



Ημιαγωγός Δίοδος

- *Ηλεκτρικό ισοδύναμο της διόδου στο συνεχές*
- *Ανάλυση κυκλώματος με διόδους*
- *Ηλεκτρικό ισοδύναμο μικρών σημάτων της διόδου*

Λευτέρης Καπετανάκης



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

Ηλεκτρονικών Μηχανικών Τ.Ε.

Χειμώνας 2018

ΤΛ1001

L10: Η Ημιαγωγός Δίοδος

ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Στις διαφάνειες των διαλέξεων χρησιμοποιείται διδακτικό υλικό το οποίο έχει δανειστεί από διάφορα εκπαιδευτικά βιβλία και διαδικτυακές σελίδες. Ο εισηγητής δεν έχει καμιά αξίωση κατοχής του υλικού αυτού και το χρησιμοποιεί μόνο για λόγους διδασκαλίας εντός της τάξης. Οι εικόνες και οι πίνακες είναι κτήμα διαφόρων συγγραφέων και παρέχονται στον αντίστοιχο δικτυότοπό τους.

ΤΛ1001

L10: Η Ημιαγωγός Δίοδος

Ανακεφαλαίωση

- Το ρεύμα της διόδου μπορεί να καθοριστεί αναλυτικά αθροίζοντας το ρεύμα των φορέων μειονότητας στα άκρα της ΠΦΧ

$$I = I_o \left(e^{\left[\frac{qV}{kT} \right]} - 1 \right)$$

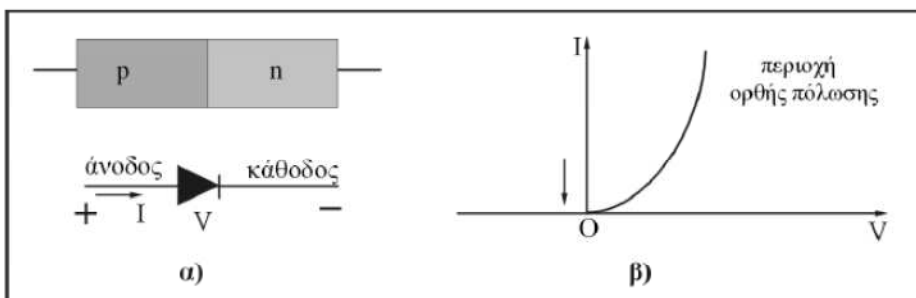
- Υπό συνθήκες ορθής πόλωσης:

– Φορείς μειονότητας **εγχέονται** διαμέσου της ένωσης και **διαχέονται** προς την επαφή όπου **επανασυνδέονται**

- Υπό συνθήκες ανάστροφης πόλωσης:

– Φορείς μειονότητας **δημιουργούνται** στην επαφή και **διαχέονται** προς την ένωση όπου **εξάγονται** διαμέσου της ένωσης

Επίδραση της θερμοκρασίας στην αγωγή διόδου

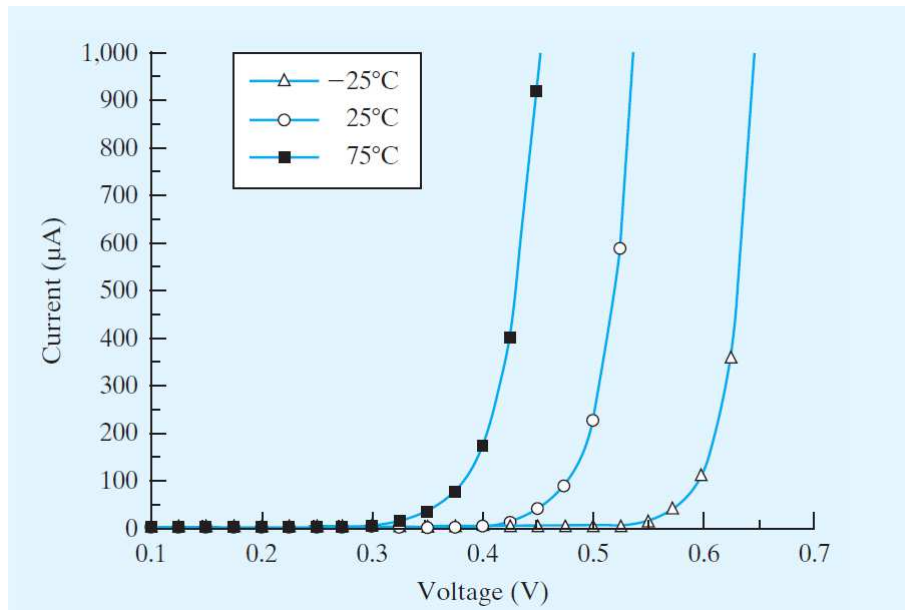


Το ρεύμα κόρου διόδου επαφής pn αυξάνεται περίπου κατά 15% °C. Αυτή η μεταβολή μπορεί να εκφραστεί ως,

$$I_{s2}(T_2) = I_{s1}(T_1) e^{0,15(T_2 - T_1)} \approx I_{s1}(T_1) 4,48^{\frac{(T_2 - T_1)}{10}}$$

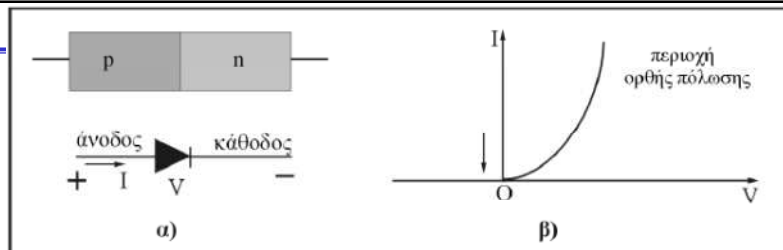
το ρεύμα κόρου της διόδου υπέρτετραπλασιάζεται για αύξηση της θερμοκρασίας κατά 10 °C.

Επαφές p-n ως αισθητήρας θερμοκρασίας



ΤΛ1001

L8: Ροή Ρεύματος σε μια Δίοδο Επαφής p-n



Η σχέση (3-1), που περιγράφει το ρεύμα I διόδου συναρτήσει της τάσης V στα άκρα της διόδου, μπορεί, (για τάσεις $V > 100 \text{ mV}$), να προσεγγιστεί από τη σχέση,

$$I = I_s e^{\frac{V}{nV_T}}$$

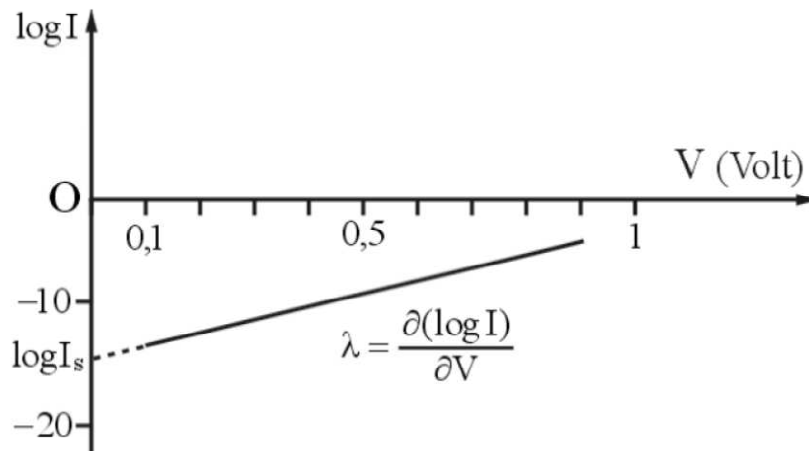
Μετά από λογαρίθμηση της (3 - 2) προκύπτει,

$$\log I = \frac{\log e}{nV_T} V + \log I_s$$

ή

$$\log I = \lambda V + \log I_s$$

Ημιλογαριθμική χαρακτηριστική ημιαγωγού διόδου



Από την κλίση λ της ημιλογαριθμικής χαρακτηριστικής προσδιορίζεται ο εκθετικός συντελεστής n . Από την τομή της προέκτασης της χαρακτηριστικής με τον κατακόρυφο άξονα προσδιορίζεται το ρεύμα κόρου ανάστροφης πόλωσης I_s .

$$I = I_s (e^{\frac{qV}{nkT}} - 1) = I_s (e^{\frac{V}{nV_T}} - 1)$$

I_s είναι το ρεύμα κόρου ανάστροφης πόλωσης ($V < 0$) της διόδου.

$q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ είναι το ηλεκτρικό φορτίο του ηλεκτρονίου

$k = 8,620 \cdot 10^{-5} \text{ eV/}^\circ\text{K}$ είναι η σταθερά του Boltzmann

T είναι η απόλυτη θερμοκρασία

n (emission coefficient) είναι μια σταθερά, που εξαρτάται από το είδος του ημιαγωγού και τον τρόπο κατασκευής της διόδου.

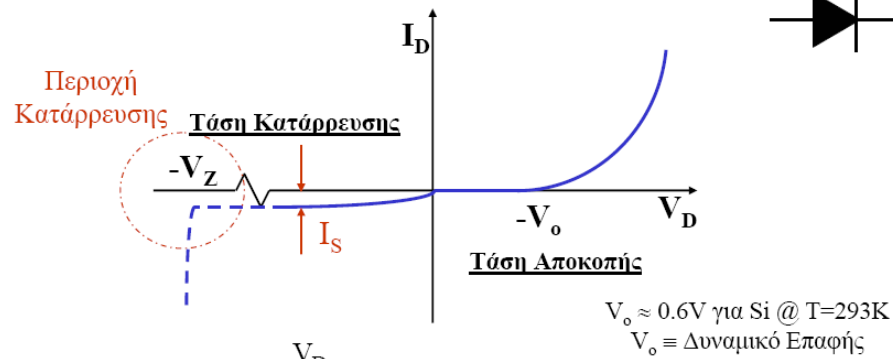
Συνήθως, $n = 1$ για διόδους Ge και $n \approx 2$ για διόδους Si

V_T είναι η θερμική τάση, ($V_T \approx 26 \text{ mV}$ στους 300°K)

ΤΛ1001

L10: Η Ημιαγωγός Δίοδος

Τυπική χαρακτηριστική I-V μιας επαφής p-n



$$I_D = I_S \left(e^{\frac{V_D}{V_T}} - 1 \right)$$

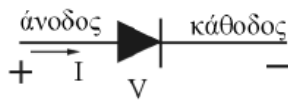
V_T = το θερμικό δυναμικό = 25mV @ $T=293K$
 $\eta = 2$ για Si

Νόμος της Επαφής p-n

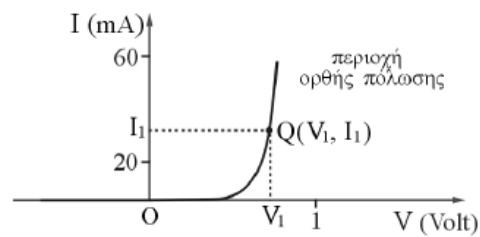
ΤΛ1001

L10: Η Ημιαγωγός Δίοδος

Σημείο λειτουργίας ή σημείο ηρεμίας, Q



α)



β)

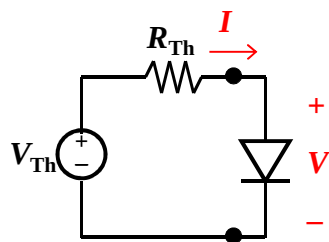
ΤΛ1001

L10: Η Ημιαγωγός Δίοδος

Ανάλυση κυκλώματος με ένα μη-γραμμικό στοιχείο

Επειδή η επαφή pn είναι ένα μη-γραμμικό στοιχείο κυκλώματος, Η παρουσία της περιπλέκει την ανάλυση του κυκλώματος.

(Οι εξισώσεις των κόμβων και των βρόχων γίνονται υπερβατικές.)

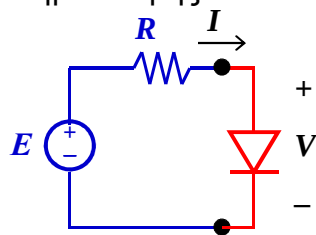


ΤΛ1001

L10: Η Ημιαγωγός Δίοδος

Μέθοδος ανάλυσης Ευθείας-Φόρτου

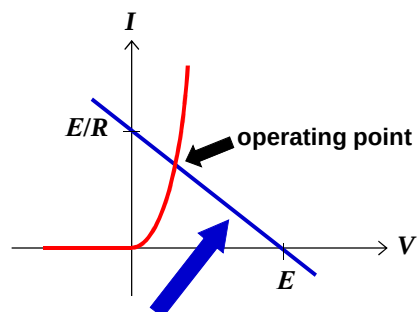
1. Απεικόνιση των σχέσεων των χαρακτηριστικών I - V του μη-γραμμικού στοιχείου και του υπόλοιπου κυκλώματος
2. Το σημείο λειτουργίας του κυκλώματος βρίσκεται από το σημείο τομής των δύο αυτών καμπύλων.



$$E = IR + V$$

$$I = I_s \left(e^{\frac{V}{V_T}} - 1 \right)$$

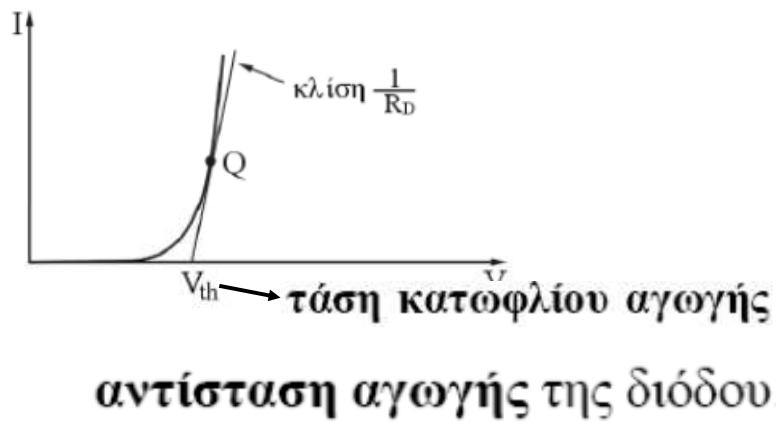
$$E = I_s \left(e^{\frac{V}{V_T}} - 1 \right) R + V$$



Η χαρακτηριστική I - V όλου του κυκλώματος εκτός του μη-γραμμικού στοιχείου ονομάζεται ευθεία φόρτου

ημιαγωγός Δίοδος

Γραμμική χαρακτηριστική διόδου



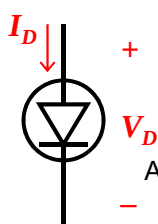
$$\frac{1}{R_D} = \left. \frac{I_Q}{V_Q - V_{th}} \right|_Q \approx \frac{I_Q}{nV_T}$$

ΤΛ1001

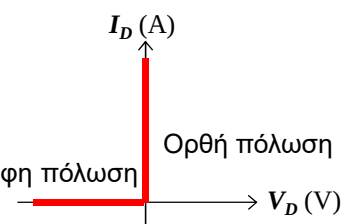
L10: Η Ημιαγωγός Δίοδος

Ιδανικό μοντέλο διόδου για επαφή pn

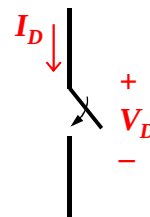
Κυκλωματικό
Σύμβολο



Χαρακτηριστική I-V



Μοντέλο διακόπτη



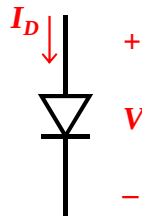
- Μια ιδανική δίοδος περνά ρεύμα μόνο στη μια κατεύθυνση.
 - Μια **ιδανική δίοδος** έχει τις ακόλουθες ιδιότητες:
 - όταν $I_D > 0$, $V_D = 0$
 - όταν $V_D < 0$, $I_D = 0$
- $\left. \begin{array}{l} \bullet \text{ όταν } I_D > 0, V_D = 0 \\ \bullet \text{ όταν } V_D < 0, I_D = 0 \end{array} \right\} \text{ Η δίοδος συμπεριφέρεται σαν διακόπτης:}$
 - κλειστός στην ορθή πόλωση
 - ανοιχτός στην ανάστροφη πόλωση

ΤΛ1001

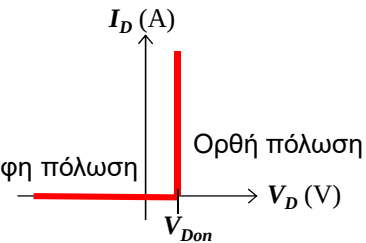
L10: Η Ημιαγωγός Δίοδος

Μοντέλο μεγάλου σήματος διόδου (1)

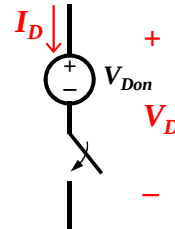
Κυκλωματικό Σύμβολο



Χαρακτηριστική I-V



Μοντέλο διακόπτη



Για τη δίοδο pn Si, $V_{Don} \cong 0.7 \text{ V}$

ΚΑΝΟΝΑΣ 1: Όταν $I_D > 0$, $V_D = V_{Don}$

ΚΑΝΟΝΑΣ 2: Όταν $V_D < V_{Don}$, $I_D = 0$

Η δίοδος συμπεριφέρεται σαν μια πηγή τάσης σε σειρά με ένα διακόπτη :

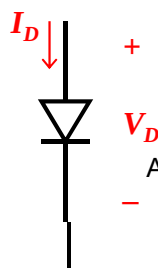
- κλειστός στην ορθή πόλωση
- ανοιχτός στην ανάστροφη πόλωση

ΤΛ1001

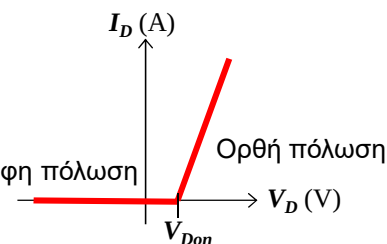
L10: Η Ημιαγωγός Δίοδος

Μοντέλο μεγάλου σήματος διόδου (2)

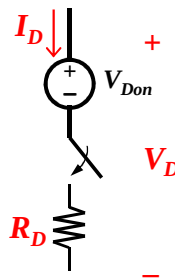
Κυκλωματικό Σύμβολο



Χαρακτηριστική I-V



Μοντέλο διακόπτη



ΚΑΝΟΝΑΣ 1: Όταν $I_D > 0$, $V_D = V_{Don} + I_D R_D$

ΚΑΝΟΝΑΣ 2: Όταν $V_D < V_{Don}$, $I_D = 0$

Για τη δίοδο pn Si, $V_{Don} \cong (0.6-0.7) \text{ V}$

Η δίοδος συμπεριφέρεται σαν μια πηγή τάσης σε σειρά με ένα διακόπτη και μια αντίσταση:

Κατάσταση διακόπτη:

- κλειστός στην ορθή πόλωση
- ανοιχτός στην ανάστροφη πόλωση

ΤΛ1001

L10: Η Ημιαγωγός Δίοδος

Πως αναλύουμε κυκλώματα με διόδους

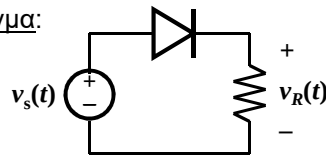
Μια διόδος έχει μόνο δύο καταστάσεις:

- ορθή πόλωση: $I_D > 0$, $V_D = 0$ V (ή 0.7 V)
- ανάστροφη πόλωση: $I_D = 0$, $V_D < 0$ V (ή 0.7 V)

Διαδικασία:

1. Μάντεψε την κατάσταση(-εις) της διόδου(-ων)
2. Έλεγξε να δεις αν τηρούνται οι κανόνες KCL και KVL.
3. Αν KCL και KVL δεν ισχύουν, βελτίωσε την αρχική υπόθεση
4. Επανάλαβε τα βήματα 1-3 έως KCL και KVL να ισχύουν.

Παράδειγμα:



Αν $v_s(t) > 0$ V, η διόδος είναι σε ορθή πόλωση (αλλιώς KVL δεν ισχύει – γιατί;)

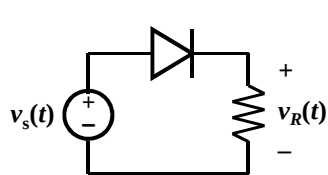
Αν $v_s(t) < 0$ V, η διόδος είναι σε ανάστροφη πόλωση (αλλιώς KVL δεν ισχύει – γιατί;)

ΤΛ1001

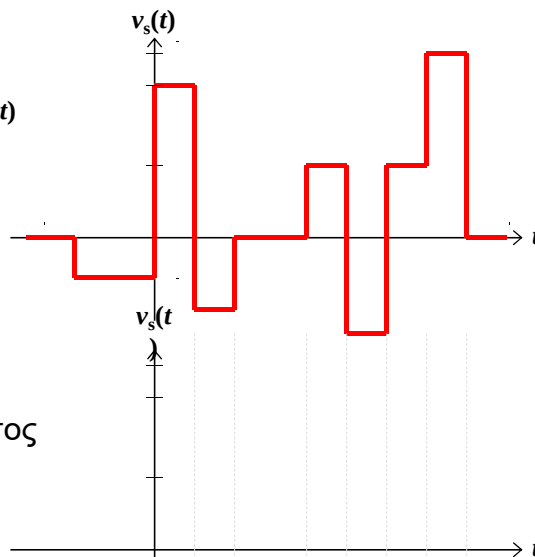
L10: Η Ημιαγωγός Διόδος

Παράδειγμα Εφαρμογής #2

(χρησιμοποιήστε το ιδανικό μοντέλο διόδου)



“ανορθωμένη”
έκδοση του σήματος
εισόδου:

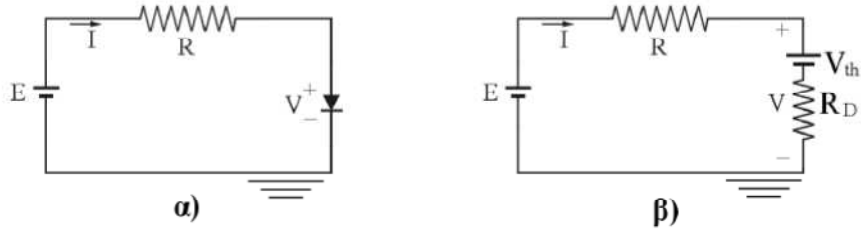


ΤΛ1001

L10: Η Ημιαγωγός Διόδος

Παράδειγμα Εφαρμογής #1

Ανάλυση στο συνεχές κυκλώματος με δίοδο.



α) Κύκλωμα ενός βρόχου με δίοδο, β) Το ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα.

A) υπάρχει αγωγή ρεύματος $I > 0$, που ισχύει, όταν είναι $E > V_{th}$.

Στην περίπτωση αυτή η τάση ορθής πόλωσης στα άκρα της διόδου είναι, $V = V_{th} + IR_D$.

B) δεν υπάρχει αγωγή ρεύματος $I = 0$, όταν είναι $E \leq V_{th}$.

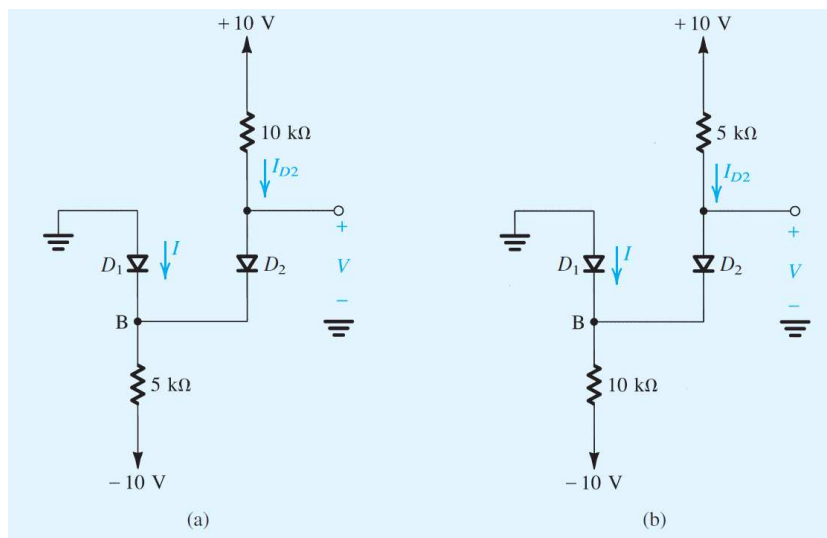
Στην περίπτωση αυτή η ανάστροφη τάση στα άκρα της διόδου, είναι, $V = E$.

Αν δεχθούμε ότι είναι, $E = 5V$, $R = 1K\Omega$, $V_{th} = 0,67V$ και $R_D = 6\Omega$, τότε $I = 4,33\text{ mA}$

ΤΛ1001

L10: Η Ημιαγωγός Δίοδος

Υποθέτοντας ότι οι δίοδοι είναι ιδανικές, βρείτε τις τιμές των I και V στα κυκλώματα

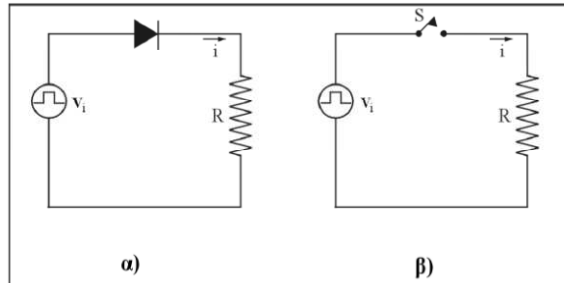


ΤΛ1001

L11: Εφαρμογές Διοδών

Χρόνος ανάκτησης ανάστροφης τάσης

Η διόδος ως διακόπτης

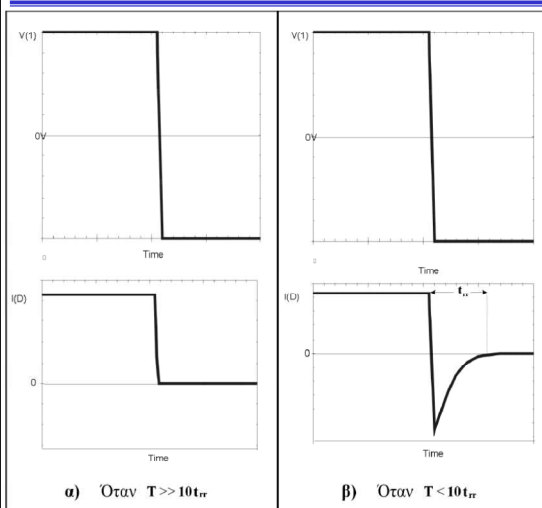


Ο χρόνος, που μεσολαβεί μέχρι το ρεύμα να λάβει την αναμενόμενη μηδενική τιμή, αναφέρεται ως **χρόνος ανάκτησης ανάστροφης πόλωσης** t_{rr} (reverse recovery time ή switch – off time) και θεωρείται δείκτης αξίας μιας διόδου για τη λειτουργία της στις υψηλές συχνότητες.

ΤΛ1001

L10: Η Ημιαγωγός Δίοδος

Επίδραση του χρόνου ανάκτησης ανάστροφης πόλωσης



Πρακτικά, η ανώτερη συχνότητα, για την οποία μια διόδος μπορεί να λειτουργήσει προσδιορίζεται από την εμπειρική σχέση,

$$f \leq \frac{1}{10t_{rr}}$$

t_{rr} κυμαίνονται μεταξύ 4 και 50 ns για διόδους επαφής pn.

Λόγω του μικρού χρόνου ανάκτησης ανάστροφης πόλωσης t_{rr} οι διόδοι Schottky καθίστανται κατάλληλες για εφαρμογές στην περιοχή των πολύ υψηλών συχνοτήτων, μέχρι 30 GHz.

Ισοδύναμο κύκλωμα μικρού σήματος

Εξέταση της επίδρασης μικρού σήματος το οποίο προστίθεται στην ορθή πόλωση:

$$I + i = I_o \left[e^{\left(\frac{q(V+v)}{kT} \right)} - 1 \right] \approx I_o e^{\left(\frac{q(V+v)}{kT} \right)}$$

Αν το σήμα v είναι αρκετά μικρό, το εκθετικό μπορεί να πάρει γραμμική μορφή:

$$\begin{aligned} I + i &\approx I_o \left[e^{\left(\frac{qV}{kT} \right)} e^{\left(\frac{qv}{kT} \right)} \right] \approx I_o \left[e^{\left(\frac{qV}{kT} \right)} \left(1 + \frac{qv}{kT} \right) \right] \\ &= I_o e^{\left(\frac{qV}{kT} \right)} + I_o e^{\left(\frac{qV}{kT} \right)} \frac{qv}{kT} \end{aligned}$$

Οπότε:

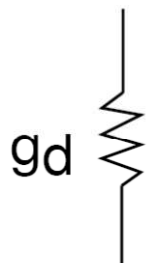
$$i = \frac{qI}{kT} \bullet v$$

ΤΛ1001

L10: Η Ημιαγωγός Δίοδος

Ισοδύναμο κύκλωμα μικρού σήματος

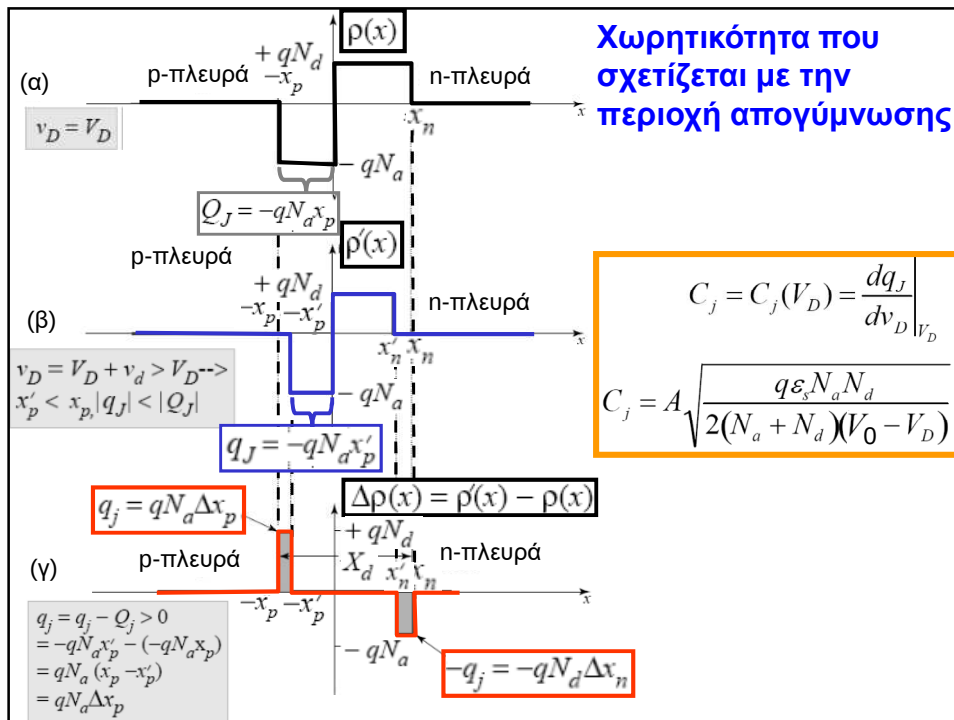
Έτσι, από την άποψη ενός μικρού σήματος, η δίοδος συμπεριφέρεται σαν ένας **αντιστάτης** r_d , ή ισοδύναμα σαν μια **αγωγιμότητα** g_d , ($g_d \equiv 1 / r_d$), η οποία εξαρτάται από την τάση πόλωσης. Στην ορθή πόλωση:


$$g_d = \frac{di}{dv} = \frac{qI}{kT}$$

Η αγωγιμότητα g_d , εξαρτάται γραμμικά από το ρεύμα της διόδου.

ΤΛ1001

L10: Η Ημιαγωγός Δίοδος



Χωρητικότητα επαφής p-n

$$C = \left| \frac{dQ}{dV} \right|$$

$$W = \left[\frac{2\epsilon V_0}{q} \left(\frac{N_a + N_d}{N_a N_d} \right) \right]^{1/2}$$

$$W = \left[\frac{2\epsilon(V_0 - V)}{q} \left(\frac{N_a + N_d}{N_a N_d} \right) \right]^{1/2}$$

$$|Q| = qA x_{n0} N_d = qA x_{p0} N_a$$

$$x_{n0} = \frac{N_a}{N_a + N_d} W \quad x_{p0} = \frac{N_d}{N_a + N_d} W$$

TA1001

Χωρητικότητα επαφής p-n

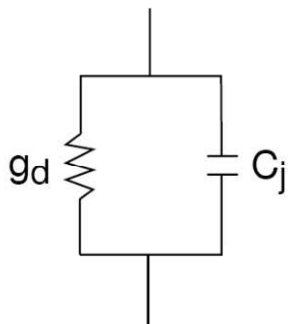
$$\begin{aligned}
 |Q| &= qAx_{n0}N_d = qA \frac{N_a N_d}{N_a + N_d} W = \\
 &A \left[2q\varepsilon(V_0 - V) \frac{N_a N_d}{N_a + N_d} \right]^{1/2} \\
 C_j &= \left| \frac{dQ}{d(V_0 - V)} \right| = \frac{A}{2} \left[\frac{2q\varepsilon}{(V_0 - V)} \frac{N_a N_d}{N_a + N_d} \right]^{1/2} \\
 &= \varepsilon A \left[\frac{q}{2\varepsilon(V_0 - V)} \frac{N_a N_d}{N_a + N_d} \right]^{1/2} = \frac{\varepsilon A}{W} \\
 C_j &= \frac{A}{2} \left[\frac{2q\varepsilon}{(V_0 - V)} N_d \right]^{1/2} \text{ for } P^+ - n \text{ (i.e., } N_a \gg N_d)
 \end{aligned}$$

ΤΛ1001

L10: Η Ημιαγωγός Δίοδος

Ισοδύναμο κύκλωμα μικρού σήματος

Μπορούμε να ξαναγράψουμε την προηγούμενη σχέση ως:



$$C_j = A \sqrt{\frac{q\varepsilon_s N_a N_d}{2(N_a + N_d)V_0}} \cdot \sqrt{\frac{V_0}{(V_0 - V_D)}}$$

ή,

$$C_j = \frac{C_{j0}}{\sqrt{1 - \frac{V_D}{V_0}}}$$

Υπό συνθήκες ορθής πόλωσης υποθέτουμε ότι: $V_D \approx \frac{V_0}{2}$

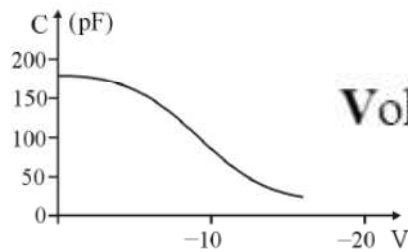
$$C_j = \sqrt{2} C_{j0}$$

$C_{j0} \equiv$ χωρητικότητα ένωσης χωρίς τάση

Η δίοδος varactor

VVC

Voltage Variable Capacitor:



$$C = F(V)$$

varactor, (variable reactor)



varicap, (variable capacitor)

Δίοδος Varactor

ΤΛ1001

L10: Η Ημιαγωγός Δίοδος

$$C_j = \frac{C_{j0}}{\left(1 - \frac{V_Q}{V_j}\right)^{n_r}}$$

όπου, C_{j0} = χωρητικότητα επαφής με μηδενική πόλωση (zero-bias junction capacitance)

V_j = Δυναμικό επαφής (junction potential or built-in voltage)

n_r = εκθετικός συντελεστής (grading coefficient or exponent in capacitance equation)

ΤΛ1001

L10: Η Ημιαγωγός Δίοδος

Αποθήκευση φορτίου φορέων ρεύματος:

Χωρητικότητα Διάχυσης

Τι συμβαίνει με τους φορείς πλειονότητας;

Η συγκέντρωση των φορέων πλειονότητας μεταβάλλεται,

γιατί;

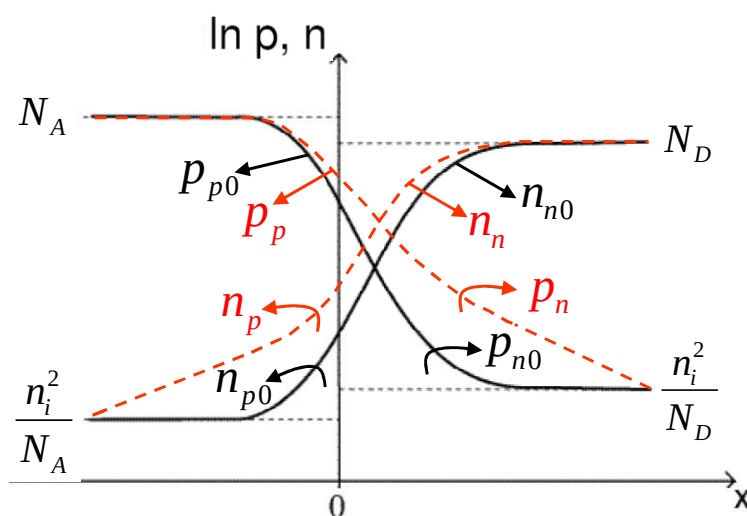
Έστω ότι η συγκέντρωση φορέων μειονότητας αυξάνει στην σχεδόν-ουδέτερη περιοχή (ΣΟΠ) αλλά η συγκέντρωση φορέων πλειονότητας παραμένει αμετάβλητη

⇒ Παραβίαση της συνθήκης σχεδόν-ουδετερότητας.

ΤΛ1001

L10: Η Ημιαγωγός Δίοδος

Προφίλ της συγκέντρωσης φορέων μιας διόδου p-n σε ΘΙ και σε ορθή πόλωση



ΤΛ1001

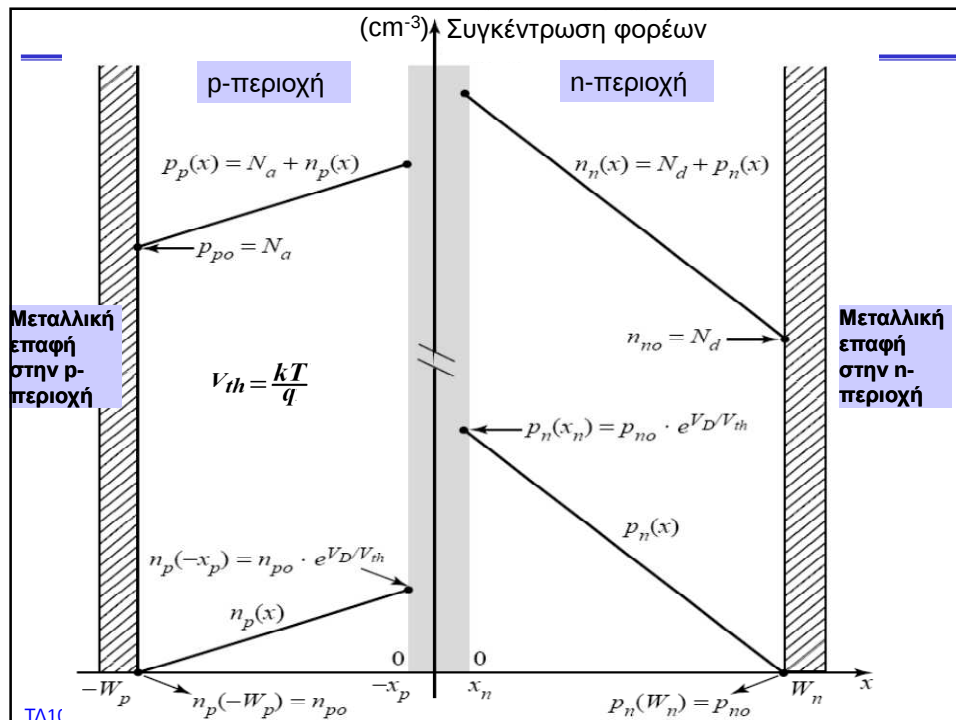
L10: Η Ημιαγωγός Δίοδος

Συνθήκη σχεδόν-ουδετερότητας σε κάθε σημείο της ΣΟΠ:

**Συγκέντρωση επιπλέον φορέων
μειονότητας
=
Συγκέντρωση επιπλέον φορέων
πλειονότητας**

ΤΛ1001

L10: Η Ημιαγωγός Δίοδος



ΤΛ11

Μαθηματικά

πχ, για την n-ΣΟΠ:

$$p_n(x) - p_{no} = n_n(x) - n_{no}$$

Συνολικό επιπλέον φορτίο φορέων στην ΣΟΠ :

$$q_{Pn} = qA \frac{1}{2} (p_n(x_n) - p_{no}) \cdot (W_n - x_n)$$

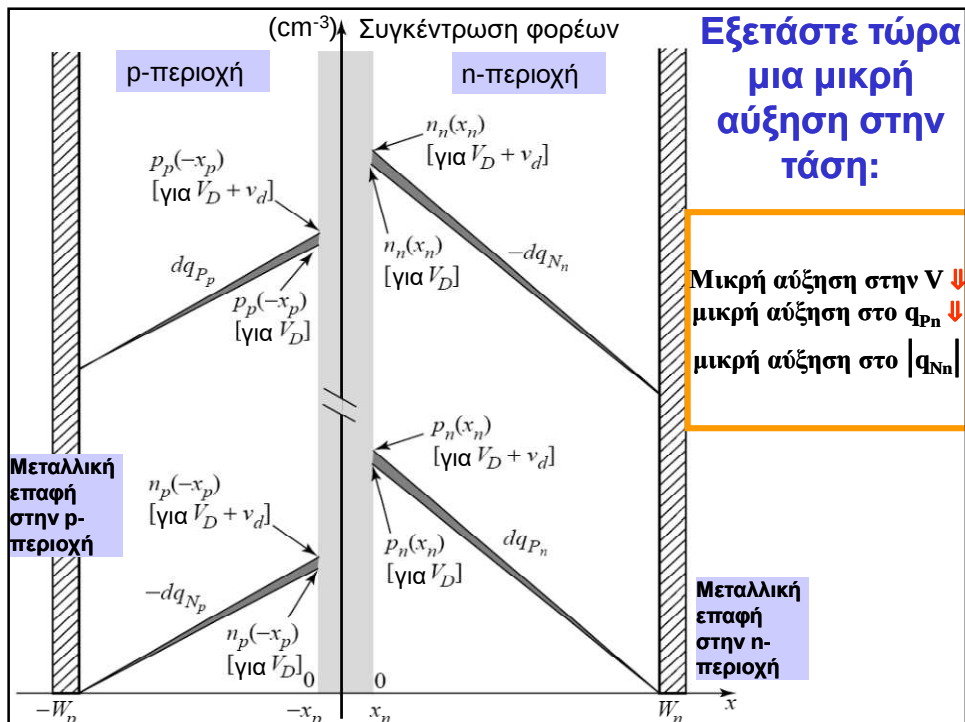
επιπλέον φορτίο
φορέων
μειονότητας

$$= qA \frac{W_n - x_n}{2} \frac{n_i^2}{N_d} \left[e^{\frac{qV}{kT}} - 1 \right] = -q_{Nn}$$

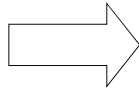
επιπλέον φορτίο
φορέων
πλειονότητας

ΤΛ1001

L10: Η Ημιαγωγός Δίοδος



Μικρή αύξηση στην $V \downarrow$
 μικρή αύξηση στο q_{pn}
 $\downarrow$
 μικρή αύξηση στο $|q_{nn}|$



**Συμπεριφορά
χωρητικότητας**

$$C_{dn} = \left. \frac{dq_{pn}}{dV} \right|_{V_D} = qA \frac{W_n - x_n}{2} \frac{n_i^2}{N_d} \frac{q}{kT} e^{\left[\frac{qV_D}{kT} \right]}$$

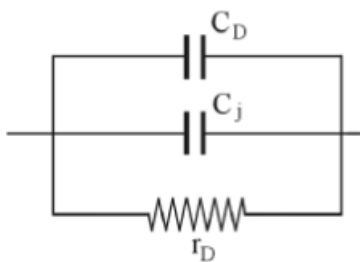
όμοια για την p-ΣΟΠ:

$$C_{dp} = \left. \frac{dq_{np}}{dV} \right|_{V_D} = qA \frac{W_p - x_p}{2} \frac{n_i^2}{N_a} \frac{q}{kT} e^{\left[\frac{qV_D}{kT} \right]}$$

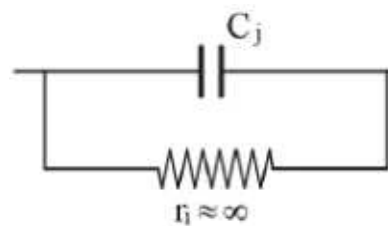
ΤΛ1001

L10: Η Ημιαγωγός Δίοδος

**Πλήρες ισοδύναμο κύκλωμα
μικρού-σήματος για τη δίοδο:**



α)



β)

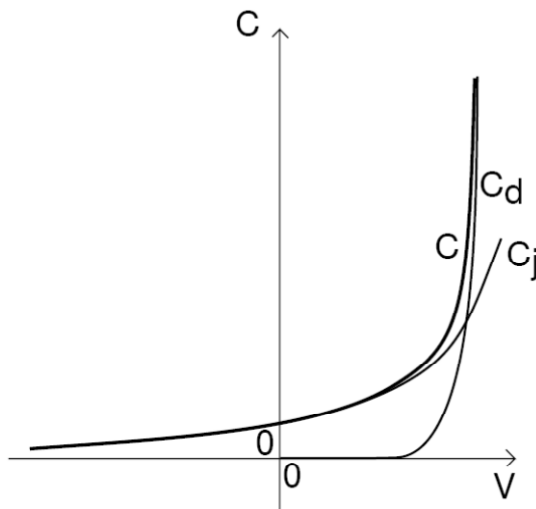
δίοδος ορθά πολωμένη.

δίοδος ανάστροφα πολωμένη

ΤΛ1001

L10: Η Ημιαγωγός Δίοδος

Χωρητικότητες διόδου σαν συνάρτηση της εφαρμοζόμενης τάσης



- Η C_j επικρατεί στην ανάστροφη πόλωση και στη μικρή ορθή πόλωση

$$\propto \frac{1}{\sqrt{\phi_B - V}}$$

- Η C_d επικρατεί στην ισχυρή ορθή πόλωση

$$\propto e^{\left[\frac{qV}{kT} \right]}$$

ΤΛ1001

L10: Η Ημιαγωγός Δίοδος

ΣΥΝΟΠΤΙΚΑ - Συμπεριφορά διόδου για Μεγάλο και Μικρό-σήμα:

- **Ρεύμα Διόδου:** $I = I_0 (e^{\left[\frac{qV}{kT} \right]} - 1)$

- **Αγωγιμότητα:** συνδέεται με τις χαρακτηριστικές ρεύματος-τάσης

- $g_d \propto I$ στην ορθή πόλωση,
- $g_d \propto$ αμελητέα στην ανάστροφη πόλωση

- **Χωρητικότητα ένωσης:** συνδέεται με τη μεταβολή του φορτίου στην περιοχή απογύμνωσης

$$C_j \propto \frac{1}{\sqrt{V_0 - V}}$$

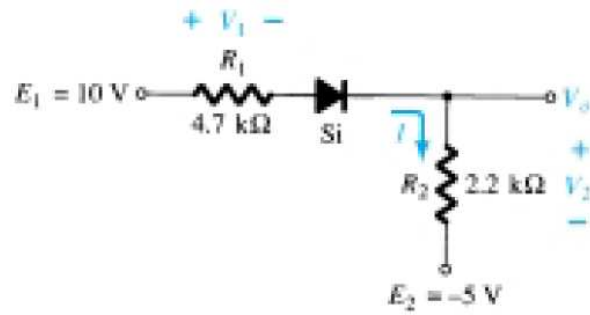
- **Χωρητικότητα διάχυσης:** συνδέεται με την αποθήκευση φορτίου στις ΣΟΠς για να διατηρηθεί η συνθήκη σχεδόν-ουδετερότητας

$$C_d \propto e^{\left[\frac{qV}{kT} \right]}$$

ΤΛ1001

L

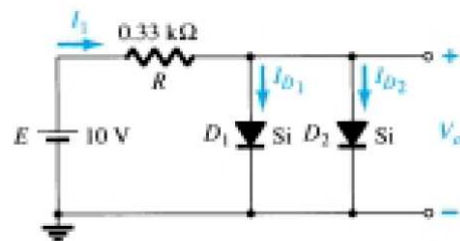
Καθορίστε I , V_1 , V_2 , και V_o



ΤΛ1001

L10: Η Ημιαγωγός Δίοδος

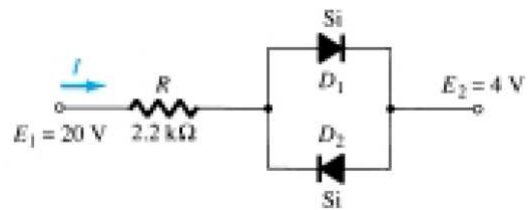
Καθορίστε I_1 , I_{D1} , I_{D2} , και V_o



ΤΛ1001

L10: Η Ημιαγωγός Δίοδος

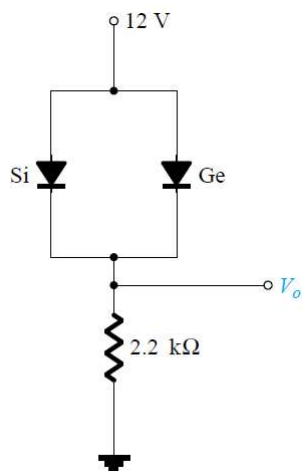
Προσδιορίστε το ρεύμα I για το παρακάτω δίκτυο.



ΤΛ1001

L10: Η Ημιαγωγός Δίοδος

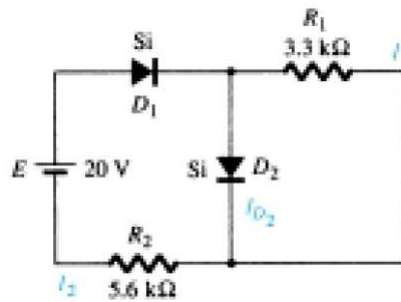
Προσδιορίστε την τάση V_o για το κάτω δίκτυο.



ΤΛ1001

L10: Η Ημιαγωγός Δίοδος

Προσδιορίστε τα ρεύματα I_1 , I_2 και I_{D2} για το κάτω δίκτυο.

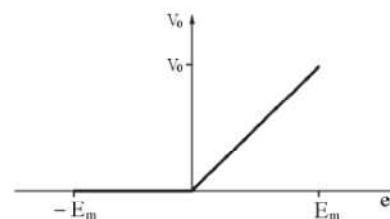
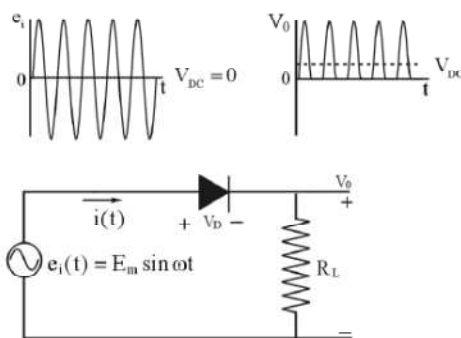


ΤΛ1001

L10: Η Ημιαγωγός Δίοδος

Κυκλώματα Ημιανόρθωσης

ιδανική δίοδος



α)

β)

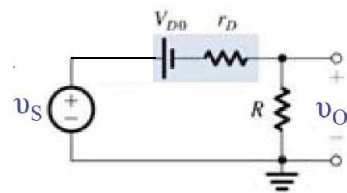
α) Κύκλωμα ημιανόρθωσης σήματος με δίοδο

β) Χαρακτηριστική μεταφοράς του κυκλώματος

ΤΛ1001

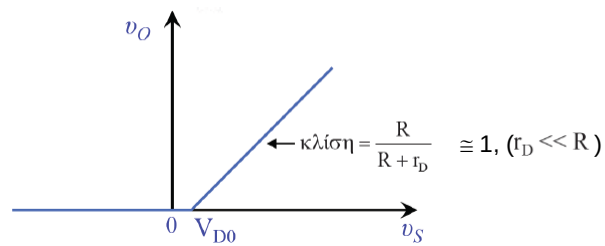
L11: Εφαρμογές Διόδων

Κυκλώματα Ημιανόρθωσης



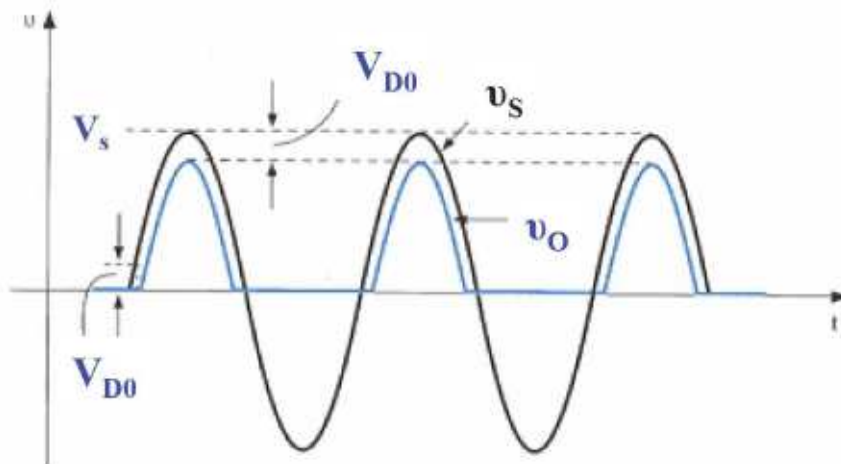
$$v_O = 0 \quad \text{όταν } v_S < V_{D0}$$

$$v_O = \frac{R}{R + r_D} (v_S - V_{D0}) \quad \text{όταν } v_S \geq V_{D0}$$



ΤΛ1001

L11: Εφαρμογές Διόδων



ΤΛ1001

L11: Εφαρμογές Διόδων

Μέγιστη Ανάστροφη Τάση - PIV

Είναι η μέγιστη αρνητική τάση που εφαρμόζεται στα άκρα της διόδου όταν δεν άγει.

$$PIV = V_S$$

Μέση Τιμή Τάσης

Είναι η τιμή που δείχνει ένα dc βολτόμετρο στην έξοδο του ημιανορθωτή.

$$V_{DC} = \frac{V_0}{\pi} = \frac{V_S - V_{DO}}{\pi}$$

Μέση Τιμή Ρεύματος

$$I_{DC} = \frac{I_0}{\pi} = \frac{V_0}{\pi R} = \frac{V_{DC}}{R}$$

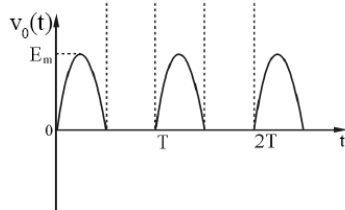
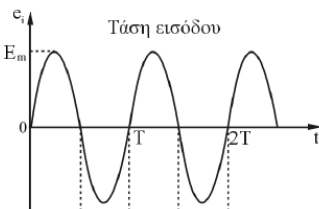
Ενεργός Τιμή τάσης/ρεύματος

$$V_{rms} = \frac{V_0}{2}$$

$$I_{rms} = \frac{I_0}{2}$$

ΤΑ1001

L11: Εφαρμογές Διόδων



Τάση εξόδου

μέση τιμή του ρεύματος,

$$I_{DC} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} i(\omega t) d(\omega t) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} i(\omega t) d(\omega t) \quad \text{ή}$$

$$I_{DC} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} \frac{1}{R_L} V_o \sin \omega t d(\omega t)$$

$$I_{DC} = \frac{V_o}{\pi R_L} = \frac{I_0}{\pi}$$

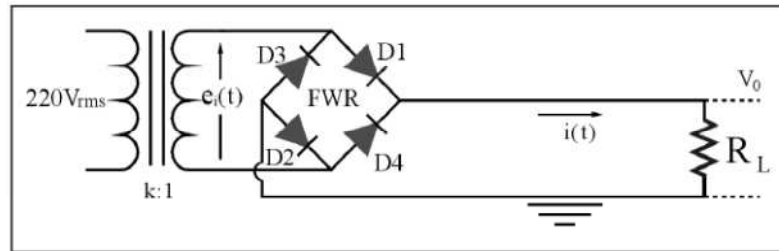
μέση τιμή του τετραγώνου του ρεύματος,

(Root Mean Square, RMS)

$$I_{rms} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} i(\omega t)^2 d(\omega t)} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} (I_o \sin \omega t)^2 d(\omega t)} = \frac{I_0}{2}$$

ΤΑ1001

Κυκλώματα Ανόρθωσης Πλήρους Κύματος



Ανορθωτής πλήρους κύματος

$$e_i(t) = E_m \sin \omega t \quad 0 < \omega t < 2\pi$$

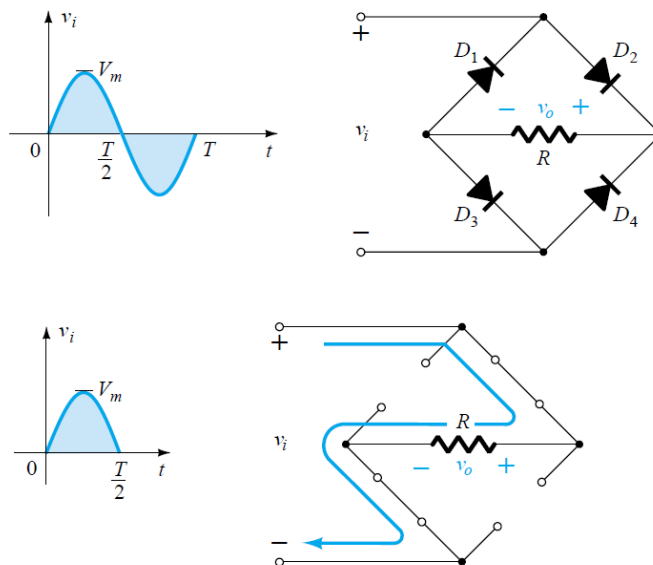
τάση στην έξοδο της γέφυρας $v_o(t) = |V_0 \sin \omega t| \quad 0 < \omega t < 2\pi$

Όταν οι διόδοι είναι ιδανικές, τότε, $V_0 = E_m$.

ΤΛ1001

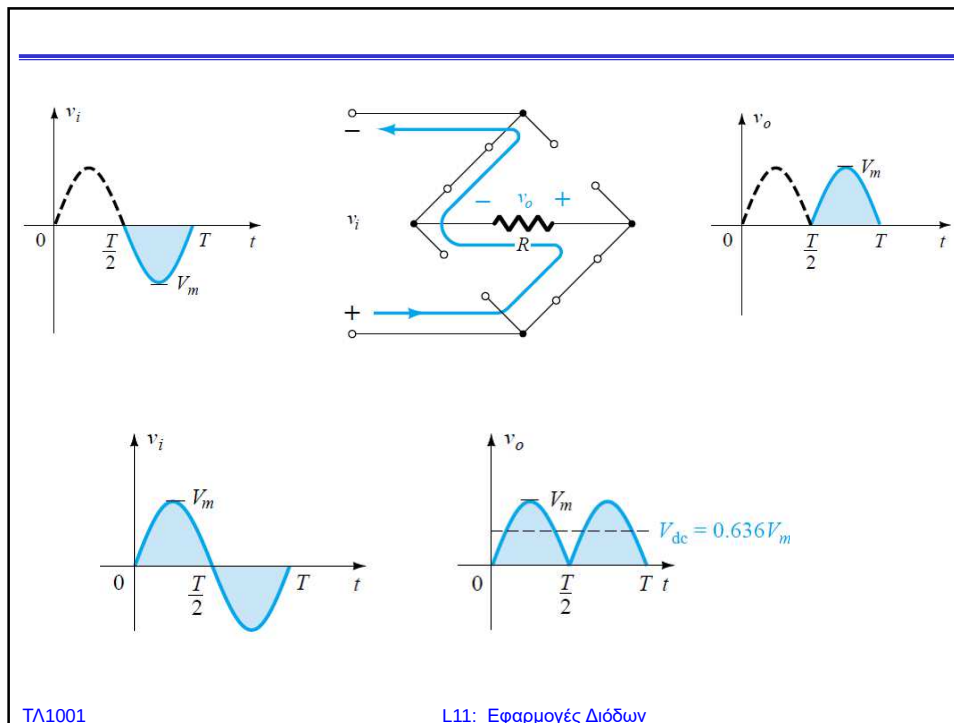
L11: Εφαρμογές Διοδών

Κυκλώματα Ανόρθωσης Πλήρους Κύματος



ΤΛ1001

L11: Εφαρμογές Διοδών



$$PIV = V_s - 2V_D + V_D = V_s - V_D$$

μέση τιμή του ρεύματος

$$I_{DC} = \frac{2I_0}{\pi}$$

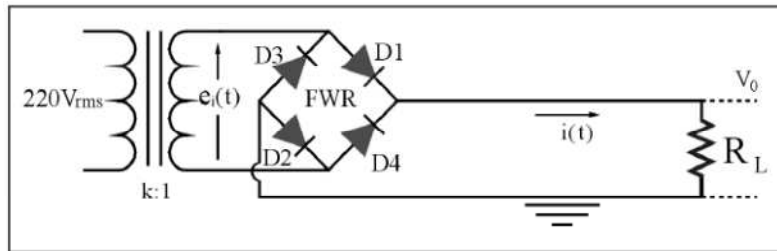
Η ενεργός τιμή του ρεύματος υπολογίζεται ως

$$I_{rms} = \frac{I_0}{\sqrt{2}}$$

TL1001

L11: Εφαρμογές Διόδων

Μελέτη Ανορθωτικής Διάταξης Πλήρους Κύματος



Στον ανορθωτή πλήρους κύματος του σχ. η τάση αγωγής κάθε διόδου είναι $0,75\text{V}$ και η αντίσταση ορθής πόλωσης κάθε διόδου είναι $10\ \Omega$. Αν το πλάτος της τάσης τροφοδοσίας είναι $E_m = 40\text{ V}$ να προσδιοριστούν το συνεχές ρεύμα και η τάση στο φορτίο, όταν $R_L = 100\ \Omega$.

ΤΛ1001

L11: Εφαρμογές Διόδων

Απάντηση

Το ρεύμα δια του φορτίου θα εκφράζεται από τη σχέση,

$$i(t) = \frac{e_i(t) - 2V_D}{2R_D + R_L}$$

Επομένως, το πλάτος του ρεύματος θα είναι,

$$I_0 = \frac{E_m - 2V_D}{2R_D + R_L} = 320\text{ mA}$$

Η συνεχής τιμή του ρεύματος, θα είναι,

$$I_{DC} = \frac{2I_0}{\pi} = 205\text{ mA}$$

ΤΛ1001

L11: Εφαρμογές Διόδων

Η συνεχής τιμή της τάσης στο φορτίο θα είναι,

$$V_{DC} = I_{DC}R_L = 20,5 \text{ V}$$

Η ενεργός τιμή του ρεύματος θα είναι,

$$I_{rms} = \frac{I_0}{\sqrt{2}} = 226 \text{ mA}$$

Οι παραπάνω σχέσεις ισχύουν με την προϋπόθεση ότι, οι δίοδοι άγουν ανά δύο σε όλο το διάστημα από 0 έως 2π , κάτι, που ισχύει με καλή προσέγγιση, αφού, $E_m \gg 2V_D$.

ΤΛ1001

L11: Εφαρμογές Διοδών

Ο συντελεστής απόδοσης της τροφοδοτικής διάταξης προσδιορίζεται από τη σχέση,

$$\eta = \frac{P_{DC}}{P_{ac}} 100\% = \frac{V_{DC} I_{DC}}{I_{rms}^2 (2R_D + R_L)} 100\% \quad \text{ή}$$

$$\eta = 68,5\%$$

ΤΛ1001

L11: Εφαρμογές Διοδών

Παράδειγμα Εφαρμογής #4

Ανάλυση κυκλώματος με δίοδο, για μεγάλα σήματα.

Για το κύκλωμα του σχ.3.10 ζητείται να προσδιοριστούν:

α) το διάστημα τάσεων της v_i , για το οποίο η δίοδος άγει.

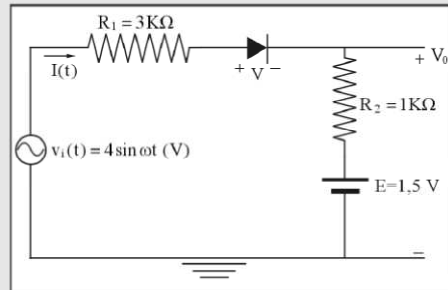
β) η χαρακτηριστική μεταφοράς του κυκλώματος v_o έναντι v_i .

γ) η χαρακτηριστική $i \sim v_i$.

δ) η κυματομορφή $v_o(t)$.

ε) η κυματομορφή $i(t)$.

Για τη δίοδο είναι γνωστά: $V_{Bi}=V_D=0,5\text{ V}$ και $R_D=0\ \Omega$.



Σχ.3.10

Απάντηση

Βασική σχέση:

$$v_i(t) = i(R_1 + R_2) + V + E$$

ή

$$i(t) = \frac{v_i(t) - V - E}{(R_1 + R_2)}$$

1) Όταν η δίοδος άγει, τότε, $i > 0$ και $V = V_D = 0,5\text{ V}$

2) Όταν η δίοδος δεν άγει, τότε, $i = 0$ και $V = v_i - E$

ΤΛ1001

L10: Η Ημιαγωγός Δίοδος

