

---

# ΑΝΑΛΟΓΙΚΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ

---

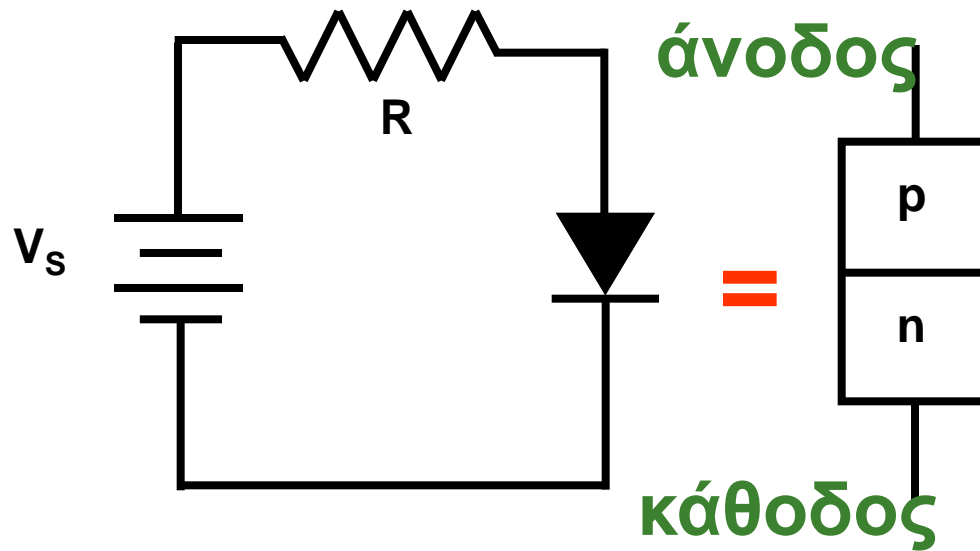
Διάλεξη 2: Δίοδος pn

Δρ Δημήτριος Λαμπάκης

# Δίοδος pn

- Είναι μια μη γραμμική συσκευή
- Η γραφική παράσταση του ρεύματος σε σχέση με την τάση δεν είναι ευθεία γραμμή
- Η εξωτερική τάση πρέπει να υπερβαίνει το φράγμα δυναμικού της διόδου ώστε η δίοδος να άγει

Το σύμβολο της διόδου ρη μοιάζει με ένα βέλος το οποίο δείχνει από την πλευρά p στην πλευρά n



# Γραμμικότητα

- Η γραφική παράσταση τάσης-ρεύματος για μια αντίσταση είναι μια ευθεία γραμμή (γραμμική)
- Μια δίοδος pn έχει χαρακτηριστική τάσης ρεύματος μη γραμμική
- Το φράγμα δυναμικού δημιουργεί μια απότομη καμπύλη (τάση κατωφλίου) στην χαρακτηριστική της διόδου
- Η τιμή της τάσης σε αυτή την περίπτωση (τάση κατωφλίου) είναι περίπου 0.7 volts για δίοδο πυριτίου
- Η χαρακτηριστική ρεύματος-τάσης για μια δίοδο pn φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:

**Ρεύμα ορθής πόλωσης σε mA**

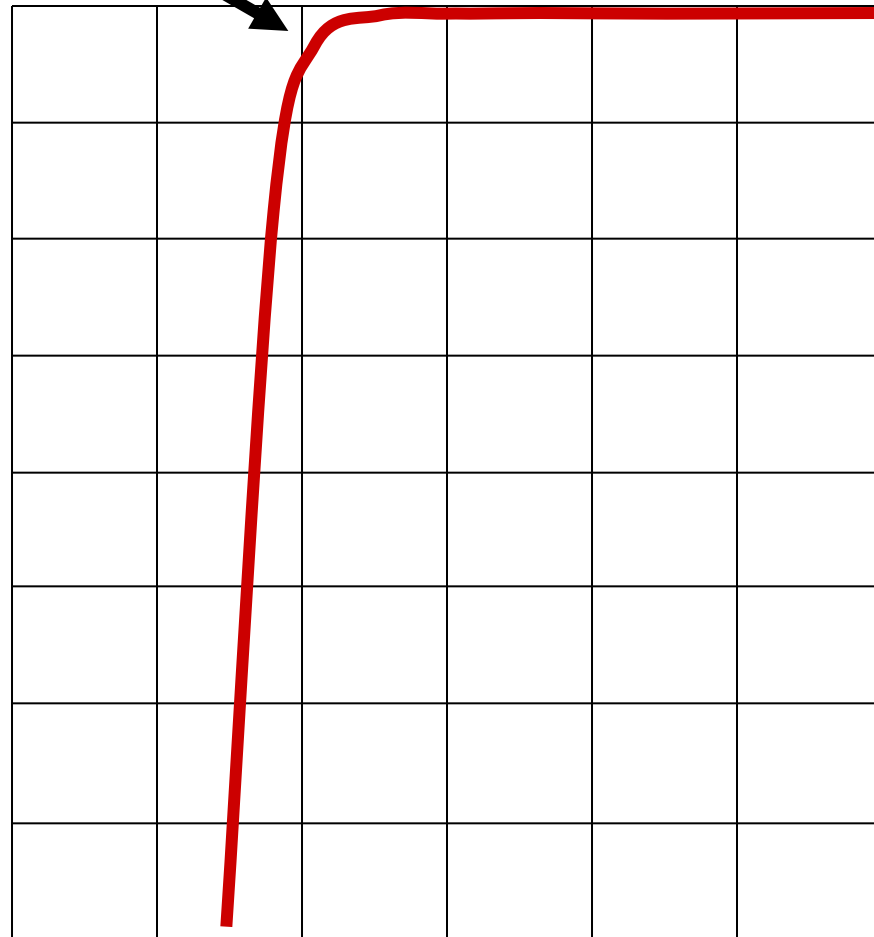


**Τάση ορθής πόλωσης σε volts**

# Κατάρρευση

Τάση αναστροφής πόλωσης σε Volts

600 400 200 0



Ανάστροφο  
ρεύμα  
σε mA

Χαρακτηριστική καμπύλη αναστρ. πόλωσης διόδου Si pn

# Αντίσταση σώματος της διόδου $r_n$

- Στην ορθή πόλωση, το ρεύμα της διόδου αυξάνεται απότομα πέρα από την τάση κατωφλίου (knee voltage)
- Μικρές αυξήσεις στην τάση έχουν σαν αποτέλεσμα μεγάλες αυξήσεις στο ρεύμα
- Το άθροισμα των ωμικών αντιστάσεων των υλικών  $p$  και  $n$  ονομάζεται αντίσταση σώματος της διόδου
- Η τιμή της αντίστασης σώματος της διόδου είναι συχνά μικρότερη από  $1 \text{ Ohm}$

# Θέματα διόδου

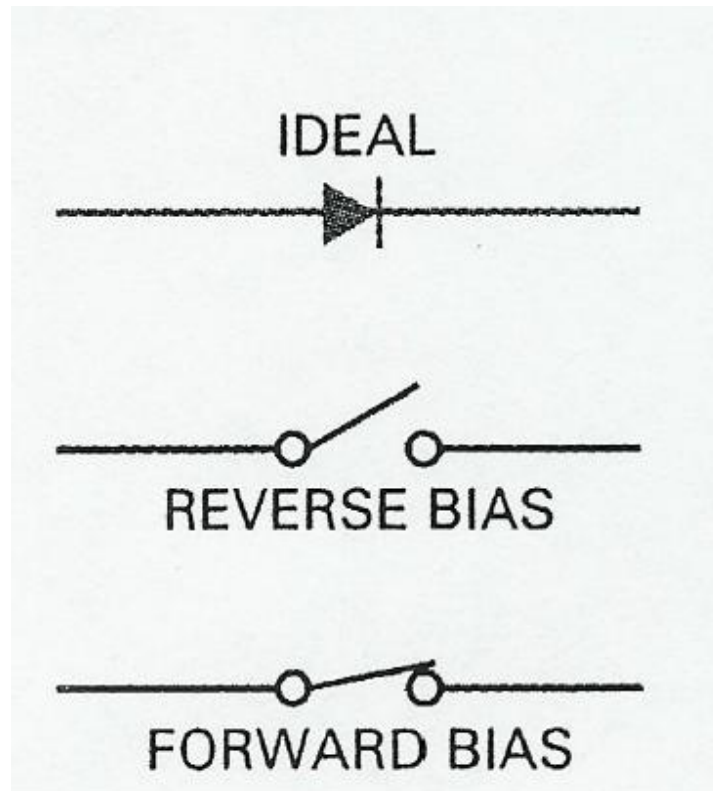
- Η μέγιστη τιμή της αναστροφής τάσης δεν πρέπει να υπερβάλλεται
- Το μέγιστο ορθό ρεύμα δεν πρέπει να υπερβάλλεται
- Η τάξη ισχύος μιας διόδου καθορίζεται από το μέγιστο ορθό ρεύμα και την μέγιστη τάση που αντιστοιχεί σε αυτό το ρεύμα
- $P_{\max} = V_{\max} I_{\max}$



# Πρώτη προσέγγιση διόδου pn

- Περιγράφει την δίοδο σαν να είναι ιδανική
- Η πρώτη προσέγγιση αγνοεί το ρεύμα διαρροής, το φράγμα δυναμικού και την αντίσταση σώματος
- Στην ορθή πόλωση η πρώτη προσέγγιση αντιστοιχεί σε ένα κλειστό διακόπτη
- Στην ανάστροφη πόλωση η πρώτη προσέγγιση αντιστοιχεί σε ένα ανοικτό διακόπτη

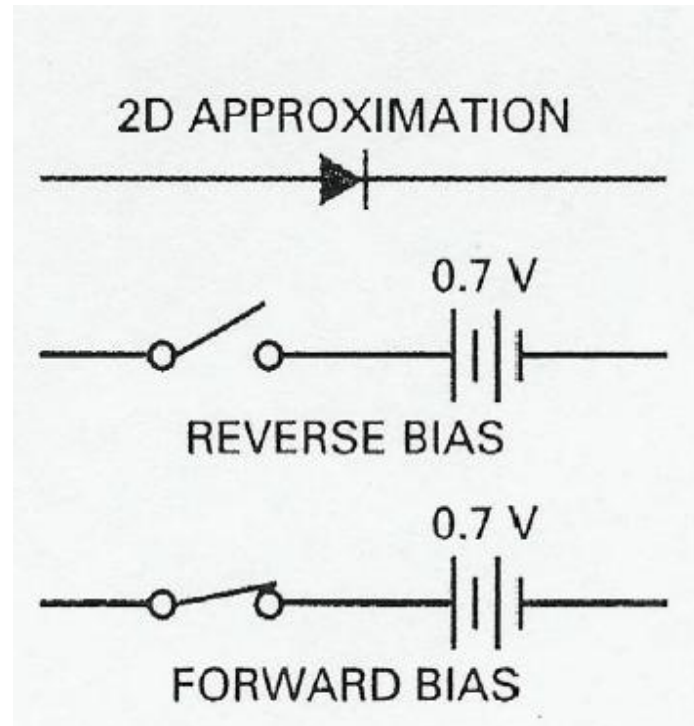
# Πρώτη προσέγγιση διόδου pn



# Δεύτερη προσέγγιση διόδου pn

- Το μοντέλο αυτό θεωρεί ότι δεν υπάρχει καθόλου ρεύμα στην δίοδο έως οτου η τάση ορθής πόλωσης κατά μήκος της διόδου φτάσει τα 0.7 volts
- Το μοντέλο αυτό αγνοεί την ακριβή μορφή της τάσης κατωφλίου
- Το μοντέλο αυτό αγνοεί την αντίσταση σώματος της διόδου

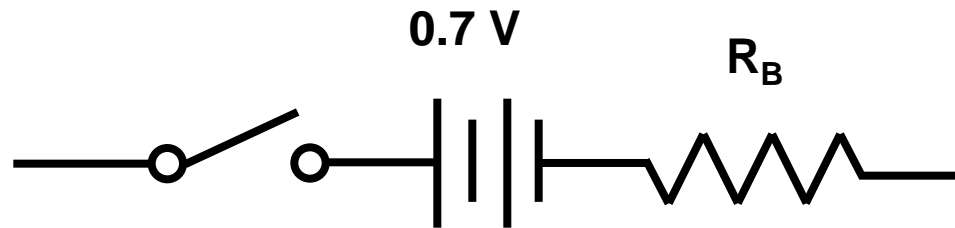
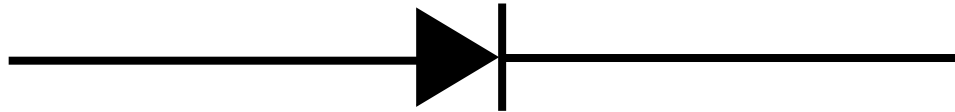
# Δεύτερη προσέγγιση διόδου pn



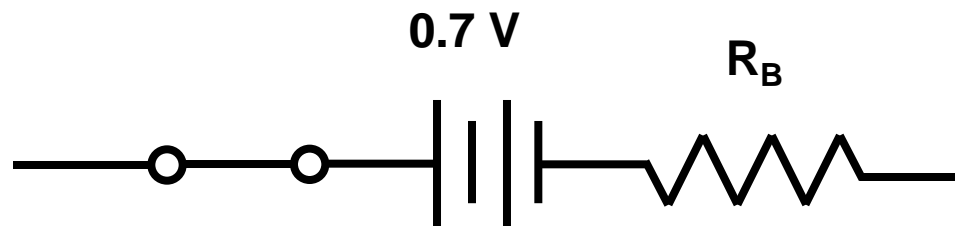
# Τρίτη προσέγγιση διόδου pn

- Το μοντέλο αυτό θεωρεί ότι δεν υπάρχει ρεύμα στην δίοδο μέχρι η τιμή της τάσης στην ορθή πόλωση να φτάσει τα 0.7 volts
- Το μοντέλο αυτό αγνοεί την ακριβή μορφή της τάσης κατωφλίου
- Το μοντέλο αυτό λαμβάνει υπόψη την αντίσταση σώματος της διόδου

# Τρίτη προσέγγιση διόδου pn



Ανάστροφη πόλωση



Ορθή πόλωση

# Ποια προσέγγιση?

- Η 1<sup>η</sup> προσέγγιση είναι επαρκής για την αντιμετώπιση των περισσοτέρων προβλημάτων
- Η δεύτερη προσέγγιση χρησιμοποιείται εάν απαιτούνται πιο ακριβείς τιμές για το ρεύμα φορτίου και την τάση φορτίου
- Η τρίτη προσέγγιση βελτιώνει την ακρίβεια όταν η αντίσταση σώματος (bulk resistance) της διόδου είναι μεγαλύτερη από το 1/100 της αντίστασης Thevenin που βλέπει την δίοδο

# Δοκιμή διόδου πυριτίου με την χρήση ομόμετρου

- Χαμηλή αντίσταση και στις δυο κατευθύνσεις (ορθή και ανάστροφη πόλωση): η δίοδος είναι βραχυκυκλωμένη
- Υψηλή αντίσταση και στις δυο κατευθύνσεις: η δίοδος είναι ανοικτοκυκλωμενη
- Σχετικά χαμηλή αντίσταση κατά την ανάστροφη πόλωση: η δίοδος εμφανίζει διαρροή
- Ο λογος της αντίστασης ανάστροφης πόλωσης προς την αντίσταση ορθής πόλωσης είναι  $> 1000$ : η δίοδος είναι καλή



# Δοκιμή διόδου πυριτίου με την χρήση πολυμετρου

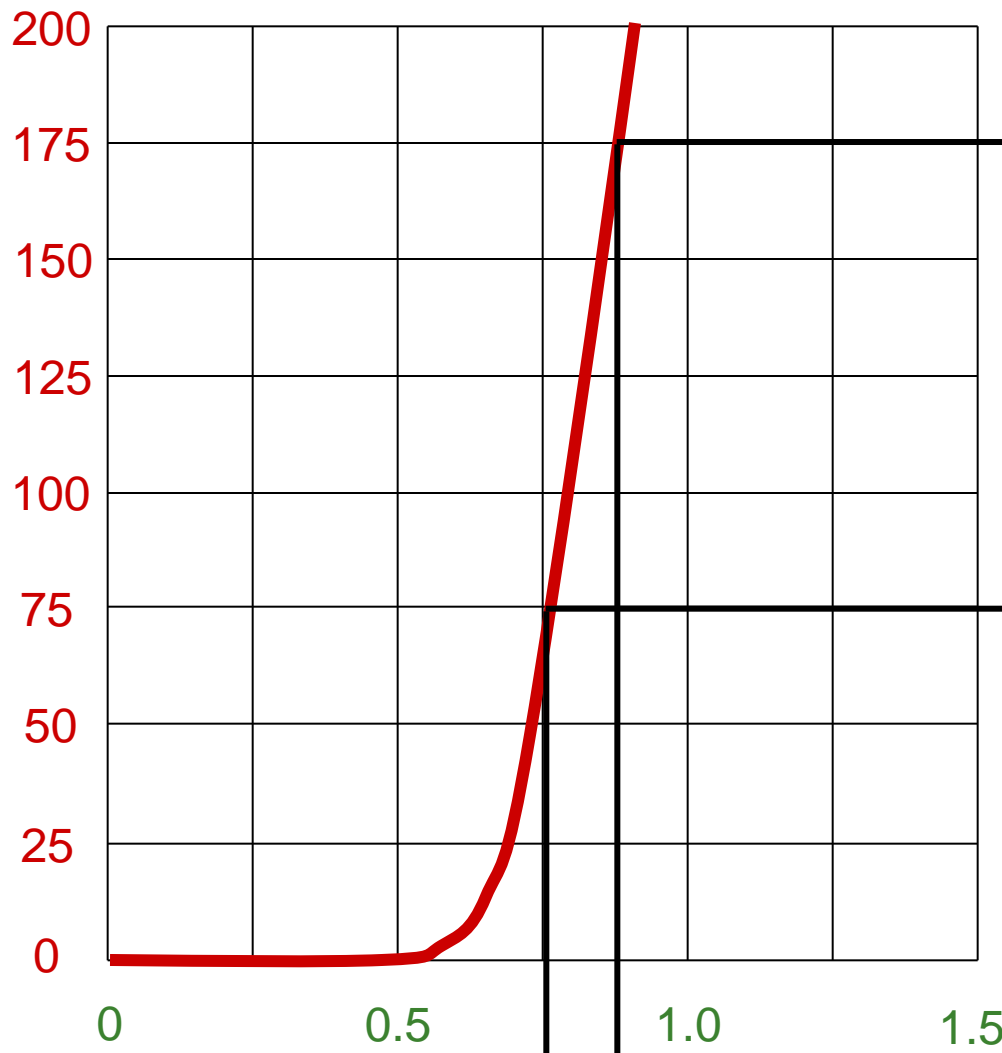
- Τοποθετείστε το ψηφιακο πολυμετρο στην επιλογή diode test function
- Μια συνδεδεμένη δίοδος σε ορθή πόλωση θα εμφανίσει την τάση ορθής πόλωσης της επαφής pn (~0.5V εως 0.7V)
- Όταν η δίοδος είναι ανάστροφα πολωμένη, το πολυμετρο εμφανίζει την ένδειξη “OL” ή “1”
- Μια βραχυκυκλωμένη δίοδος εμφανίζει στο πολυμετρο μια τάση μικρότερη από 0.5V και στις 2 πολώσεις
- Μια ανοικτοκυκλωμενη δίοδος θα καθοριζόταν από τιμές εκτός κλίμακας στην οθόνη του πολυμετρου και για τις 2 πολώσεις
- Μια δίοδος με διαρροή θα εμφάνιζε μια τάση μικρότερη από 2.0V και για τις 2 πολώσεις

# Φυλλάδια λειτουργίας διόδου (data sheets)

- Χρήσιμα στους σχεδιαστές κυκλωμάτων
- Χρήσιμα στους τεχνικούς επισκευής βλαβών
- Τιμές που είναι χρήσιμες:
  - Τάση κατάρρευσης
  - Μέγιστο ρεύμα ορθής πόλωσης
  - Πτώση τάσης ορθής πόλωσης

## Υπολογισμός αντίστασης σώματος διόδου

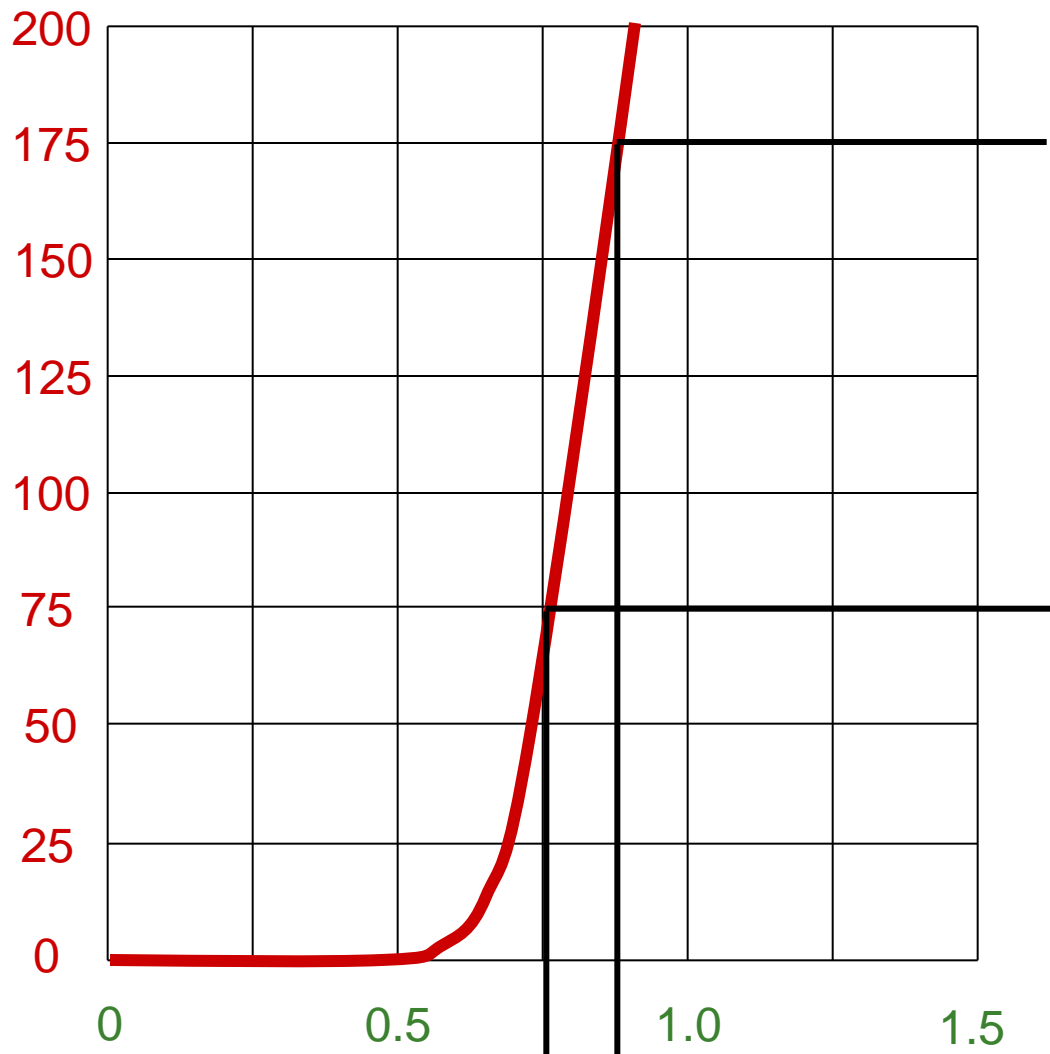
Ρεύμα ορθής πόλωσης σε mA



$$R_B = \frac{0.875 \text{ V} - 0.75 \text{ V}}{175 \text{ mA} - 75 \text{ mA}}$$
$$= 1.25 \Omega$$

Τάση ορθής πόλωσης σε volts

Ρεύμα ορθής πόλωσης σε mA



$$R_F = \frac{0.875 \text{ V}}{175 \text{ mA}}$$

$$= 5 \Omega$$

$$R_F = \frac{0.75 \text{ V}}{75 \text{ mA}}$$

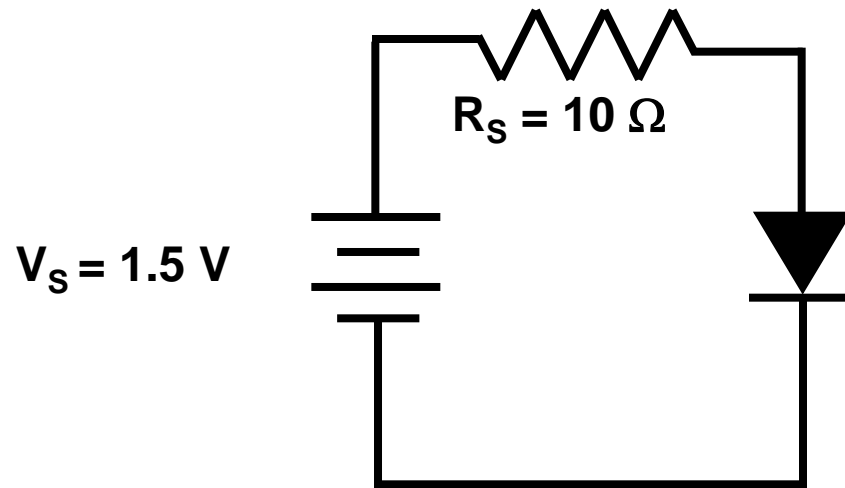
$$= 10 \Omega$$

Η αντίσταση ορθής πόλωσης μειώνεται όσο το ρεύμα αυξάνεται

Τάση ορθής πόλωσης σε volts

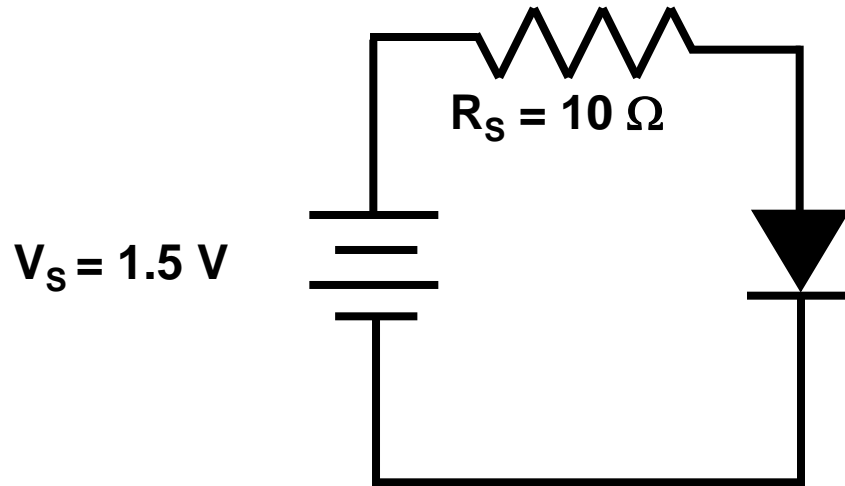
# Τιμές αντίστασης της διόδου πυριτίου

- Η αντίσταση ανάστροφης πόλωσης είναι πολύ μεγάλη: τιμές δεκάδων ή εκατοντάδων megohms
- Η αντίσταση ορθής πόλωσης δεν είναι ίδια με την αντίσταση σώματος της διόδου
- Η αντίσταση ορθής πόλωσης είναι πάντα μεγαλύτερη από την αντίσταση σώματος της διόδου
- Η αντίσταση ορθής πόλωσης είναι ίση με την αντίσταση σώματος της διόδου συν την επίδραση του φράγματος δυναμικού



**Το παραπάνω κύκλωμα μπορεί να επιλυθεί με πολλούς τρόπους:**

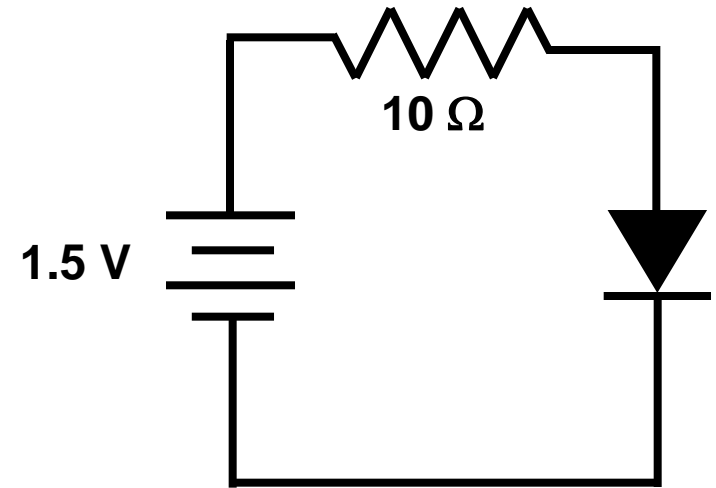
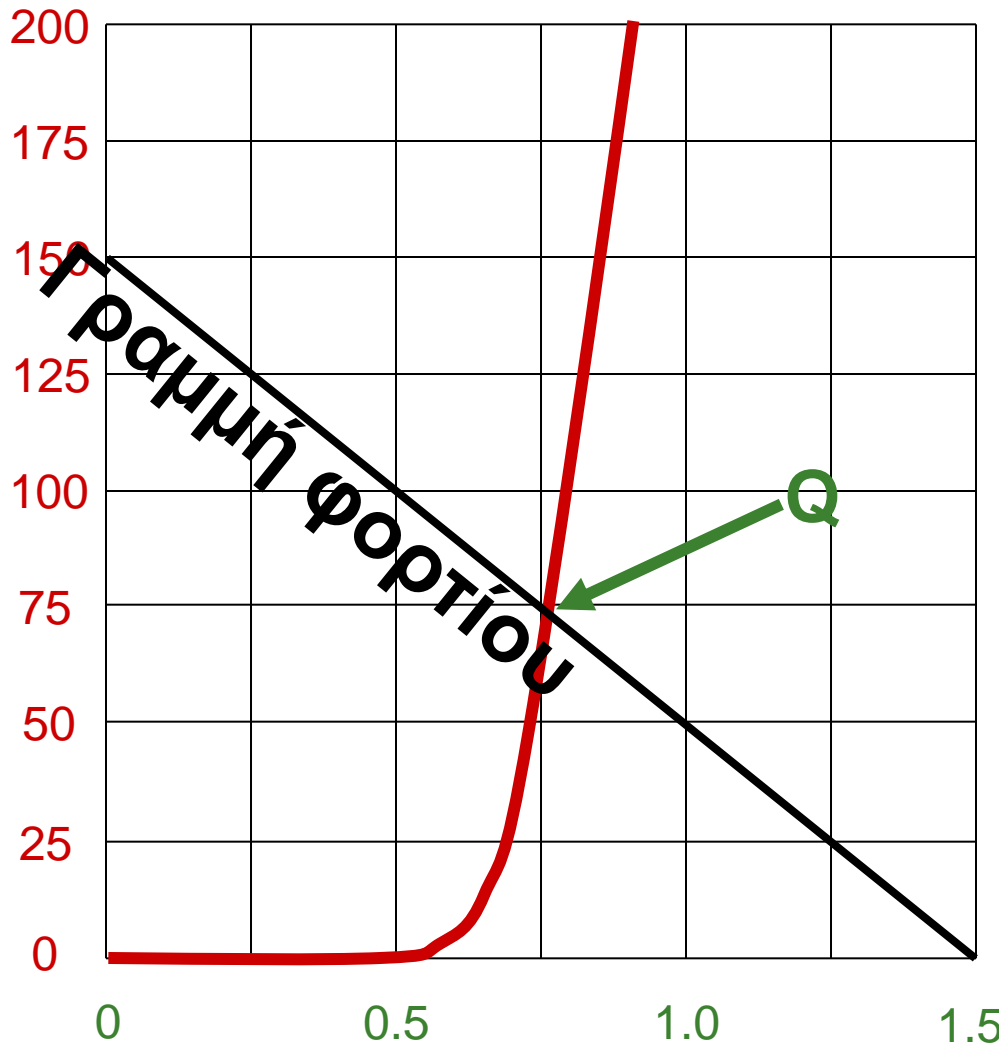
1. Με την χρήση της 1<sup>ης</sup> προσέγγισης
2. Με την χρήση της 2<sup>ης</sup> προσέγγισης
3. Με την χρήση της 3<sup>ης</sup> προσέγγισης
4. Με την χρήση εξομοιωτή κυκλώματος
5. Με την χρήση της χαρακτηριστικής καμπύλης της διόδου



## Η χρήση του τρόπου 5 αντιστοιχεί σε γραφική μέθοδο επίλυσης:

1. Υπολογισμός του ρεύματος κόρου με τον νόμο του Ohm
2. Η τάση αποκοπής είναι ίση με την τάση τροφοδοσίας  $V_S$
3. Τοποθέτηση των 2 αυτών σημείων στην χαρακτηριστική της διόδου
4. Σύνδεση των 2 αυτών σημείων με μια γραμμή φορτίου
5. Το σημείο τομής αντιστοιχεί στην γραφική μέθοδο επίλυσης

Ρεύμα ορθής πόλωσης σε mA



$$I_{\text{SAT}} = \frac{1.5 \text{ V}}{10 \Omega} = 150 \text{ mA}$$

$$V_{\text{CUTOFF}} = 1.5 \text{ V}$$

Το Q αντιστοιχεί στο σημείο λειτουργίας

Η γραμμή φορτίου: γραφική μέθοδος επίλυσης