

# Ηλεκτρονική

**Παναγιώτης Γιαννακόπουλος**

**9/11/2020**

Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Υπολογιστών  
2020-2021

# Δίοδοι

- Ένα πολύ σημαντικό στοιχείο ενός ηλεκτρονικού κυκλώματος είναι η δίοδος. Παρουσιάζεται η ανάλυση της λειτουργίας των διόδων μέσα σε ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα, καθώς και χρήσιμες εφαρμογές των διόδων στη σχεδίαση ηλεκτρονικών κυκλωμάτων.

# Δίοδοι

- Αναφέρονται διάφορα γενικά στοιχεία σχετικά με τους ημιαγωγούς προσμίξεων και τη λειτουργία μιας επαφής PN. Ακολουθεί η ανάλυση λειτουργίας της απλής διόδου PN και οι τρόποι πόλωσής της.

# Ημιαγωγοί προσμίξεων

- Οι ενδογενείς ημιαγωγοί έχουν ίσες συγκεντρώσεις ηλεκτρονίων και οπών, γι' αυτό το λόγο οι εφαρμογές τους είναι περιορισμένες και καθορίζονται από το ότι η αντίστασή τους μεταβάλλεται όταν μεταβάλλεται η θερμοκρασία ή όταν φωτίζονται. Αν σε έναν ενδογενή ημιαγωγό προστεθεί μια πολύ μικρή ποσότητα ενός στοιχείου της τρίτης ή της πέμπτης ομάδας του περιοδικού πίνακα, ο ημιαγωγός αποκτά **προσμίξεις** (impurities).
- III – V (GaAs, InP)
- II –VI

# Ημιαγωγοί προσμίξεων

- Η διαδικασία προσθήκης προσμίξεων ονομάζεται **εμπλουτισμός** (doping) και το υλικό **εμπλουτισμένος ημιαγωγός** (doped semiconductor). Ο ημιαγωγός παύει να είναι ενδογενής όταν οι προσμίξεις καθορίζουν τις συγκεντρώσεις των ηλεκτρονίων και των οπών. *Καθώς οι συγκεντρώσεις των ηλεκτρονίων και των οπών καθορίζονται πλέον από έναν εξωγενή παράγοντα, δηλαδή τις προσμίξεις, ο ημιαγωγός ονομάζεται εξωγενής ημιαγωγός* (extrinsic semiconductor). Το είδος των προσμίξεων καθορίζει αν η συγκέντρωση των ηλεκτρονίων είναι μεγαλύτερη από εκείνη των οπών ή αντίθετα. Στην πρώτη περίπτωση ο ημιαγωγός καλείται **τύπου N** και στη δεύτερη **τύπου P**, από το γεγονός ότι τα φορτία που άγουν το ηλεκτρικό ρεύμα είναι ηλεκτρόνια, δηλαδή αρνητικά N(Negative) ή οπές δηλαδή θετικά P(Positive), αντίστοιχα. Σε ένα τέτοιο ημιαγωγό οι προσμίξεις καταλαμβάνουν θέσεις των ατόμων του υλικού και σχηματίζουν δεσμούς.

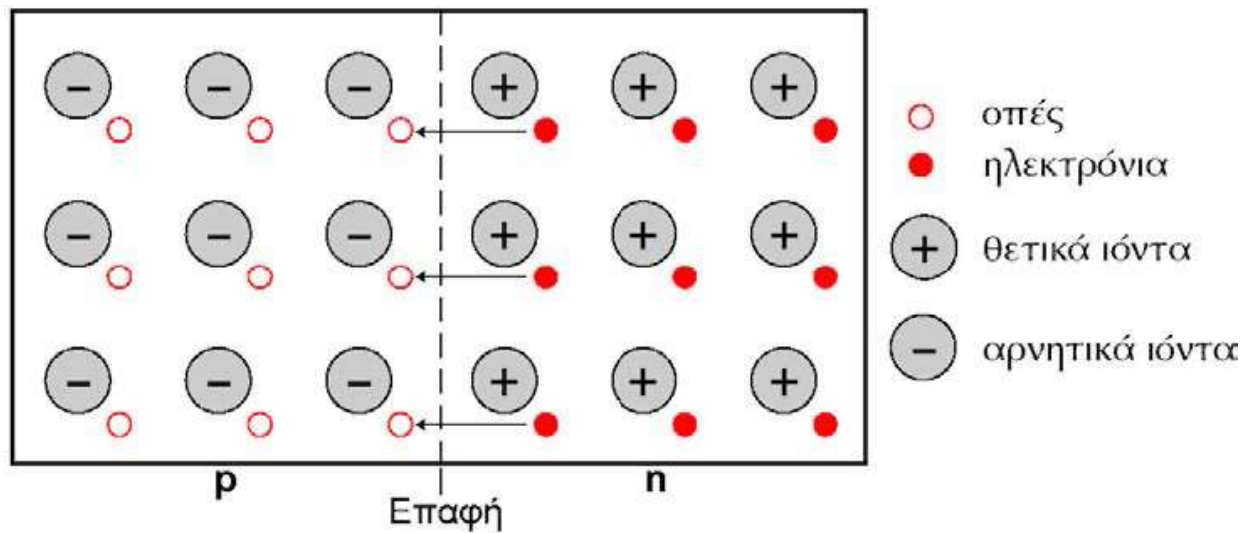
# Τύπου N

- Οι ημιαγωγοί τύπου N δημιουργούνται όταν σε ένα ημιαγωγό, όπως το Si ή το Ge, προστεθεί πολύ μικρή ποσότητα ενός στοιχείου της πέμπτης ομάδας του περιοδικού πίνακα.
- Τα στοιχεία που συνήθως χρησιμοποιούνται ως προσμίξεις είναι το αρσενικό (As), ο φωσφόρος (P) και το αντιμόνιο (Sb) ενώ η ποσότητα που απαιτείται σε κάθε ένα εκατομμύριο άτομα πυριτίου ή γερμανίου είναι να υπάρχουν μερικά άτομα αρσενικού, φωσφόρου ή αντιμονίου.

# Τύπου P

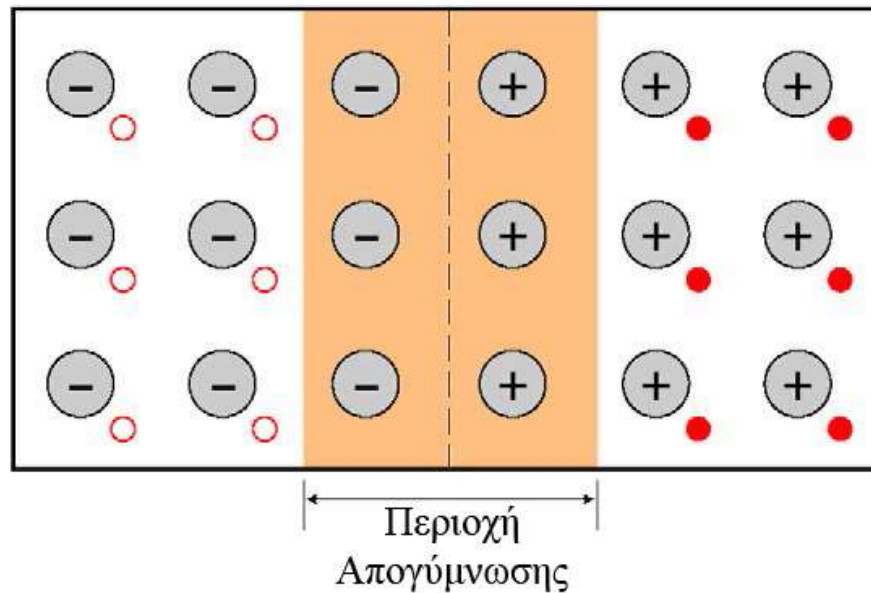
- Οι ημιαγωγοί τύπου P δημιουργούνται όταν σε ένα ημιαγωγό όπως, το πυρίτιο ή το γερμάνιο, προστεθεί πολύ μικρή ποσότητα ενός στοιχείου της τρίτης ομάδας του περιοδικού πίνακα. Τα στοιχεία που χρησιμοποιούνται συνήθως ως προσμίξεις είναι το βόριο(B), το γάλλιο(Ga) και το ίνδιο(In) ενώ η ποσότητα που απαιτείται είναι, όπως και στους ημιαγωγούς τύπου N, της τάξης των μερικών ατόμων των στοιχείων ανά εκατομμύριο.

# Επαφή P-N





# Απογύμνωση φορέων



- Η επαφή PN που δημιουργήθηκε με τον παραπάνω τρόπο ονομάζεται δίοδος PN διότι αφήνει να διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα μέσα από αυτήν μόνο προς μία κατεύθυνση

# Ενεργειακές ζώνες

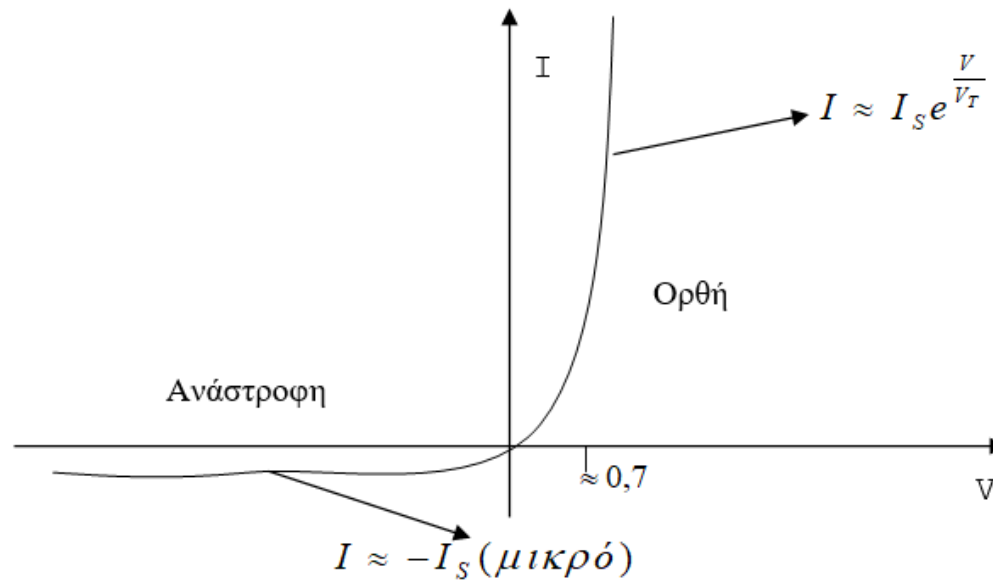
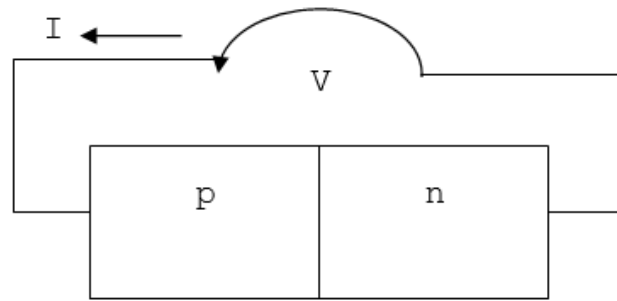
- Σε έναν ημιαγωγό σε χαμηλή θερμοκρασία, οι ζώνες μέχρι και την ζώνη σθένους είναι γεμάτες με ηλεκτρόνια. Η ζώνη αγωγιμότητας και οι ζώνες που βρίσκονται πιο πάνω από αυτή, δεν περιέχουν κανένα ηλεκτρόνιο και είναι τελείως άδειες.

- Τα ηλεκτρόνια που βρίσκονται στις ζώνες σθένους ή αγωγιμότητας, οι οποίες μπορούν να είναι τελείως άδειες ή τελείως γεμάτες, δεν μπορούν να συνεισφέρουν στην αγωγιμότητα, γι' αυτόν τον λόγο οι ημιαγωγοί σε χαμηλές θερμοκρασίες δεν άγουν.
- Σε υψηλότερες θερμοκρασίες, μερικά ηλεκτρόνια έχουν αρκετή θερμική ενέργεια ώστε να υπερβούν το ενεργειακό χάσμα και να βρεθούν στη ζώνη αγωγιμότητας. Αυτά τα ηλεκτρόνια, καθώς και οι οπές που αφήνουν στη ζώνη σθένους, μπορούν να συνεισφέρουν στην αγωγιμότητα του ημιαγωγού.

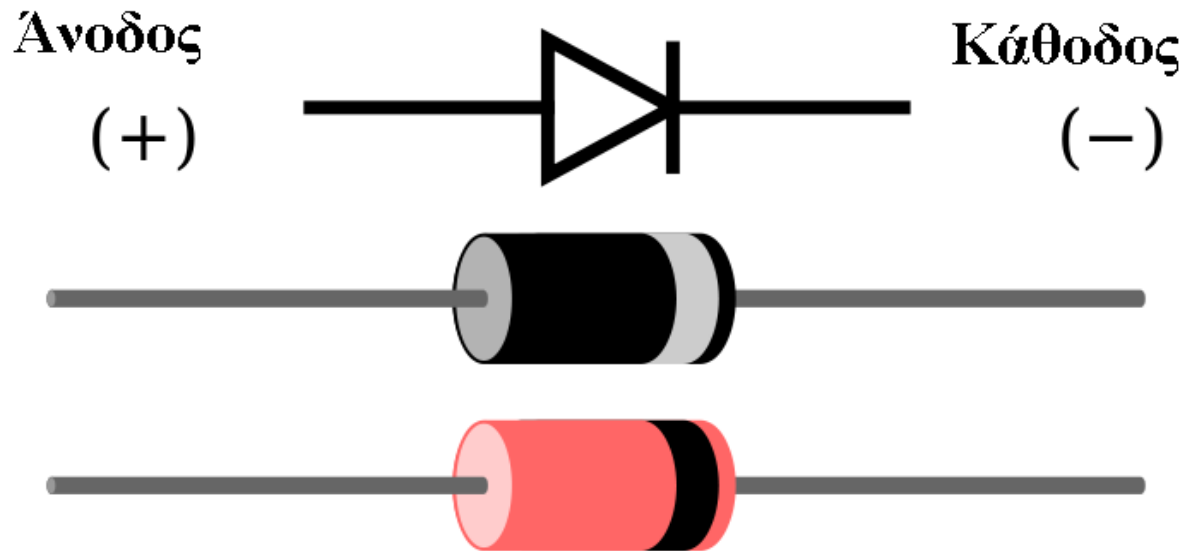
# Σχέση του Ρεύματος

- Η συμπεριφορά τόσο κατά την ορθή όσο και κατά την ανάστροφη πόλωση περιγράφεται από τη σχέση Ebers – Moll:

$$I = I_S \left\{ e^{\frac{V}{V_T}} - 1 \right\}$$

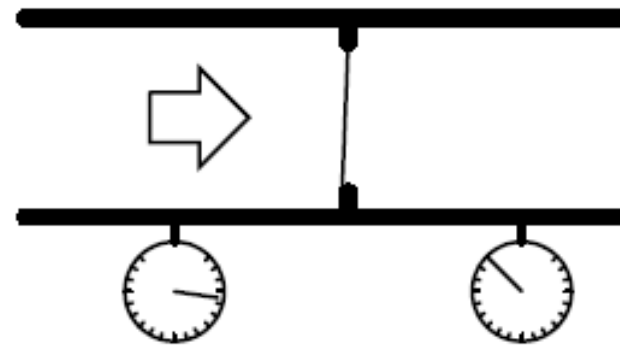
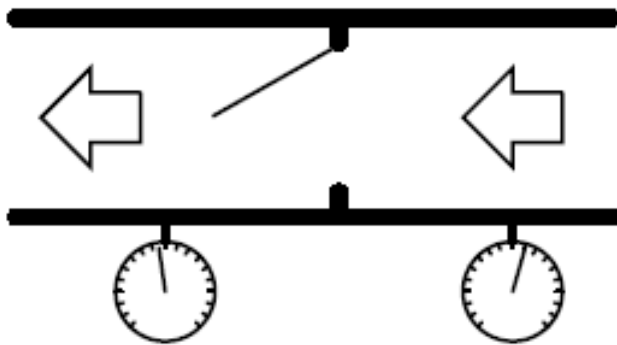
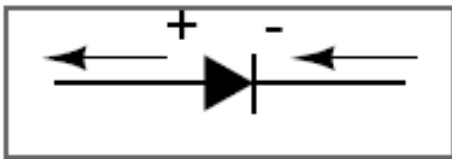


# Δίοδος

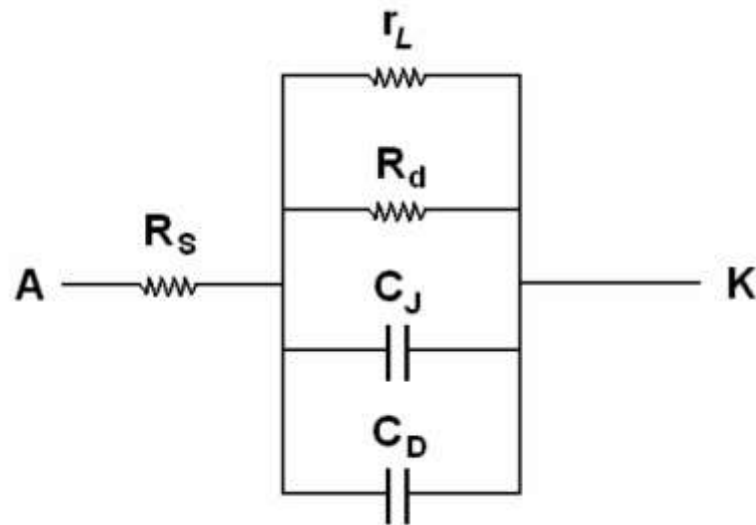


# Ανάλογο

Υδραυλικό Ανάλογο της λειτουργίας της διόδου



# Ισοδύναμο

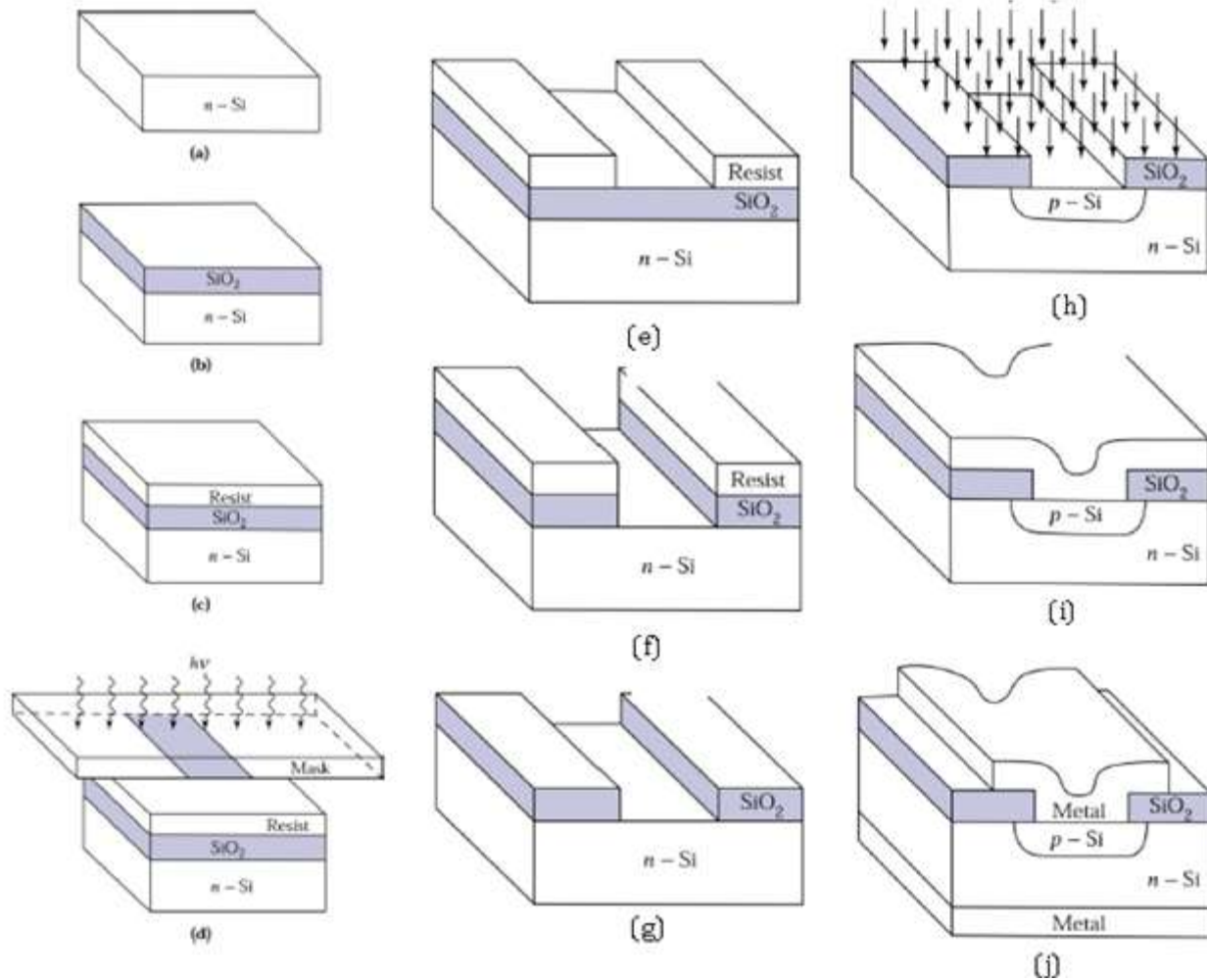




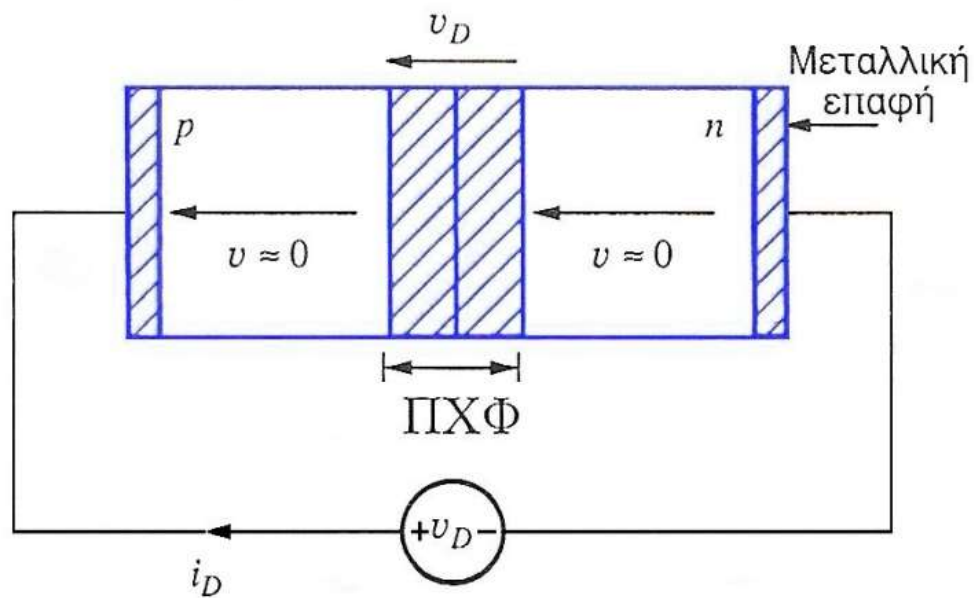
# Κατασκευή διόδων

- Ακίδας
- Διάχυσης
- Planar

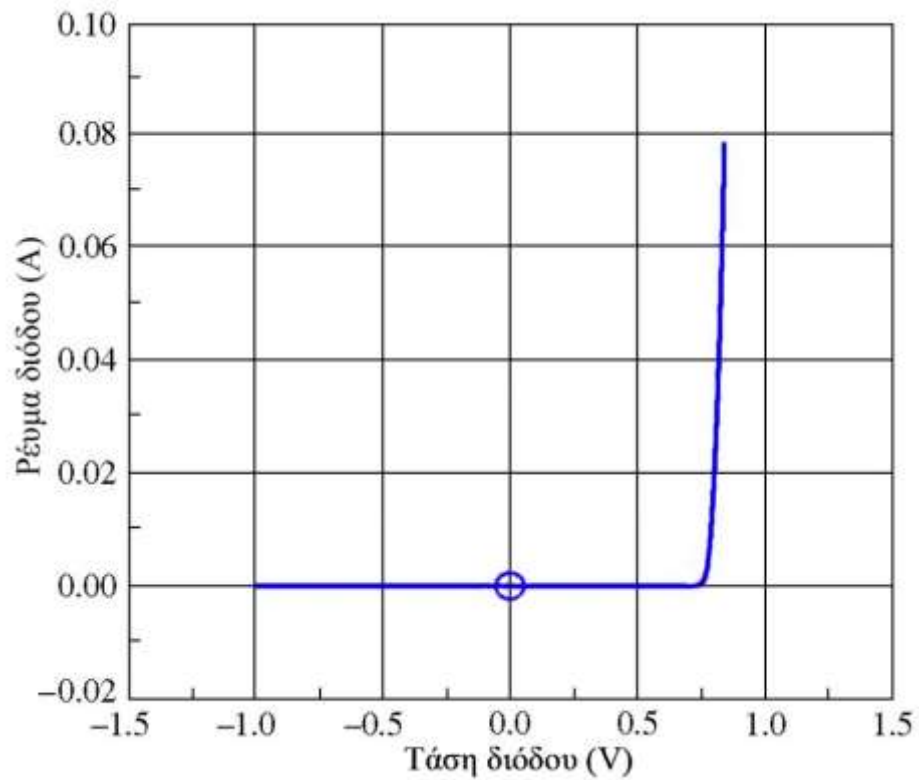
# Στάδια κατασκευής

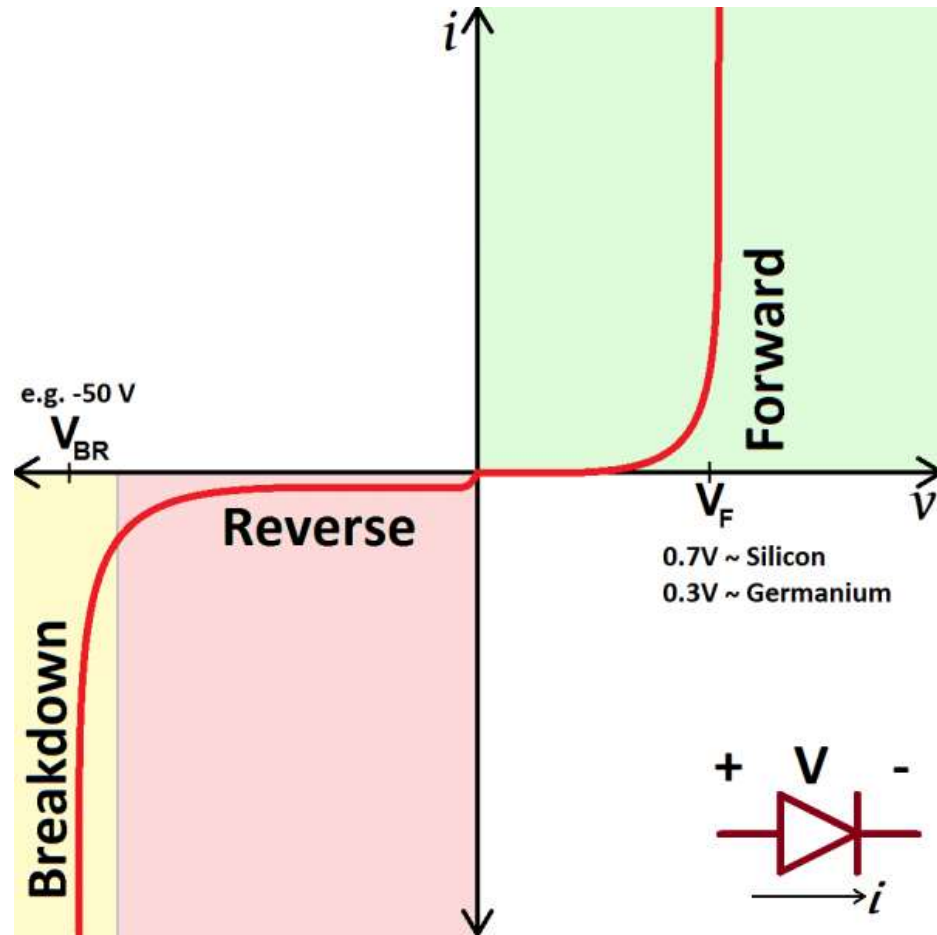


# Σχέση ρεύματος τάσης



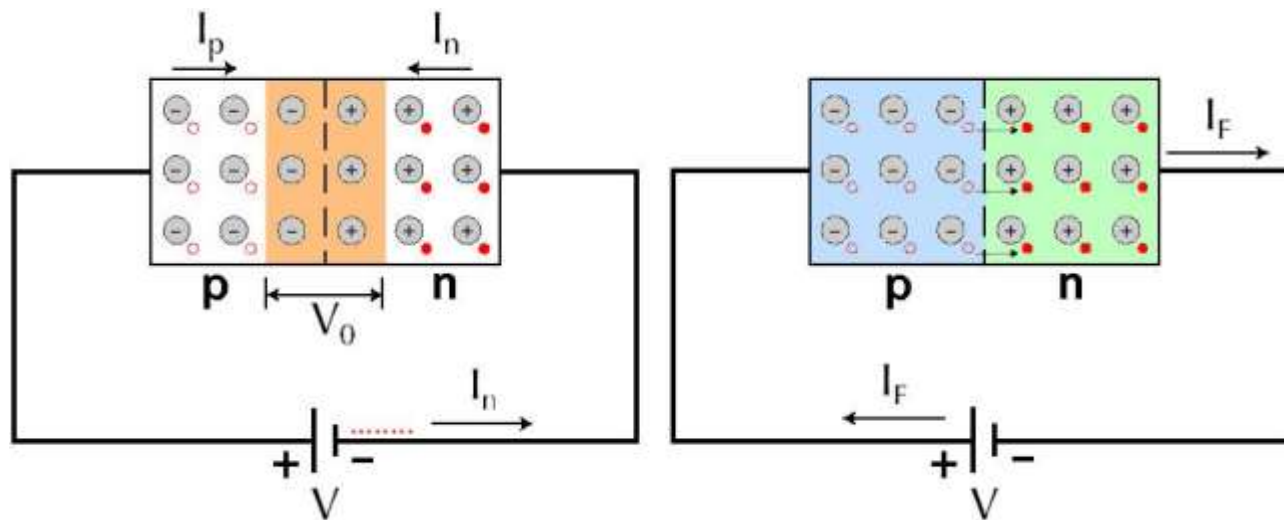
# I-V χαρακτηριστική



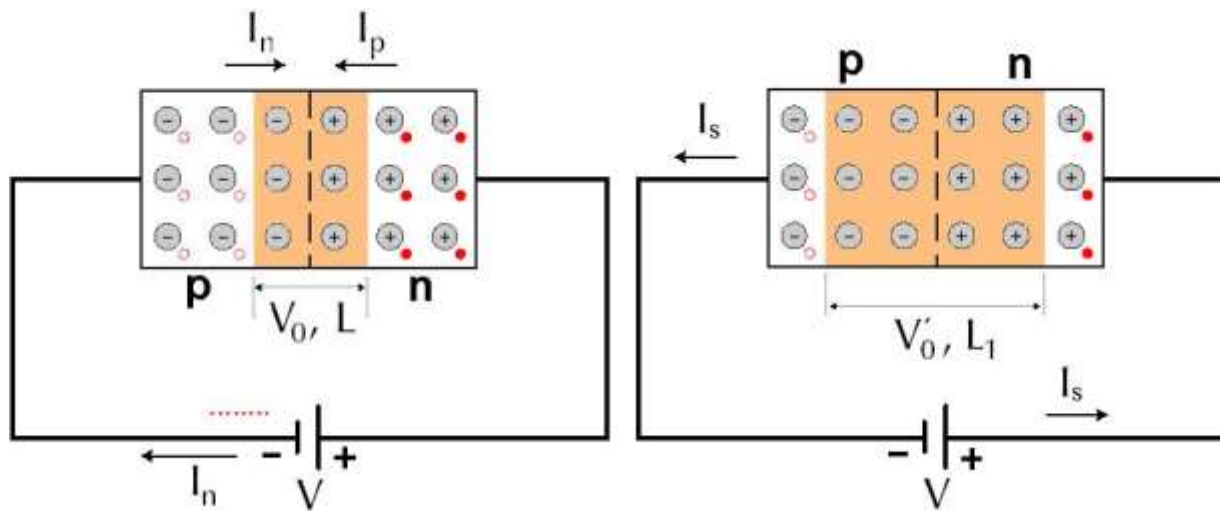


- Η εξίσωση που διέπει την λειτουργία της διόδου δίνεται από την σχέση:  $I_D = I_S (e^{qV_D/NkT} - 1)$  όπου,
- $I_D$  = το ρεύμα της διόδου (A),  $I_S$  = το ρεύμα κόρου (τυπική τιμή  $10^{-12}$ A)
- $e$  = σταθερά του Euler ( $\sim 2.718281828$ )
- $q$  = το φορτίο του ηλεκτρονίου ( $1.6 \times 10^{-19}$  C)
- $V_D$  = η τάση της διόδου
- $N$  = Συντελεστής "εκπομπής" ή "μη-ιδανικότητας" (τυπικές τιμές 1 και 2)
- $T$  = θερμοκρασία επαφής (K) και  $k$  = σταθερά του Boltzmann ( $1.38 \times 10^{-23}$ )

# Ορθή πόλωση

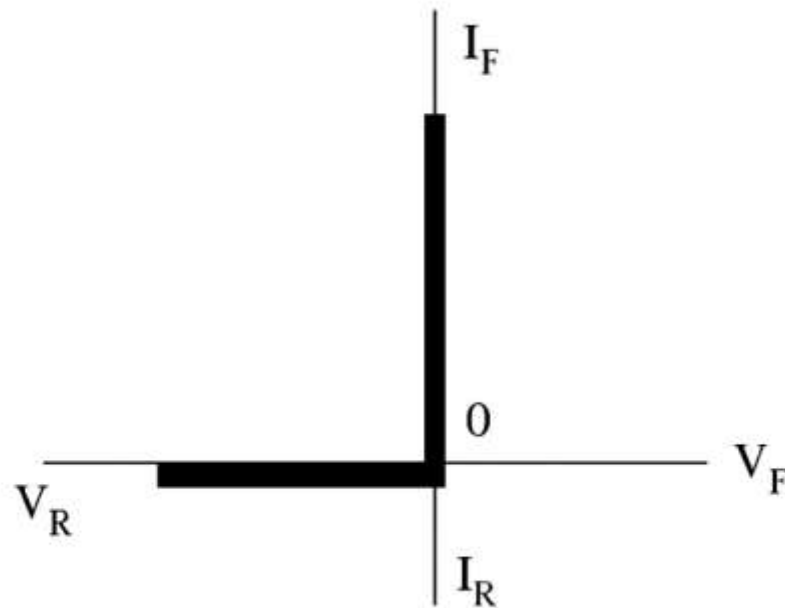


# Ανάστροφη πόλωση





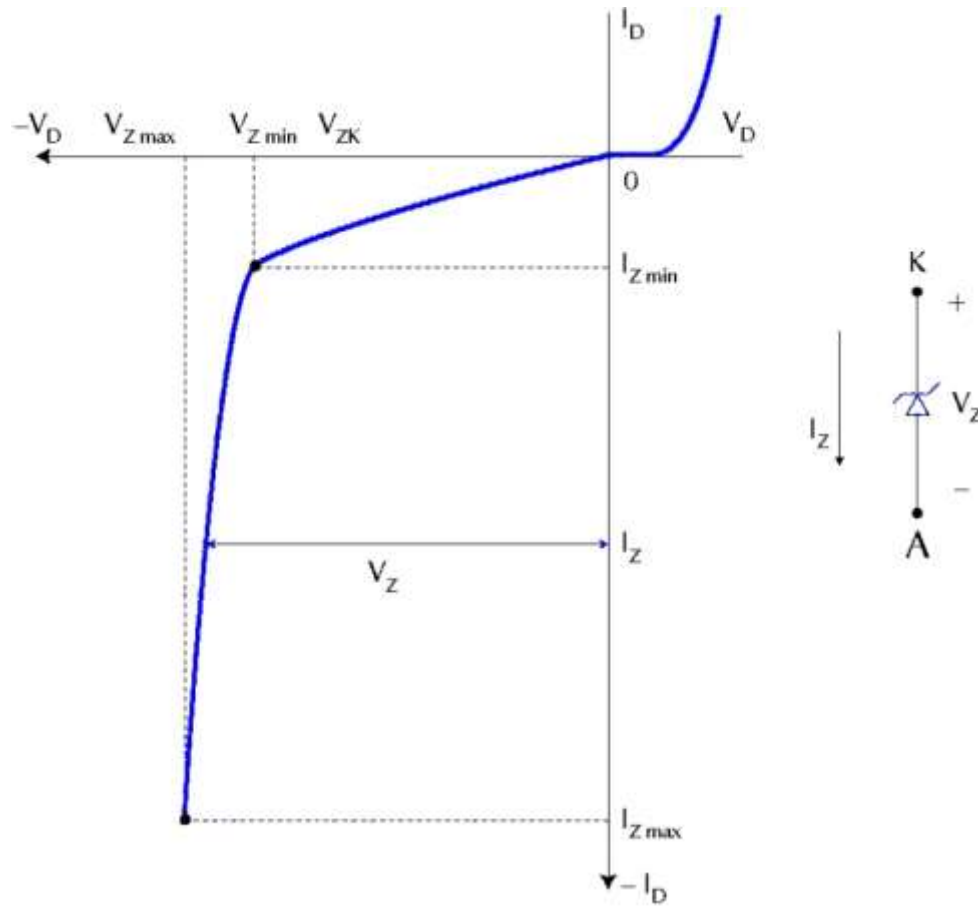
# Ιδανική δίοδος



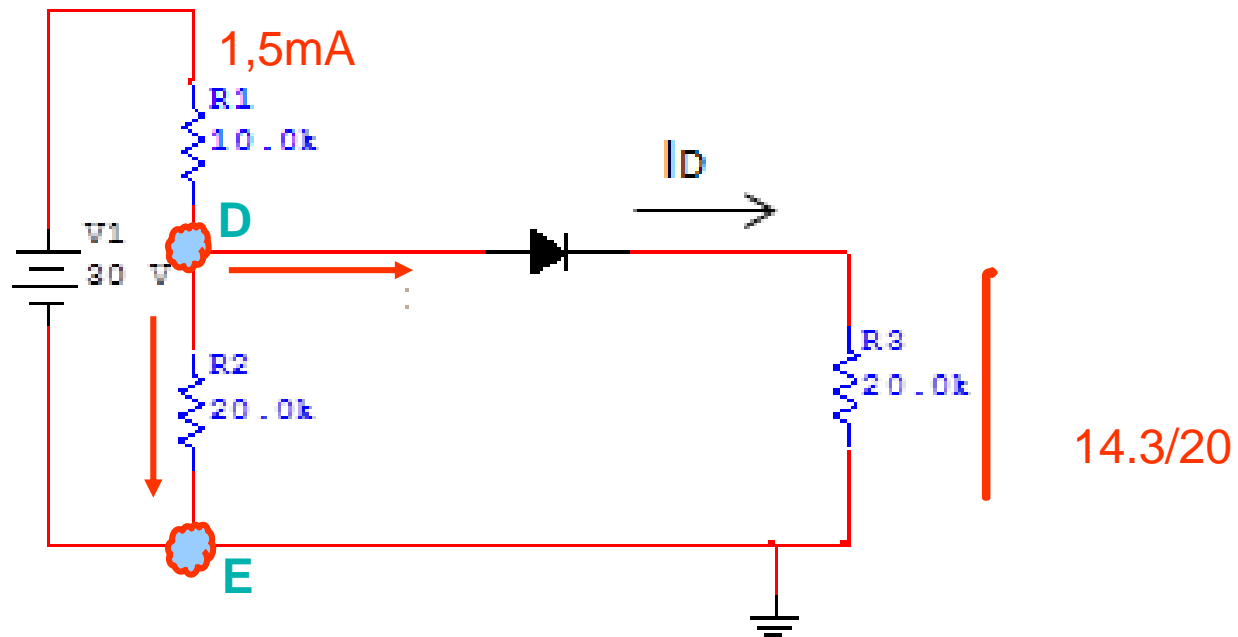
# Zener

- Το μέτρο της τάσης στην οποία λαμβάνει χώρα η κατάρρευση λέγεται τάση κατάρρευσης (breakdown voltage)  $V_z$  της διόδου και τυπικά είναι στην κλίμακα (3-2000)V:  $3V < V_z < 2000V$ . Η τιμή της  $V_z$  καθορίζεται κυρίως από το ποσοστό των προσμίξεων στην πλευρά της επαφής pn με το μικρότερο ποσοστό προσμίξεων, αλλά όσο πιο μεγάλο είναι το ποσοστό των προσμίξεων, τόσο πιο μικρή είναι η τάση κατάρρευσης της διόδου. Έχουν αναγνωριστεί δυο ξεχωριστοί μηχανισμοί κατάρρευσης η **κατάρρευση χιονοστιβάδας**, και η **κατάρρευση Zener**.

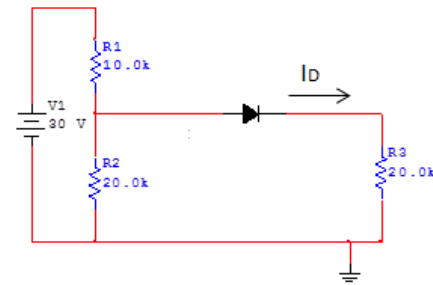
# Χαρακτηριστική Zener



# Ασκηση 1



- Ισχύουν οι παρακάτω εξισώσεις (από τους κανόνες του Kirchhoff)

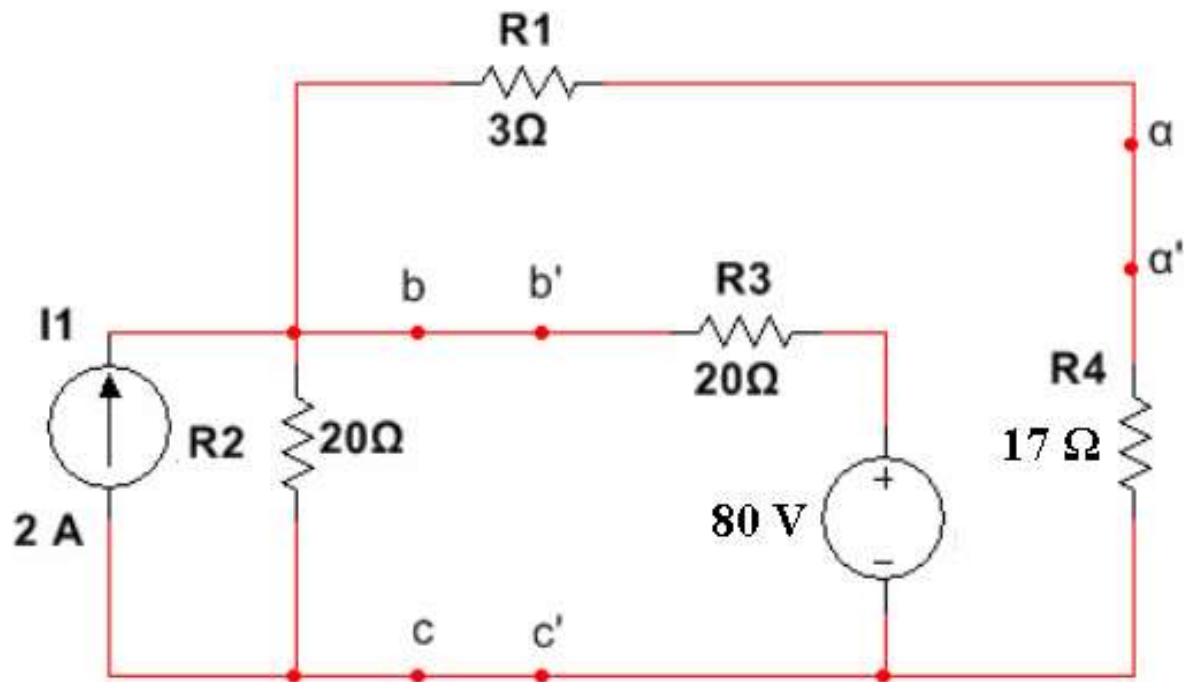


- Αν είναι ιδανική  $20 // 20 + 10 = 20K$
- $30 / 20 = 1,5mA$
- $14.3 / 20 mA = 0.715mA$

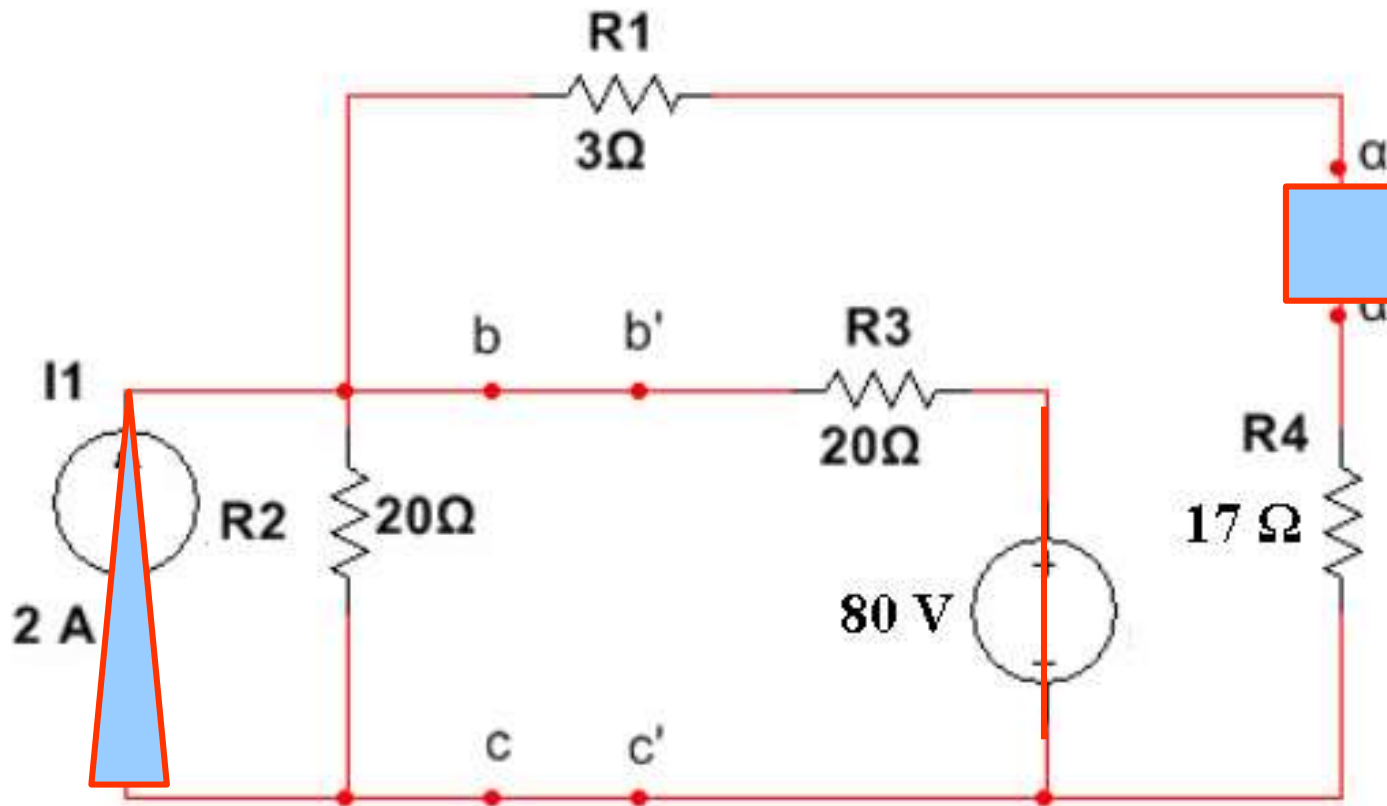
# Άσκηση Thevenin

- Να υπολογίσετε τις παραμέτρους του ισοδύναμου κυκλώματος κατά Thévenin όταν το κύκλωμα ανοίξει
- α) μεταξύ των  $a$  και  $a'$
- β) μεταξύ των  $b$  και  $b'$

# Σχήμα

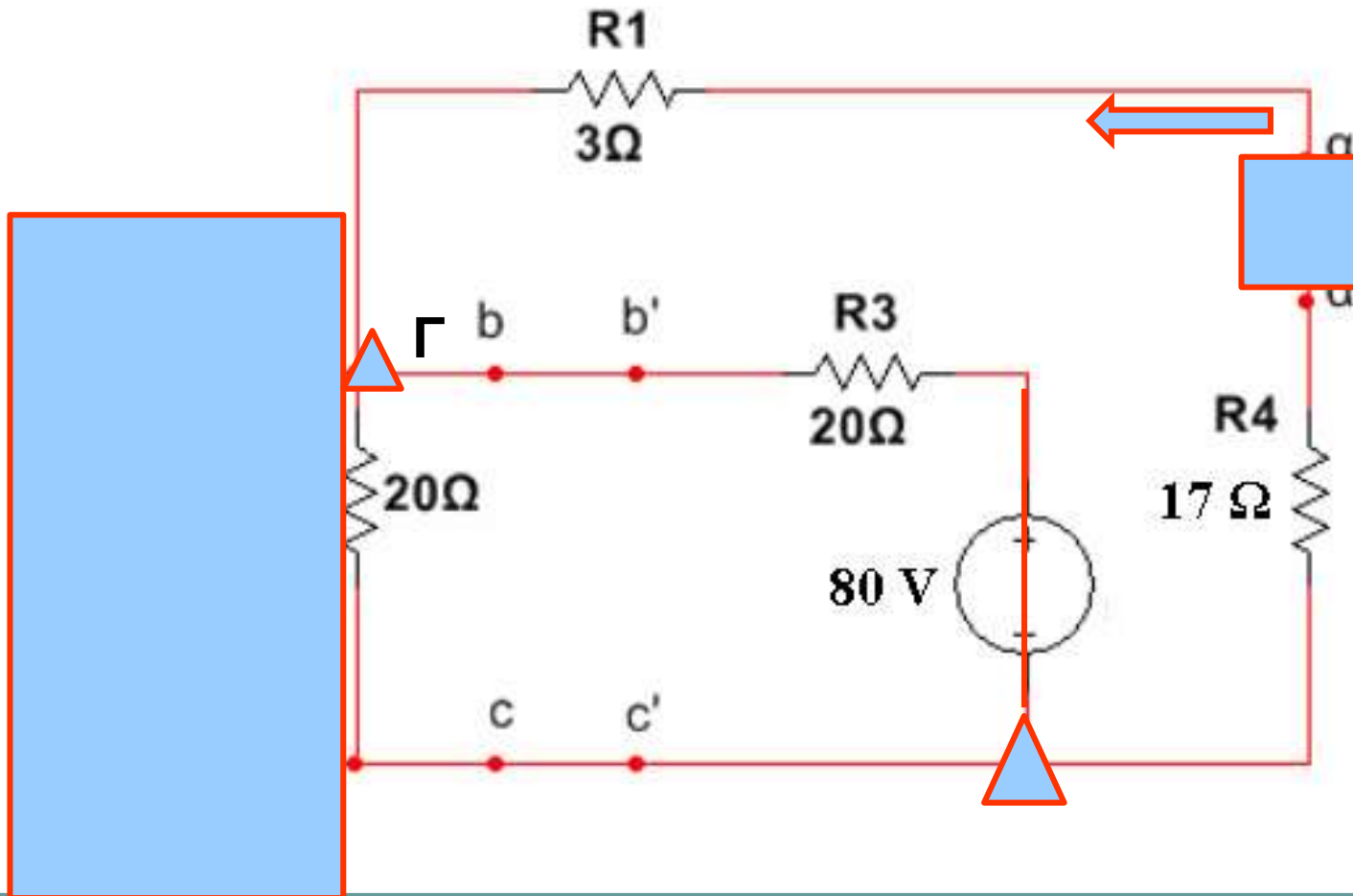


# Σχήμα





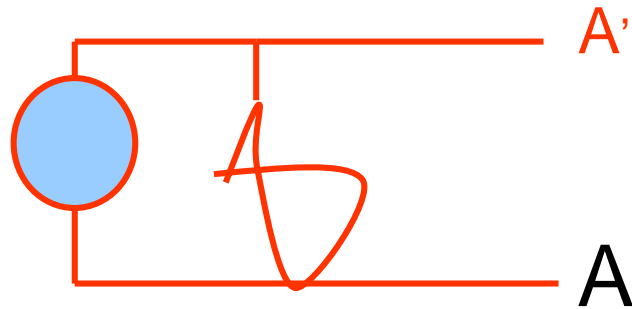
# Σχήμα



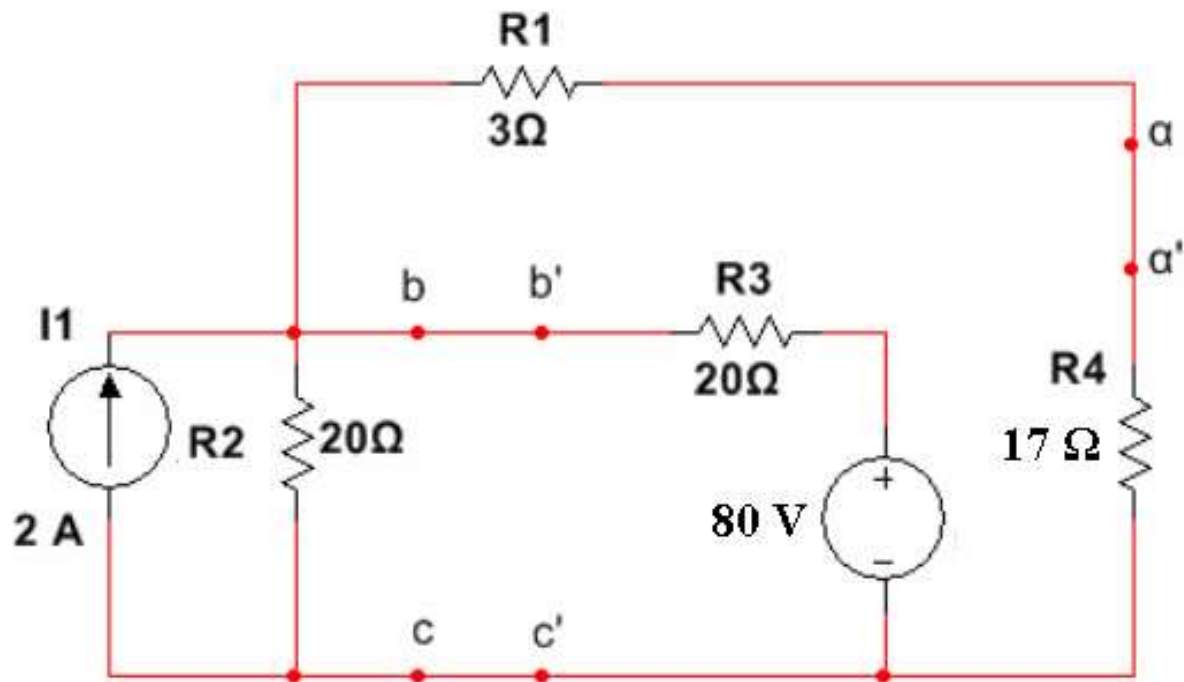
- R Thevenin = 30  $\Omega$
- V Thevenin = 60 V

-

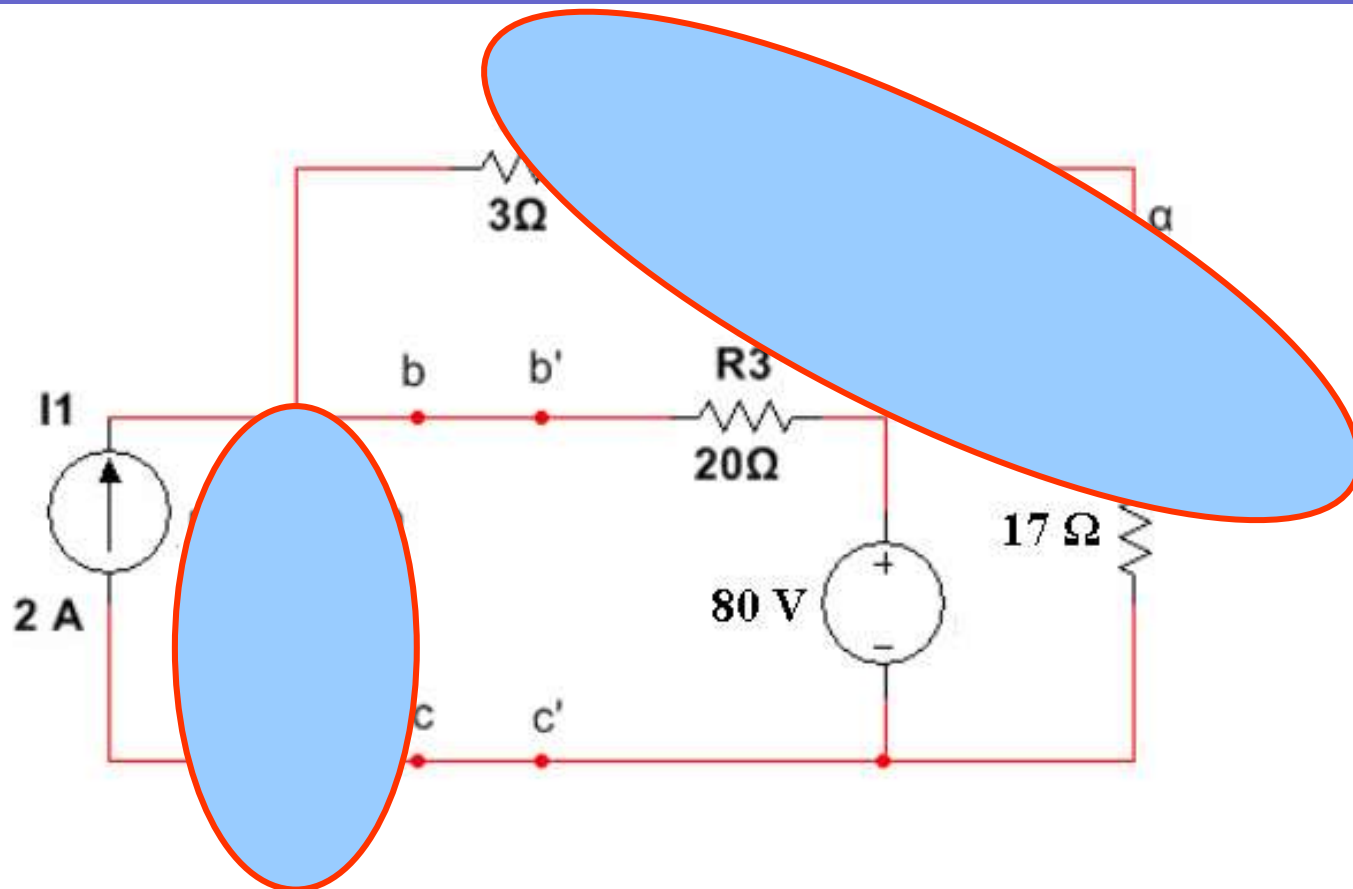
- 
- 
- 



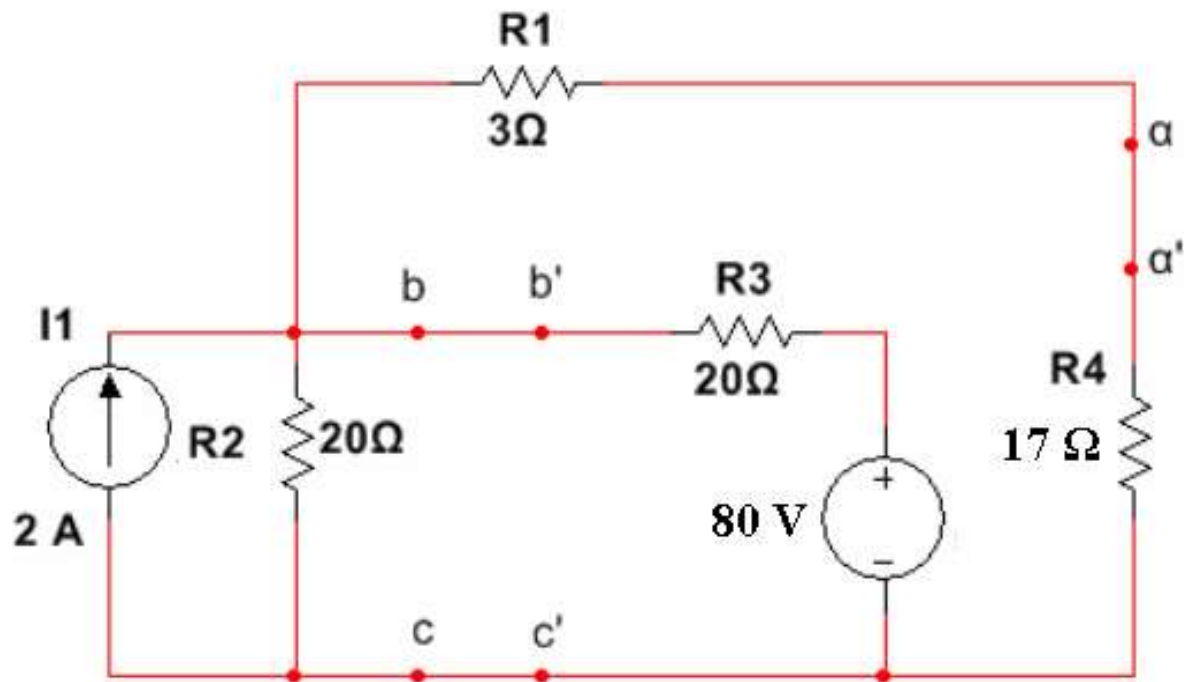
# Σχήμα



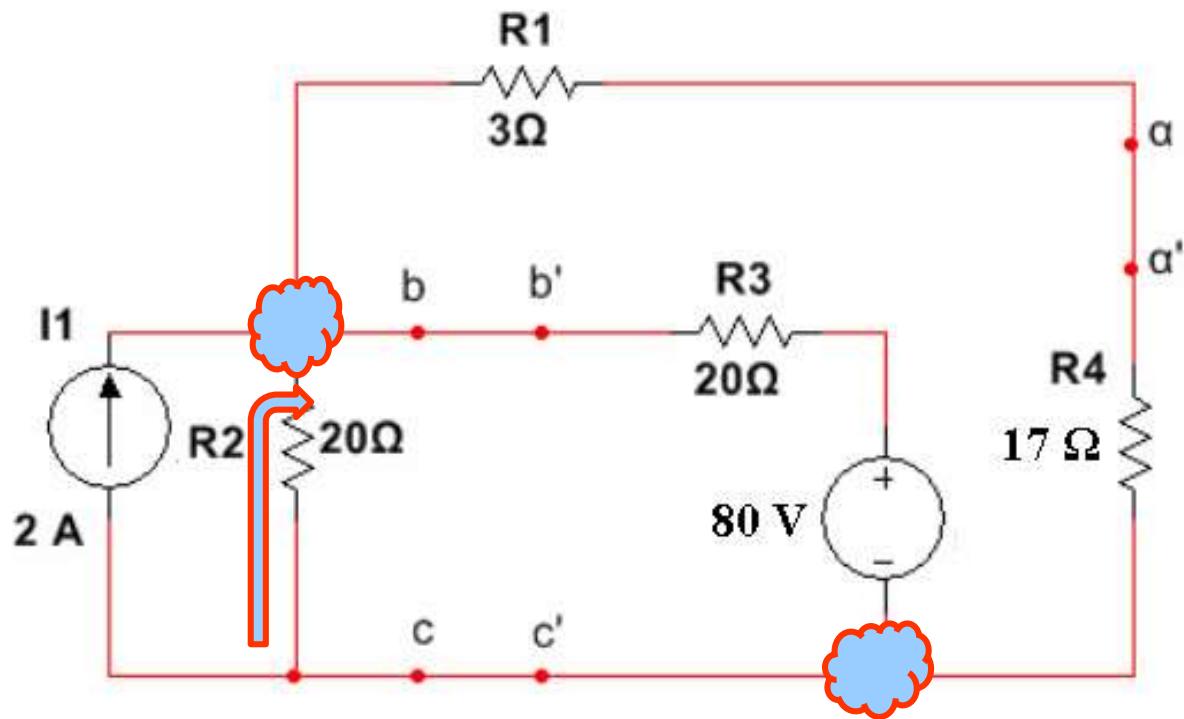
# Σχήμα



# Σχήμα

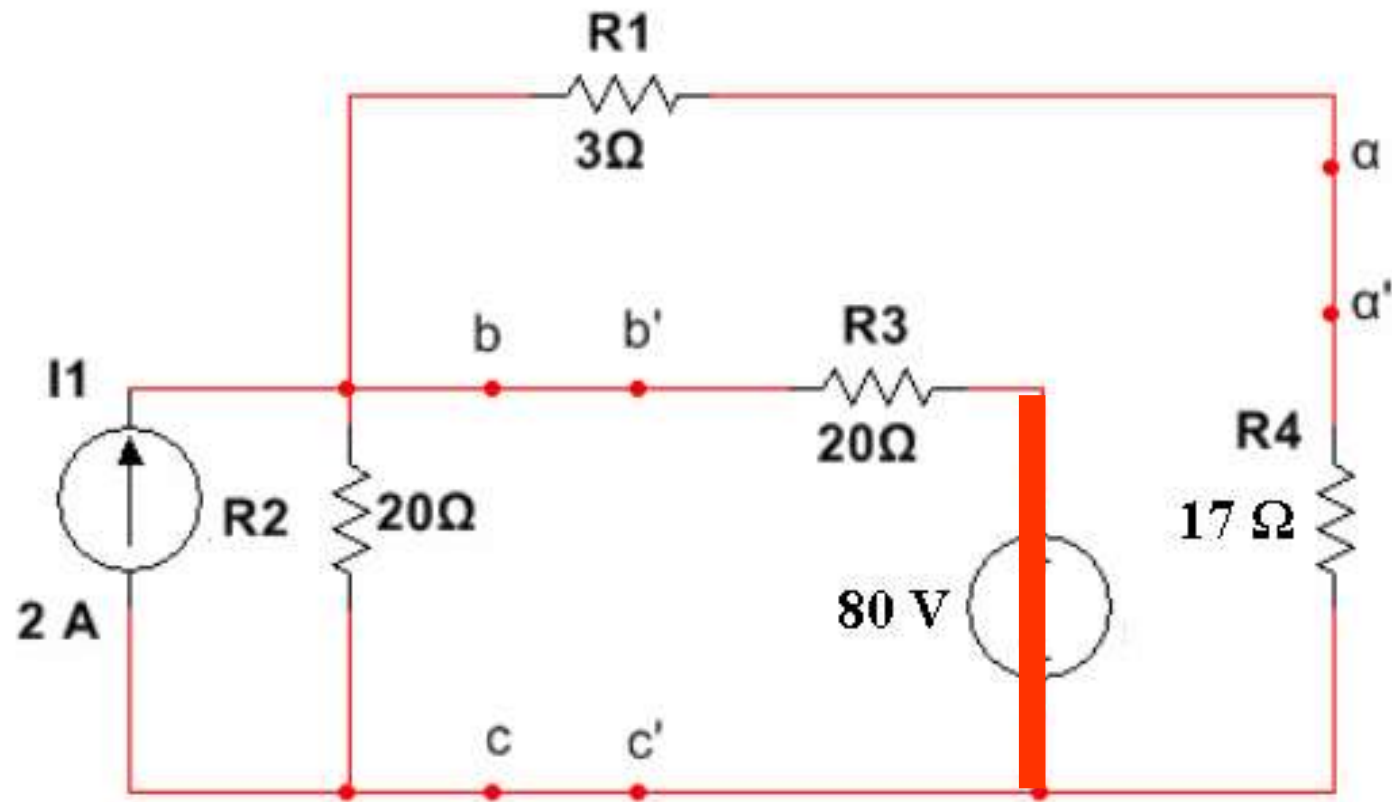


# Σχήμα



# Υπέρθεση

# Υπέρθεση με ρεύμα





# Υπέρθεση με τάση

