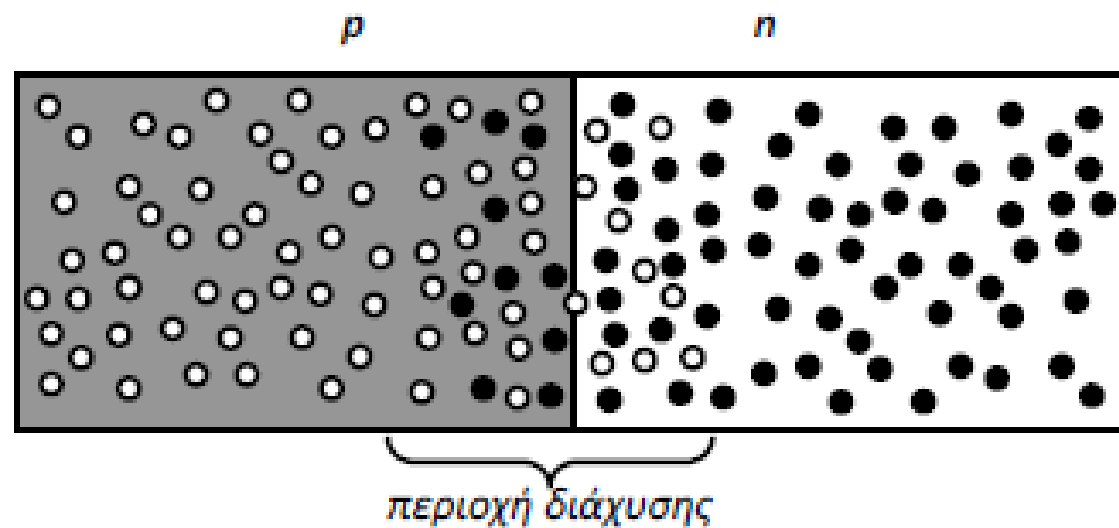
Κρυσταλλικό πλέγμα πυριτίου
με πρόσμιξη φωσφόρου



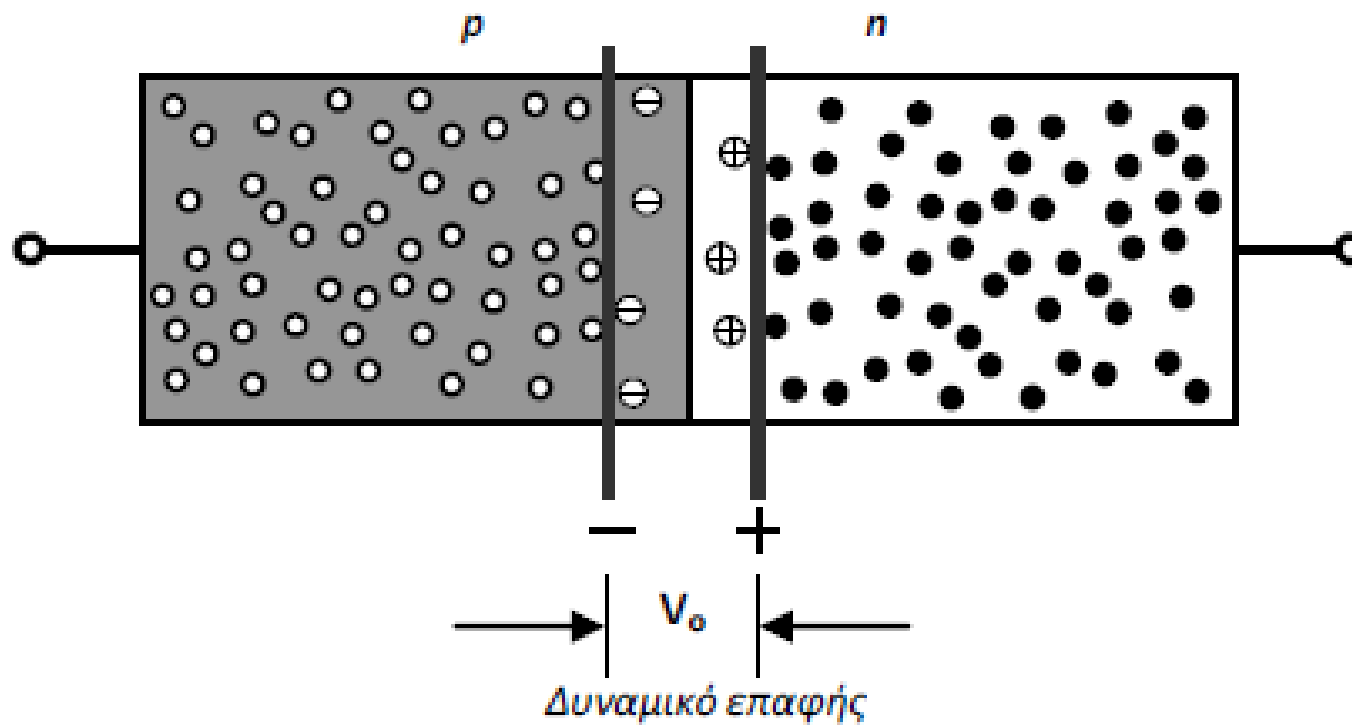
Κρυσταλλικό πλέγμα πυριτίου
με πρόσμιξη βορίου



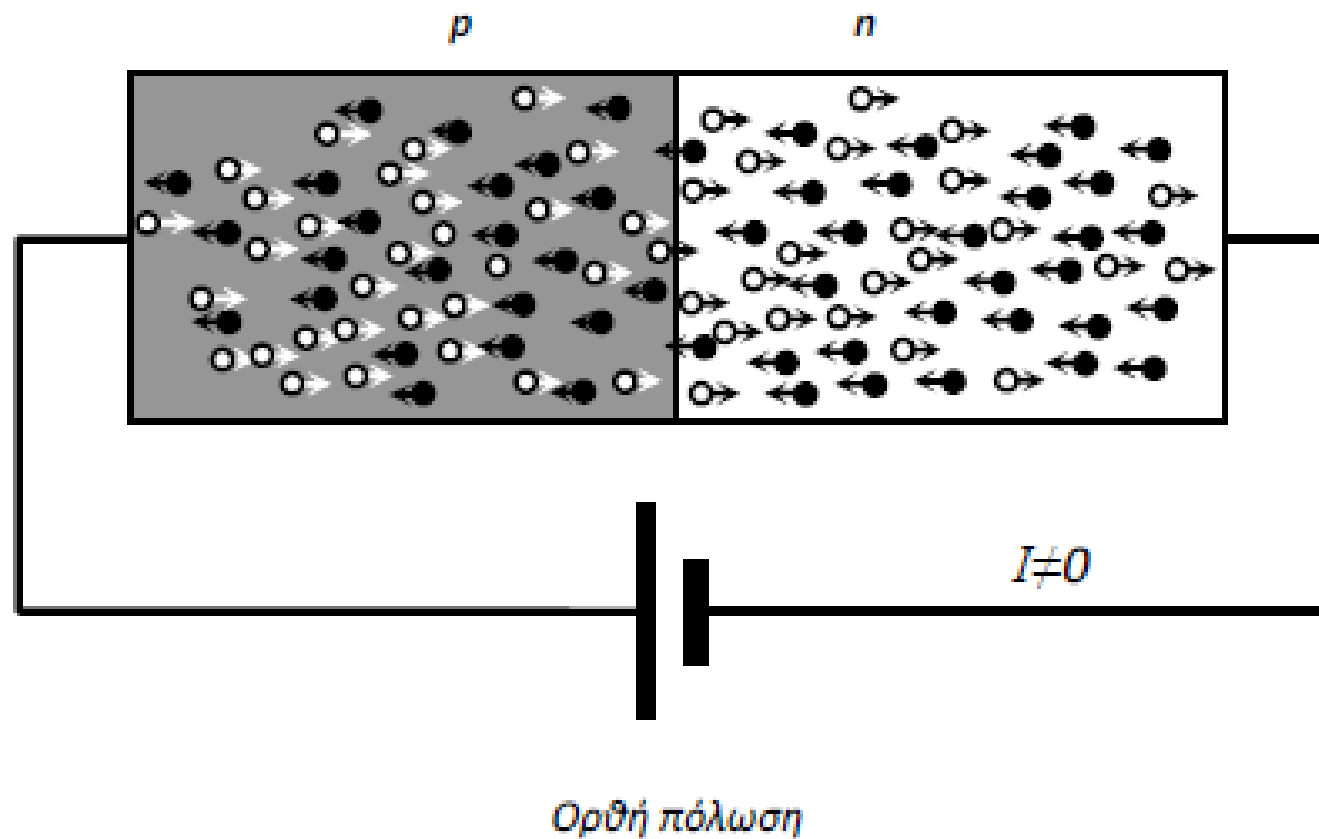
Ημιαγωγοί - Επαφή PN



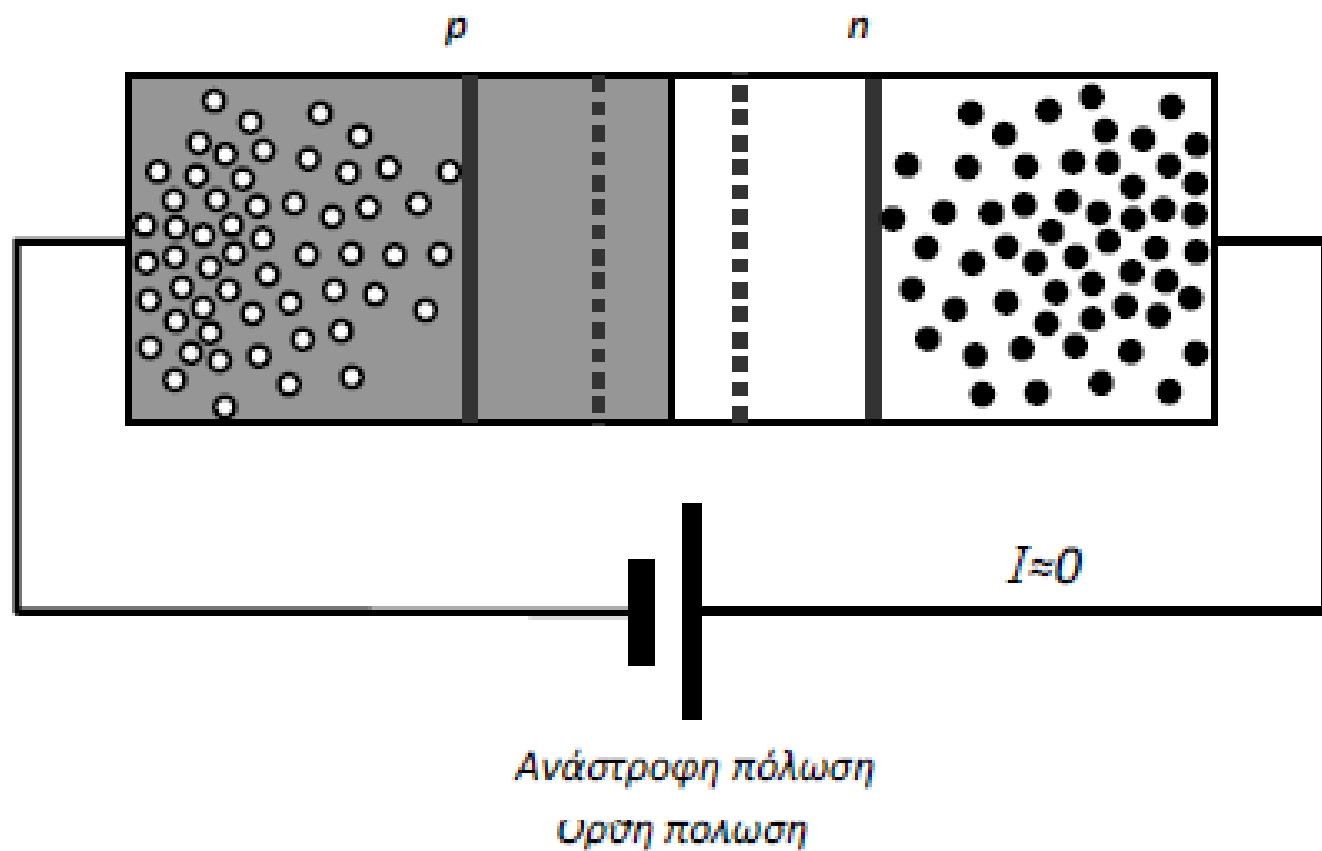
Ημιαγωγοί - Επαφή PN



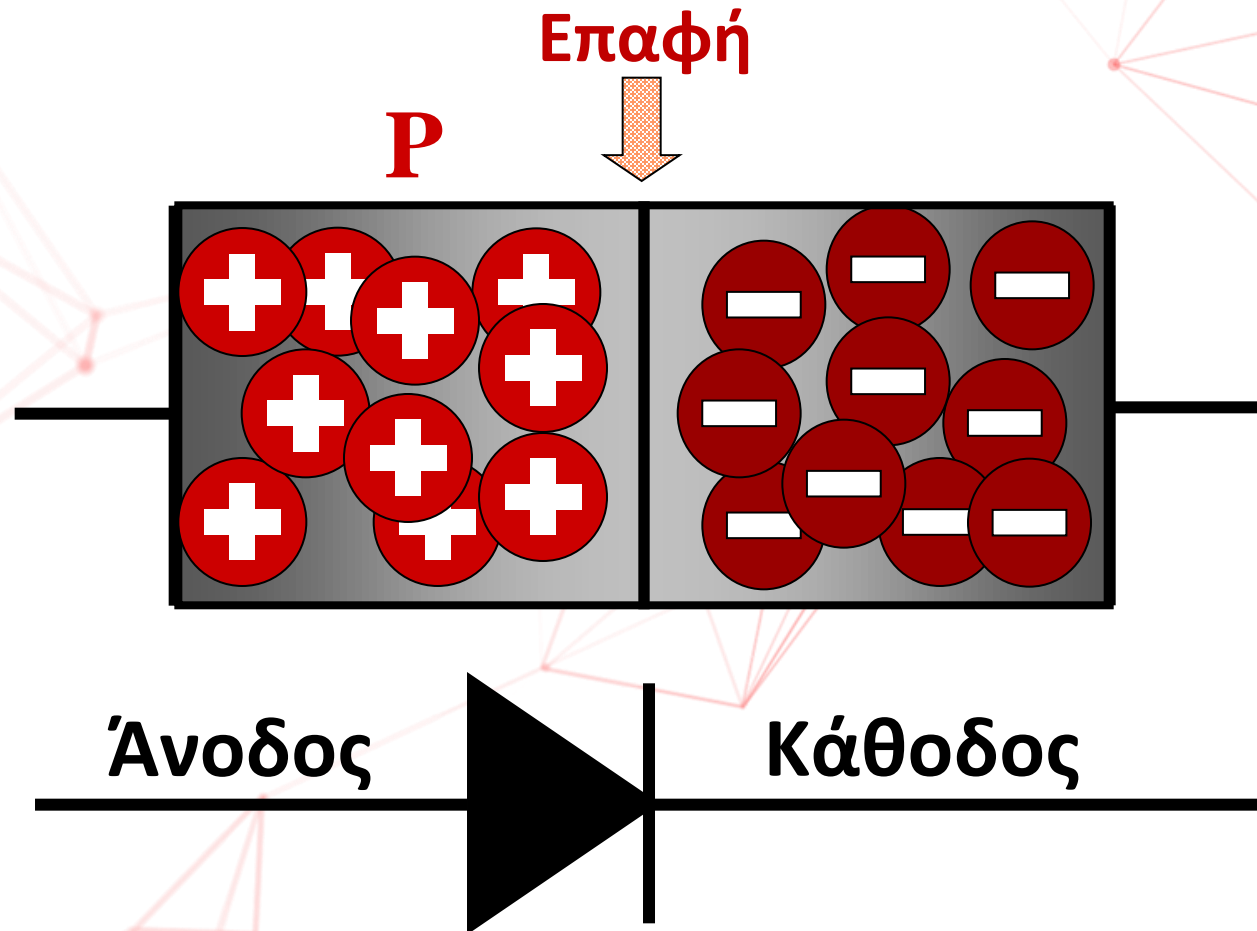
Ημιαγωγοί - Επαφή PN



Ημιαγωγοί - Επαφή PN

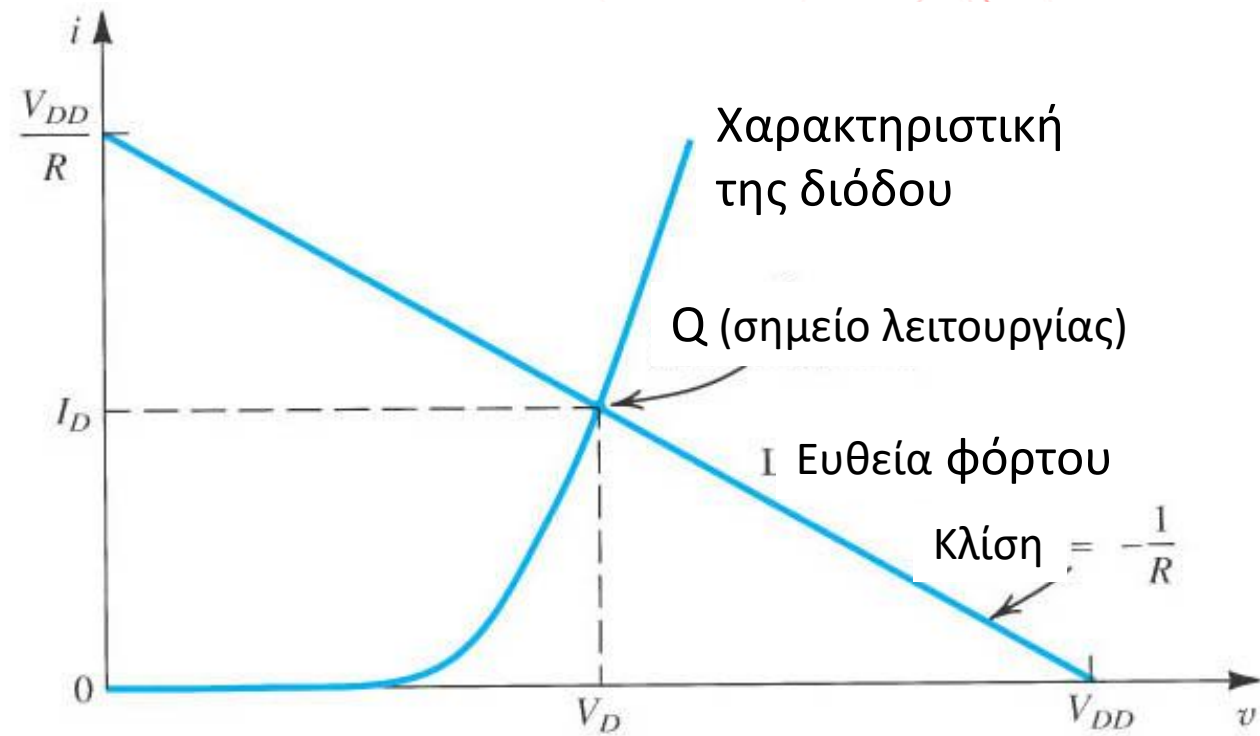
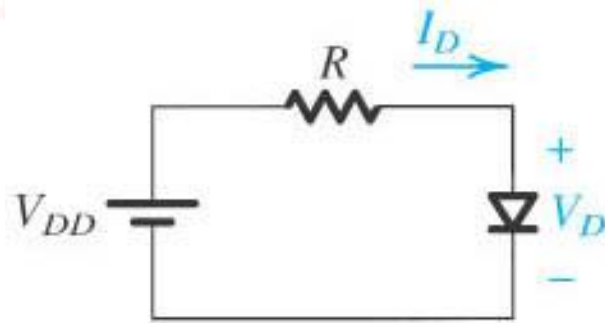


Απλή Δίοδος



Απλή Δίοδος

DC Ανάλυση



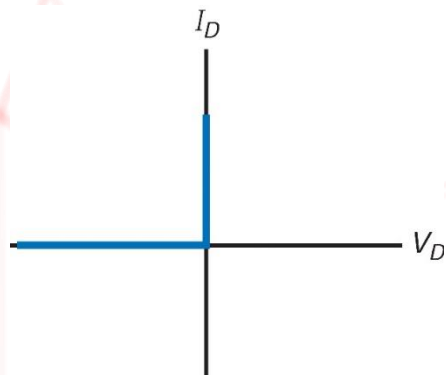
Χαρακτηριστική της Διόδου: $I_D = I_s \exp\left(\frac{V_D}{\eta V_T}\right)$

Ευθεία φόρτου: $V_{DD} = I_D R + V_D \Rightarrow I_D = \frac{V_{DD} - V_D}{R}$

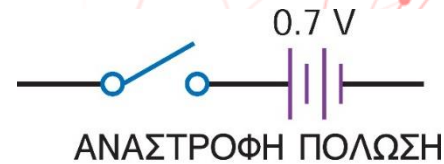
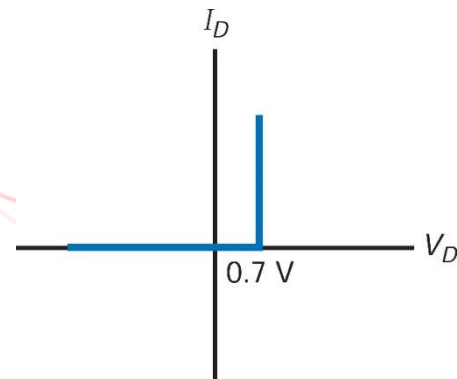
Το σημείο λειτουργίας **Q** βρίσκεται από τη λύση του συστήματος.

Απλή Δίοδος - Προσεγγίσεις

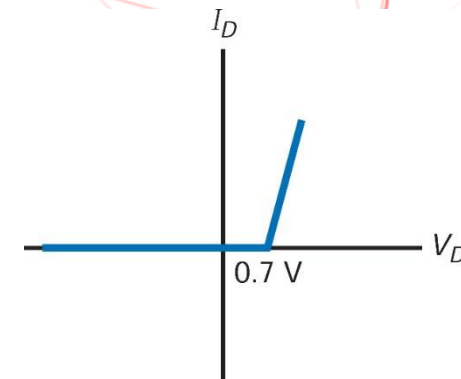
1^η Προσέγγιση
(Ιδανική Δίοδος)



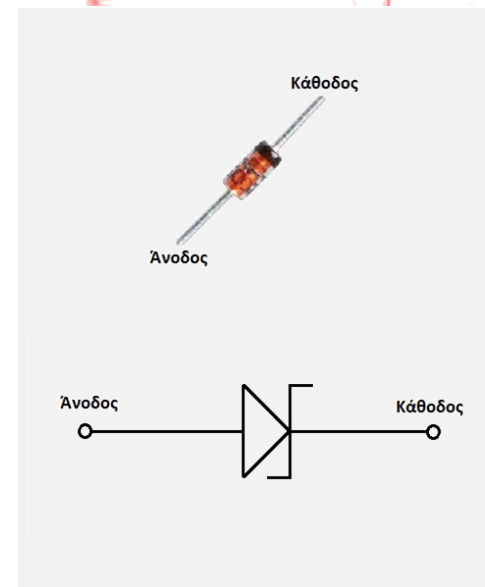
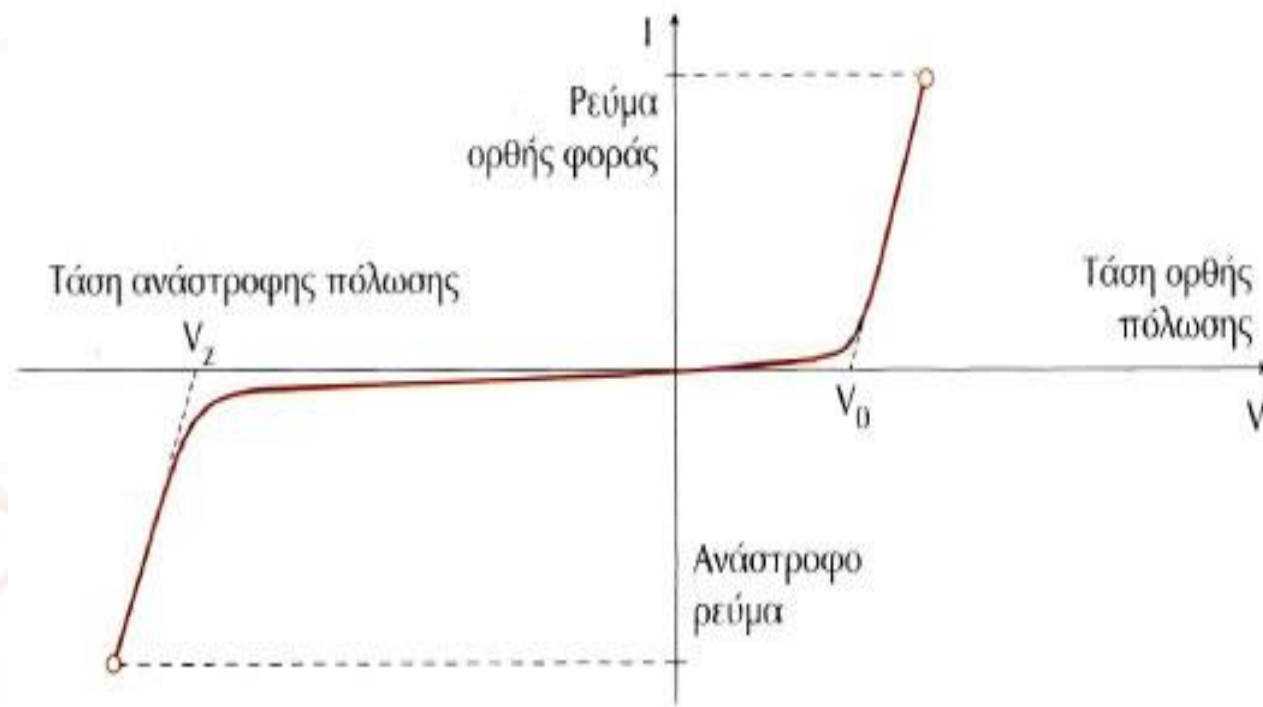
2^η Προσέγγιση
(Τυπική Δίοδος)



3^η Προσέγγιση
(Πραγματική Δίοδος)

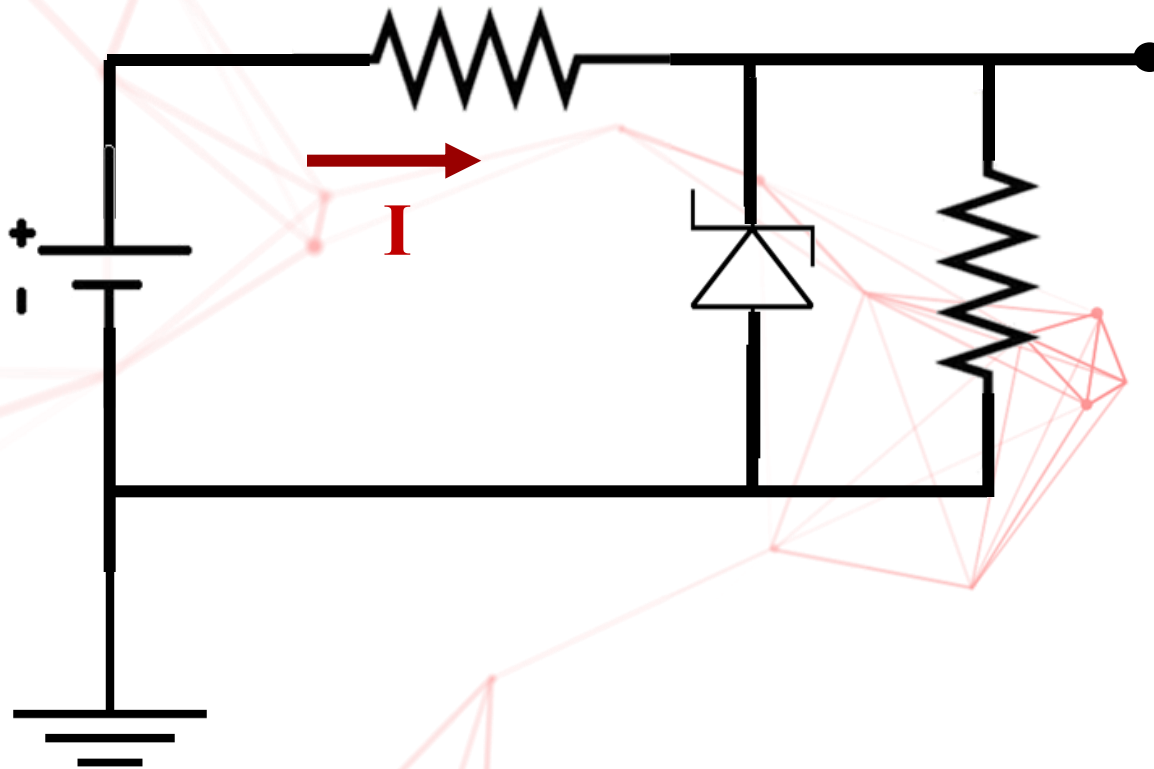


Δίοδος Zener



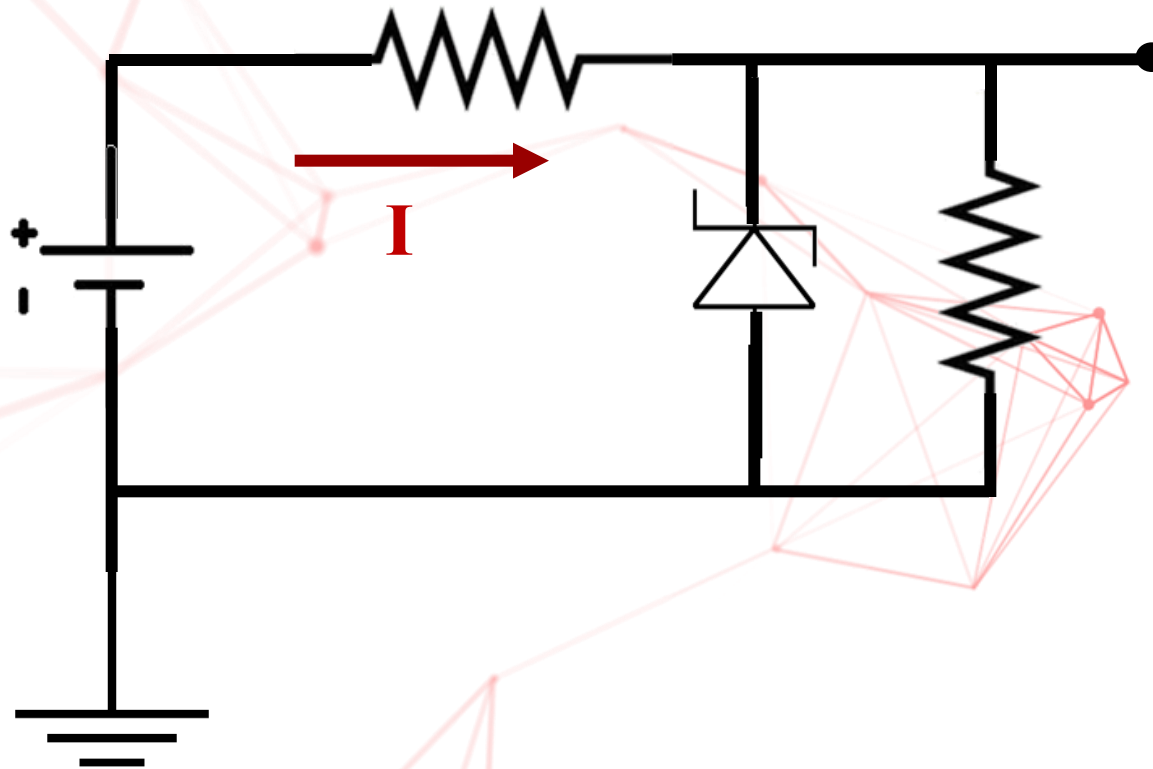
➤ Χαρακτηριστική καμπύλη διόδου zener

Δίοδος Zener - Πρακτικά (μελέτη λειτουργία)



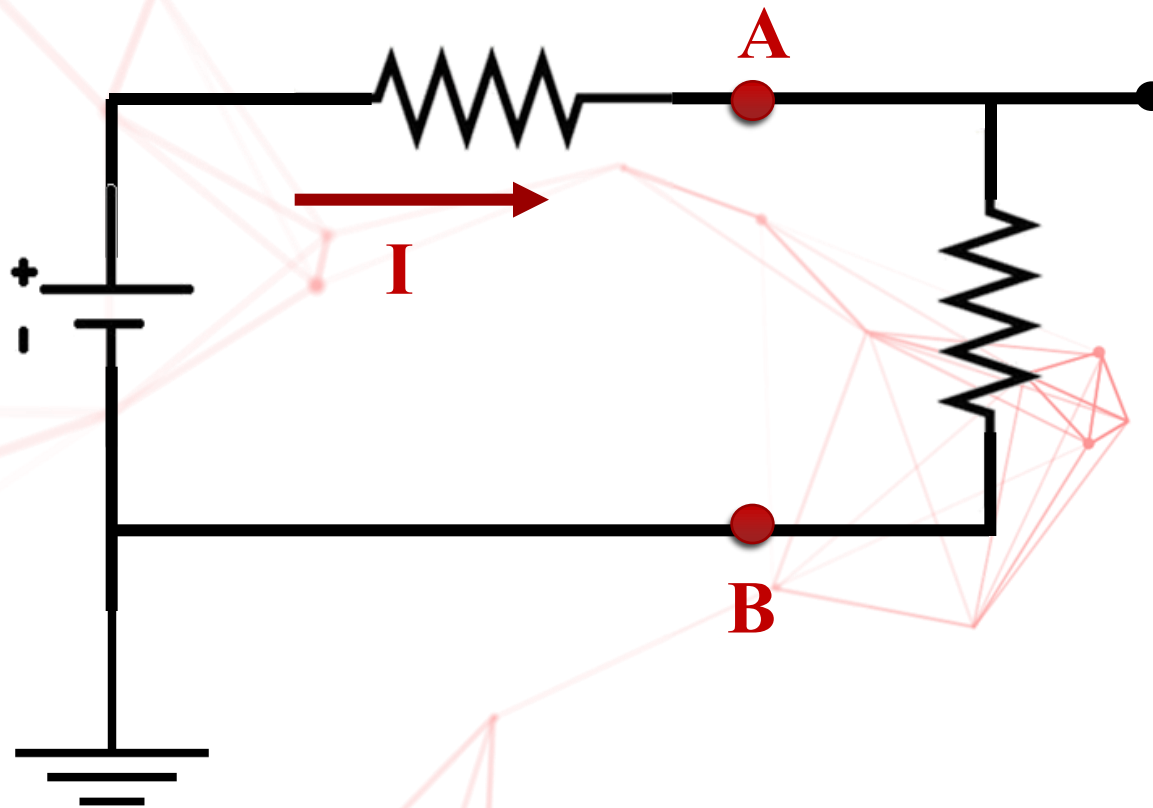
Είναι
ανάστροφα
πολωμένη?

Δίοδος Zener - Πρακτικά (μελέτη λειτουργία)



Ποια είναι η
εργοστασιακή
Τιμή της τάσης
Zener?

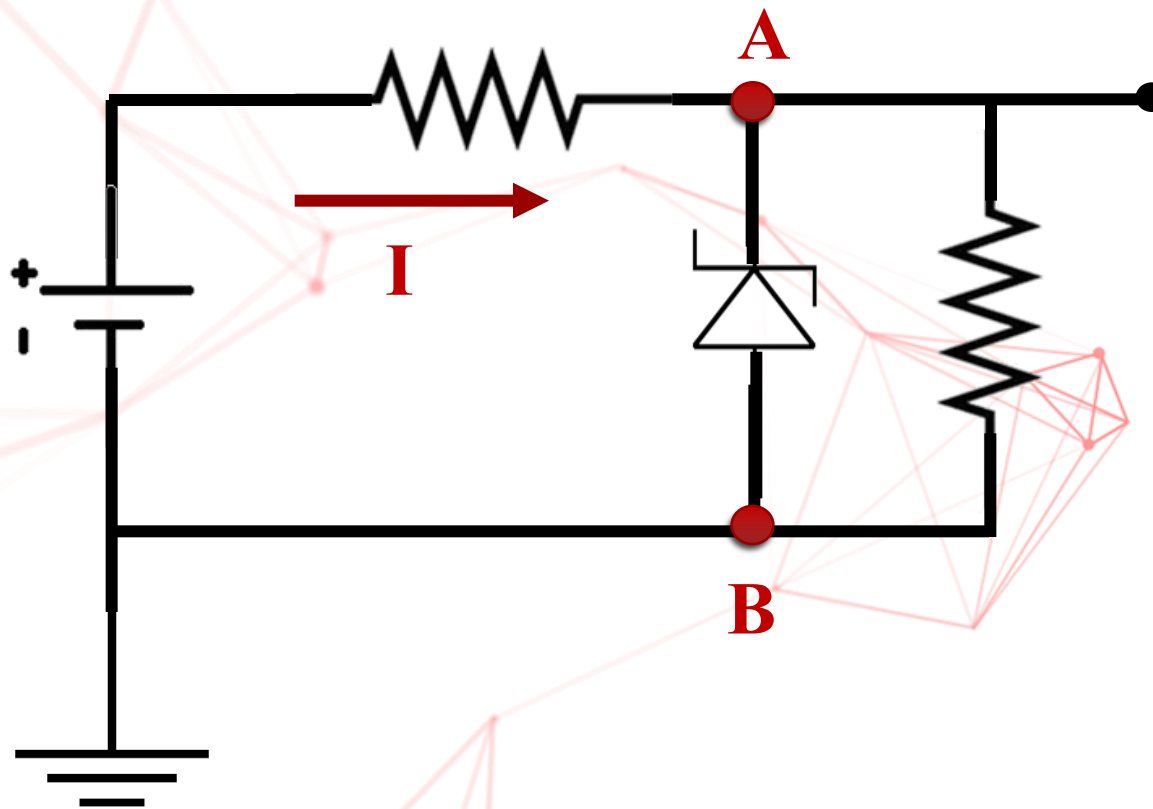
Δίοδος Zener - Πρακτικά (μελέτη λειτουργία)



Εάν δεν υπήρχε
στο κύκλωμα η
δίοδος τι τάση
θα υπήρχε στα
αντίστοιχα
σημεία?

V_{thevenin} ?

Δίοδος Zener - Πρακτικά (μελέτη λειτουργία)

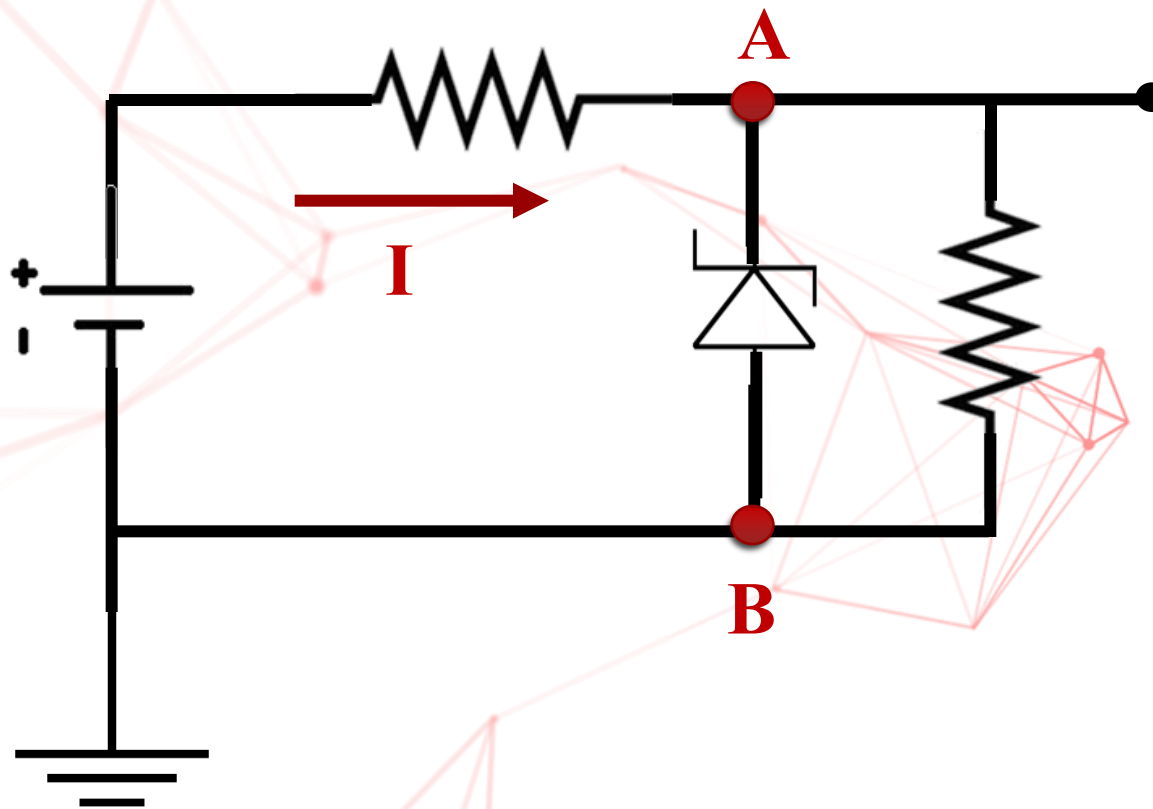


$$V_{\text{thevenin}} > V_{\text{zener}}$$

Τότε η δίοδος
λειτουργεί στην
περιοχή κατάρρευσης

$$V_{AB} = V_{\text{zener}}$$

Δίοδος Zener - Πρακτικά (μελέτη λειτουργία)

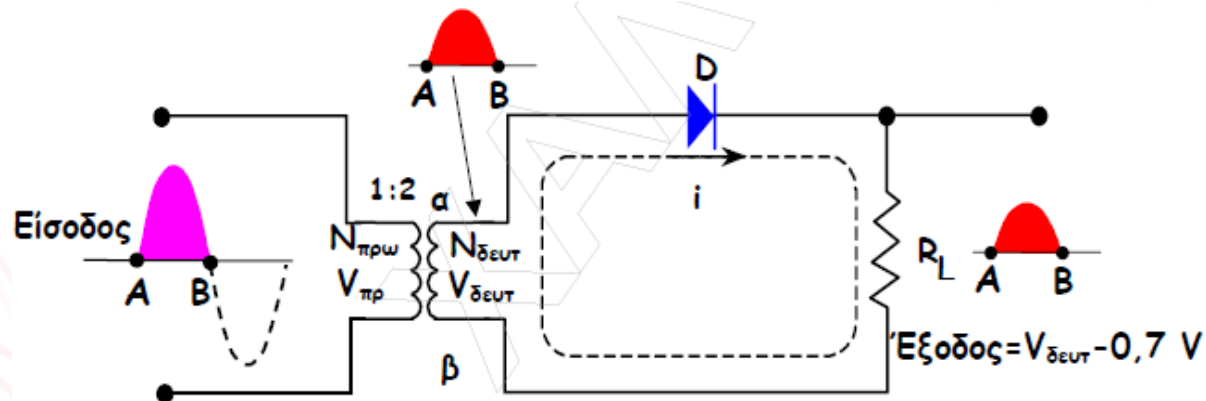


$$V_{\text{thevenin}} < V_{\text{zener}}$$

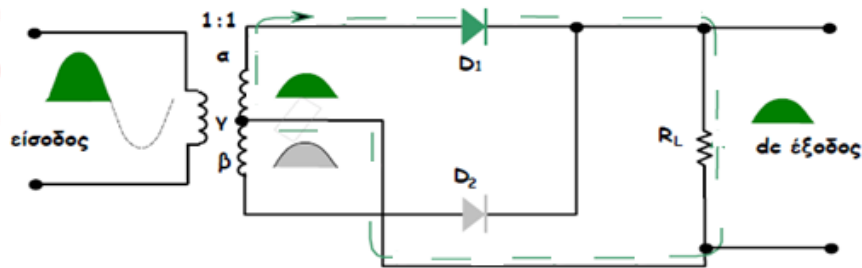
Τότε η δίοδος δεν άγει
ρεύμα

$$V_{AB} = V_{\text{thevenin}}$$

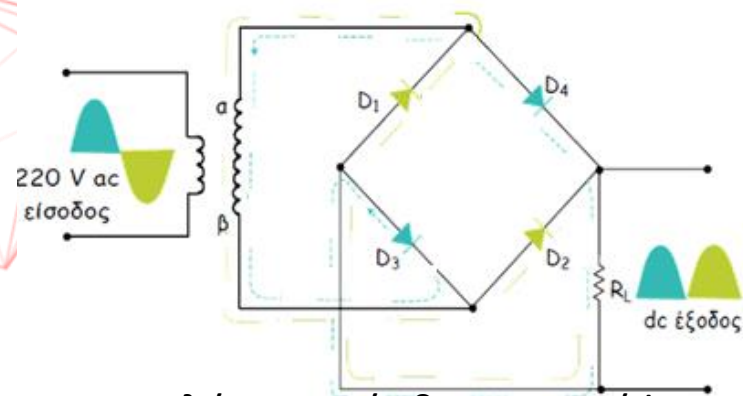
Εφαρμογές διόδων - Ανόρθωση



1. Απλή Ανόρθωση

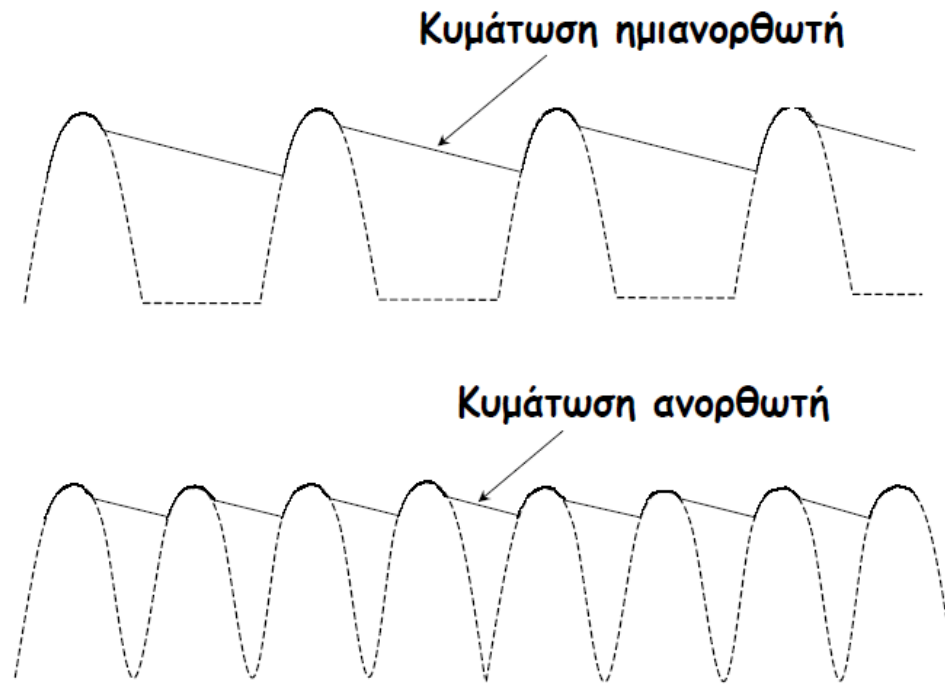


2. Πλήρης Ανόρθωση με μεσαία λήψη



3. Πλήρης Ανόρθωση με γέφυρα

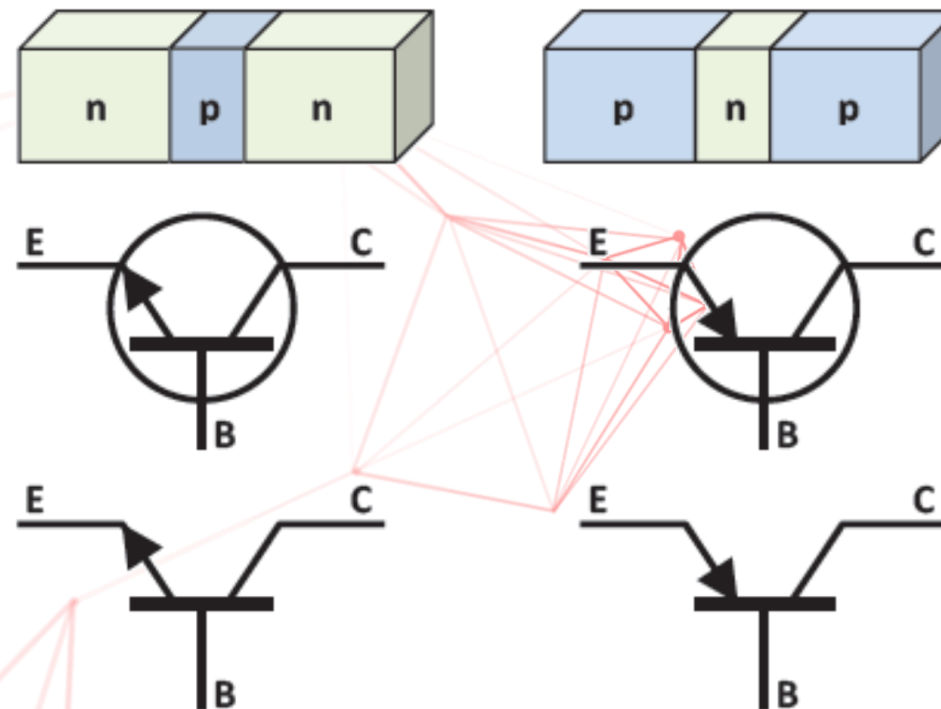
Εφαρμογές διόδων - Ανόρθωση



*Τάσεις εξόδου ενός ημιανορθωτή και ενός ανορθωτή
για ίδια ac τάση εισόδου και ίδιο φίλτρο*

Διπολικό Τρανζίστορ Επαφής - BJT

Δύο τύπου Τρανζίστορ



Διπολικό Τρανζίστορ Επαφής - BJT

Οι ακροδέκτες ονομάζονται:

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

MAXIMUM RATINGS

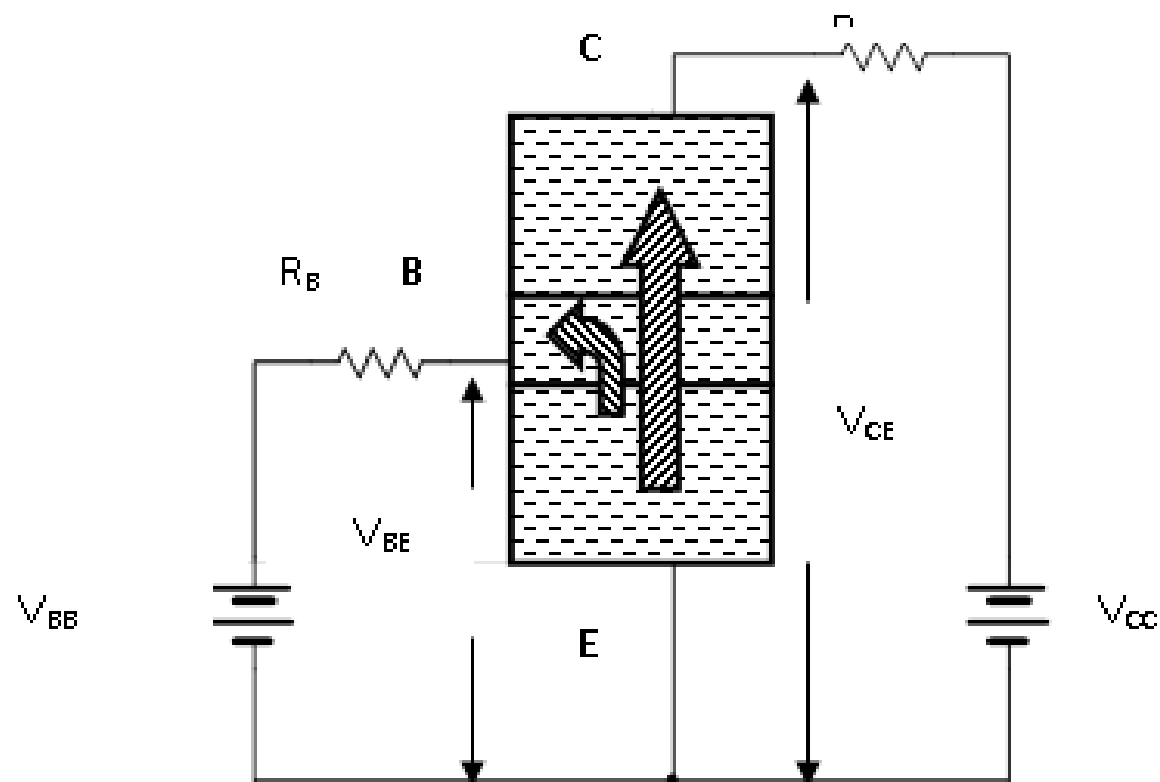
Rating	Symbol	2N4123	Unit
Collector-Emitter Voltage	V_{CE0}	30	Vdc
Collector-Base Voltage	V_{CB0}	40	Vdc
Emitter-Base Voltage	V_{EB0}	5.0	Vdc
Collector Current – Continuous	I_C	200	mAdc
Total Device Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	625 5.0	mW mW/°C
Operating and Storage Junction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

THERMAL CHARACTERISTICS

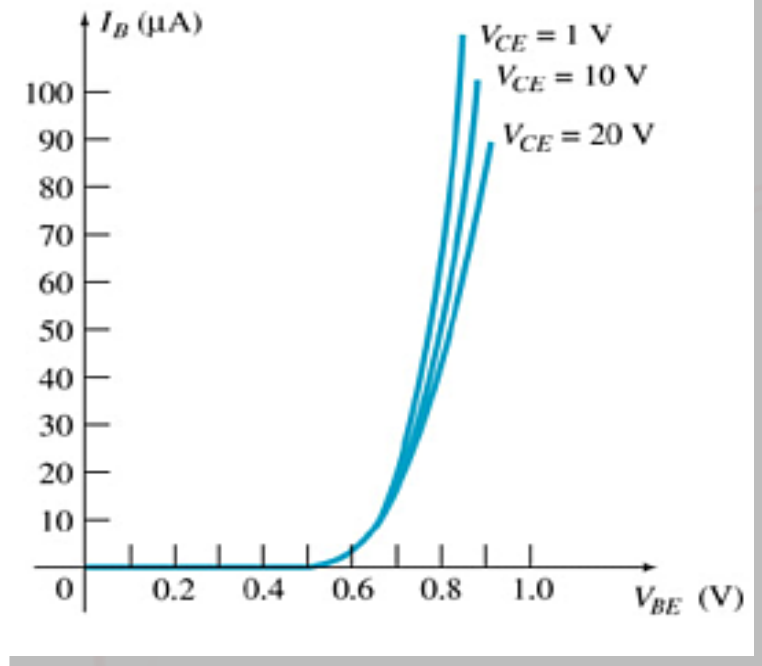
Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction to Case	$R_{\theta JC}$	83.3	°C/W
Thermal Resistance, Junction to Ambient	$R_{\theta JA}$	200	°C/W



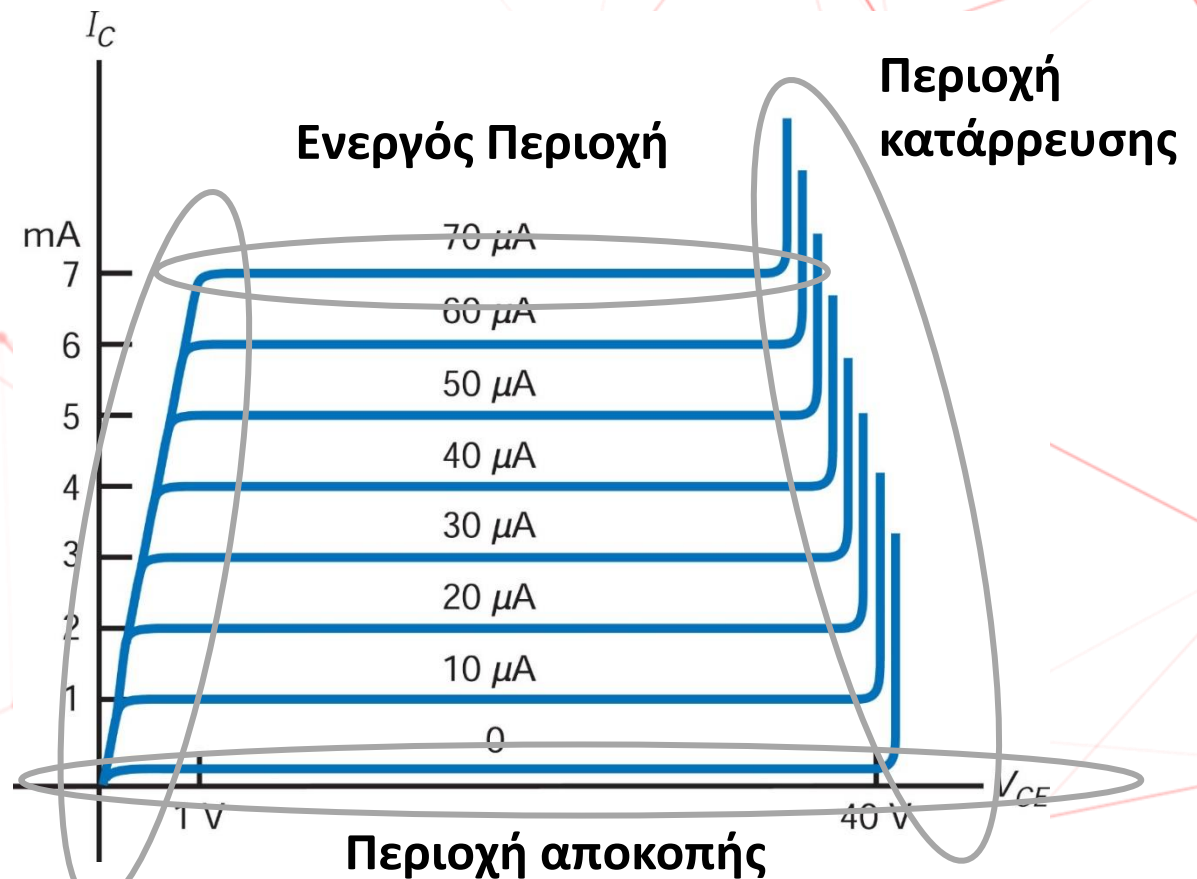
Διπολικό Τρανζίστορ Επαφής - BJT



Διπολικό Τρανζίστορ Επαφής - BJT



Χαρακτηριστικές Βάσης
(Εισόδου)



Περιοχή κόρου

Περιοχή αποκοπής

Χαρακτηριστικές Συλλέκτη (Εξόδου)

Διπολικό Τρανζίστορ Επαφής - BJT

Περιοχή λειτουργίας	Πόλωση	
	Δίοδος BE	Δίοδος BC
Αποκοπή	ανάστροφα	ορθά
Περιοχή Κόρου	ορθά	ορθά
Ενεργός Περιοχή	ορθά	ανάστροφα
Ενεργός Περιοχή	Πολύ μεγάλη V_{cc}	

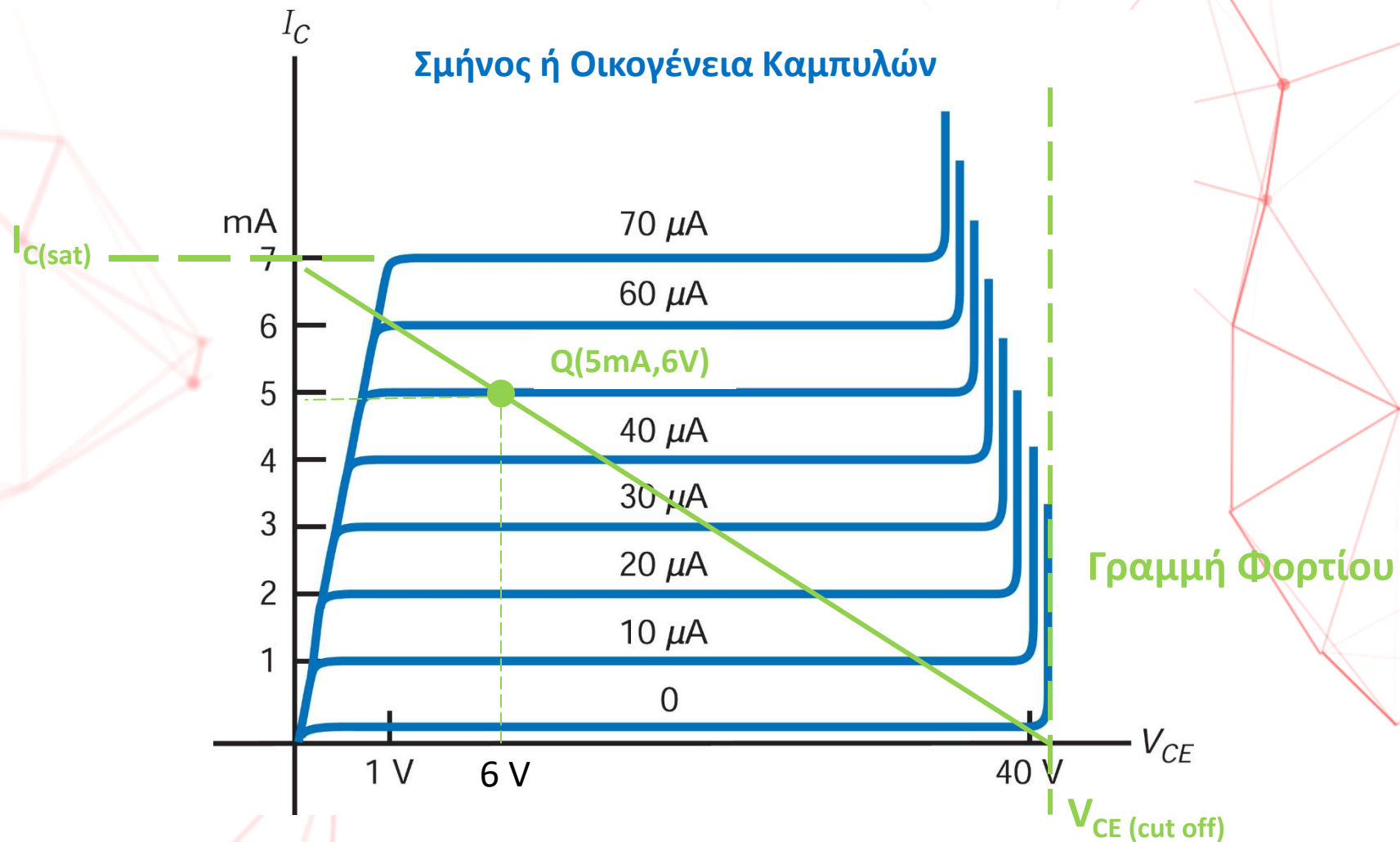
Διπολικό Τρανζίστορ Επαφής - BJT

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

Ευθεία Φορτίου Τρανζίστορ



Ευθεία Φορτίου Τρανζίστορ

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

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

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.

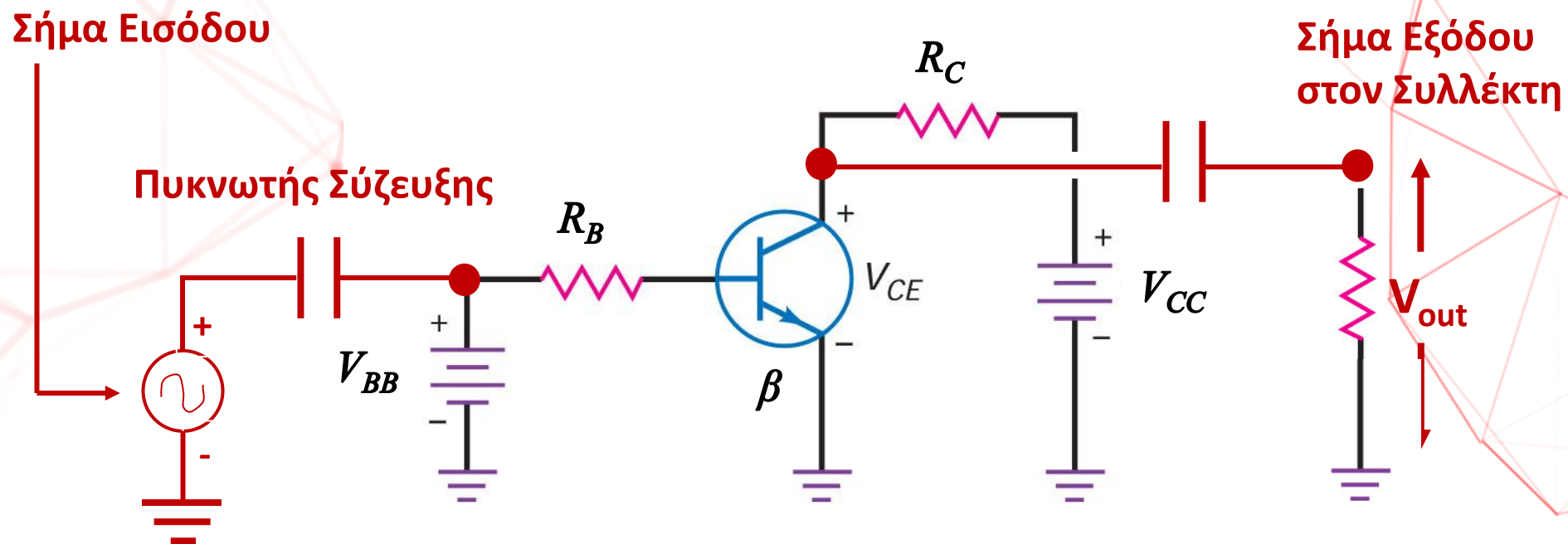
Ενισχυτές

Διάφορες Παραλλαγές Υλοποίησης

- Η υλοποίηση πολλών παραλλαγών ενισχυτών βασίζονται κυρίως στις **διαφορετικές προσεγγίσεις πόλωσης** του τρανζίστορ (π.χ. τα 6 διαφορετικά κυκλώματα που μάθαμε)
- Διαφοροποιήσεις προκύπτουν επίσης από το σημείο στο οποίο **εισάγεται** το σήμα είσοδο και από το σημείο από το οποίο **εξάγεται** (π.χ. βάση-συλλέκτη, βάση-εκπομπό, εκπομπό-συλλέκτη)
- Άλλες τροποποιήσεις όπως η αντίσταση εισόδου και ο πυκνωτής παράκαμψης στον εκπομπό

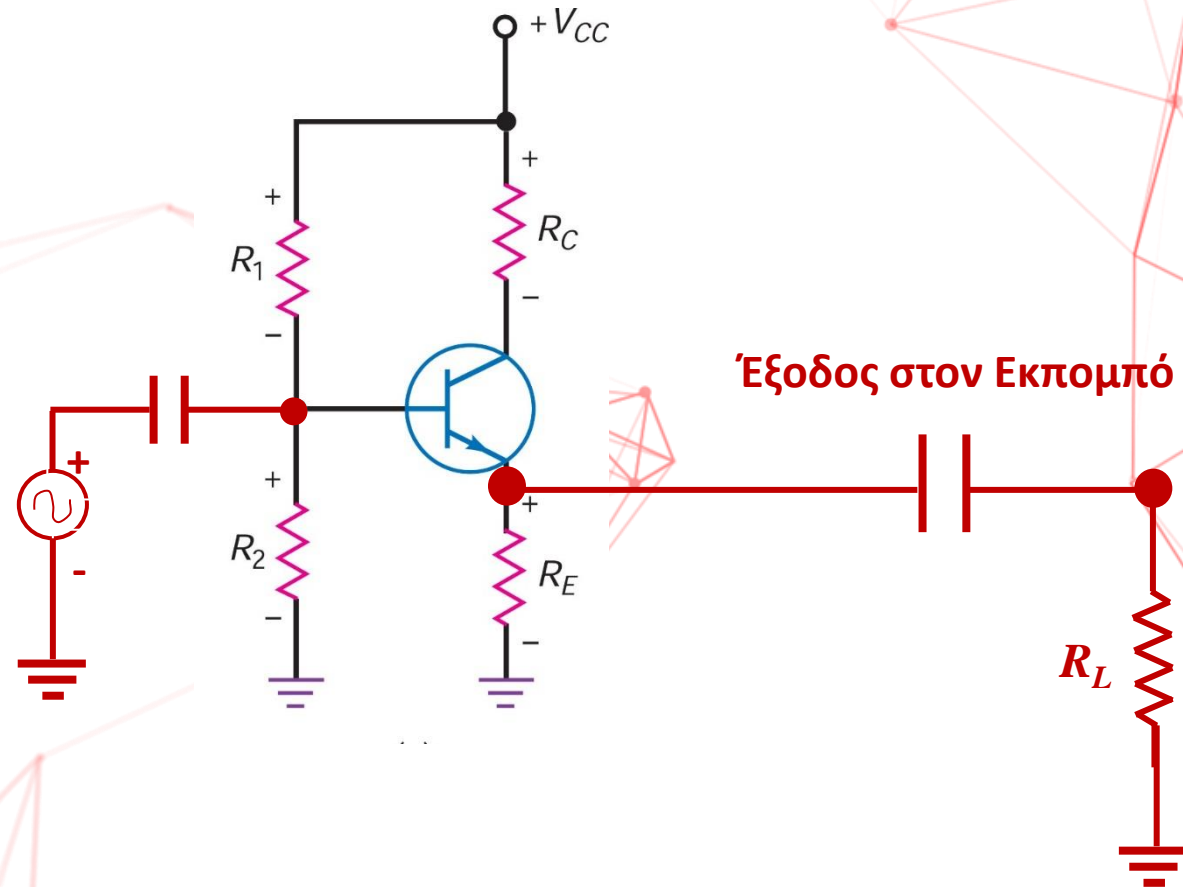
Ενισχυτές

1. Ενισχυτής βασισμένος σε κύκλωμα πόλωσης Βάσης

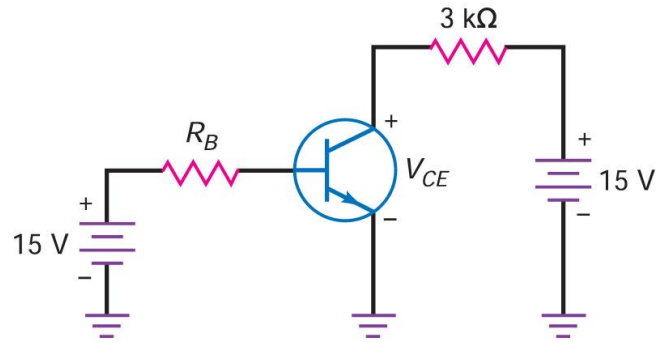


Ενισχυτές

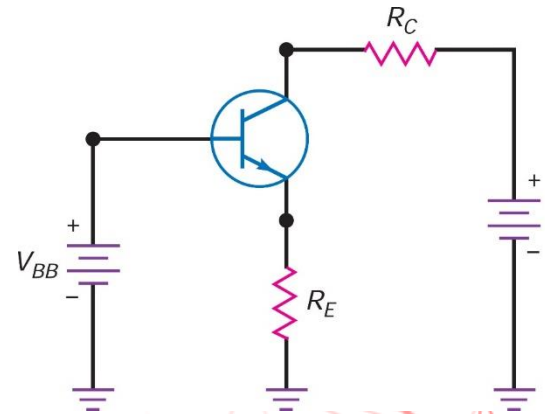
3. Ενισχυτής βασισμένος σε κύκλωμα πόλωσης διαιρέτη τάσης



ΠΟΛΩΣΕΙΣ ΤΡΑΝΖΙΣΤΟΡ

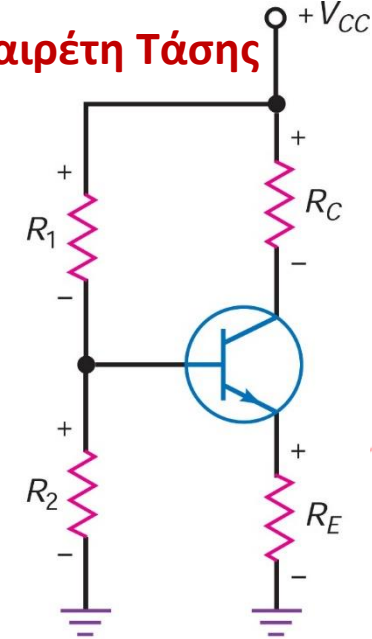


Βάσης

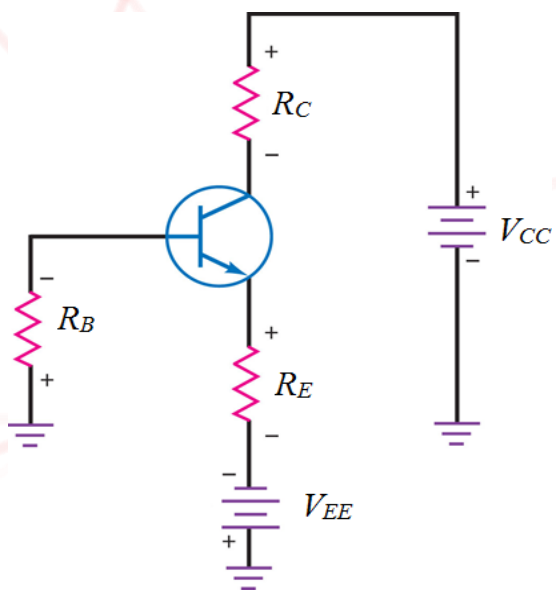


Εκπομπού

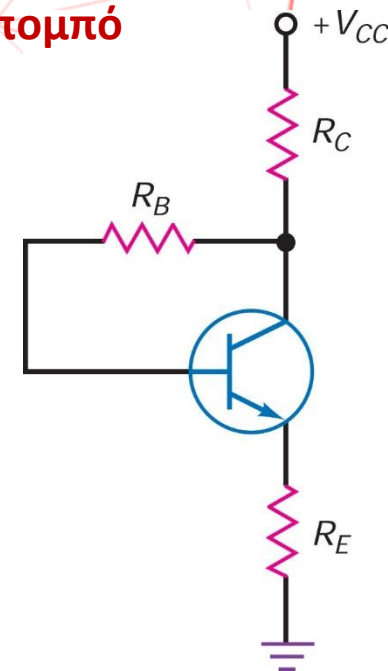
Διαιρέτη Τάσης



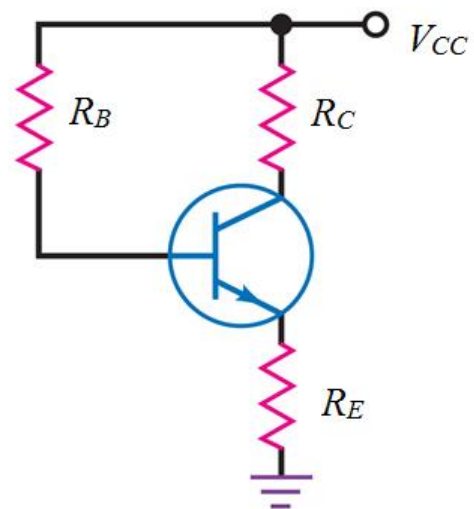
Εκπομπού Διπλής τροφοδοσίας



Με ανάδραση από συλλέκτη και εκπομπό



Με ανάδραση από εκπομπό



Ενισχυτές - Γενικευμένη Μεθοδολογία

Να βρεθεί στο κύκλωμα του δοθέντος ενισχυτή η ενίσχυση και η τάση εξόδου V_{out}

A. DC Ανάλυση

- Σχεδιάζω το DC ισοδύναμο κύκλωμα (λογικά θα είναι ένα εκ των κυκλωμάτων πόλωσης)
- Οι πυκνωτές = ανοιχτοί διακόπτες
- Αναλύω το κύκλωμα με σκοπό να υπολογίσω το ρεύμα εκπομπού (Για παράδειγμα 2^{ος} κΚ στον βρόχο εισόδου)
- Συμβουλευόμαι και την μεθοδολογία για την DC ανάλυση του αντίστοιχου κυκλώματος πόλωσης

Ενισχυτές - Γενικευμένη Μεθοδολογία

Να βρεθεί στο κύκλωμα του δοθέντος ενισχυτή η ενίσχυση και η τάση εξόδου V_{out}

B. AC Ανάλυση

- Υπολογίζω την $r'_e = 25mV/I_E$
- Γειώνω όλες τις πηγές συνεχούς τάσης και βραχυκυκλώνω όλους τους πυκνωτές
- Σχεδιάζω το **πρότυπο Π** και τοποθετώ όλες τις αντιστάσεις που υπάρχουν στην είσοδο και την έξοδο. Στο τέλος της βάσης βάζω και τις αντιστάσεις που υπάρχουν στον εκπομπό πολλαπλασιασμένες με β . (**Προσοχή!** στους πυκνωτές παράκαμψης)
- Βρίσκω από το σχήμα τις τάσεις v_{in} και v_{out} (από Z_{inBase} και R_c)
- Υπολογίζω ενίσχυση διαιρώντας αυτές
- Υπολογίζω το v_{out} από το v_{in} που μας δίνει η άσκηση. Αν υπάρχει αντίσταση R_g κάνω διαιρέτη τάσης με την $Z_{inStage}$