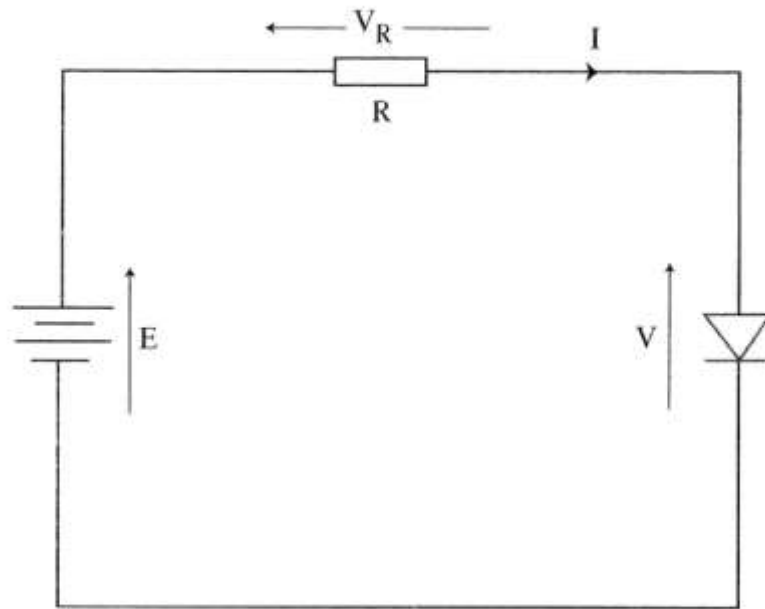


Τύποι διόδων και εφαρμογές

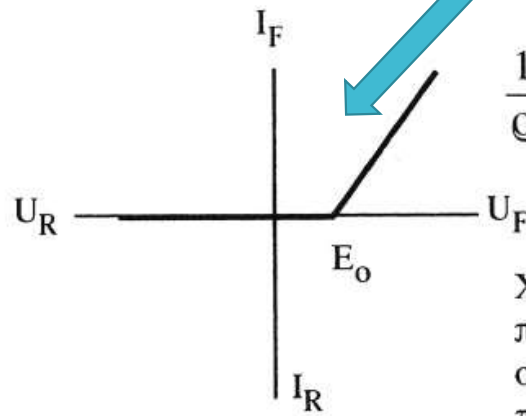
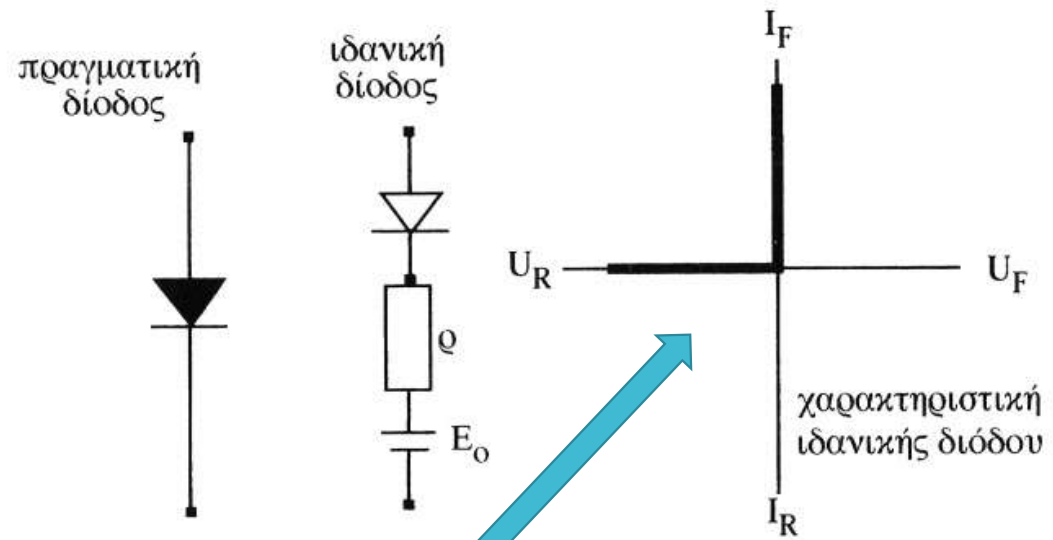
ΜΑΘΗΜΑ 6^ο 23-11-2020

Πραγματική δίοδος

- Στην περίπτωση της πραγματικής διόδου μπορούμε να υπολογίσουμε την απορροφούμενη ισχύ και ακόμη να θεωρήσουμε σαν αμελητέα ή όχι την τάση στα άκρα της διόδου ανάλογα με την τιμή της εφαρμοζόμενης στο κύκλωμα τάσης



Πραγματική Δίοδος

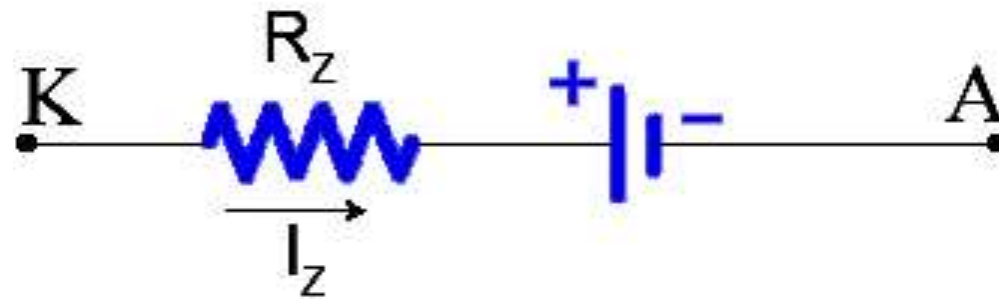
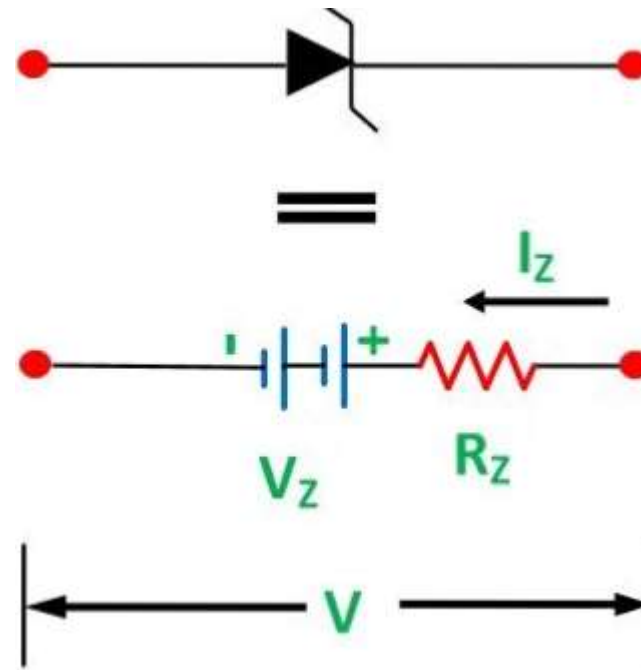


$$\frac{1}{Q} = \frac{\Delta I_F}{\Delta V_F}$$

(Αγωμιμότητα)

Χαρακτηριστική ισοδύναμου που πλησιάζει περισσότερο στη χαρακτηριστική μιας πραγματικής διόδου

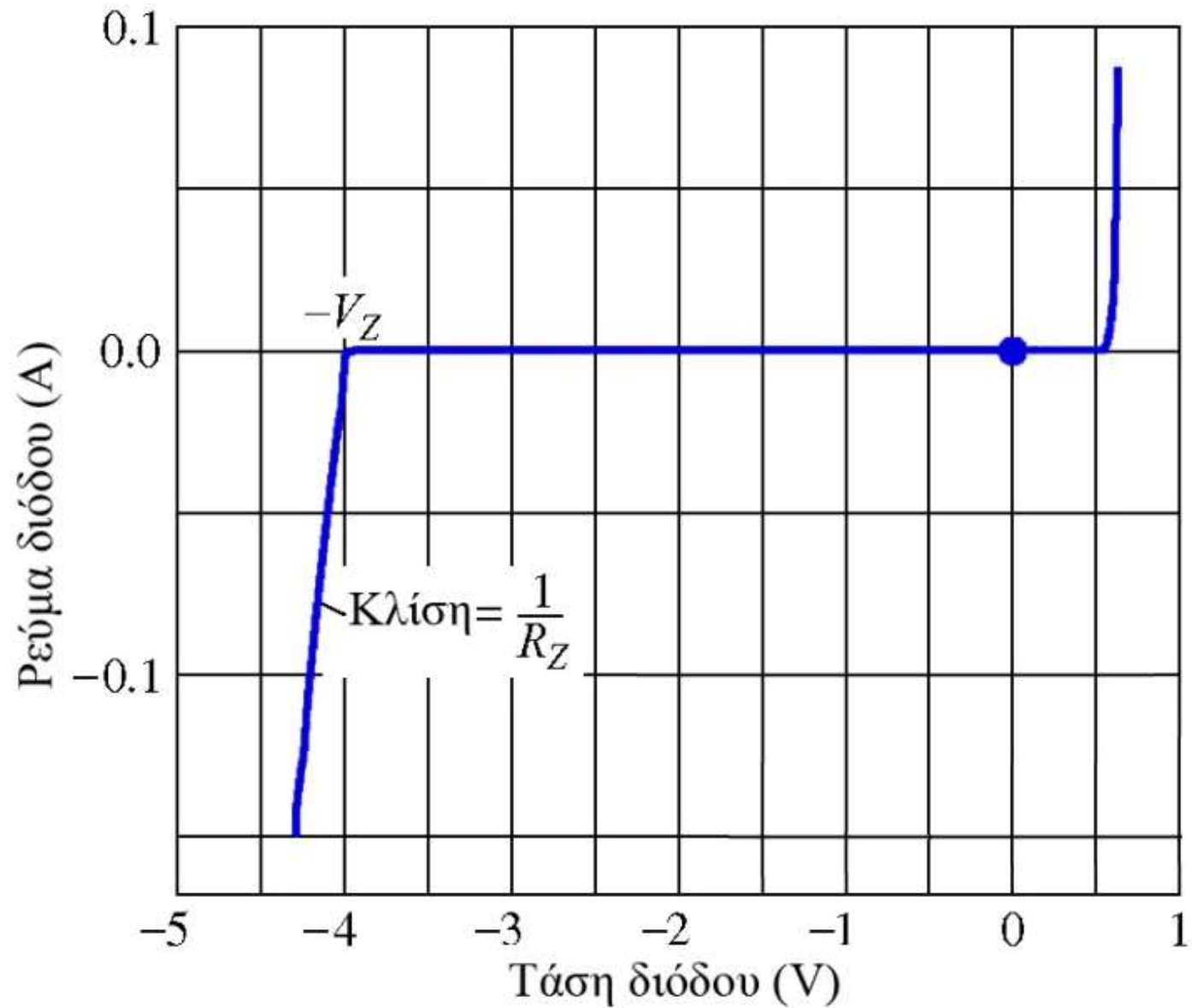
Ισοδύναμο Zener



Zener

- Η κατάρρευση είναι ένα φαινόμενο το οποίο προκύπτει σε διόδους οι οποίες λειτουργούν υπό συνθήκες ανάστροφης πόλωσης. Η ανάστροφη τάση που εφαρμόζεται στα άκρα της διόδου προστίθεται στο εσωτερικό δυναμικό της επαφής. Καθώς αυξάνεται η ανάστροφη τάση, το ηλεκτρικό πεδίο μέσα στο εξάρτημα μεγαλώνει και τελικά η δίοδος εισέρχεται στην **περιοχή κατάρρευσης** (breakdown region). Η έναρξη της διαδικασίας της κατάρρευσης είναι αρκετά απότομη και το ρεύμα αυξάνεται γρήγορα για περαιτέρω αύξηση στην εφαρμοζόμενη τάση όπως φαίνεται στην $i-v$ χαρακτηριστική

Zener

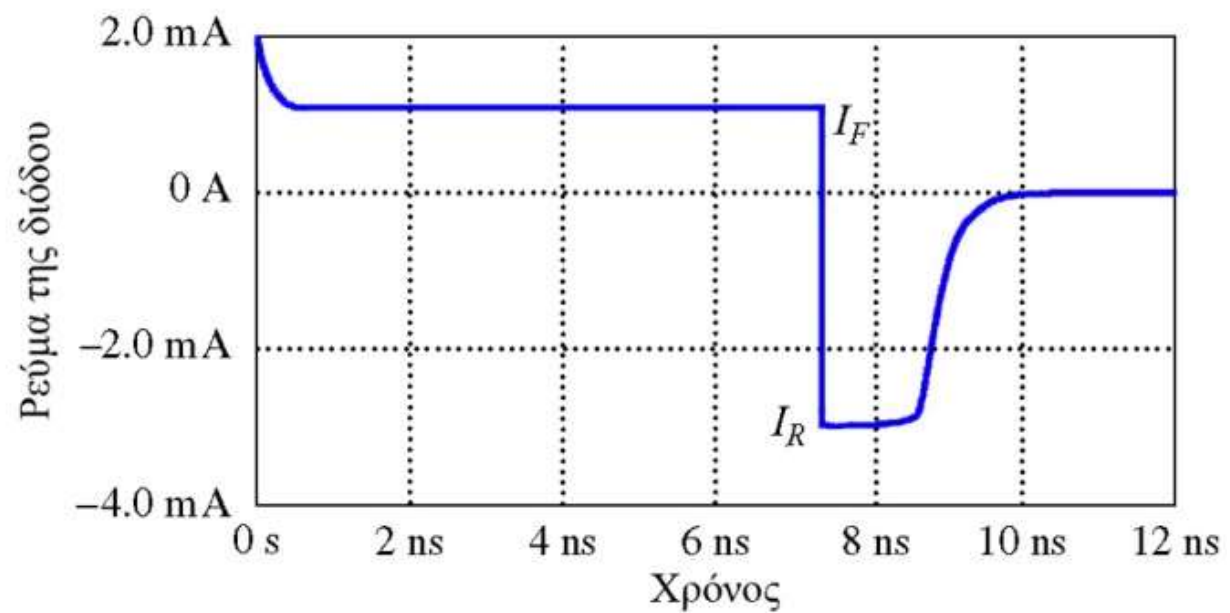
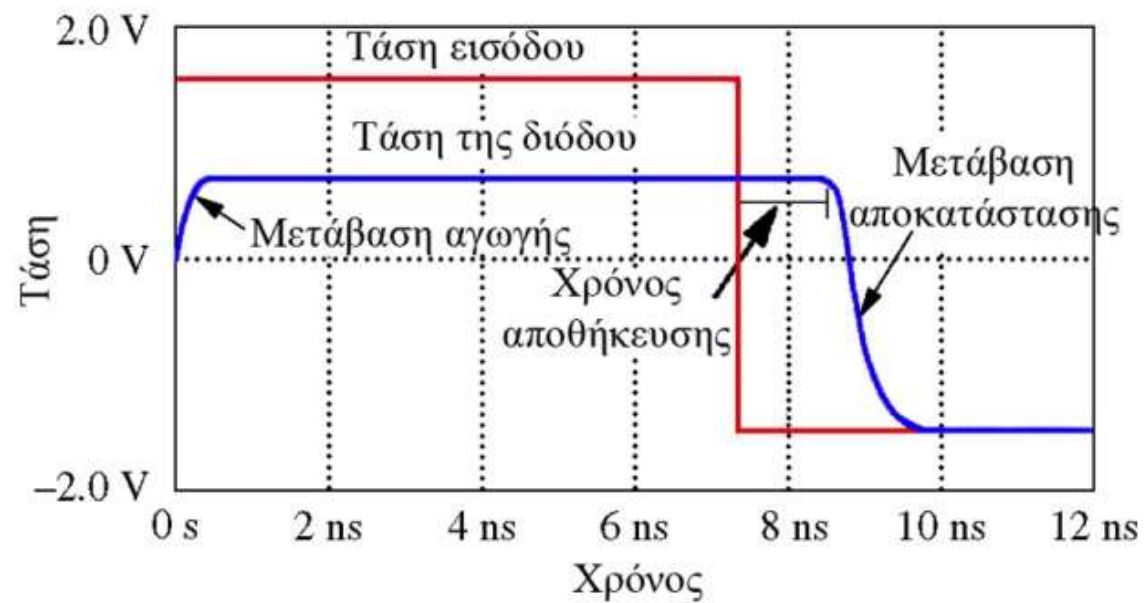


Zener

- Τα «εξαρτήματα» στερεάς κατάστασης δεν ανοίγουν (χάνουν την αγωγιμότητά τους) ακαριαία. Η ασυνήθιστη συμπεριφορά που σχετίζεται με το χρόνο αποθήκευσης της διόδου είναι ένα εξαιρετο παράδειγμα των καθυστερήσεων μεταγωγής που συμβαίνουν σε εξαρτήματα με επαφές PN, όπου η ροή φορέων επηρεάζεται από τη διαδικασία της διάχυσης των φορέων μειονότητας
- T = transition μεταξύ των καταστάσεων
- R = reverse
- F = forward
- S = storage

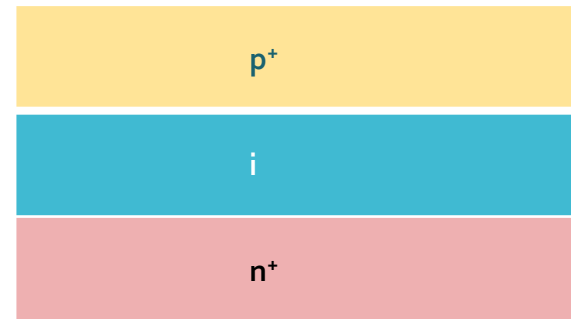
$$\tau_s = \tau_T \ln \left[1 - \frac{I_F}{I_R} \right]$$

Zener



Δίοδος PIN

- Οι δίοδοι PIN είναι ενώσεις δύο διαφορετικών ημιαγωγών τύπου P και N μεταξύ των οποίων παρεμβάλλεται **ένας καθαρός – ενδογενής κρύσταλλος Si**. Η διάταξη των ημιαγωγών, στην δίοδο PIN είναι το P (positive), το I (intrinsic) (ενδογενής) και το N (negative)



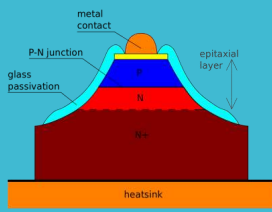
Χρήσεις

- Η δίοδος PIN βρίσκει πάρα πολλές εφαρμογές ως:
- **Ανορθωτής**, επειδή η μεγάλη τάση κατάρρευσης της επιτρέπει να ανορθώσει μεγάλες τάσεις βρίσκοντας έτσι εφαρμογή σε κυκλώματα υψηλής ισχύος.
- **Διακόπτης RF**, λόγω της ιδιότητάς της να αποκρίνεται σε διακοπής υψηλής συχνότητας.
- **Ελεγχόμενος εξασθενητής και διαμορφωτής**, λόγω της ιδιότητάς της να μεταβάλλει την δυναμική της αντίσταση με το ρεύμα πόλωσης.

Varactor

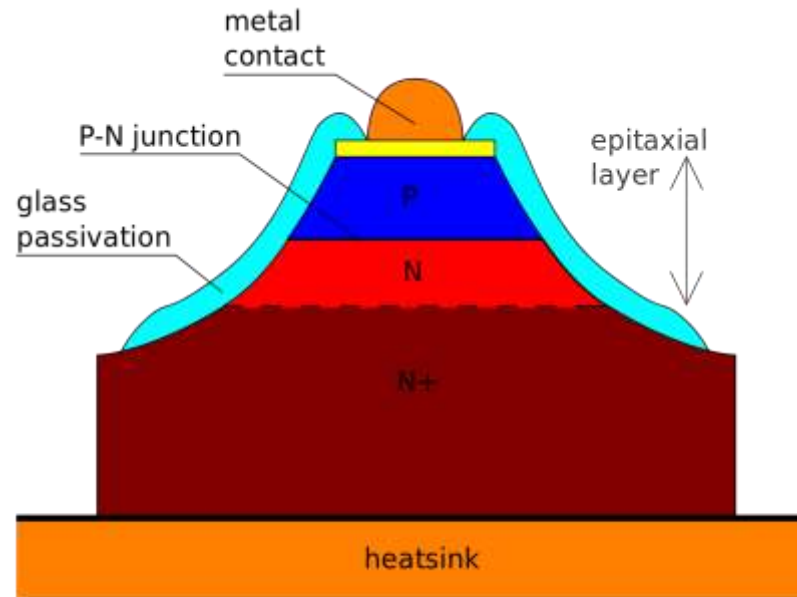


- Η **δίοδος μεταβλητής χωρητικότητας** (Variable capacitor) παρουσιάζει τα παρακάτω πλεονεκτήματα σε σχέση με τους μεταβλητούς πυκνωτές:
 - Μικρό καταλαμβανόμενο χώρο
 - Μεγάλη αντοχή
 - Μεγάλη διάρκεια ζωής
 - Εύκολη ρύθμιση γιατί γίνεται ηλεκτρικά και όχι μηχανικά



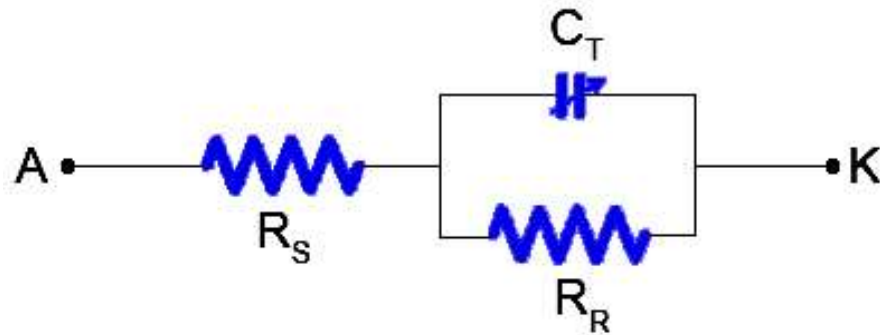
Varactor/ Varicap

- Η δίοδος Varicap χρησιμοποιείται για τη διαμόρφωση ακουστικού σήματος κατά συχνότητα (F.M.) και για την επιλογή συχνότητας σε άλλες τηλεπικοινωνιακές εφαρμογές, π.χ. επιλογή συχνότητας συντονισμού σε ραδιοφωνικό ή τηλεοπτικό δέκτη, όπου μικρή μεταβολή της χωρητικότητας προκαλεί μεγάλη μεταβολή της συχνότητας και αντίστροφα.



Varactor

- Οι δίοδοι varicap κατασκευάζονται είτε με την μέθοδο της βαθμιαίας ανάπτυξης (rate crown) είτε με την μέθοδο της διάχυσης (diffusion) από Si (IV) και πρόσφατα από GaAs(III-V). Έχουν αυξημένη νόθευση (doping) στην περιοχή της ένωσης πράγμα που τις κάνει ικανές να παρουσιάζουν μεγάλη χωρητικότητα.
- Ισοδύναμο της Varactor: (S:series, T: transition, R: reverse)



- Η τιμή της R_S είναι πολύ μικρή (μερικά Ω), η τιμή της R_R είναι της τάξης των $M\Omega$ ενώ η τιμή της C_T κυμαίνεται από 1 έως και 200 pF

Δίοδοι Esaki

- Οι δίοδοι σήραγγος (Tunnel) ή **δίοδοι Esaki** είναι κατασκευασμένες με πολύ μεγαλύτερη ποσότητα προσμίξεων απ' ότι οι απλές δίοδοι. Ενώ η κοινή δίοδος περιλαμβάνει 10^{15} άτομα πρόσμιξης ανά cm^3 , η δίοδος Tunnel περιλαμβάνει 10^{20} άτομα πρόσμιξης ανά cm^3 . Η μεγάλη πυκνότητα προσμίξεων της δίοδου σήραγγος έχει σαν αποτέλεσμα η περιοχή απογύμνωσης να είναι πάρα πολύ λεπτή, με αποτέλεσμα την εμφάνιση του φαινομένου σήραγγος, κατά το οποίο πολλά ηλεκτρόνια υπερνικούν το φραγμό δυναμικού **χωρίς να έχουν την απαιτούμενη ενέργεια για το σκοπό αυτό.**



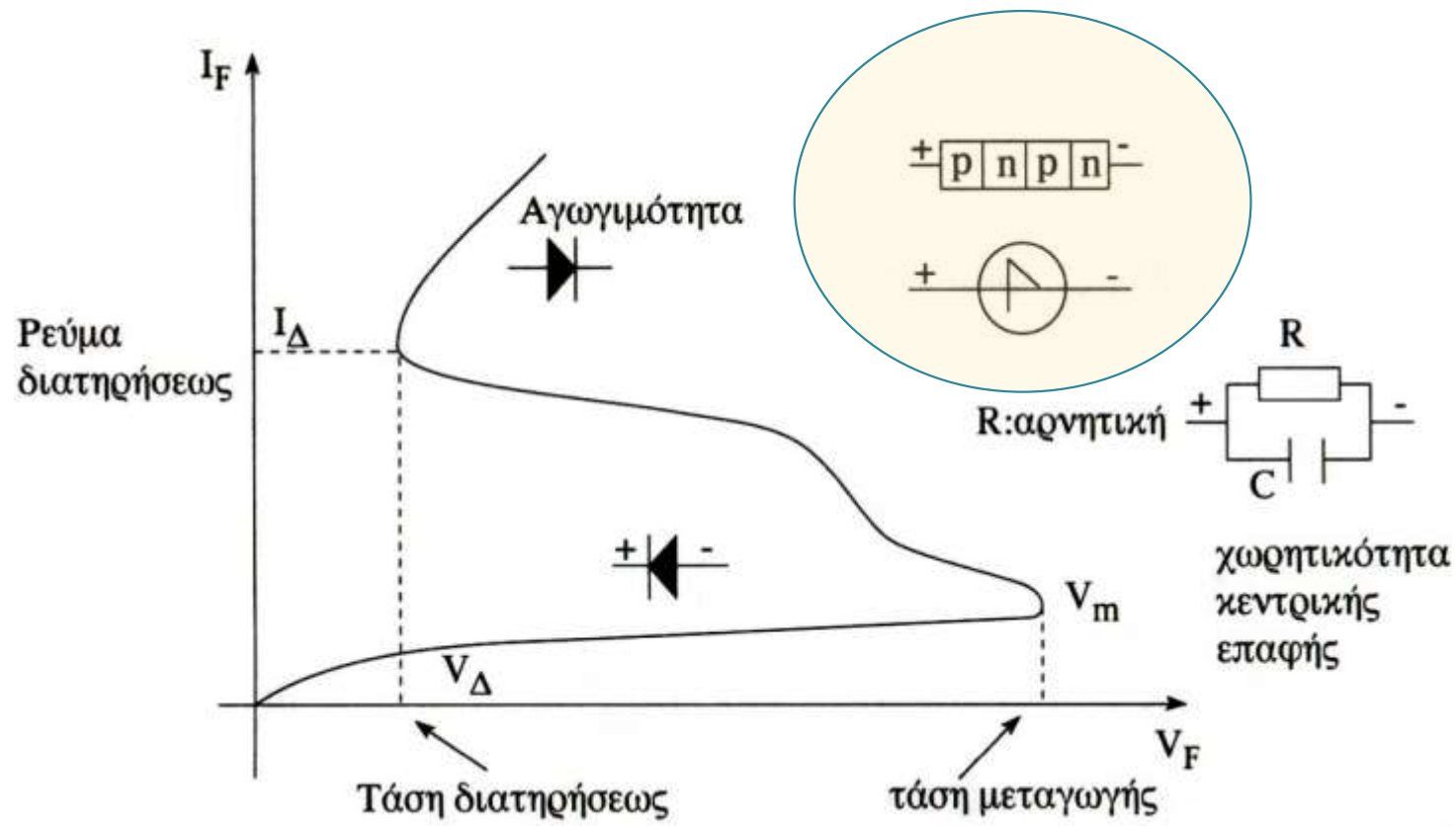
Tunnel

- Η δίοδος Tunnel παρουσιάζει τα εξής πλεονεκτήματα:
- Σταθερές χαρακτηριστικές.
- Μικρή ευαισθησία στην θερμοκρασία.
- Μικρή τάση τροφοδοσίας.
- Μικρό θόρυβο.
- Οι δίοδοι Tunnel χρησιμοποιούνται σε πάρα πολλές εφαρμογές, κυρίως σε ενισχυτές **χαμηλού θορύβου, ταλαντωτές, ενισχυτές πολύ υψηλής συχνότητας, κυκλώματα μεταγωγής VHF και UHF** και γενικά σε κυκλώματα υψηλών συχνοτήτων και μεγάλης ταχύτητας.

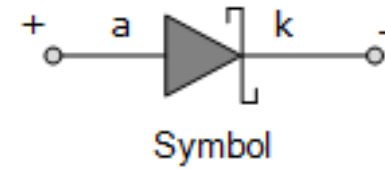
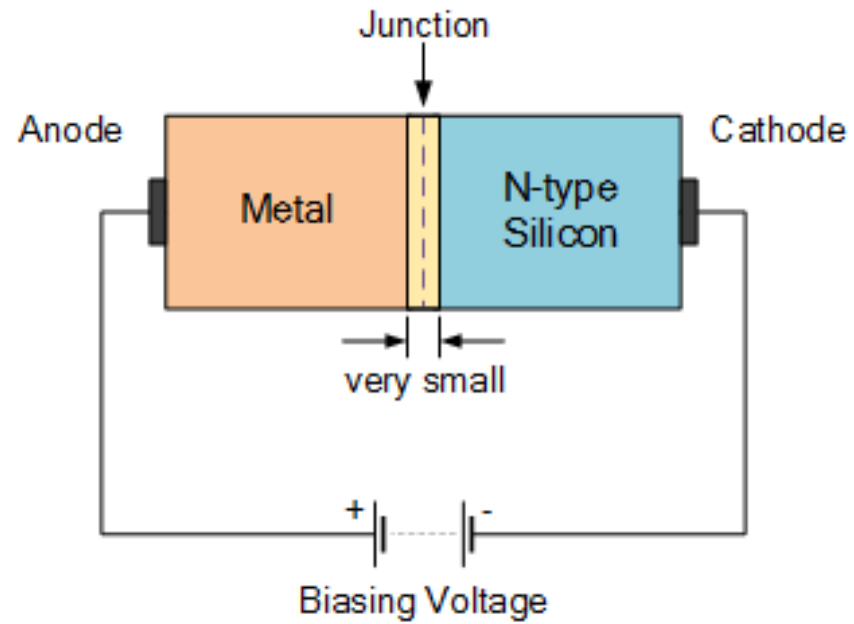
Δίοδοι Shockley



- Οι δίοδοι Shockley χρησιμοποιούνται στα κυκλώματα όπου χρειαζόμαστε γρήγορες μεταγωγές όπως λογικά κυκλώματα, **γεννήτριες παλμών, οδήγηση μνήμης, κυκλώματα συναγερμού** και άλλα



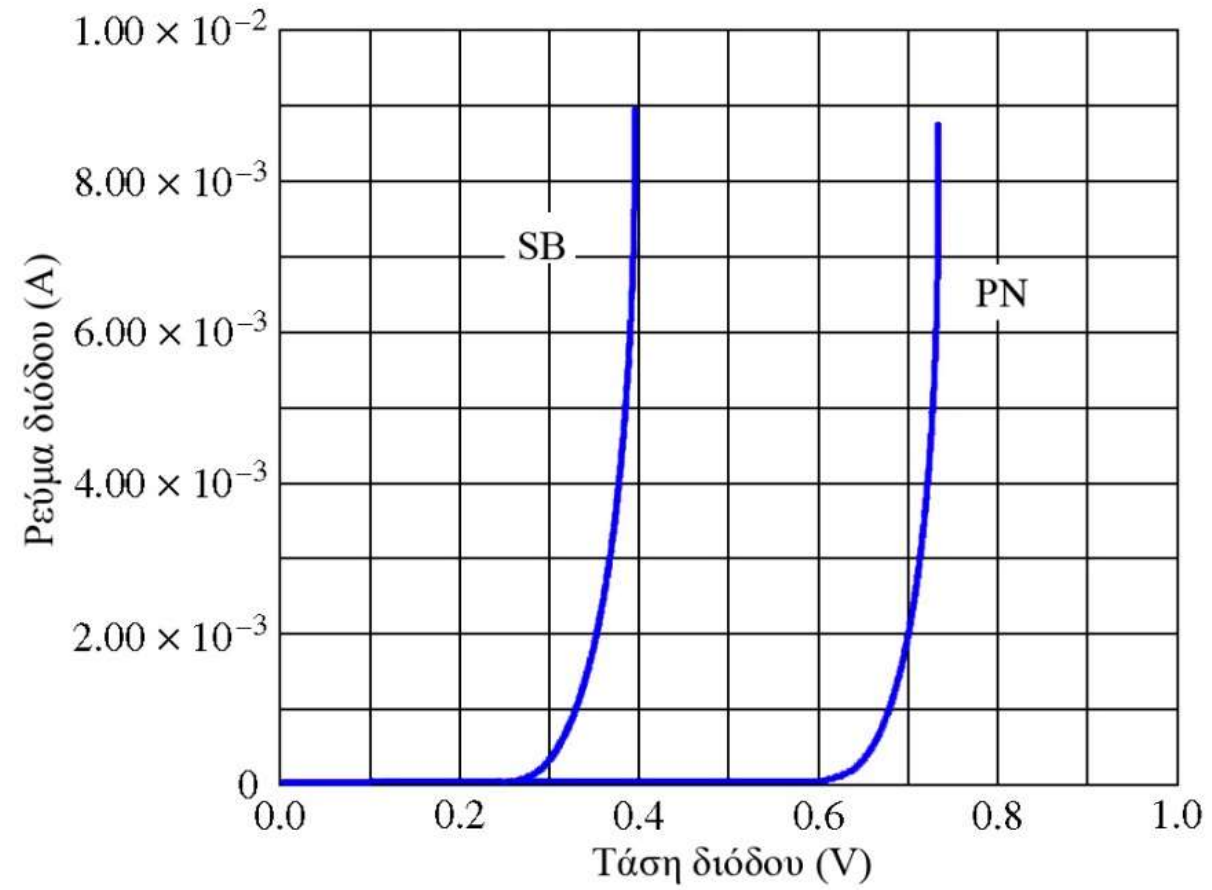
Schottky Diode



Δίοδος Schottky

- Η έλλειψη συσσωρευμένων φορτίων σημαίνει ότι η δίοδος μπορεί να μεταβαίνει από την κατάσταση αγωγιμότητας σε κατάσταση αποκοπής ταχύτερα από μια κοινή δίοδο PN. Στην πράξη μια Schottky μπορεί να ανορθώσει εύκολα σήματα με συχνότητα μεγαλύτερη από 300 MHz.
- Η δίοδος Schottky, για τους ανωτέρω λόγους, χρησιμοποιείται στα ψηφιακά κυκλώματα όπου απαιτείται γρήγορη μετάβαση από την αγωγιμότητα (ορθή πόλωση) στην αποκοπή (ανάστροφη πόλωση) και σε διακοπτόμενα τροφοδοτικά (παλμοτροφοδοτικά) για τους ίδιους λόγους. Επίσης χρησιμοποιείται **σε εφαρμογές χαμηλής τάσης**, γιατί η επαφή μετάλλου - ημιαγωγού παρουσιάζει μικρότερο φραγμό δυναμικού (0.3V) από την επαφή PN (0.7V)

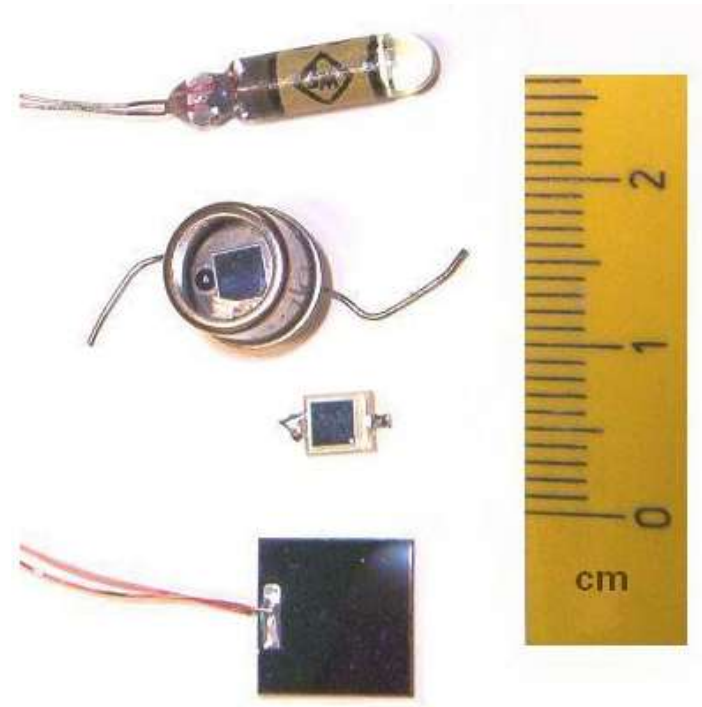
Shottky Barrier (SB)



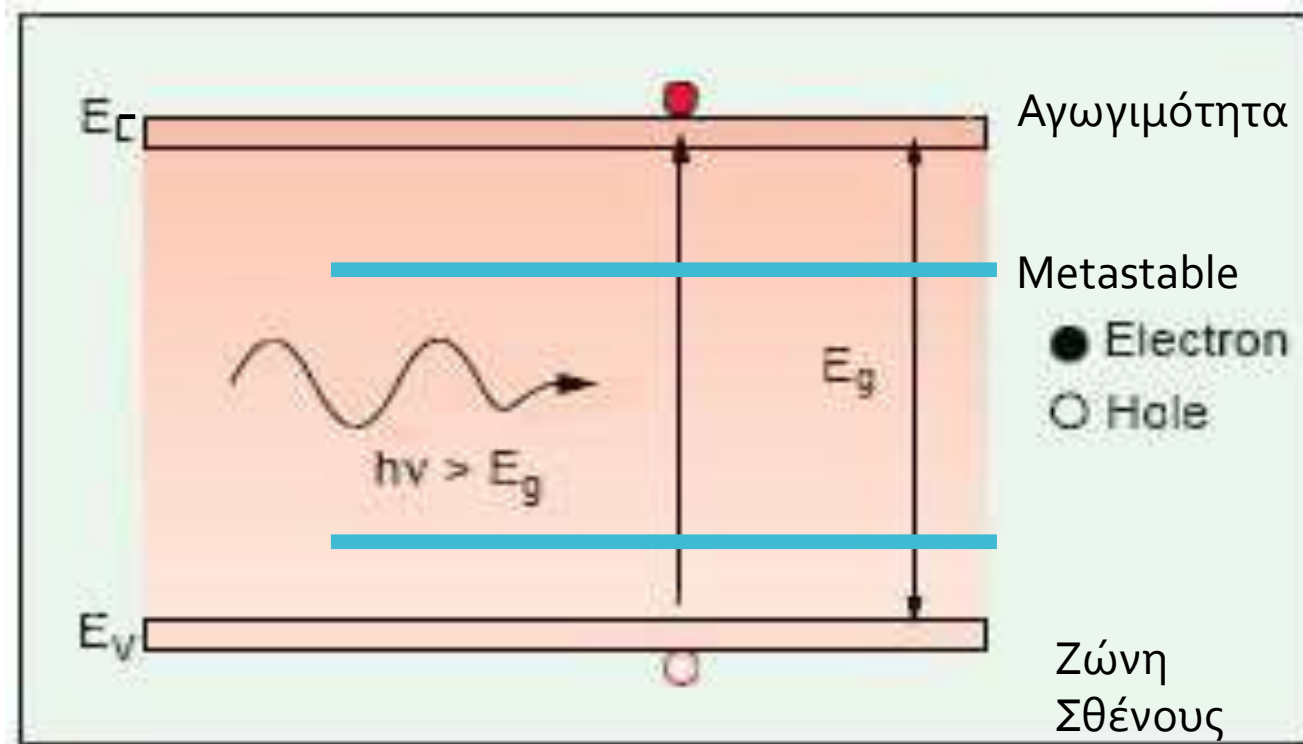
Φωτοдиодοι

- Οι οπτικοί ανιχνευτές (φωτοдиодοι) επιτελούν αντίστροφη λειτουργία από εκείνη των LEDs και των Laser diodes (LDs) που θα δούμε παρακάτω. Ο οπτικός ανιχνευτής μετατρέπει την οπτική ενέργεια σε ηλεκτρική. Το ηλεκτρικό σήμα στη συνέχεια μπορεί να ενισχυθεί χρησιμοποιώντας ηλεκτρονικά κυκλώματα
- Οι φωτοдиодοι χρησιμοποιούνται σε ηλεκτρονικές διατάξεις αυτομάτου ελέγχου, στον κινηματογράφο, σε μηχανήματα ελέγχου και ρύθμισης του φωτός, σε αυτόματους διακόπτες, στα συστήματα πυρασφάλειας κλπ.
- Οι τρεις τύποι φωτοдиодων:
 - ● Φωτοдиодος τύπου PN
 - ● Φωτοдиодος τύπου PIN
 - ● Φωτοдиодος χιονοστιβάδας

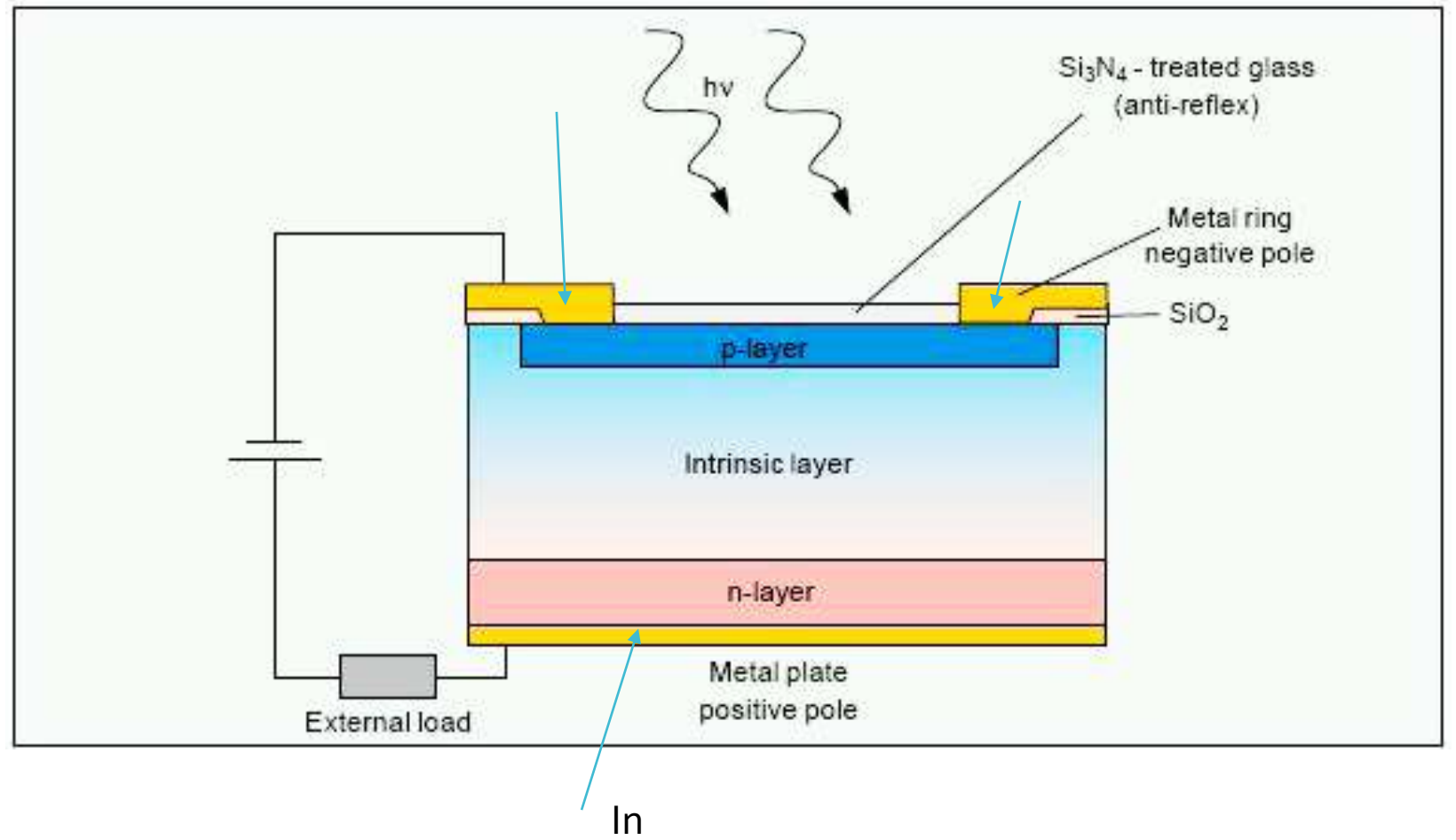
Φωτοδίοδος



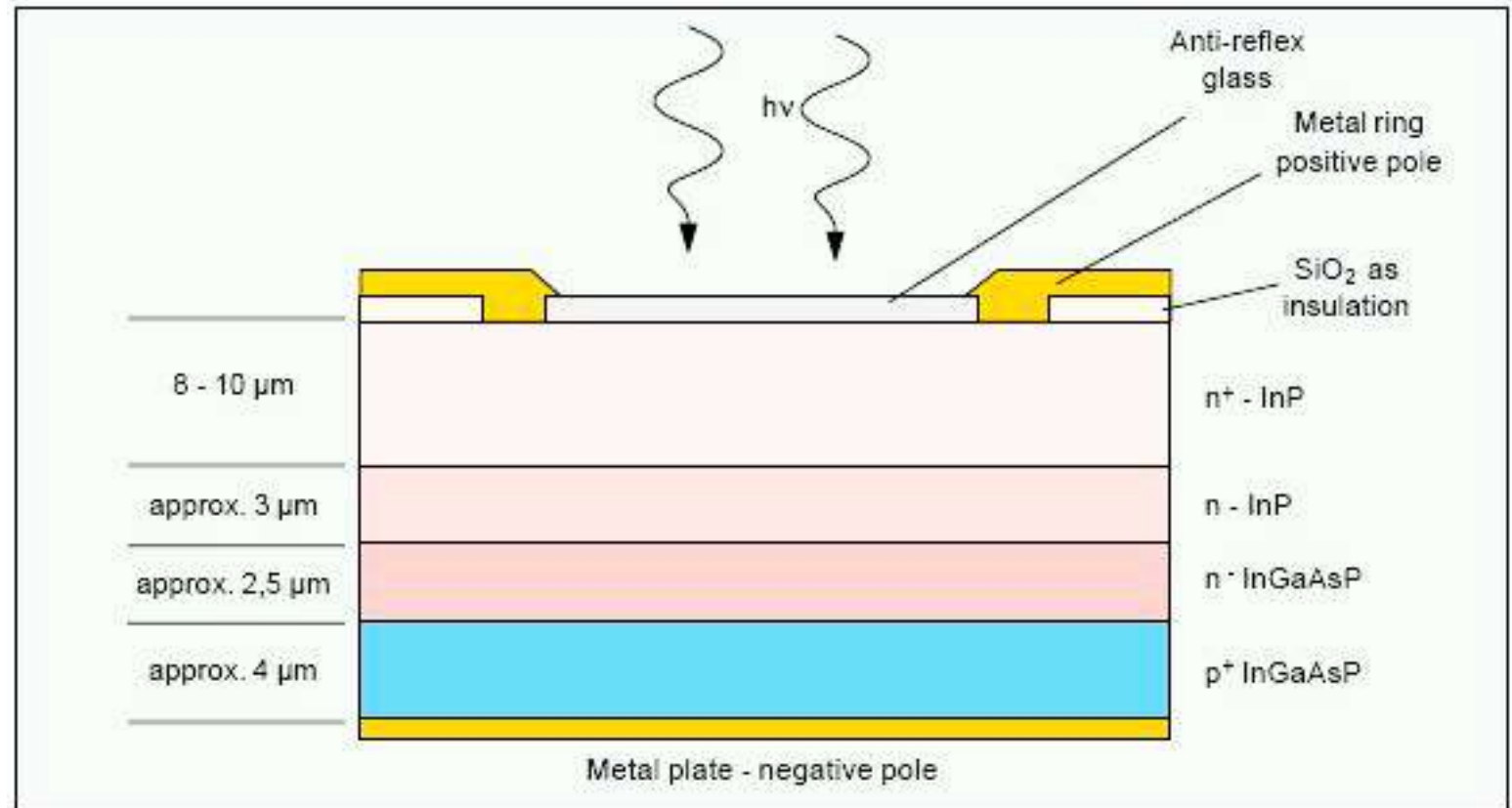
- GaAs:Cr InP Energy Gap
- InGaAs Ενέργεια φωτονίου ($h\nu$)



Δίοδος PIN



- PIN δίοδος για μεγάλα μήκη κύματος. Ημιαγωγοί : InP και InGaAsP

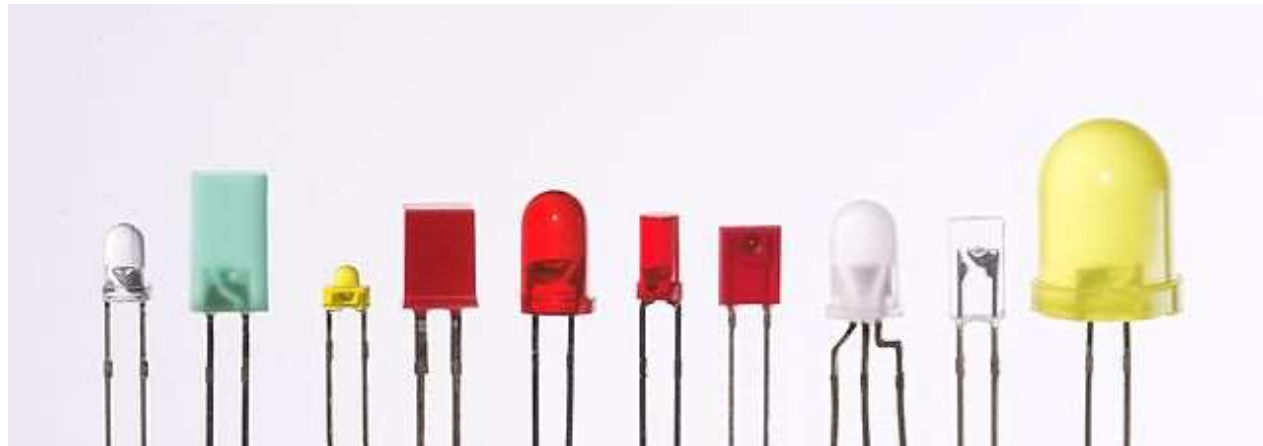


Δίοδος LASER

- Η πρώτη δίοδος laser βασισμένη στην τεχνολογία των ημιαγωγών παρουσιάστηκε το 1962, όμως στη δεκαετία του 80 ο τύπος αυτός laser χρησιμοποιήθηκε μαζικά.
- Οι εξελίξεις στην τεχνολογία των ημιαγωγών ήταν δραματική και κατέληξε στη δημιουργία μικρότερων αλλά πιο περίπλοκων εξαρτημάτων με εμφανώς βελτιωμένη αξιοπιστία και αυξημένη διάρκεια ζωής.
- Η δίοδος laser είναι μια περαιτέρω ανάπτυξη σε σχέση με την δίοδο φωτοεκπομπής ή LED.
- Τα αρχικά «LASER» σημαίνουν **L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation

LED

- Οι δίοδοι LED εκπέμπουν φως που εξαρτάται από την χημική σύσταση του ημιαγωγικού υλικού που χρησιμοποιείται και μπορεί να είναι υπεριώδες, ορατό ή υπέρυθρο. Το μήκος κύματος του φωτός που εκπέμπεται και κατά συνέπεια το χρώμα του, εξαρτάται από το χάσμα ενέργειας των υλικών, τα οποία χρησιμοποιούνται για την δημιουργία της PN επαφής



Σύγκριση

- Το LED διαφέρει από τη laser δίοδο κυρίως στο ότι μέσα σε ένα led δεν παρουσιάζεται εξαναγκασμένη εκπομπή φωτός. Το LED λειτουργεί με βάση την αρχή της αυθόρμητης εκπομπής. Για το λόγο αυτό, το LED παρουσιάζει ορισμένα μειονεκτήματα σε σύγκριση με τη δίοδο laser:
- Λιγότερη ισχύς
- Σχετικά μικρό, ικανό να διαμορφωθεί εύρος ζώνης (< 50 MHz), αν και ορισμένα LEDS μπορούν να φτάσουν τα 150 MHz
- Ευρύτερο φασματικό πλάτος
- Αυτά τα μειονεκτήματα μπορεί να παρουσιάζουν το LED ως μια χειρότερη λύση από τη δίοδο laser. Ωστόσο, το LED έχει ορισμένα πλεονεκτήματα σε σχέση με τη δίοδο laser:
- Απλούστερη κατασκευή (δεν χρειάζονται επιφάνειες ανάκλασης, γραμμική γεωμετρική σχεδίαση).

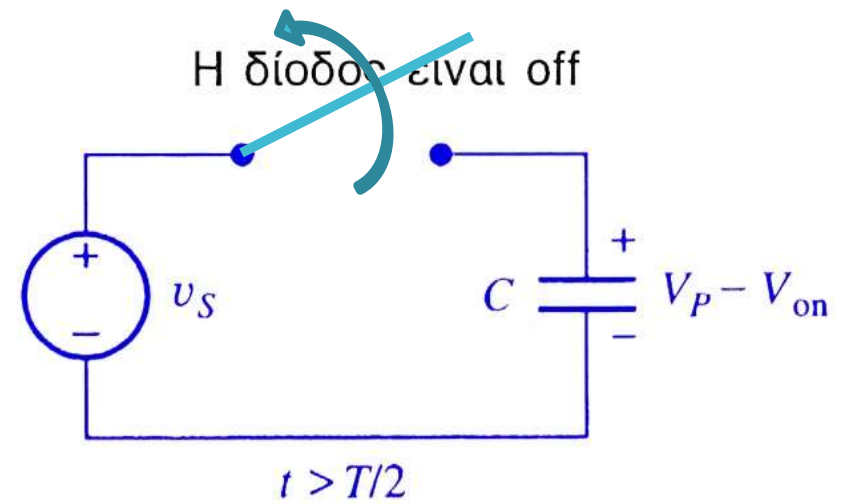
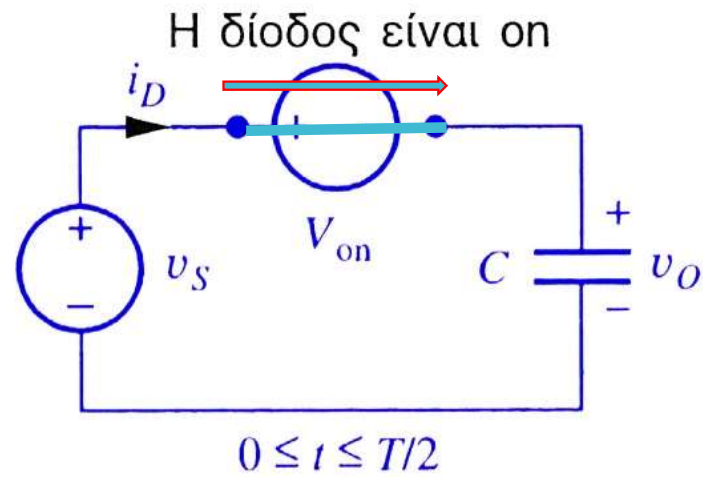
Σύγκριση

- **Φθηνότερα.** Παρατηρείται μεγάλη μείωση του κόστους παραγωγής με τη χρήση του led και των αντίστοιχων κυκλωμάτων οδήγησης.
- **Αξιόπιστα.** Ένα LED δεν «γερνά(φθείρεται)» τόσο γρήγορα όσο η δίοδος laser.
- **Μικρότερη ευαισθησία στη θερμοκρασία.** Η ένταση του φωτός σχετικά με τα κυκλώματα οδήγησης επηρεάζεται λιγότερο από τις μεταβολές της θερμοκρασίας σε σύγκριση με την ένταση του φωτός μιας διόδου laser.
- **Γραμμικότητα.** Ένα laser μπορεί να κατασκευαστεί γραμμικό αρκετά εύκολα, γεγονός που καθιστά τα LEDS καταλληλότερα για αναλογική διαμόρφωση.
- Τα παραπάνω πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα εξηγούν και τη χρήση των LEDS κυρίως σε τοπικά δίκτυα (LANs), σε εφαρμογές υπολογιστών και στους τηλεοπτικούς δέκτες.

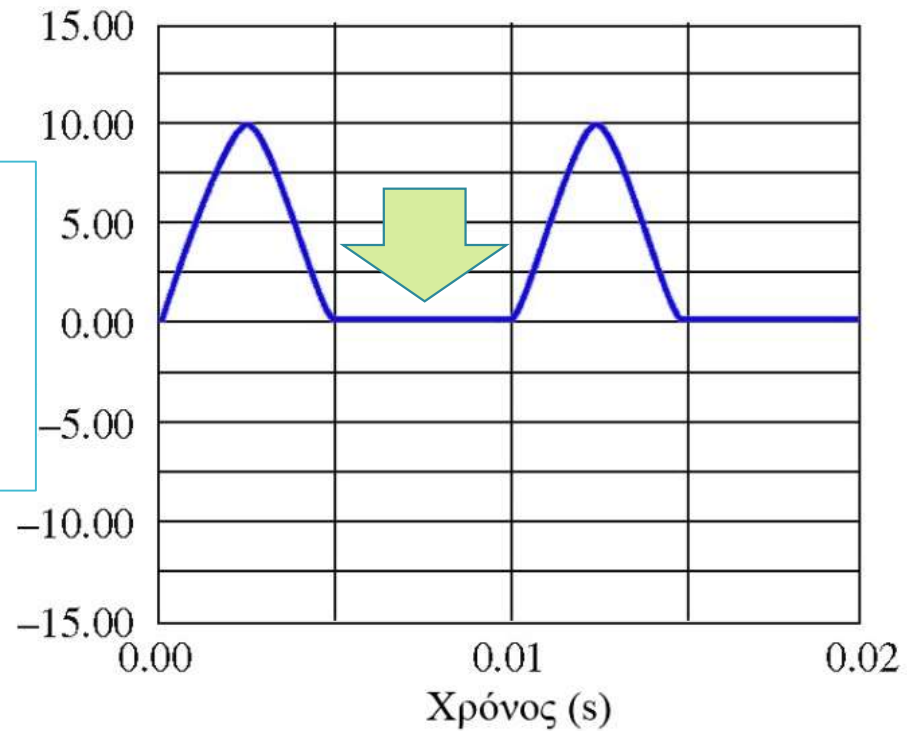
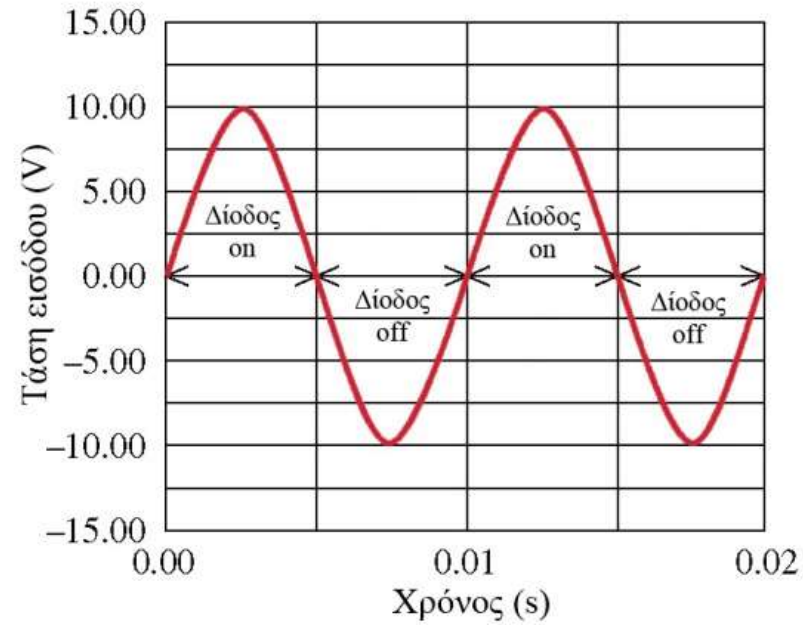
Ημιανόρθωση

- Τα **κυκλώματα ανορθωτών** (rectifier circuits) είναι μια σημαντική εφαρμογή των διόδων. Το βασικό κύκλωμα ανορθωτή μετατρέπει μια εναλλασσόμενη τάση σε μια παλλόμενη συνεχή τάση. Χρησιμοποιείται ένα φίλτρο για να απαλείψει τις εναλλασσόμενες συνιστώσες της κυματομορφής και να παράγει μια σχεδόν σταθερή συνεχή τάση εξόδου.

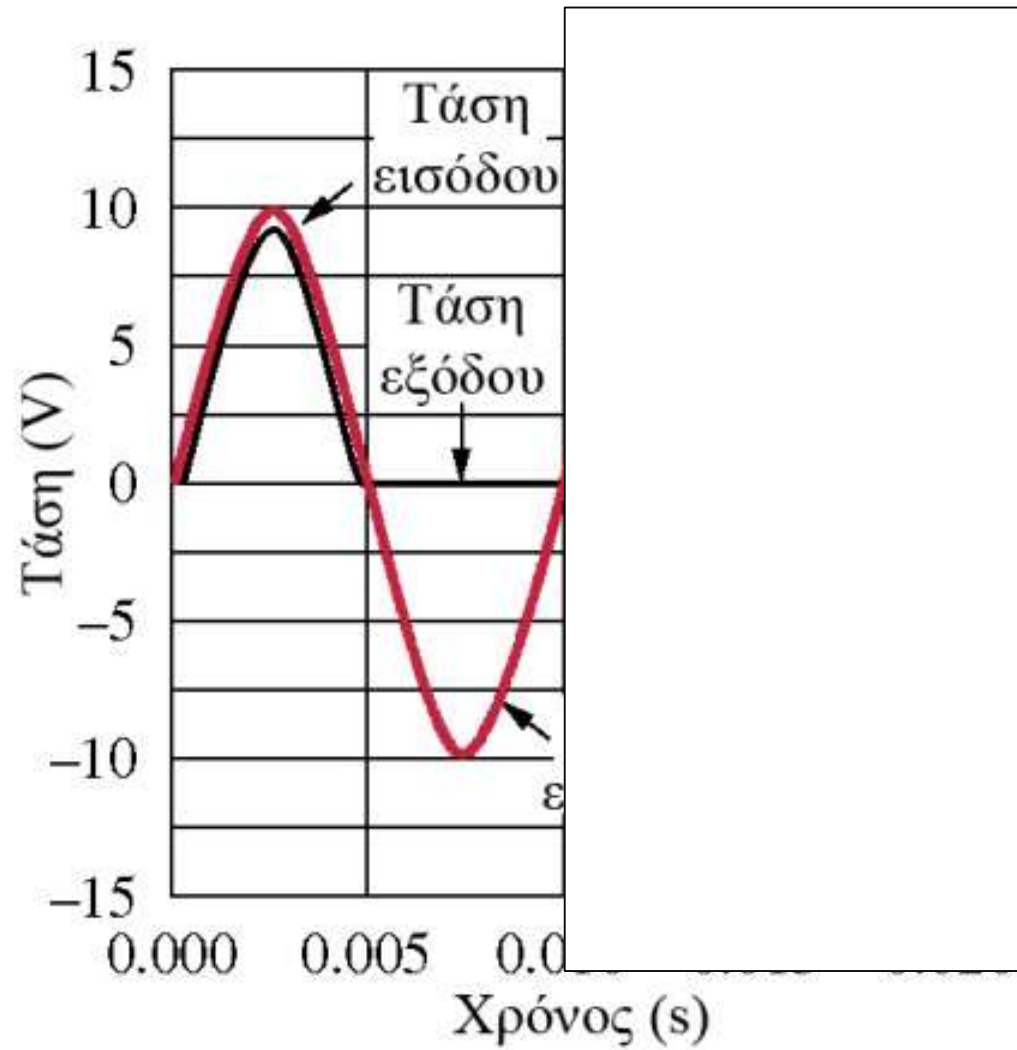
Λειτουργία



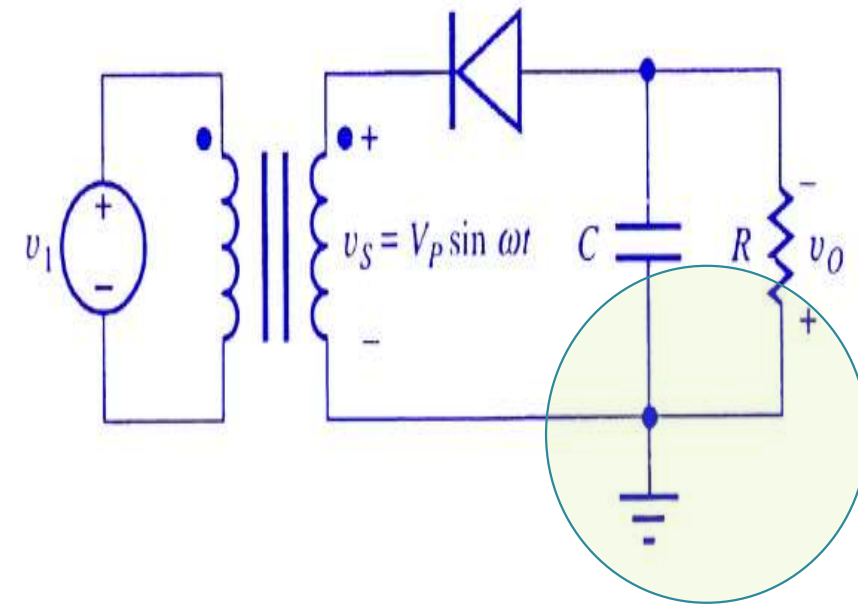
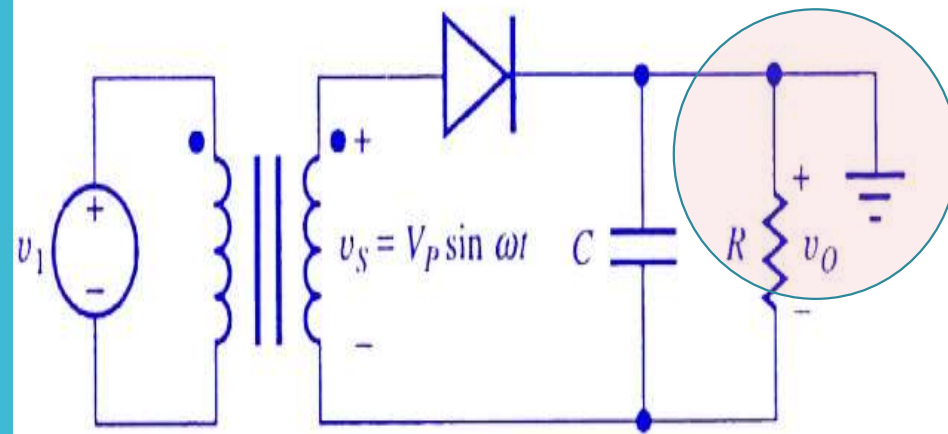
Κυματομορφή Είσοδος- έξοδος διόδου



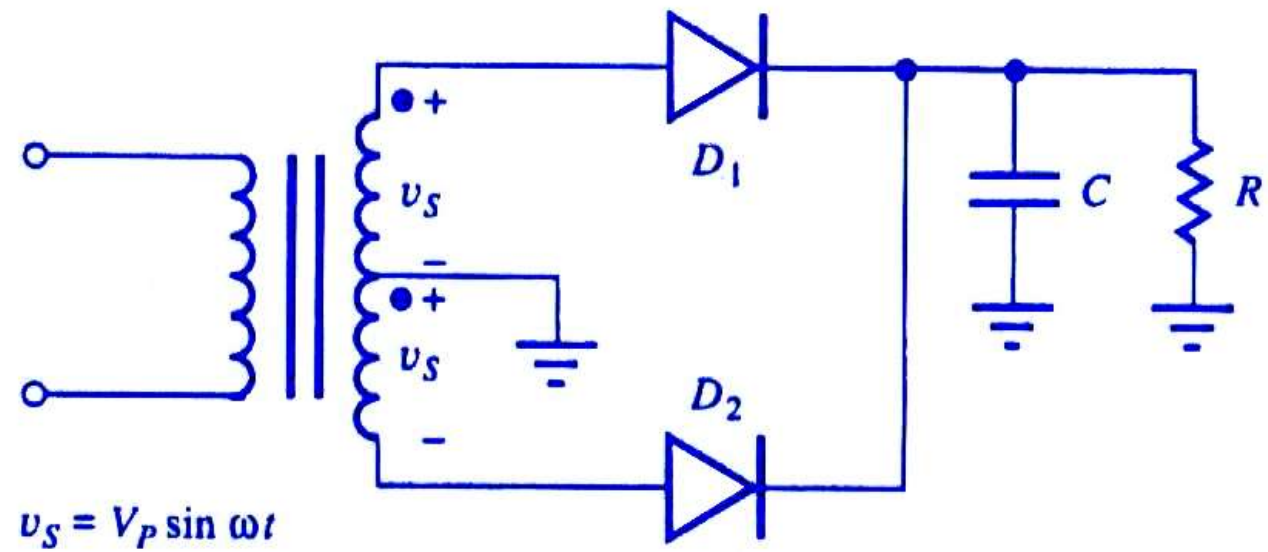
Κυματομορφή Είσοδου- έξοδου σε χρονική αντιστοιχία

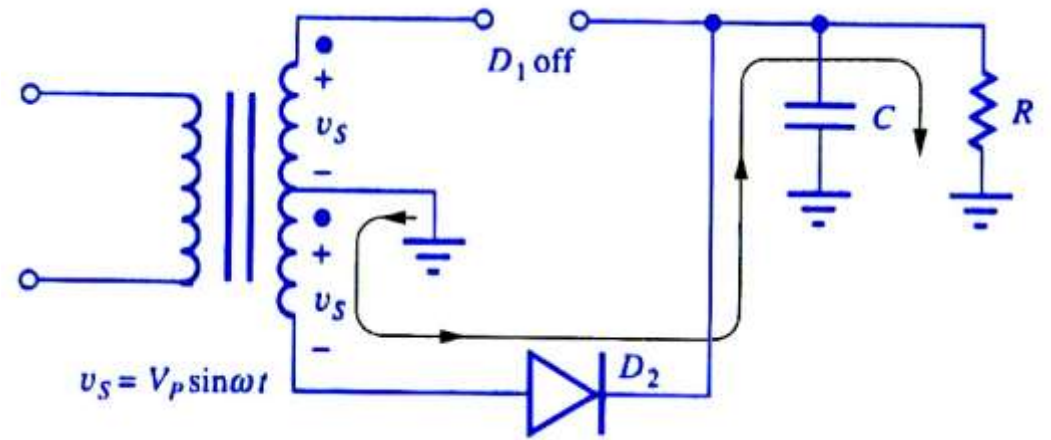
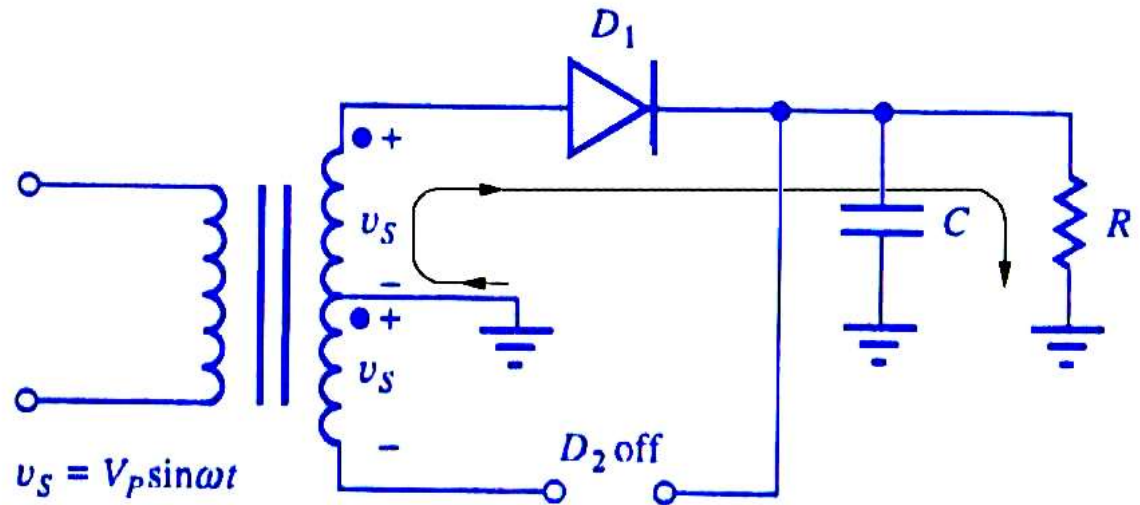


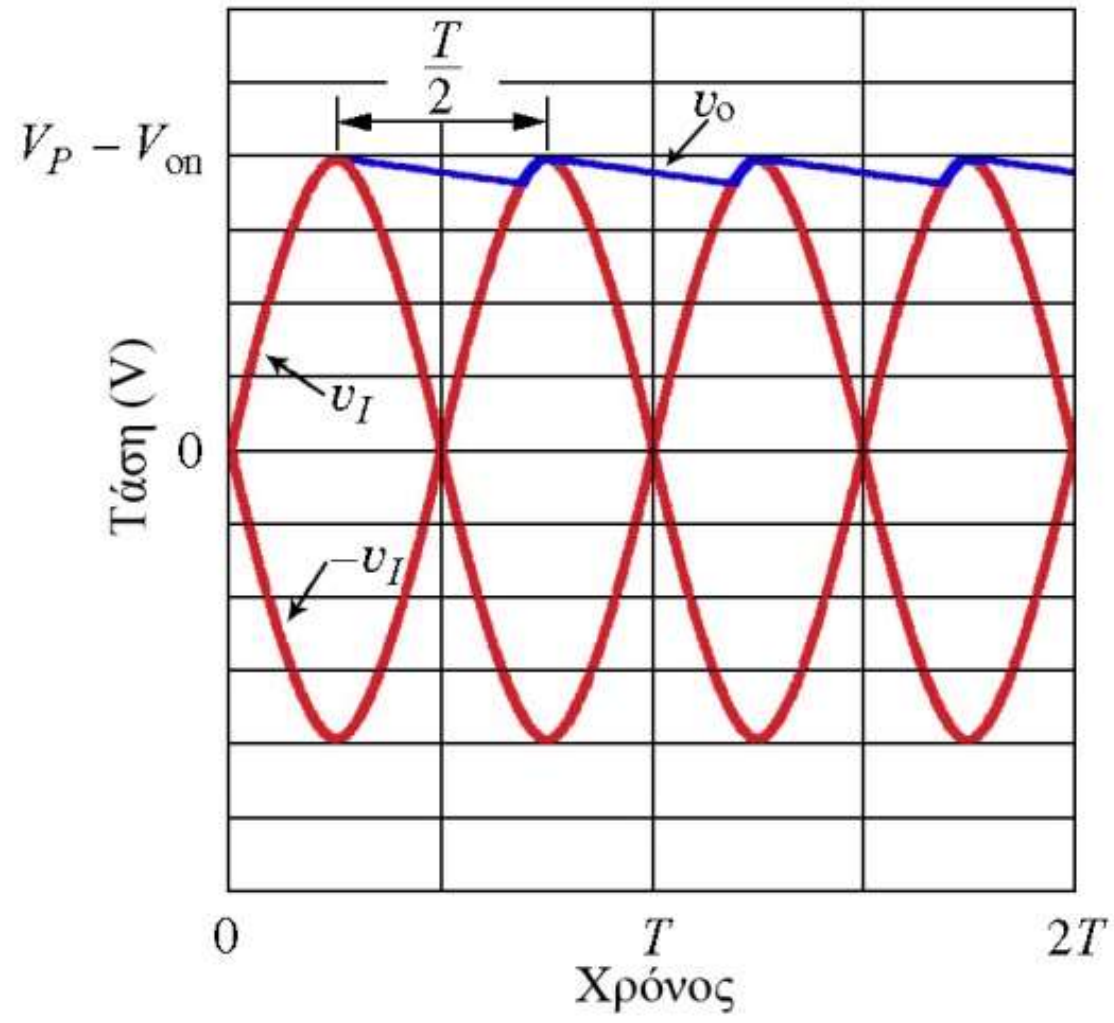
Ημιανορθωτής με αρνητική τάση εξόδου



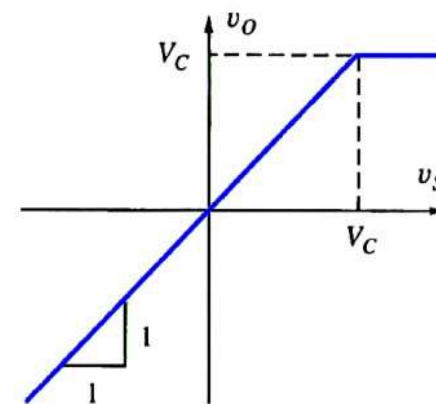
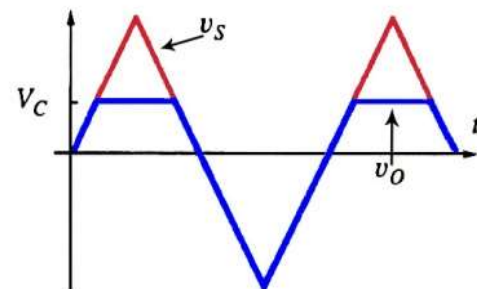
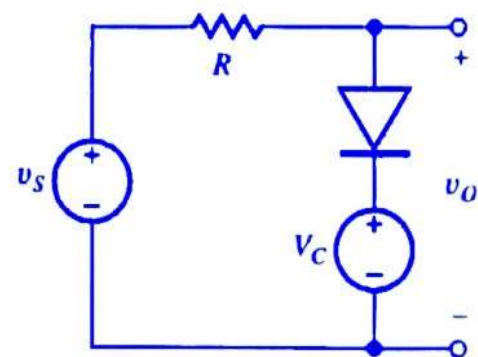
Πλήρης ανόρθωσης



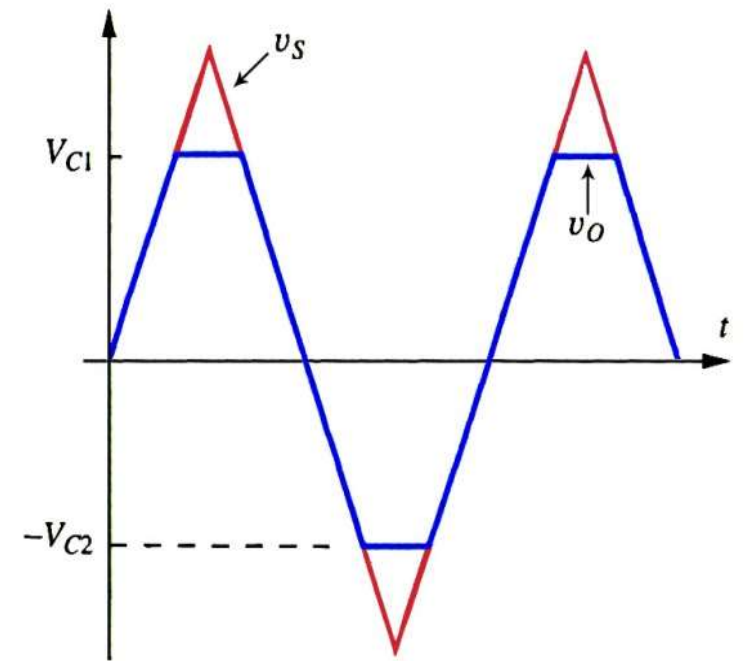
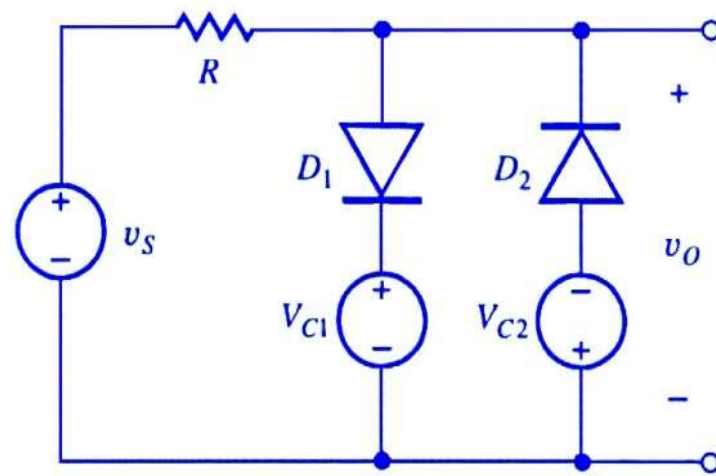




Ψαλλιδιστής



Διπλός Ψαλλιδιστής

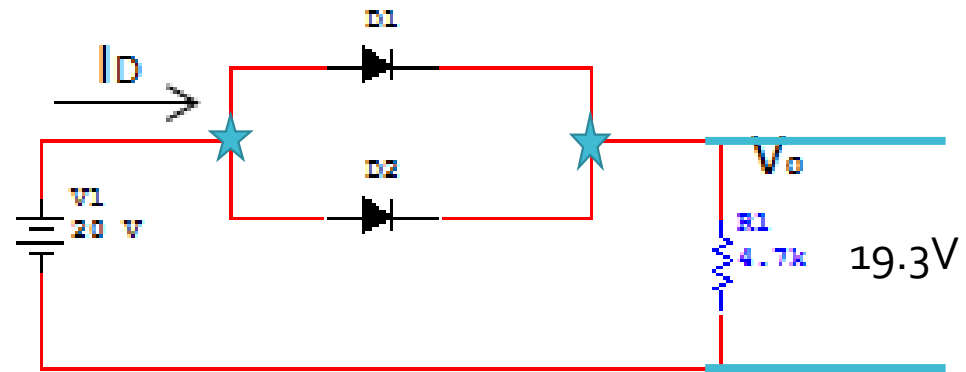


- Τα κυκλώματα διπλασιασμού και πολλαπλασιασμού τάσης επιδέχονται ρεύματα φόρτου σχετικά μικρής τιμής και χρησιμοποιούνται κυρίως σε συσκευές όπως λυχνίες καθοδικών ακτίνων (CRT), φωτοπολλαπλασιαστές και λυχνίες ιονισμού Geiger-Muller.

Ασκήσεις- Εφαρμογές

Άσκηση 1

- Να υπολογίσετε τα V_o και I_D .
- Οι δίοδοι D_1, D_2 είναι δίοδοι πυριτίου. ($V_{Si} = 0,7V$)
- Εάν είναι διαφορετικές τότε παίρνω τον ΜΟ



- Από τον κανόνα του Kirchhoff ισχύουν οι παρακάτω εξισώσεις:

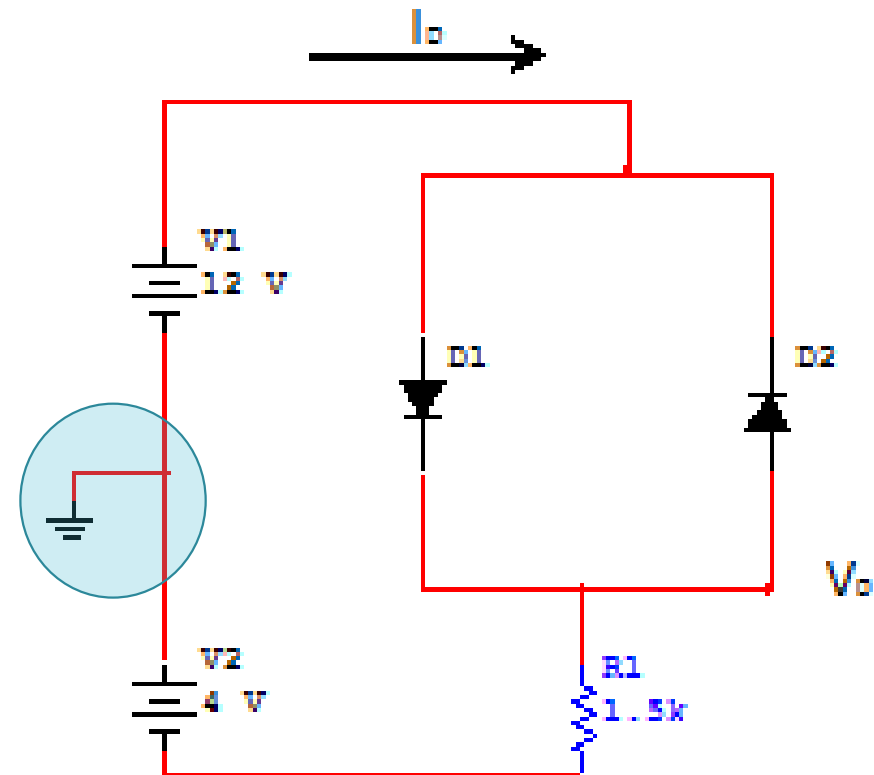
$$V_1 - \frac{V_2 + V_3}{2} + I_D * R_1 = 0$$

- $$V_0 = V_{R1} = I_D * R_1$$

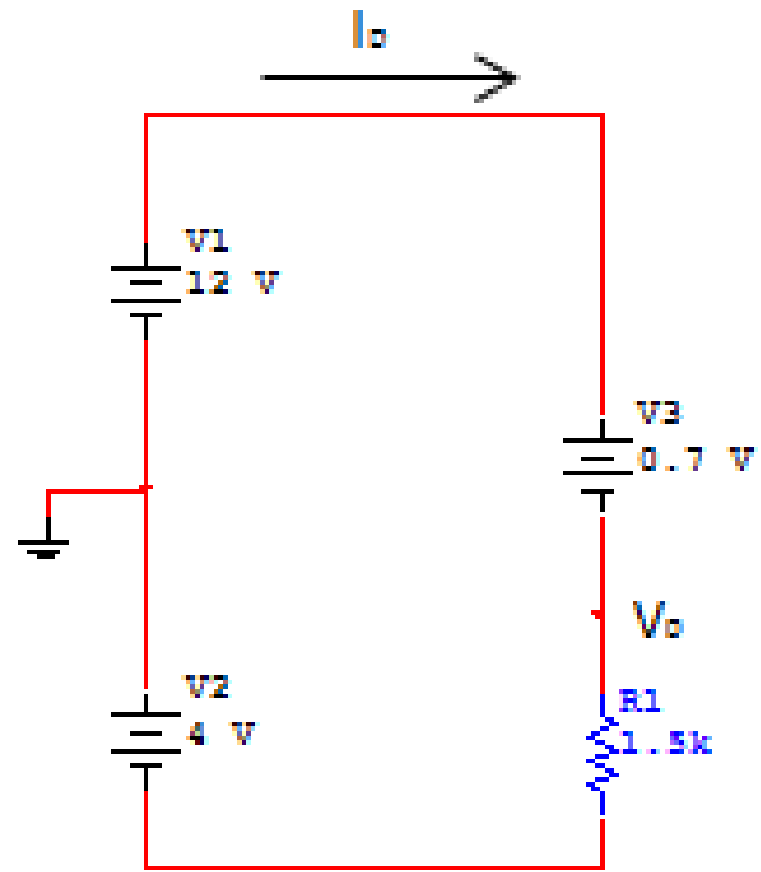
- Άρα : $I_D = 4.1\text{mA}$ και $V_0 = V_{R1} = 19.3\text{ Volt}$

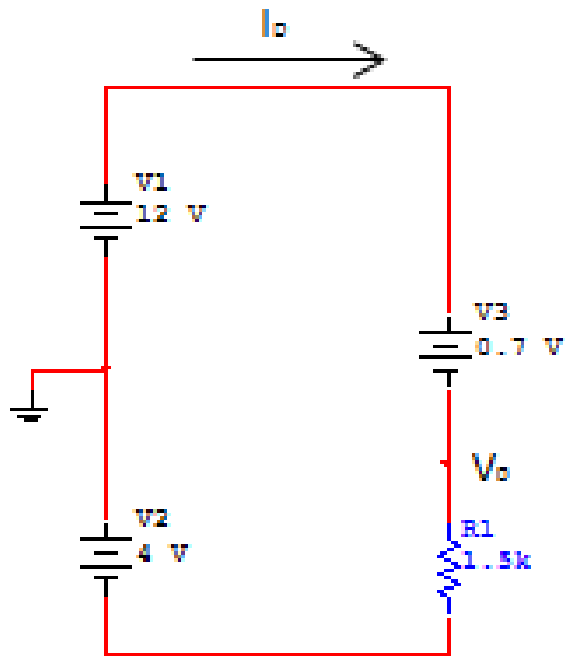
Άσκηση 2

- Να υπολογίσετε το ρεύμα I_D και την τάση στο σημείο V_o σε σχέση με την γη. Οι δίοδοι $D1$, $D2$ είναι δίοδοι πυριτίου ($V_{Si} = 0,7V$)



- Για να άγει η δίοδος πυριτίου πρέπει η διαφορά δυναμικού στα άκρα της να είναι μεγαλύτερη από 0.7 volt. Στο κύκλωμα μας διαισθητικά φαίνεται να άγει μόνο η δίοδος D1. Το παρακάτω κύκλωμα είναι ισοδύναμο με το αρχικό.

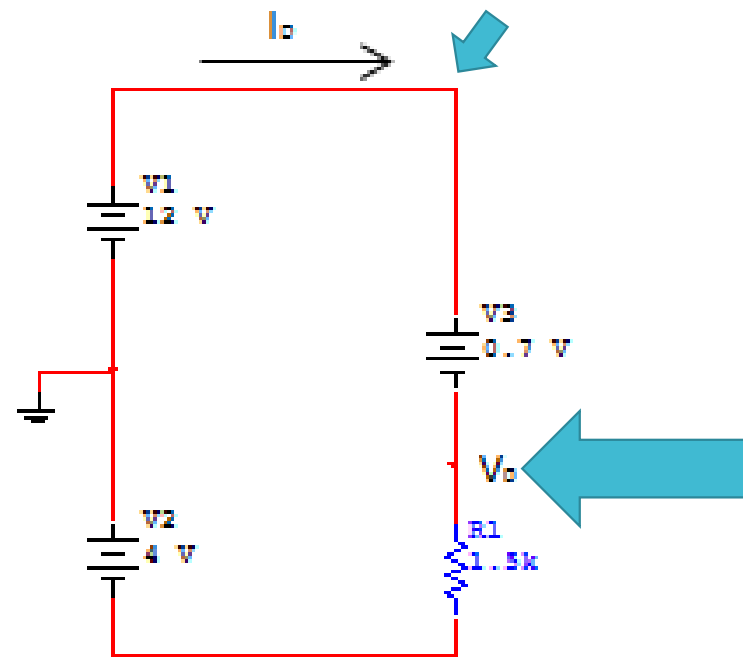




Από το νόμο του Kirchhoff ισχύει: $-V_1 + V_3 + I_D \cdot R_1 - V_2 = 0$
από όπου λύνοντας προκύπτει ότι $I_D = 10.2\text{mA}$.

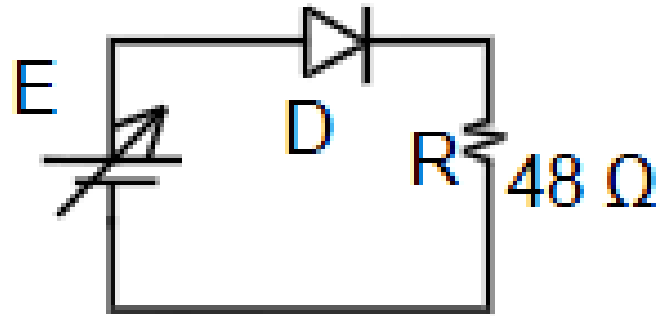
Η τάση στο σημείο V_0 σε σχέση με την γη είναι $V_0 = I_D \cdot R_1 - V_2$
από όπου προκύπτει ότι $V_0 = 11.3\text{V}$

Από την τάση στο V_0 συμπεραίνουμε ότι η διάδος D_2 αποκλείεται να άγει γιατί η διαφορά δυναμικού στα άκρα της κατά την ορθή πόλωση είναι $11.3\text{V} - 12\text{V} = -0.7\text{V} < 0.7\text{V}$



Άσκηση 3

- Εάν η δίοδος πυριτίου D που ακολουθεί έχει εσωτερική αντίσταση $R_{es} = 17 \Omega$ και ισχύ $P_D = 1/4 \text{ W}$, να υπολογίσετε τη μέγιστη τάση E που μπορεί να εφαρμοστεί στο κύκλωμα, χωρίς να κινδυνεύσει να καεί η δίοδος D. (θεωρείστε ότι $V_D = 0,7 \text{ V}$)

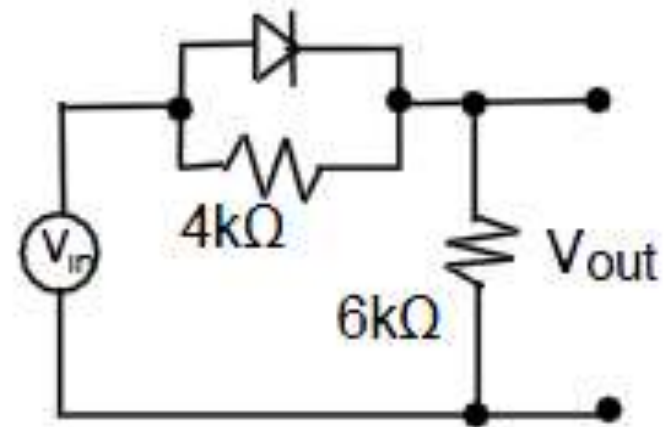


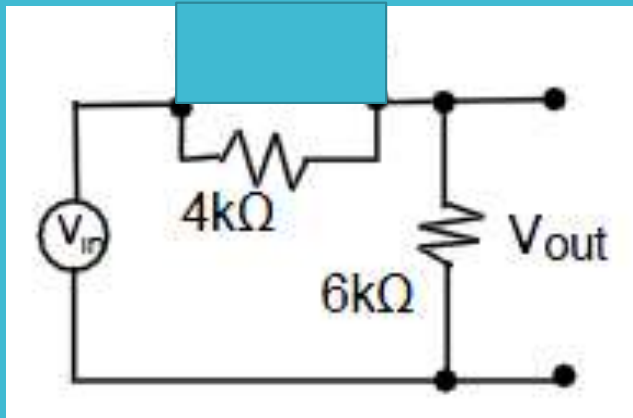
$$I_{D_{\max}} = \frac{P_D}{0,7} \Rightarrow I_{D_{\max}} = \frac{0,25}{0,7} = 0.36A \quad \text{και συνεπώς}$$

$$E_{\max} = I_{D_{\max}}(R + R_{\varepsilon\sigma}) + E_D = 0.36(48 + 17) + 0.7 = 24.1V$$

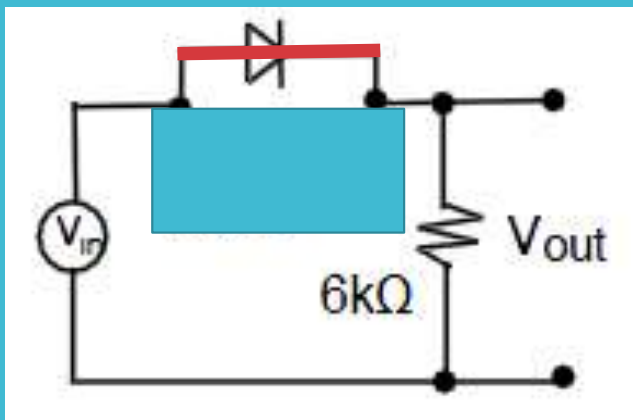
Άσκηση 4

- Εάν η δίοδος είναι ιδανική και η v_{in} είναι μια ημιτονοειδής τάση μέγιστης τιμής 30 V, να σχεδιασθεί η DC χαρακτηριστική μεταφοράς





Κατά την εφαρμογή της *θετικής ημιπεριόδου*, η δίοδος είναι πολωμένη ορθά. Το ρεύμα σε αυτή την περίπτωση διέρχεται μόνο από τη δίοδο λόγω της μικρής αντίστασης και το σήμα στην έξοδο είναι παρόμοιο με αυτό της εισόδου.



Κατά την *αρνητική ημιπερίοδο*, η δίοδος πολώνεται ανάστροφα και συνεπώς το ρεύμα διέρχεται από την αντίσταση των 4kΩ. Η μέγιστη τιμή του ρεύματος αυτού είναι:

$$I_{\max} = \frac{-30V}{10k\Omega} = 3mA \Rightarrow V_{out\max} = 3mA \times 6k\Omega = 18V$$