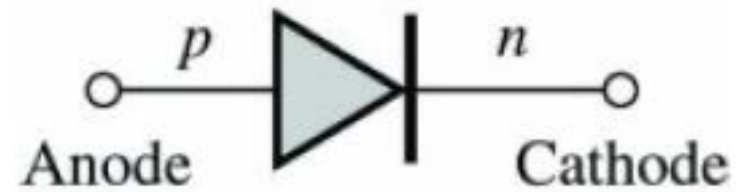
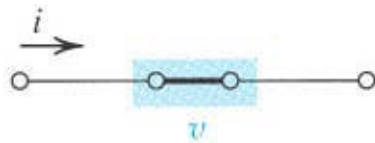
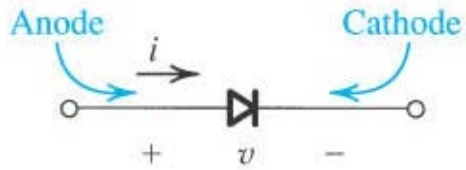


Δίοδοι

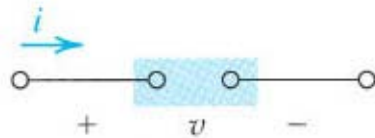


Η ιδανική Δίοδος



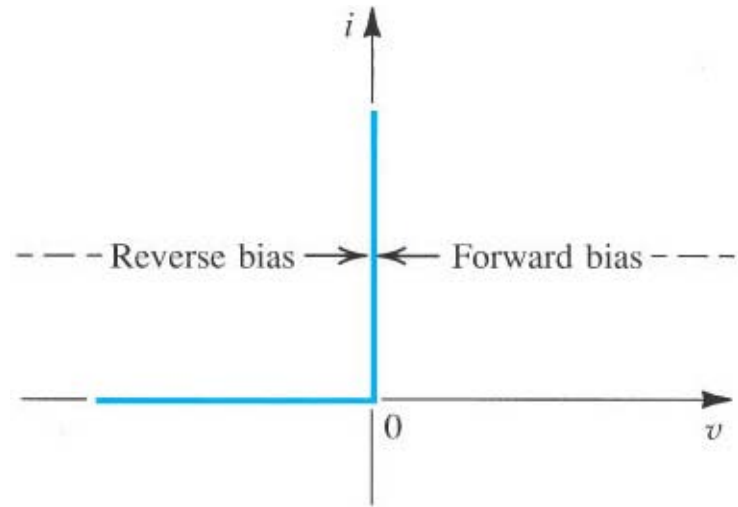
$$i > 0 \Rightarrow v = 0$$

Ορθή πόλωση



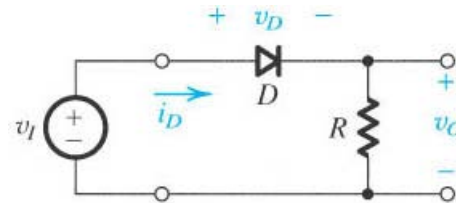
$$v < 0 \Rightarrow i = 0$$

Ανάστροφη πόλωση

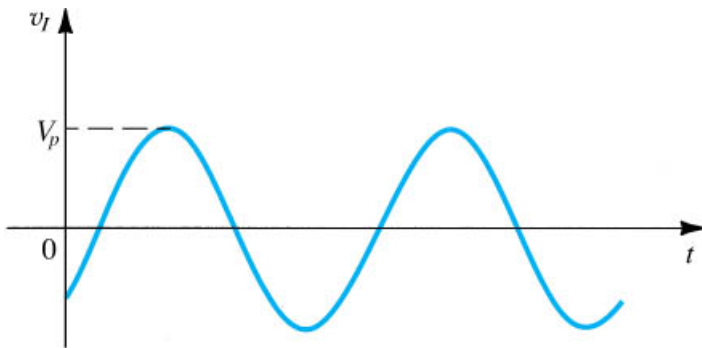


Χαρακτηριστική τάσης ρεύματος της **ιδανικής** διόδου.

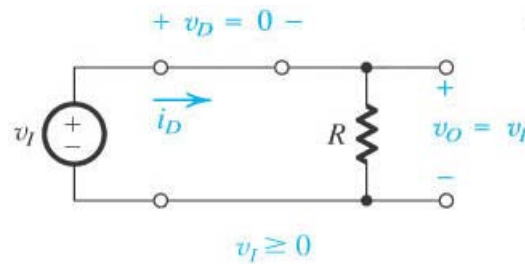
Εφαρμογή: Ο ιδανικός Ανορθωτής



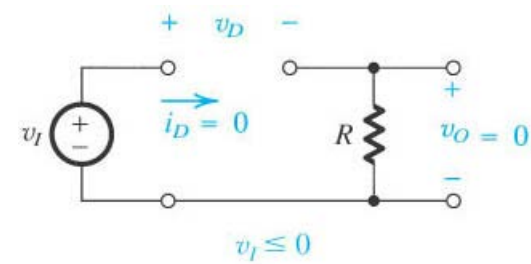
Κύκλωμα Ανορθωτή



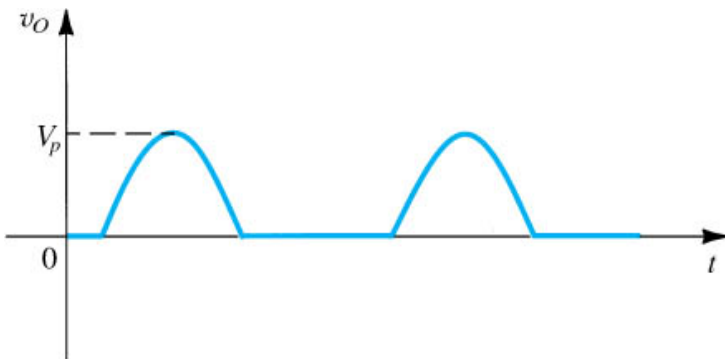
Κυματομορφή Εισόδου



Ορθή πόλωση



Ανάστροφη πόλωση

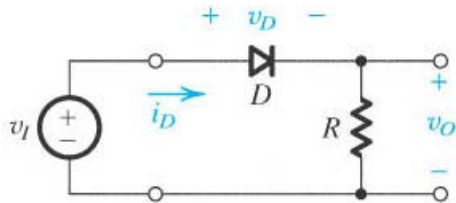


Κυματομορφή Εξόδου

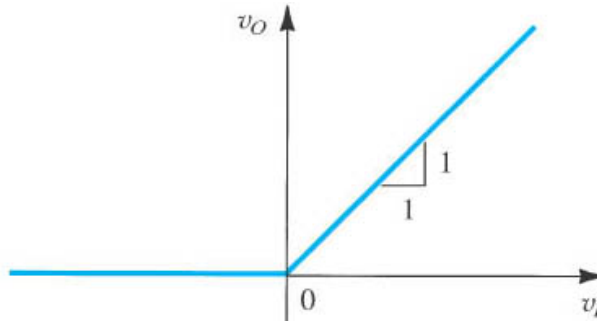
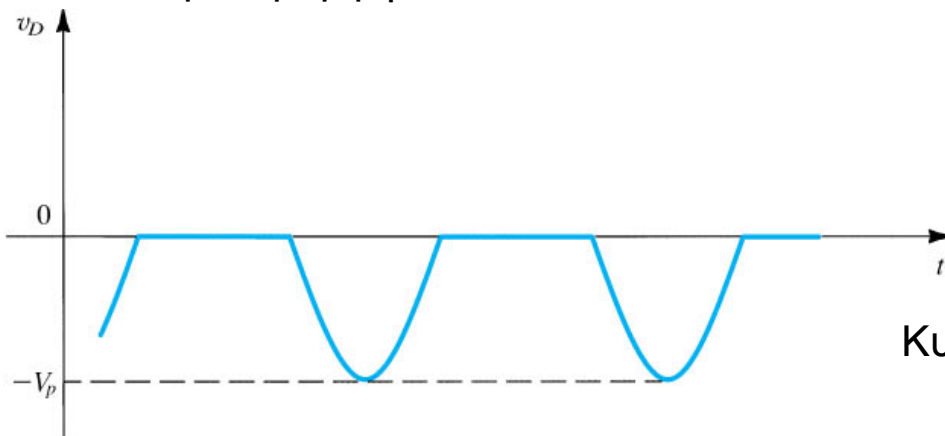
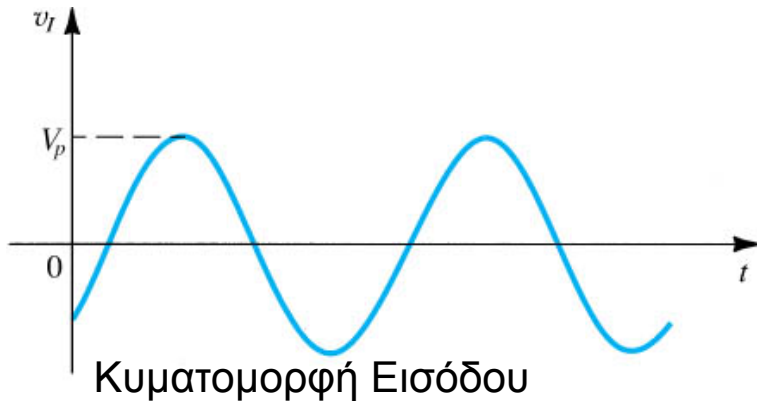
Ημιανόρθωση:

$$V_{DC} = \frac{V_p}{\pi}$$

Κύκλωμα διόδου-αντίστασης



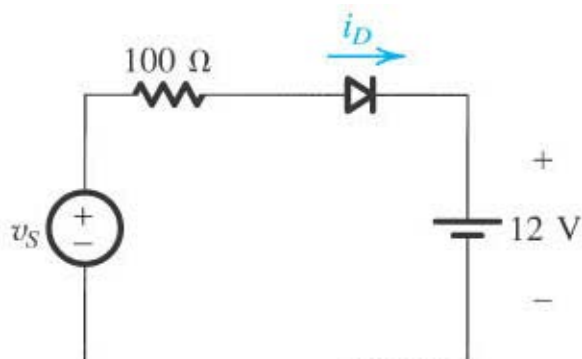
Το κύκλωμα διόδου με αντίσταση σε σειρά



Χαρακτηριστική μεταφοράς του κυκλώματος

Κυματομορφή τάσης στα άκρα της διόδου

Παράδειγμα: Φόρτιση μπαταρίας



Κύκλωμα φόρτισης μπαταρίας 12V

Η δίοδος άγει όσο $v_s > 12V$.

Αυτό συμβαίνει για γωνία αγωγής 2θ όπου:

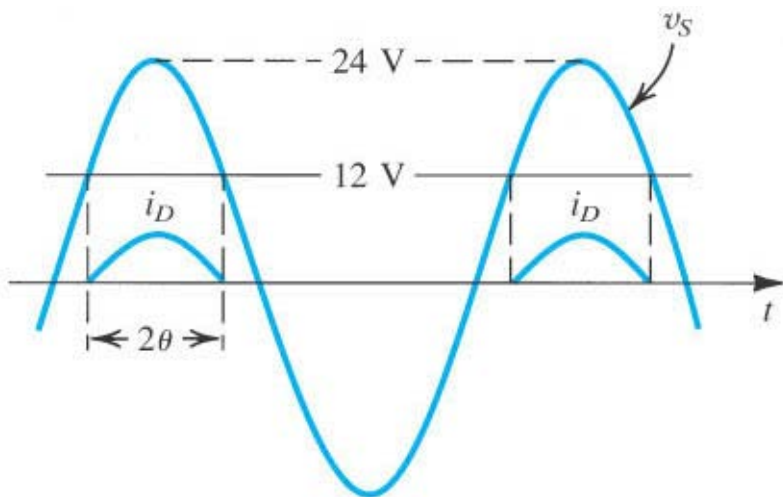
$$24\cos\theta = 12 \Rightarrow \theta = 60^\circ$$

Η μέγιστη τιμή του ρεύματος της διόδου είναι:

$$I_d = \frac{(24 - 12)V}{100\Omega} = 0.12A$$

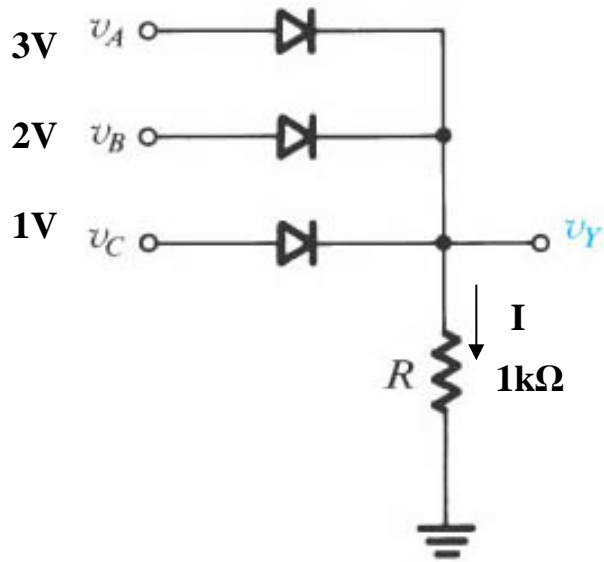
Η μέγιστη τάση ανάστροφης πόλωσης της διόδου ισούται με:

$$PIV = 24V + 12V = 36V$$



Κυματομορφές τάσης εισόδου και ρεύματος

Λογικές Πύλες με Διόδους

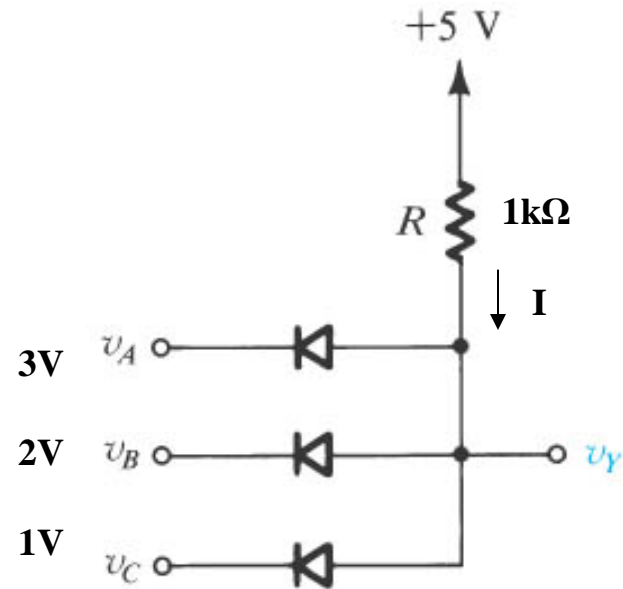


Πύλη **OR**

$$Y=A+B+C$$

$$I = 3mA$$

$$v_Y = 3V$$



Πύλη **AND**

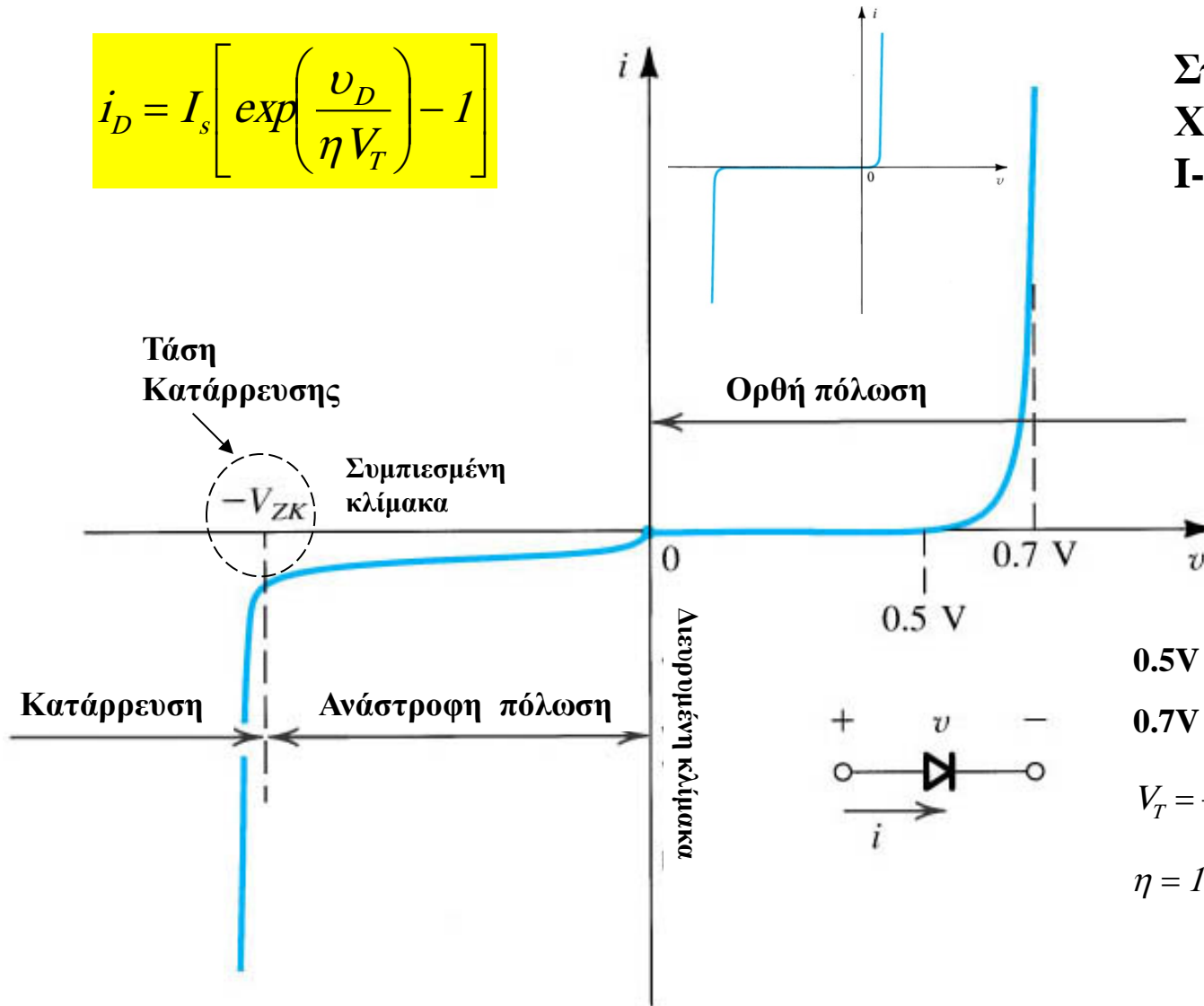
$$Y=A \cdot B \cdot C$$

$$I = 4mA$$

$$v_Y = 1V$$

Χαρακτηριστική I-V Διόδου Πυριτίου

$$i_D = I_s \left[\exp\left(\frac{v_D}{\eta V_T}\right) - 1 \right]$$



Στατική
Χαρακτηριστική
I-V της Διόδου

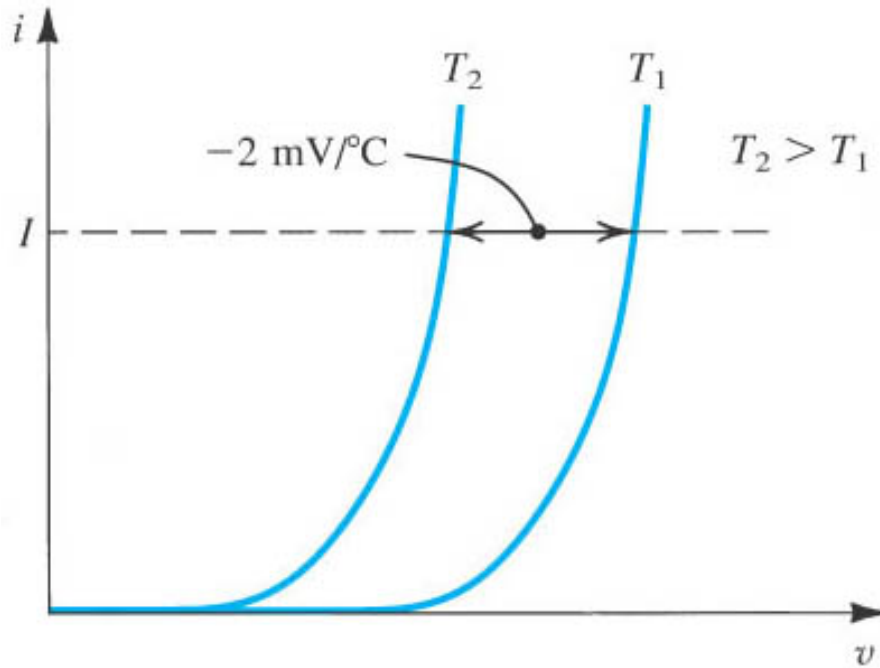
0.5V => Τάση αποκοπής

0.7V => Τάση ορθής πόλωσης

$$V_T = \frac{kT}{q} \approx 25mV$$

$$\eta = 1 \text{ ή } 2$$

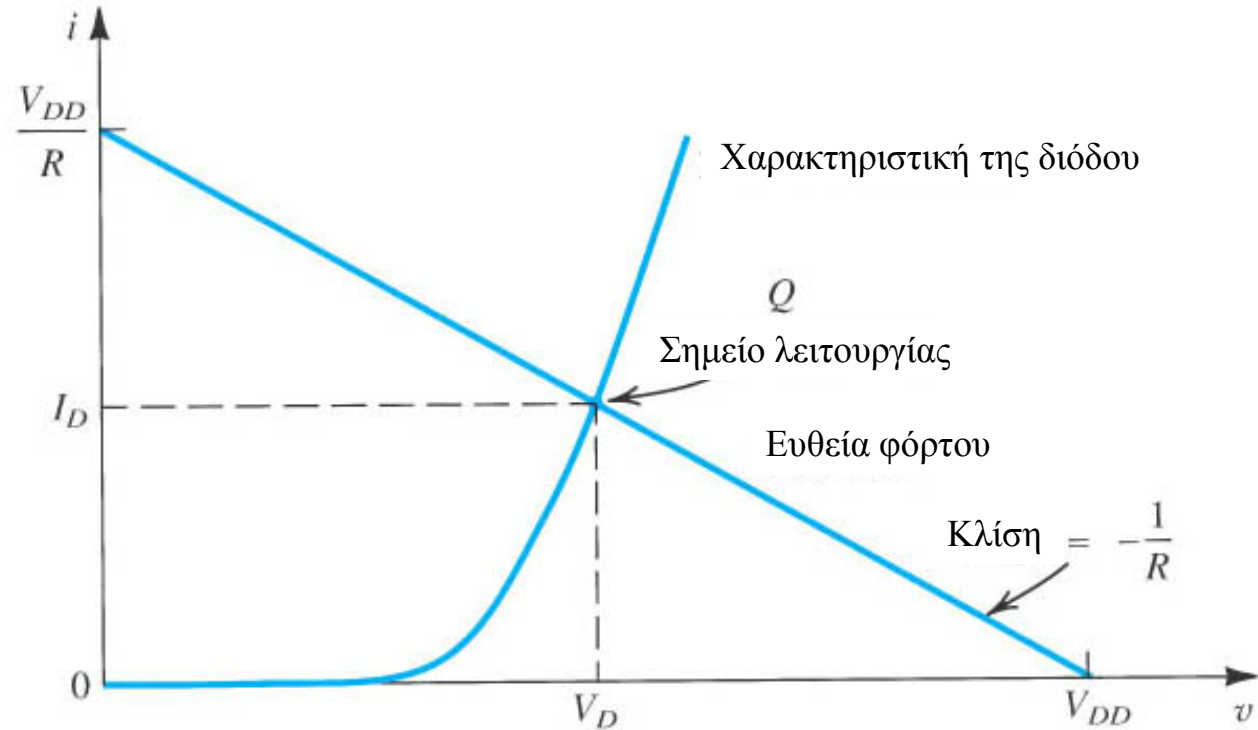
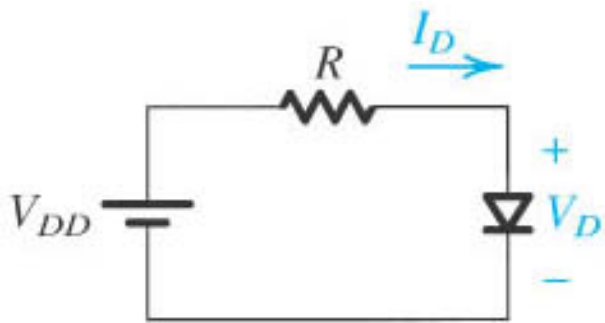
Επίδραση της θερμοκρασίας στη χαρακτηριστική ορθής πόλωσης της διόδου



Για σταθερό ρεύμα, η τάση ορθής πόλωσης της διόδου ελαττώνεται κατά 2mV για κάθε βαθμό Κελσίου αύξηση της θερμοκρασίας.

Ανάλυση Κυκλωμάτων Διόδων (I)

DC Ανάλυση

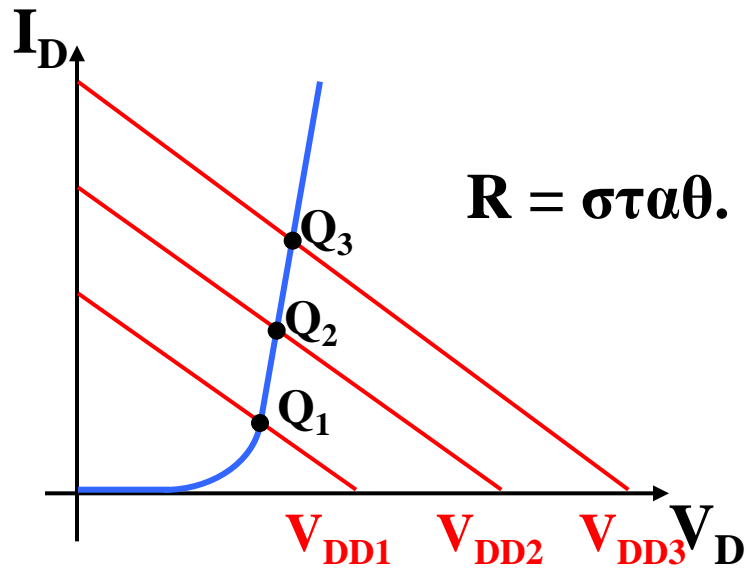
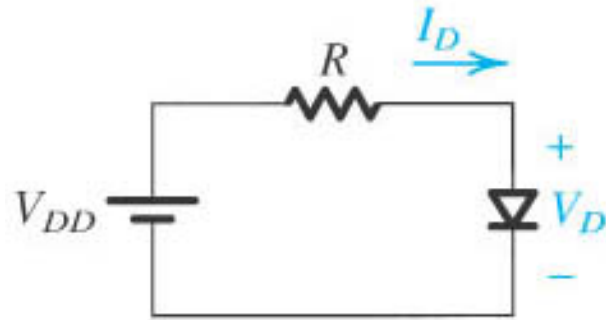


Χαρακτηριστική της Διόδου: $I_D = I_s \exp\left(\frac{V_D}{\eta V_T}\right)$

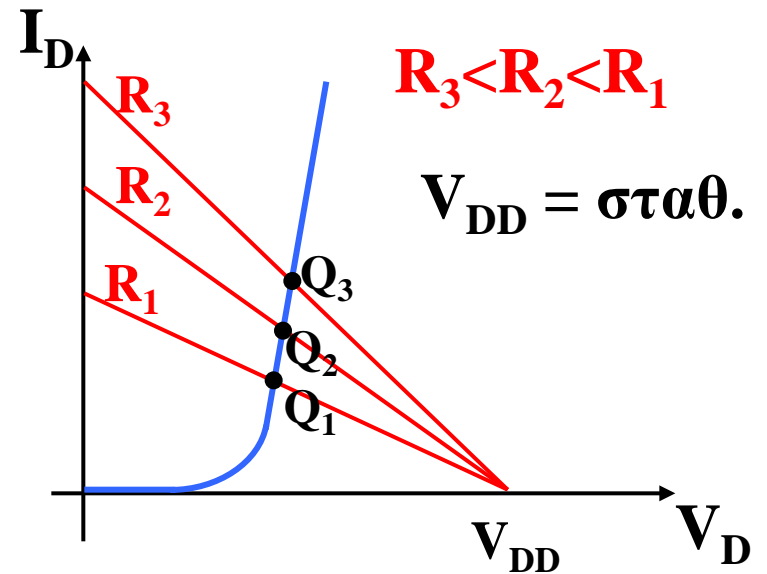
Ευθεία φόρτου: $V_{DD} = I_D R + V_D \Rightarrow I_D = \frac{V_{DD} - V_D}{R}$

Το σημείο λειτουργίας Q βρίσκεται από τη λύση του συστήματος.

Ανάλυση Κυκλωμάτων Διόδων (II)



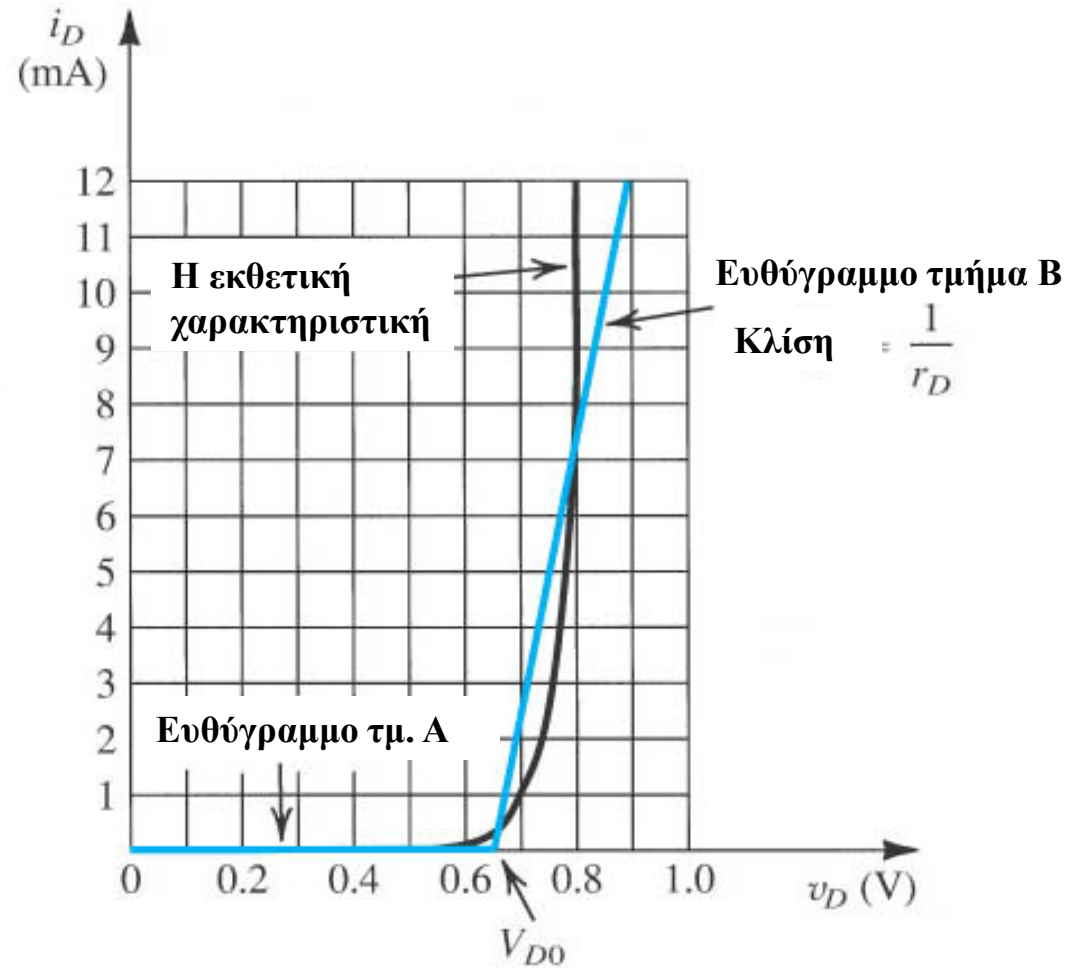
Μεταβολή Τάσης Πόλωσης



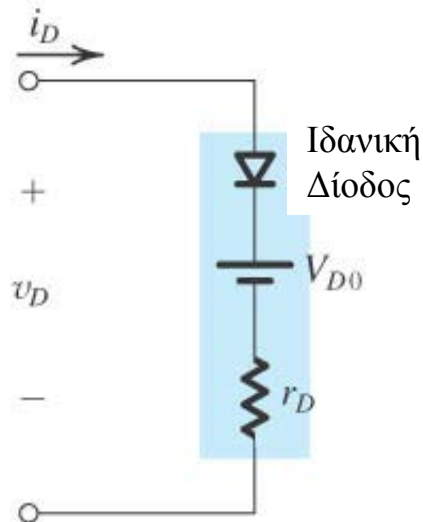
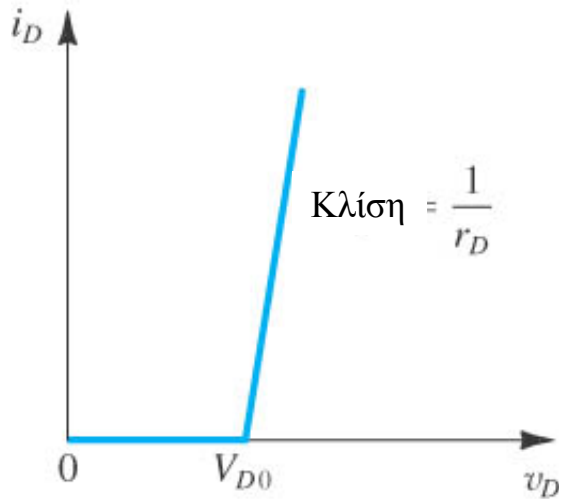
Μεταβολή Αντίστασης

Απλουστευμένα Μοντέλα Διόδων (I)

Το κατά τμήματα Γραμμικό Μοντέλο

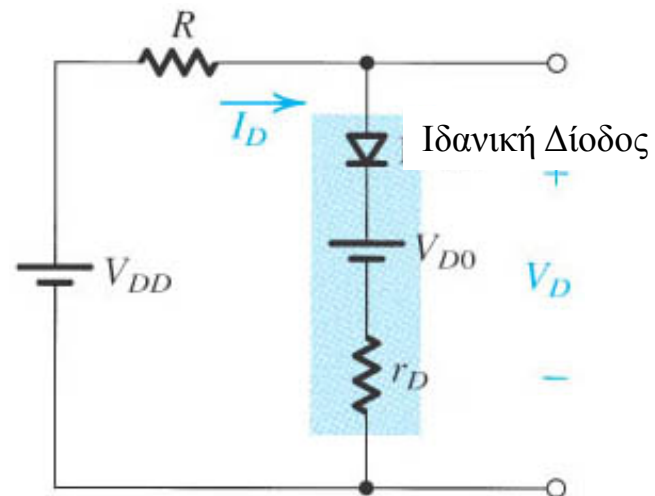
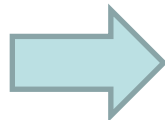
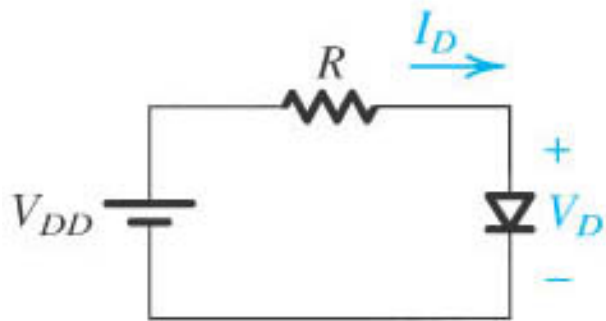


Απλουστευμένα Μοντέλα Διόδων (II)

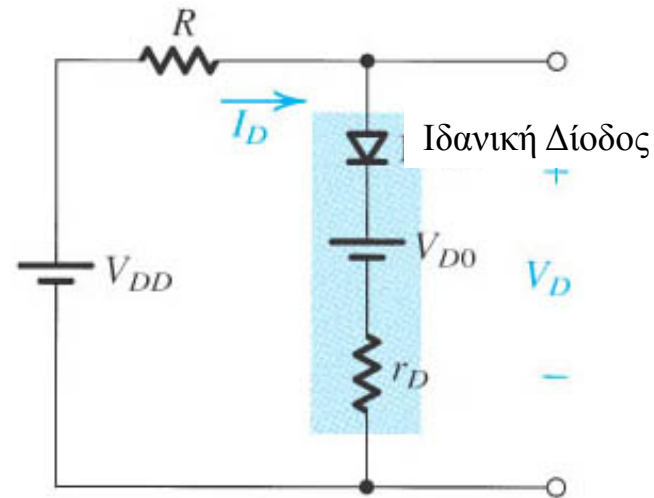
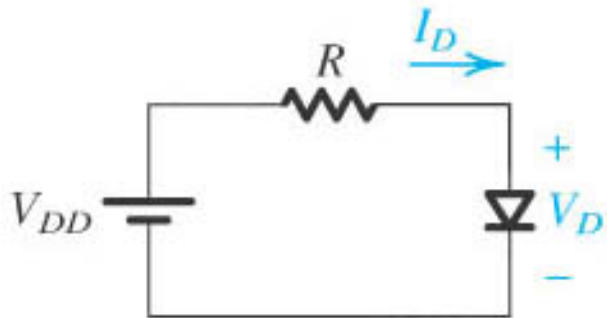


Ισοδύναμο
κύκλωμα διόδου με
αντίσταση

$$\begin{cases} I_D = 0 & \text{για } V_D \leq V_{D0} \\ I_D = \frac{V_D - V_{D0}}{r_D} & \text{για } V_D > V_{D0} \end{cases}$$



Παράδειγμα: Αν $V_{DD}=5V$, $V_{D0}=0.65V$, $R=1k\Omega$ και $r_D=20\Omega$,
να υπολογιστούν τα I_D και V_D .

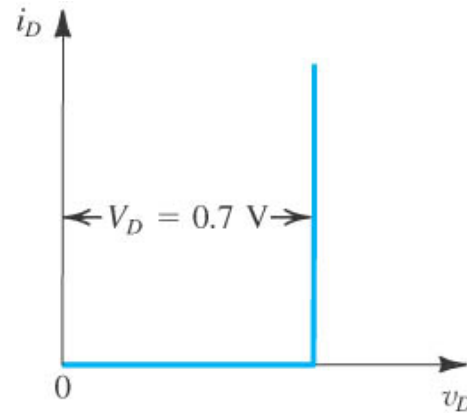
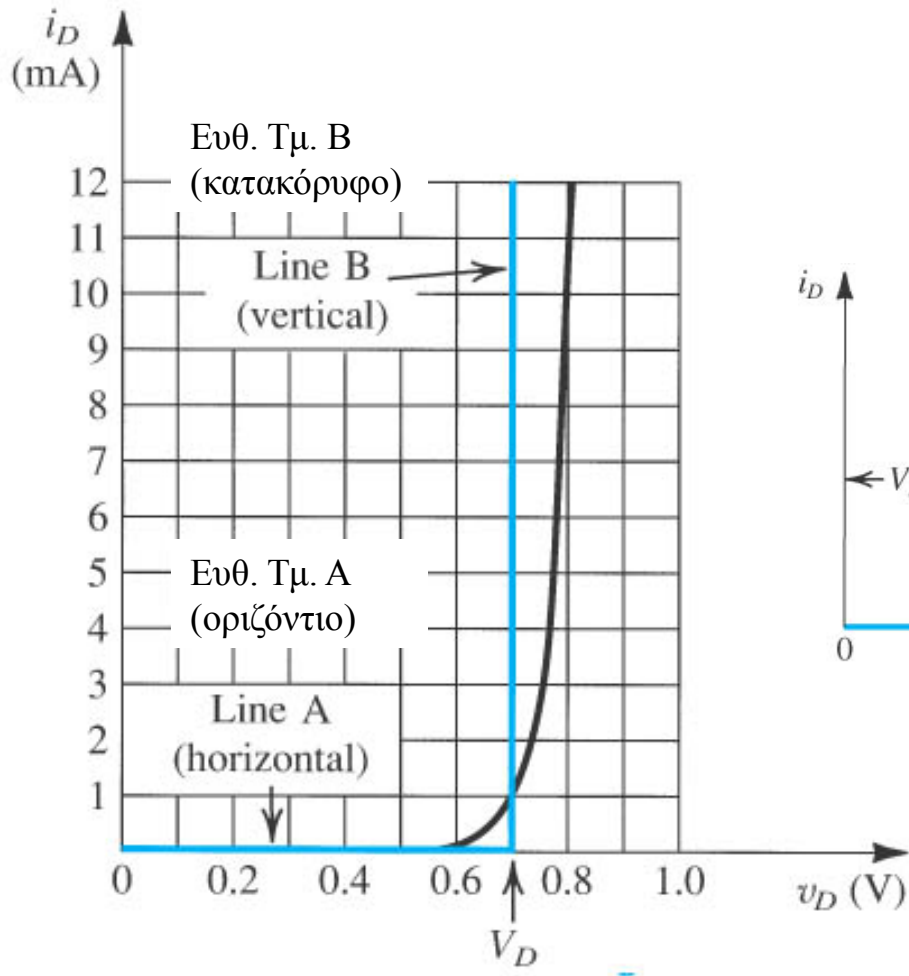


$$I_D = \frac{V_{DD} - V_{D0}}{r_D + R} = \frac{(5 - 0.65)V}{20\Omega + 1k\Omega} = 4.26mA$$

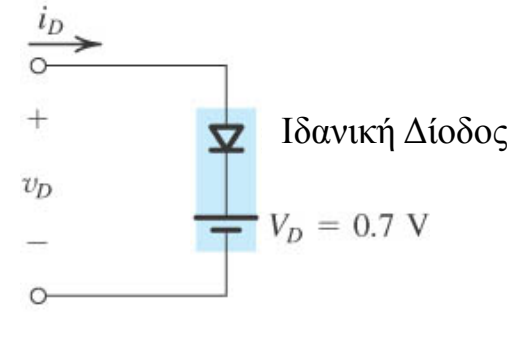
$$V_D = V_{D0} + I_D r_D = 0.65V + 4.26mA \cdot 20\Omega = 0.735V$$

Απλουστευμένα Μοντέλα Διόδων (III)

Το Μοντέλο Σταθερής Πτώσης Τάσης

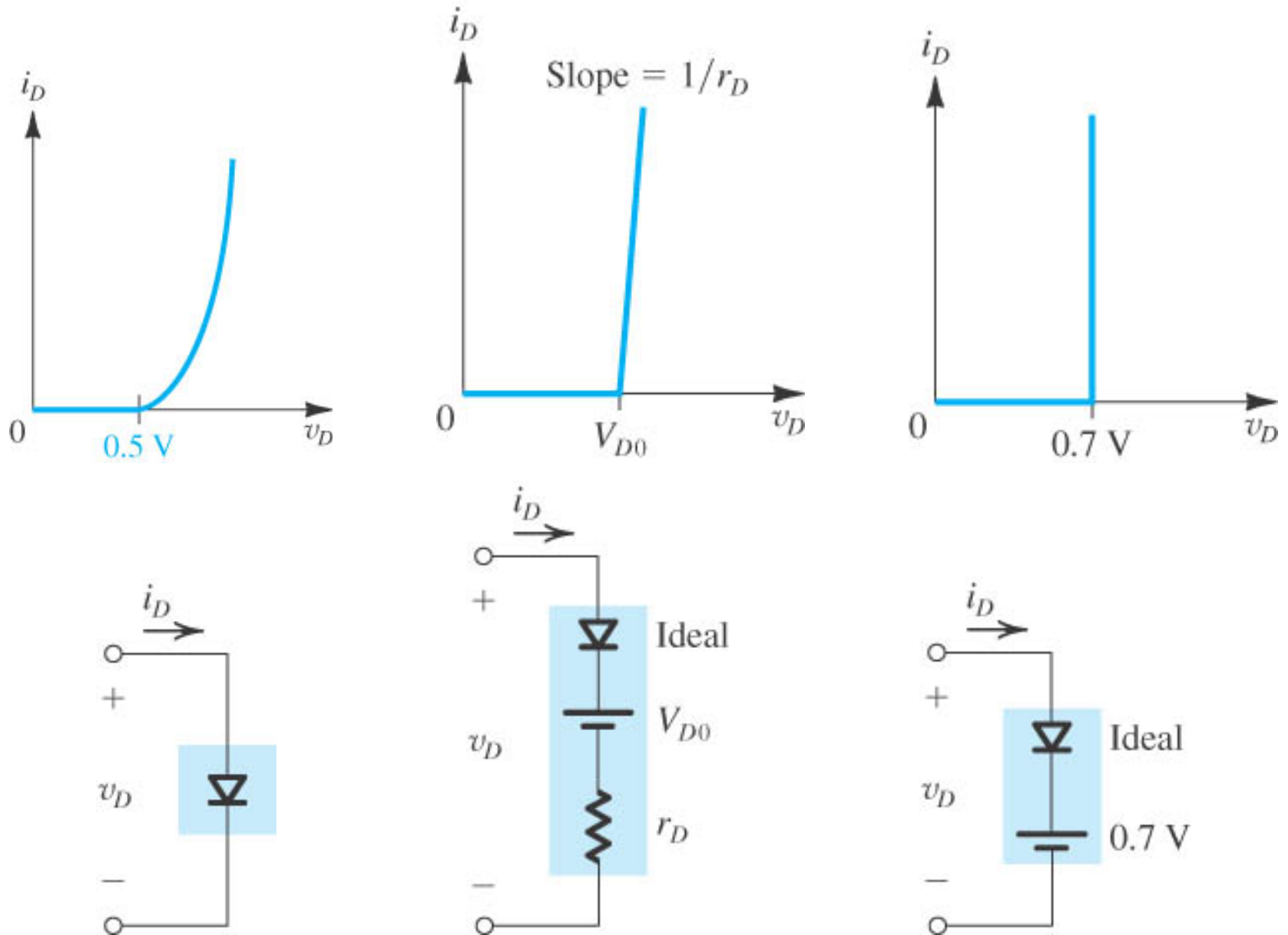


(a)

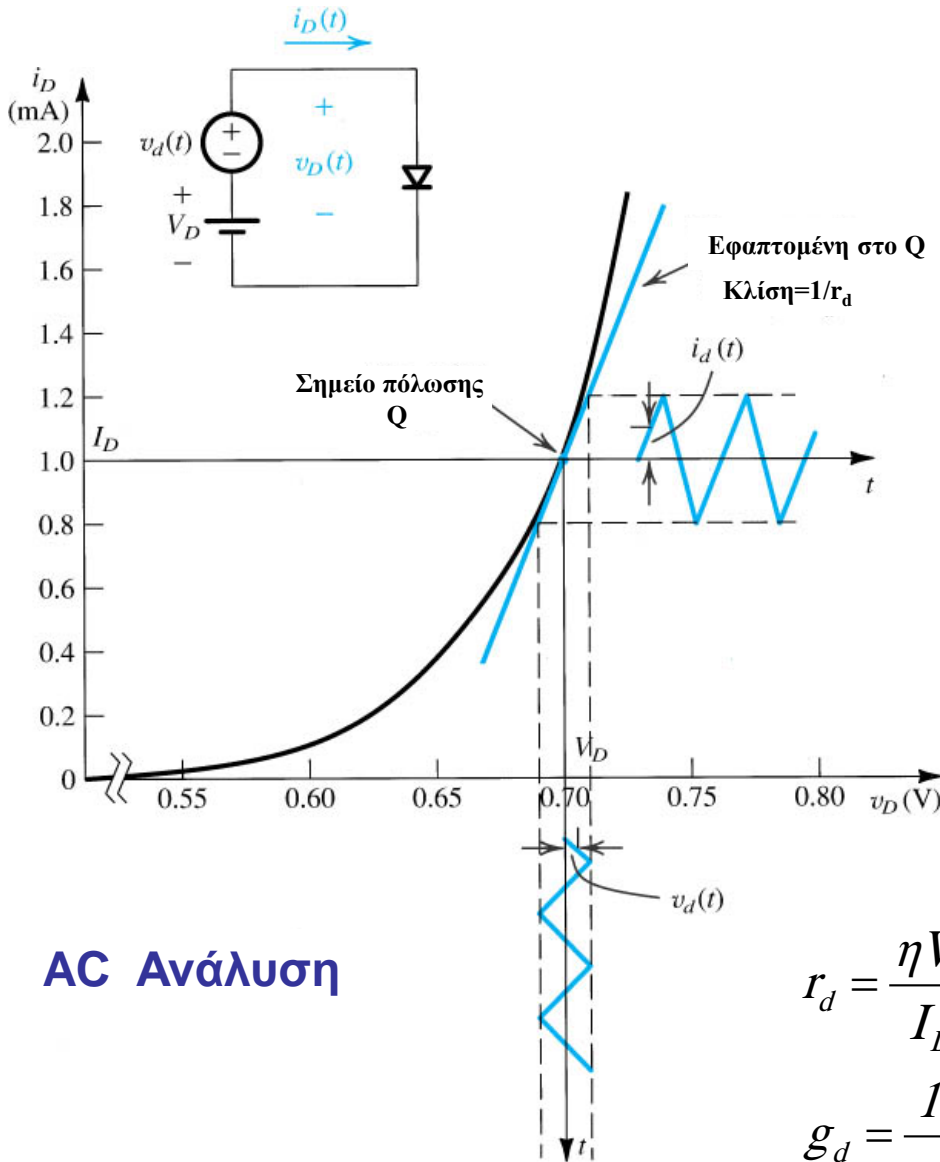


(b)

Απλουστευμένα Μοντέλα Διόδων-Σύνοψη



Μοντέλο Μικρού Σήματος της Διόδου



AC Ανάλυση

Η συνολική στιγμιαία τάση της διόδου είναι: $v_D(t) = V_D + v_d(t)$

Αντίστοιχα το συνολικό στιγμιαίο ρεύμα:

$$\begin{aligned} i_D(t) &= I_s e^{v_D/\eta V_T} = I_s e^{(V_D + v_d)/\eta V_T} = \\ &= I_s e^{V_D/\eta V_T} \cdot e^{v_d/\eta V_T} = I_D e^{v_d/\eta V_T} \end{aligned}$$

$$\text{Αν } \frac{v_d}{\eta V_T} \ll 1 \Rightarrow i_D(t) \approx I_D \left(1 + \frac{v_d}{\eta V_T} \right)$$

$$\Rightarrow i_D(t) = I_D + \frac{I_D}{\eta V_T} v_d = I_D + i_d$$

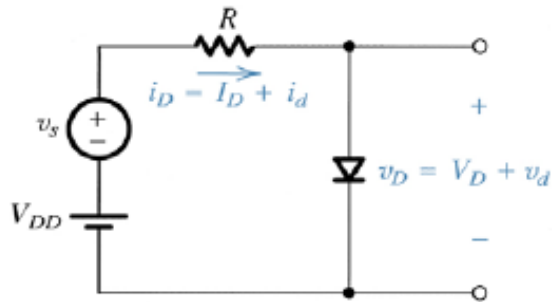
$$\Rightarrow i_d = \frac{I_D}{\eta V_T} v_d = \frac{1}{r_d} v_d$$

$$r_d = \frac{\eta V_T}{I_D}$$

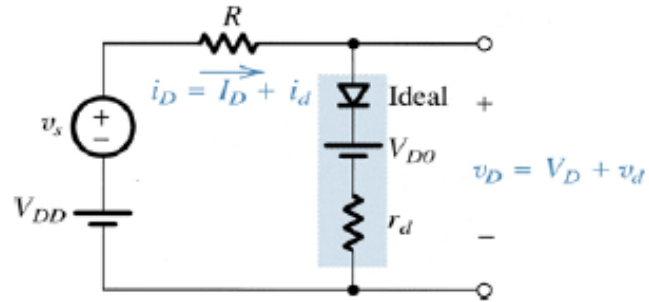
$$g_d = \frac{1}{r_d} = \left. \frac{\partial i_D}{\partial v_D} \right|_{i_D = I_D}$$

Αντίσταση μικρού σήματος ή δυναμική αντίσταση της διόδου.

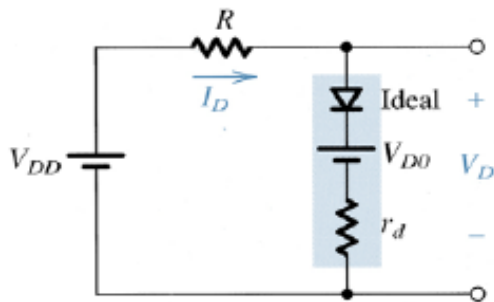
Λειτουργία Μικρού Σήματος της Διόδου



Πραγματικό κύκλωμα

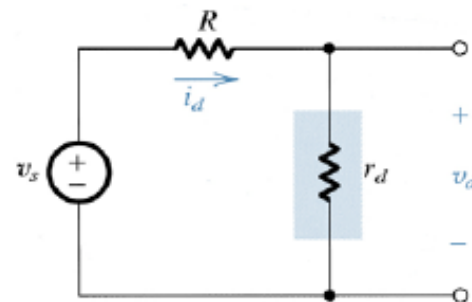


Ισοδύναμο κύκλωμα



Κύκλωμα για DC ανάλυση

$$V_{DD} = I_D R + V_D$$



Κύκλωμα για AC ανάλυση

$$v_s = i_d (R + r_d)$$

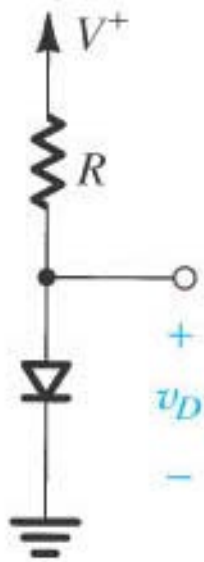
$$v_d = v_s \frac{r_d}{R + r_d}$$

Χρήση της Διόδου για σταθεροποίηση τάσης

Σε ένα σταθεροποιητή τάσης, η τάση εξόδου πρέπει να διατηρείται σταθερή:

α) παρά τις μεταβολές του ρεύματος φόρτου

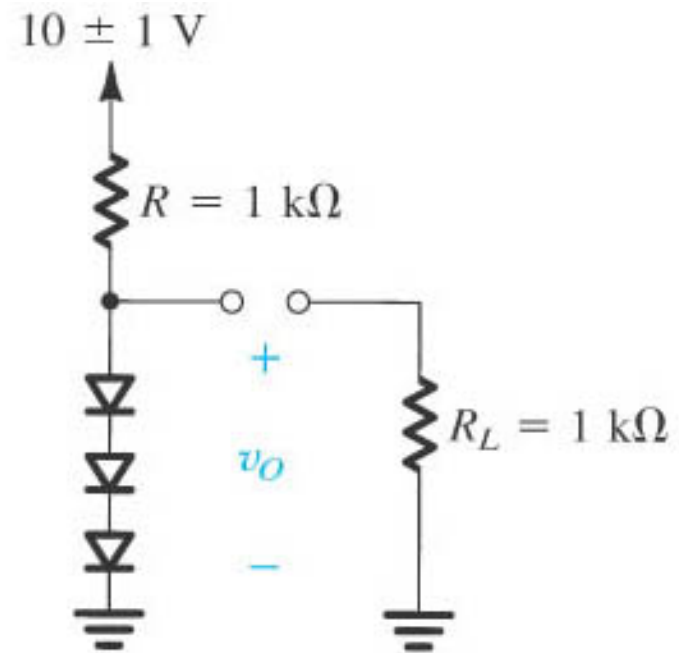
β) παρά τις μεταβολές της τροφοδοσίας του σταθεροποιητή.



$$I_D = \frac{V_{DD} - V_D}{R}$$

$$r_d = \frac{\eta V_T}{I_D}$$

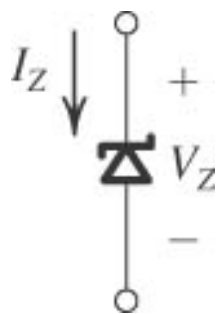
$$v_{dpp} = 2\Delta V_{DD} \frac{r_d}{R + r_d}$$



π.χ. αν $V_{DD} = (10 \pm 1)V$, $V_D \approx 0.7V$ & $R = 20k\Omega \Rightarrow$

$$v_{dpp} = 10.7mV$$

Λειτουργία στην περιοχή κατάρρευσης- Δίοδοι Zener

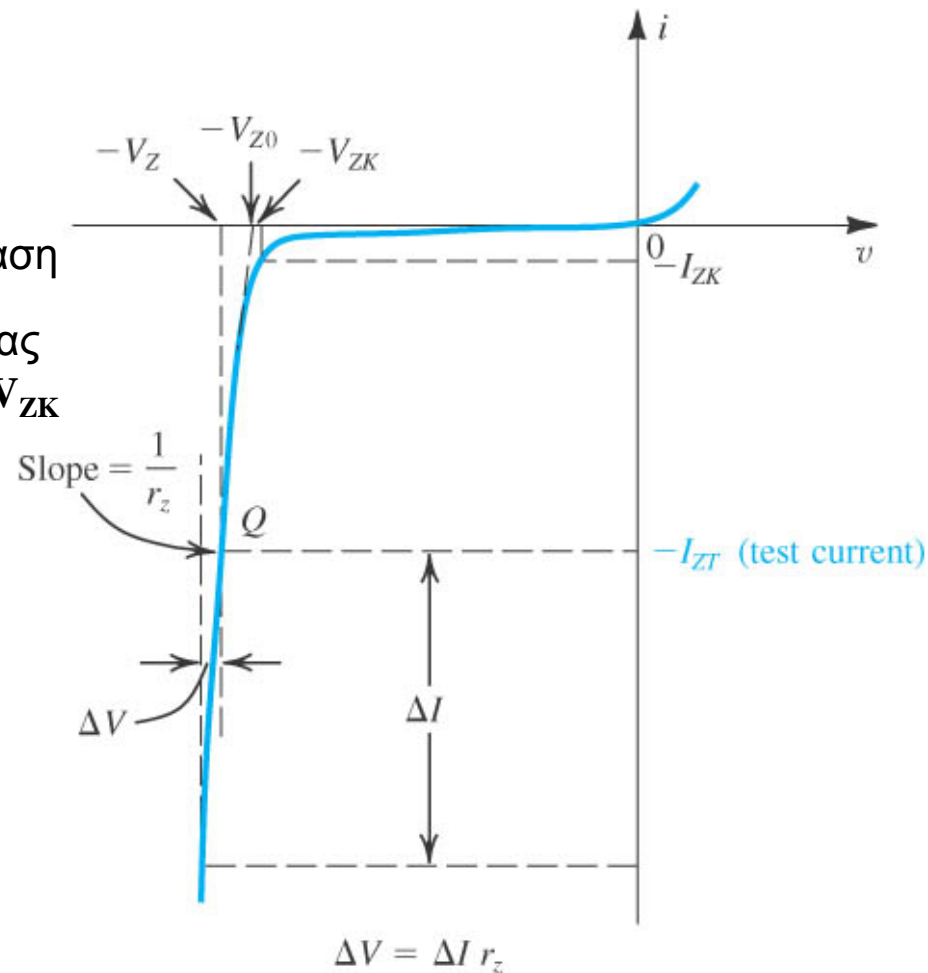


V_{ZK}, I_{ZK} : «γόνατο» της χαρακτηριστικής

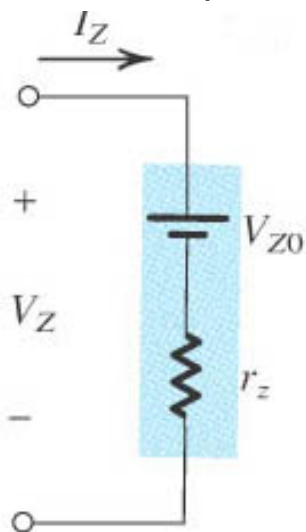
I_{ZT} : ρεύμα δοκιμής

$r_z = \Delta V / \Delta I$: δυναμική αντίσταση

V_{Z0} : σημείο τομής της ευθείας με τον άξονα των τάσεων $\sim V_{ZK}$



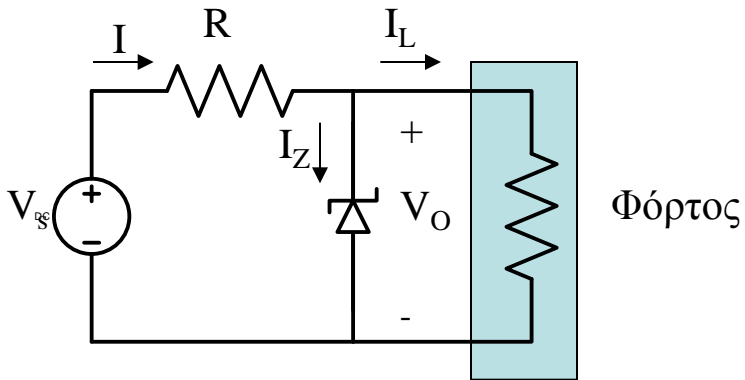
Ισοδύναμο Κύκλωμα της Zener



$$V_Z = V_{Z0} + I_Z r_Z$$

για $I_Z > I_{ZK}$ και $V_Z > V_{Z0}$

Παράλληλος σταθεροποιητής τάσης με Zener



$$\text{Ρύθμιση γραμμής} = \Delta V_O / \Delta V_s$$

$$\text{Ρύθμιση φορτίου} = \Delta V_O / \Delta I_L$$

$$V_O = V_{Z0} \frac{R}{R + r_Z} + V_s \frac{r_Z}{R + r_Z} - I_L (r_Z // R)$$

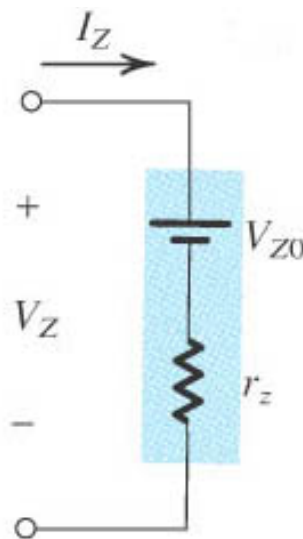
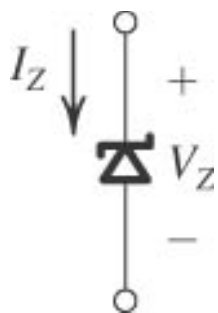
$$\text{Ρύθμιση γραμμής} = \frac{r_Z}{R + r_Z}$$

$$\text{Ρύθμιση φορτίου} = -r_Z // R$$

Επιλογή της αντίστασης R ώστε το ρεύμα της Zener να μη γίνεται πολύ χαμηλό:

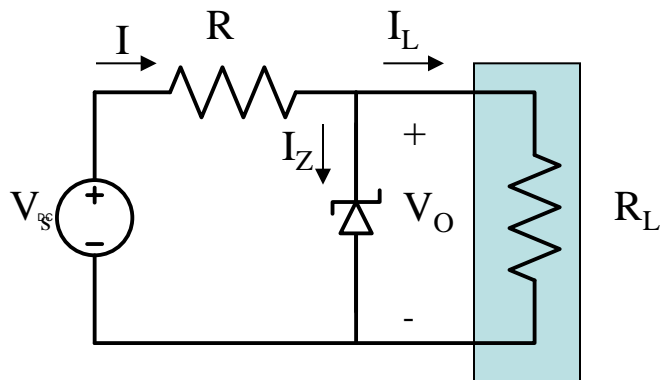
$$R = \frac{V_{S \min} - V_{Z0} - r_Z I_{Z \min}}{I_{Z \min} + I_{L \max}}$$

Άσκηση 1 Για μία δίοδο Zener δίνεται ότι $V_Z=10V$ για $I_Z=10mA$ και $r_z=50\Omega$. Να υπολογιστεί η V_Z α) αν το ρεύμα διπλασιαστεί και β) αν το ρεύμα υποδιπλασιαστεί. Ποια η τιμή V_{Z0} για το μοντέλο της διόδου.

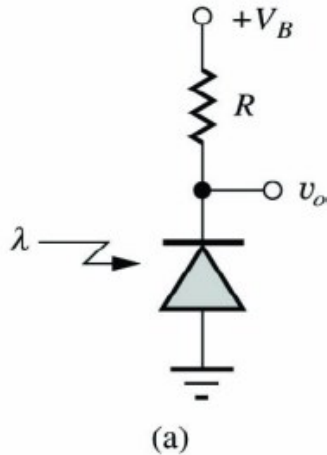


Το μοντέλο της Zener

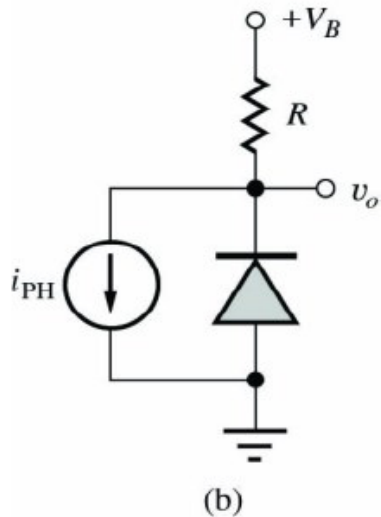
Άσκηση 2 Δίνεται το κύκλωμα σταθεροποίησης τάσης του σχήματος. Η τάση τροφοδοσίας $V_s=8V$ εμφανίζει κυμάτωση $1V$ από κορυφή σε κορυφή. Η DC τάση στο φόρτο είναι $V_o=5V$. Να ευρεθεί το ρεύμα που διαρρέει τη δίοδο Zener στο σημείο ηρεμίας. Ποια είναι η μέγιστη επιτρεπτή δυναμική αντίσταση r_z της διόδου Zener αν η κυμάτωση της τάσης εξόδου δεν πρέπει να ξεπερνάει τα $10mV$ από κορυφή σε κορυφή. Δίνονται: $R=20\Omega$ και $R_L=100\Omega$.



Φωτοδίοδοι



•Αν η περιοχή απογύμνωσης της διόδου επαφής ρη φωτιστεί από φως αρκετά υψηλής συχνότητας, τα φωτόνια μπορούν να δώσουν αρκετή ενέργεια ώστε να επιτρέψουν στα ηλεκτρόνια να περάσουν το ενεργειακό χάσμα του ημιαγωγού και να δημιουργήσουν ζεύγη οπών-ηλεκτρονίων.

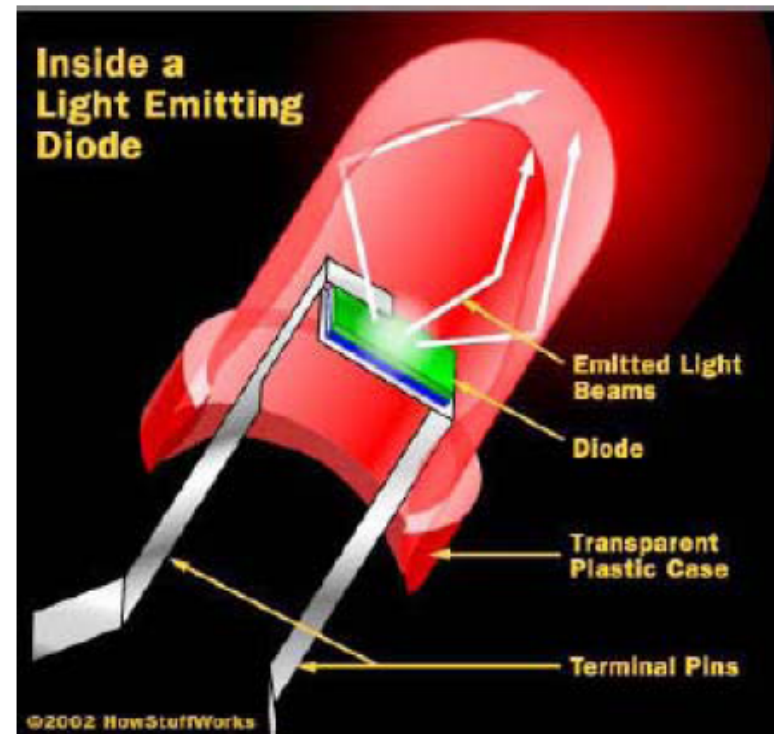


•Οι φωτοφωρατές μετατρέπουν το φως σε ηλεκτρικό σήμα. Συνήθως πολώνονται ανάστροφα ώστε να αυξηθεί το εύρος της περιοχής απογύμνωσης.

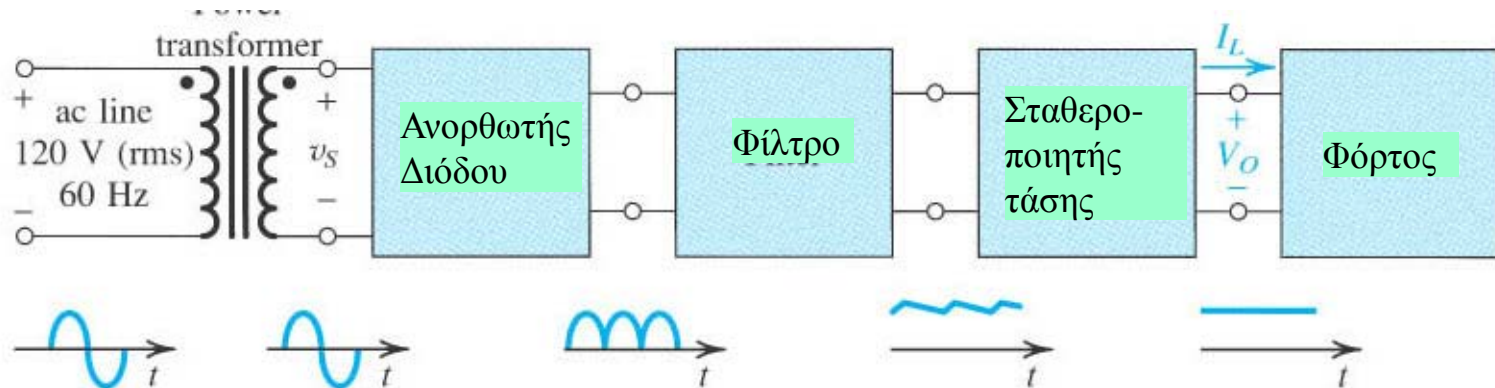
•Τα ηλιακά κύτταρα μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική.

Δίοδοι Φωτοεκπομπής (LED)

- Όταν ηλεκτρόνια και οπές επανασυνδέονται, απελευθερώνουν ενέργεια.
- Αυτή η ενέργεια συχνά απελευθερώνεται σαν θερμότητα μέσα στον κρύσταλλο, αλλά σε μερικά υλικά μετατρέπεται σε φως.
- Κατασκευάζονται LED σε μεγάλη περιοχή μηκών κύματος.
- Το πλαστικό περίβλημα βοηθάει στην κατευθυντικότητα της δέσμης.

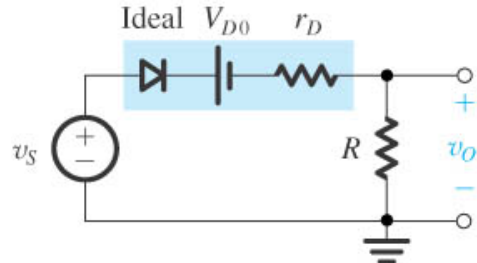
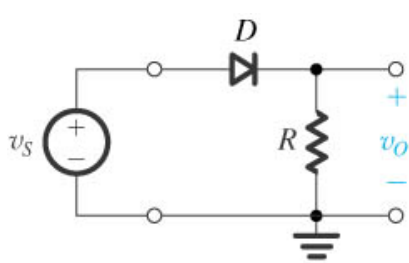


Κυκλώματα Ανορθωτών

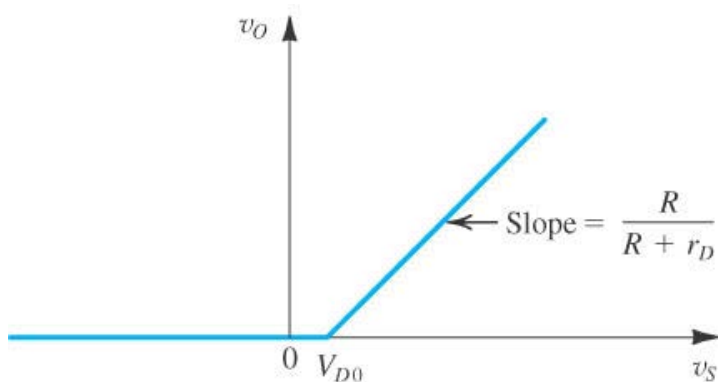


Σχηματικό διάγραμμα τροφοδοτικού DC

Ανορθωτής Ημικύματος ή Ημιανορθωτής

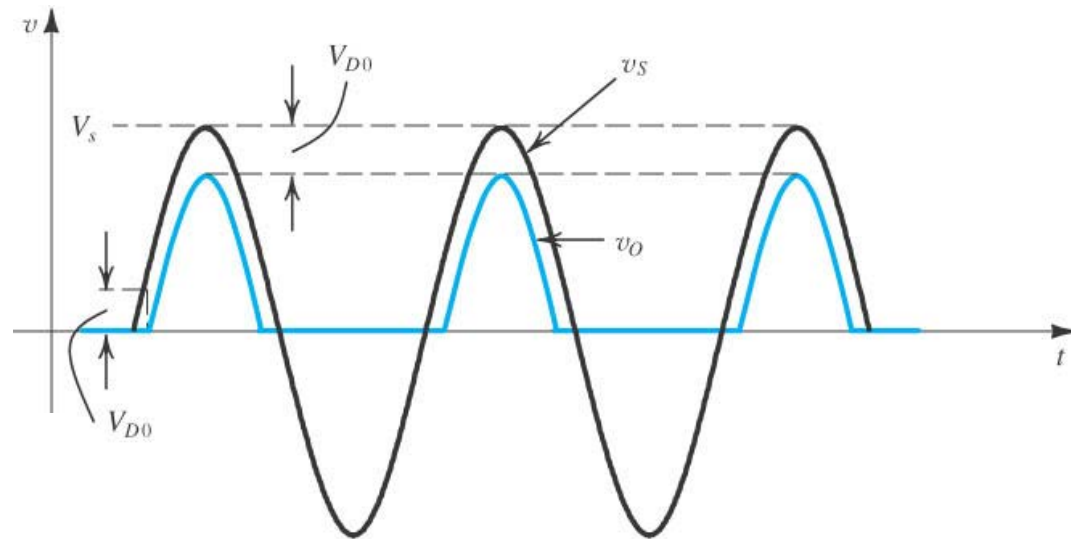


$$\begin{cases} V_O = 0, & V_S < V_{D0} \\ V_O = V_S \frac{R}{R+r_D} - V_{D0} \frac{R}{R+r_D}, & V_S \geq V_{D0} \end{cases}$$



Χαρακτηριστική μεταφοράς του ανορθωτή ημικύματος

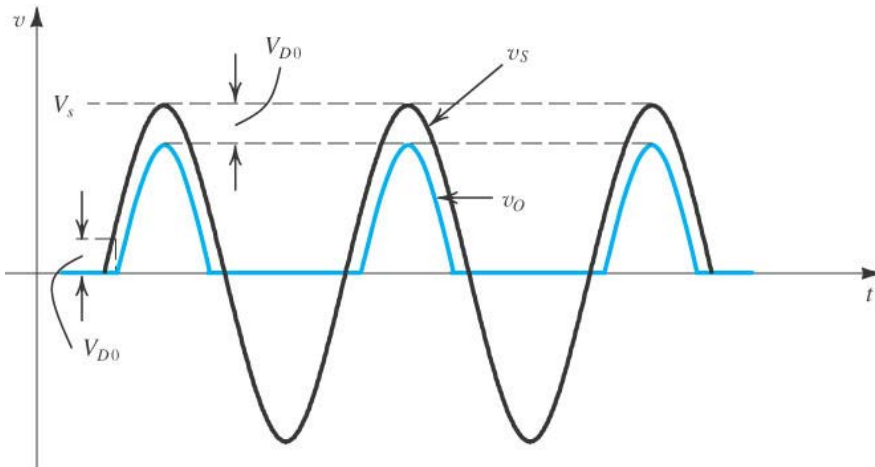
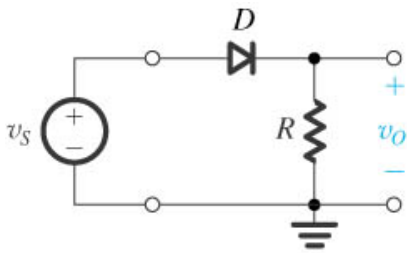
για $r_D \ll R \Rightarrow v_o \approx v_s - V_{D0}$ με $V_{D0} \approx 0.7V$



Σημαντικά χαρακτηριστικά:

- Μέγιστο ρεύμα ορθής πόλωσης
- Μέγιστη τάση ανάστροφης πόλωσης $PIV = V_s$

Άσκηση: Για τον ημιανορθωτή, θεωρώντας ότι $r_D=0$, να αποδειχθούν τα ακόλουθα: α) Η δίοδος αρχίζει να άγει σε γωνία $\Theta = \sin^{-1}(V_{D0}/V_s)$ και άγει συνολικά μέσα σε γωνία $(\pi - 2\Theta)$. β) Η μέση τιμή της v_O είναι $V_O = (1/\pi)V_s - V_{D0}/2$. γ) Η τιμή κορυφής του ρεύματος είναι $(V_s - V_{D0})/R$.



$$a) \quad V_s \sin \Theta = V_{D0} \Rightarrow \sin \Theta = \frac{V_{D0}}{V_s} \Rightarrow \Theta = \sin^{-1} \left(\frac{V_{D0}}{V_s} \right)$$

Η δίοδος παύει να άγει για $\pi - \Theta \Rightarrow$ Ολική αγωγή γωνία $= (\pi - \Theta) - \Theta = \pi - 2\Theta$

$$\beta) \quad v_O = v_s - V_{D0} = V_s \sin \theta - V_{D0}$$

$$V_O = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} (V_s \sin \theta - V_{D0}) d\theta =$$

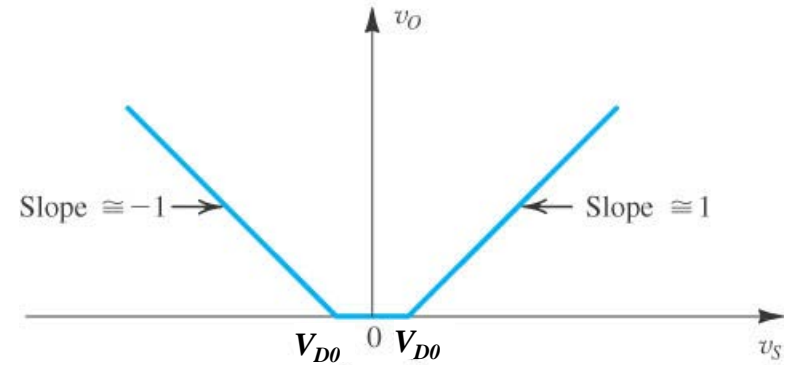
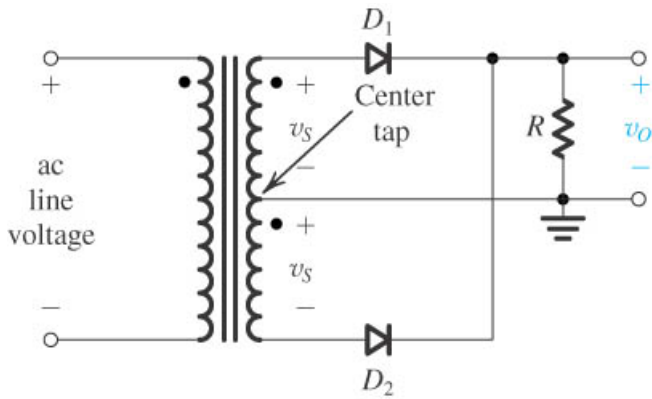
$$= \frac{1}{2\pi} \int_{\Theta}^{\pi - \Theta} (V_s \sin \theta - V_{D0}) d\theta =$$

$$= \frac{V_s}{2\pi} \int_{\Theta}^{\pi - \Theta} \sin \theta d\theta - \frac{V_{D0}}{2\pi} \int_{\Theta}^{\pi - \Theta} d\theta =$$

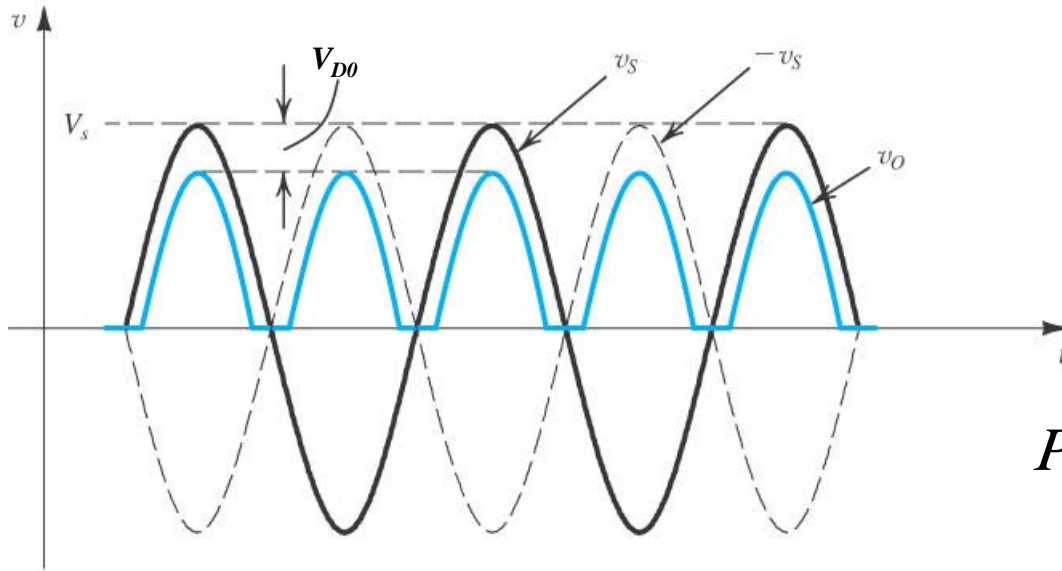
$$= \frac{V_s}{2\pi} 2 \cos \Theta - \frac{V_{D0}}{2\pi} (\pi - 2\Theta) \approx \frac{V_s}{\pi} - \frac{V_{D0}}{2}$$

$$\gamma) \quad v_s = V_{D0} + i_D R \Rightarrow i_D = \frac{v_s - V_{D0}}{R} \Rightarrow I_d = \frac{V_s - V_{D0}}{R}$$

Ανορθωτής Πλήρους Κύματος ή Πλήρης Ανορθωτής

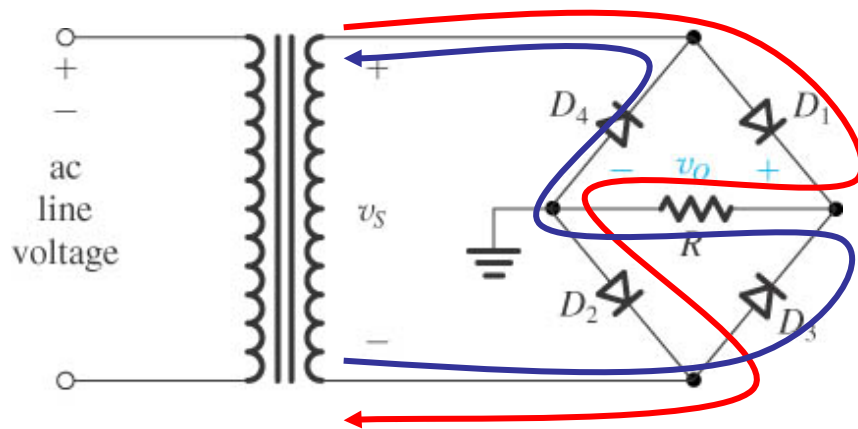


Χαρακτηριστική μεταφοράς του ανορθωτή πλήρους κύματος



$$PIV = (V_s - V_{D0}) + V_s = 2V_s - V_{D0}$$

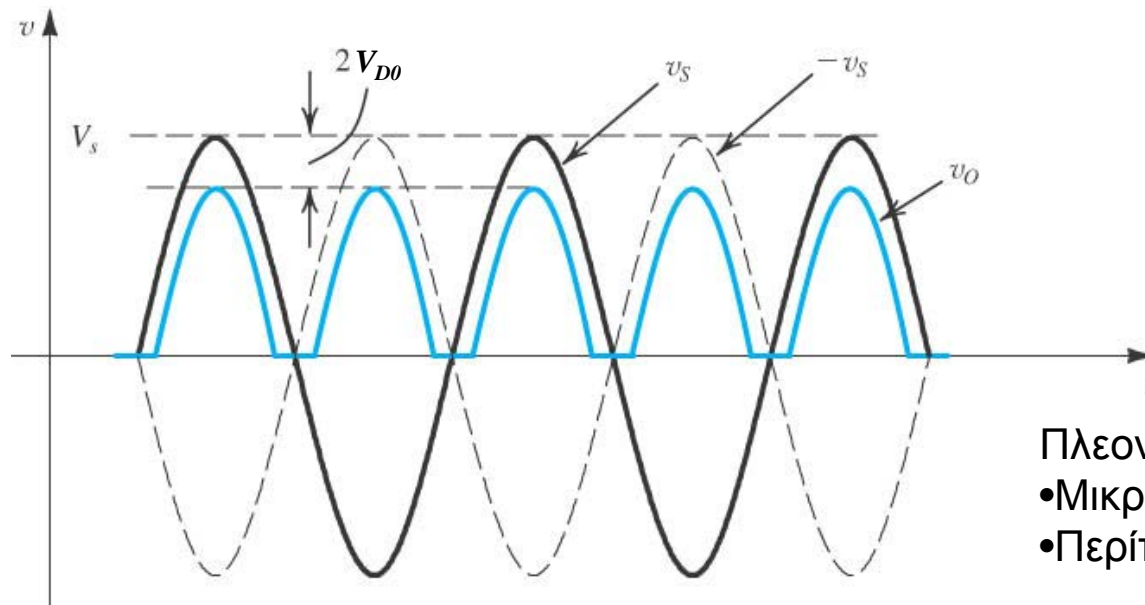
Ανορθωτής Γέφυρας



Δεν χρειάζεται μετασχηματιστής με μεσαία λήψη.

$$v_{D3}(\text{ανάστροφη}) = v_o + v_{D2}(\text{ορθή}) \Rightarrow$$

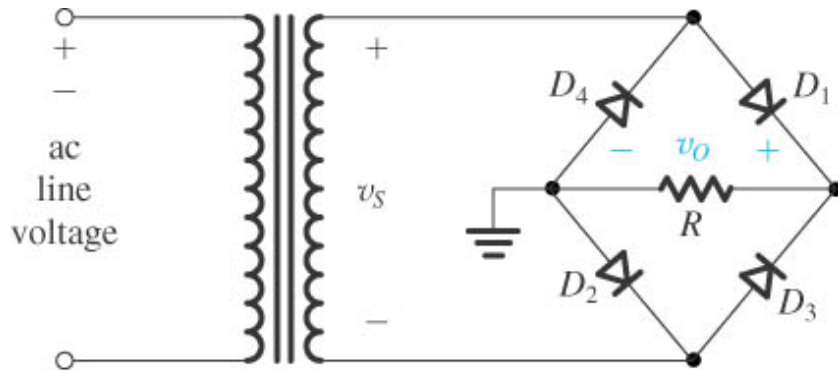
$$PIV = V_s - 2V_{D0} + V_{D0} = V_s - V_{D0}$$



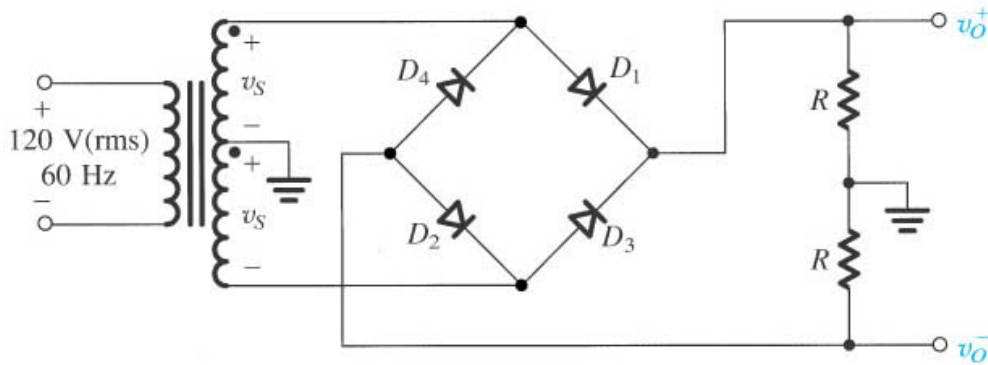
Πλεονεκτήματα:

- Μικρό PIV
- Περίπου μισές σπείρες δευτερεύοντος

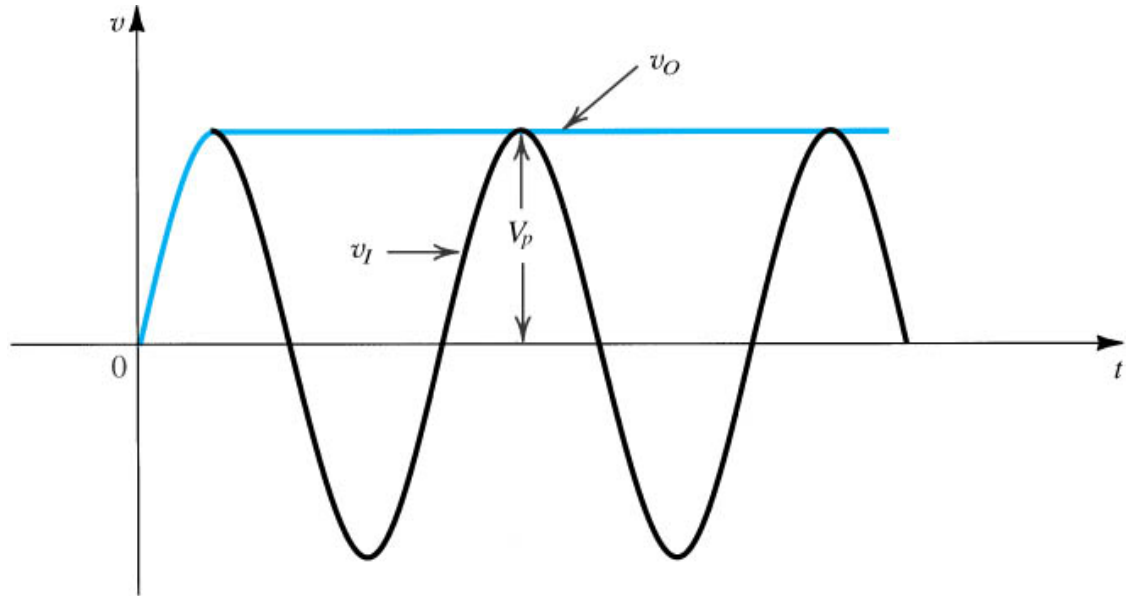
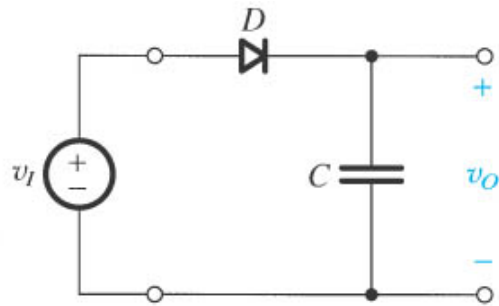
Άσκηση: Για τον ανορθωτή γέφυρας του σχήματος, θεωρώντας για τις διόδους το μοντέλο σταθερής τάσης, να υπολογιστούν: α) το ποσοστό της περιόδου κατά το οποίο η τάση εξόδου v_O παραμένει μηδενική και β) η μέση τιμή της v_O , όταν στην είσοδο εφαρμόζεται ημιτονικό σήμα τάσης.



Άσκηση: Το κύκλωμα του σχήματος υλοποιεί έναν ανορθωτή συμπληρωματικής εξόδου. Σχεδιάστε τις κυματομορφές εξόδου v_o^+ και v_o^- . Θεωρήστε για τις διόδους το μοντέλο σταθερής τάσης με $V_D=0,7V$. Αν η μέση τιμή της τάσης για κάθε έξοδο πρέπει να είναι 15V, να υπολογιστεί το πλάτος του ημιτόνου στα δευτερεύοντα τυλίγματα του μετασχηματιστή. Ποιο είναι το PIV για κάθε δίοδο;



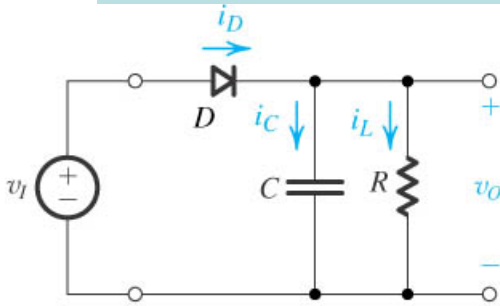
Ανορθωτής με Φίλτρο Πυκνωτή



Χρησιμοποιείται πυκνωτής για μείωση της κυμάτωσης.

Ιδανική δίοδος και ιδανικός πυκνωτής.

Ανορθωτής με Φίλτρο RC



Ιδανική δίοδος και $RC \gg T$.

$$i_L = \frac{v_O}{R}$$

$$i_D = i_C + i_L = C \frac{dv_I}{dt} + i_L$$

Η δίοδος άγει κατά Δt , όπου:

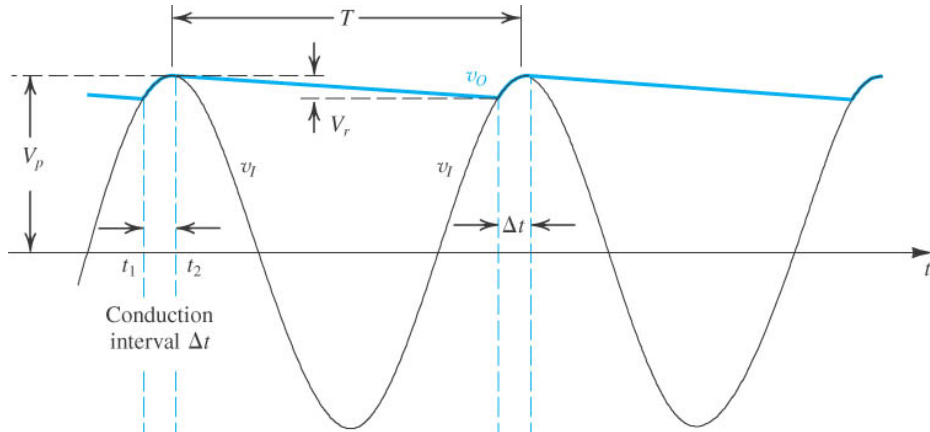
$$t_1 \rightarrow v_I = v_O$$

$$t_2 \rightarrow v_I = V_p \Rightarrow i_D = 0$$

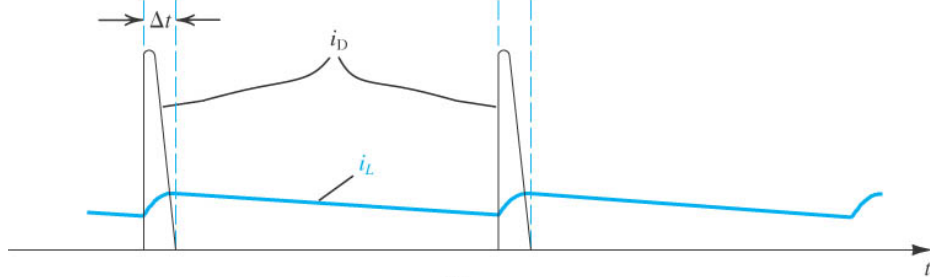
$$\approx T \rightarrow v_O = V_p - V_r$$

$$V_r \ll V_p \Rightarrow v_O \approx \text{σταθ.} \Rightarrow \text{DC} \quad I_L \approx \frac{V_p}{R}$$

$$\text{ή ακριβέστερα } V_O = V_p - \frac{1}{2}V_r$$



(b)



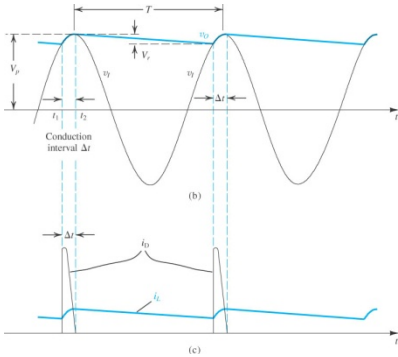
(c)

Ανορθωτής με Φίλτρο RC (συνέχεια)

Υπολογισμός του ρεύματος της διόδου

Κατά την αποκοπή:

$$v_o = V_p e^{-t/RC}$$



στο τέλος της εκφόρτισης:

$$V_p - V_r \approx V_p e^{-T/RC}$$

$$\text{για } RC \gg T \Rightarrow e^{-T/RC} \approx 1 - \frac{T}{RC} \Rightarrow V_r \approx V_p \frac{T}{RC} = \frac{V_p}{fRC}$$

Ο αγώγιμος χρόνος Δt υπολογίζεται από την:

$$V_p \cos(\omega \Delta t) = V_p - V_r$$

για μικρά $(\omega \Delta t)$

$$\cos(\omega \Delta t) \approx 1 - \frac{1}{2}(\omega \Delta t)^2$$

$$\omega \Delta t \approx \sqrt{2V_r / V_p}$$

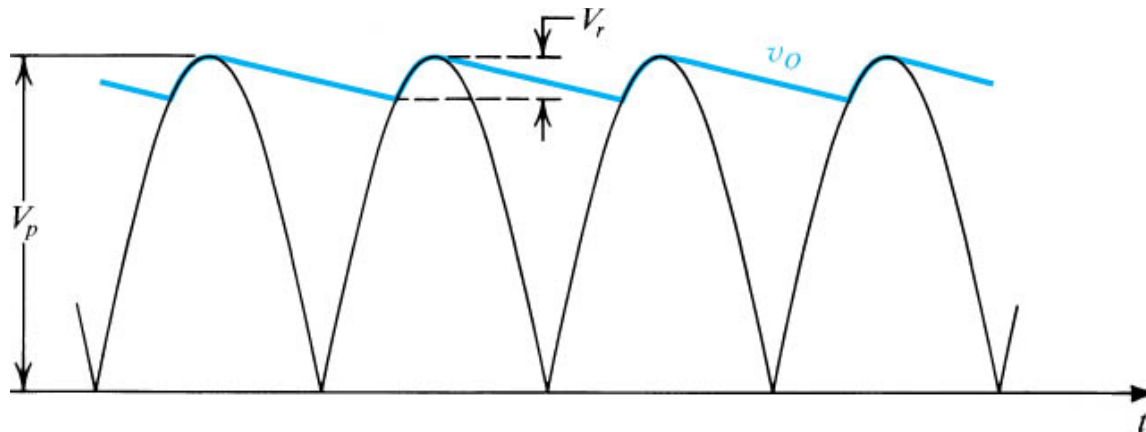
$$Q_{sup} = i_{Cav} \Delta t$$

$$Q_{lost} = CV_r$$

$$i_{Dav} = I_L (1 + \pi \sqrt{2V_p / V_r})$$

$$i_{Dmax} = I_L (1 + 2\pi \sqrt{2V_p / V_r}) \approx 2i_{Dav}$$

Ανορθωτής κορυφής πλήρους κύματος



$$V_r = \frac{V_p}{2fRC}$$

$$i_{Dav} = I_L(1 + \pi\sqrt{V_p/2V_r})$$

$$i_{Dmax} = I_L(1 + 2\pi\sqrt{V_p/2V_r})$$

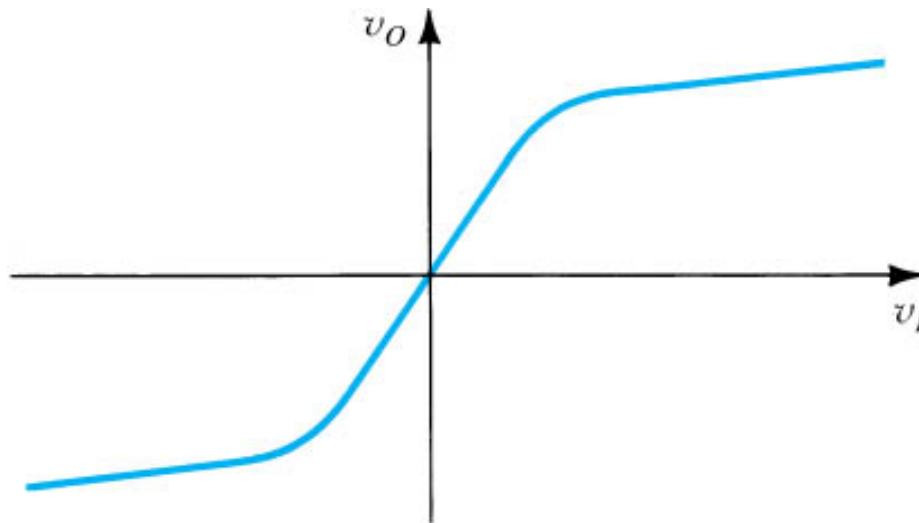
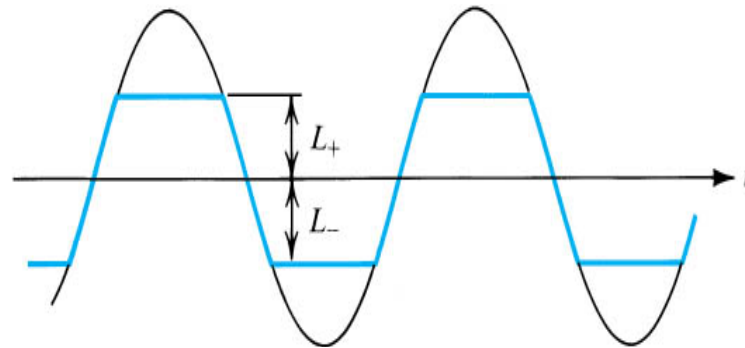
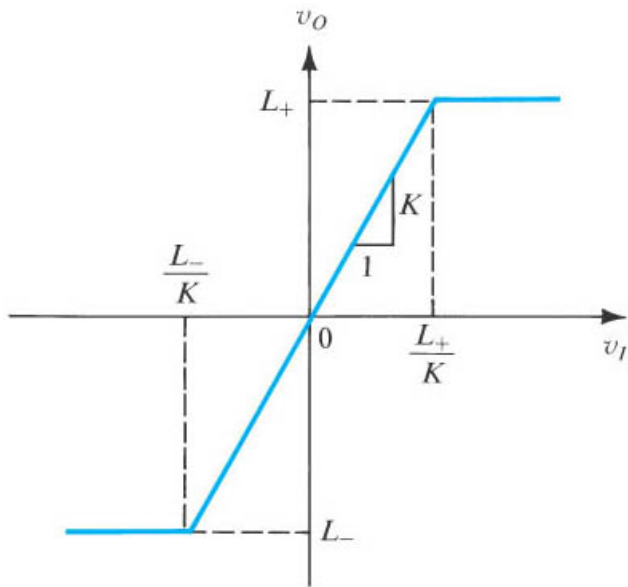
Σε σύγκριση με τον ανορθωτή κορυφής ημικύματος:

- Απαιτείται πυκνωτής με τη μισή χωρητικότητα.
- Το ρεύμα σε κάθε δίοδο είναι περίπου το μισό.

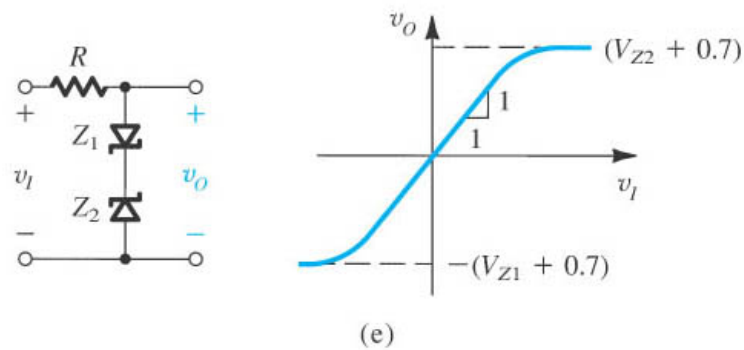
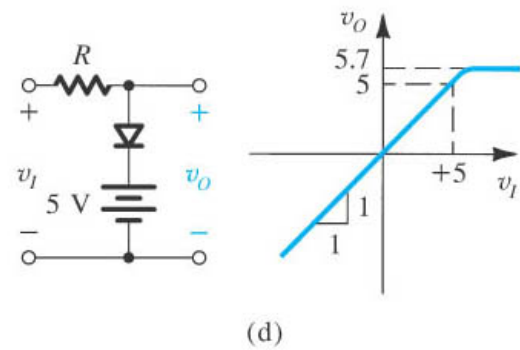
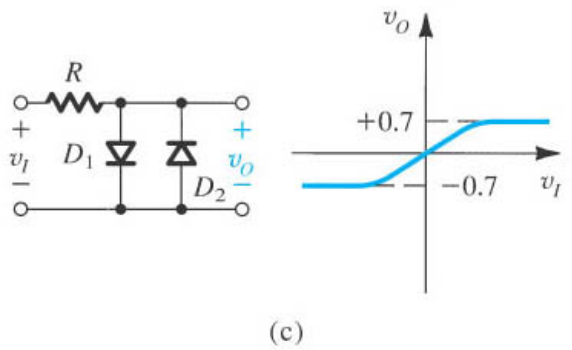
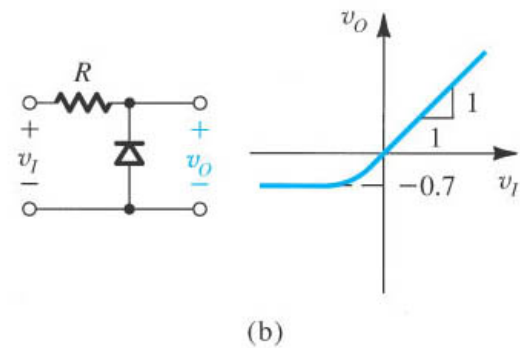
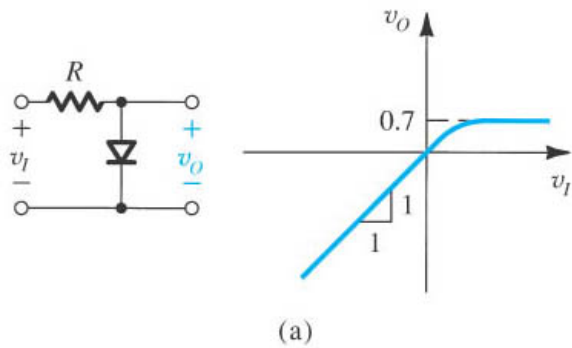
Εφαρμογές:

- Φωρατής κορυφής (Peak Detector)
- Αποδιαμορφωτής AM

Περιορισμός ή Ψαλιδισμός

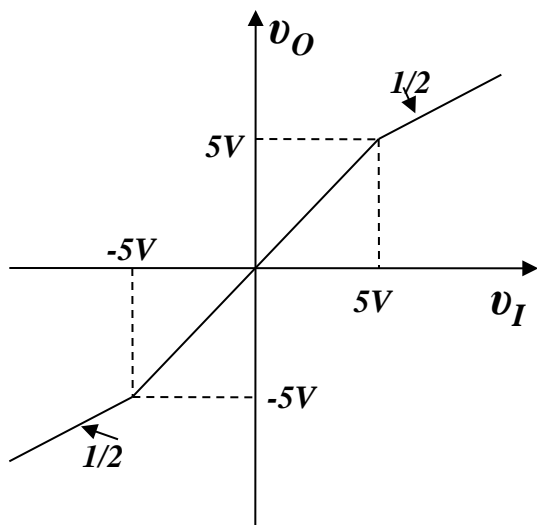
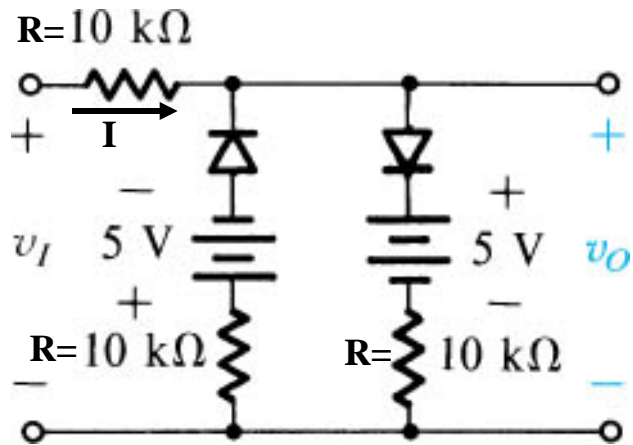


Κυκλώματα Περιορισμού - Ψαλιδισμού



Άσκηση: Να σχεδιαστεί η χαρακτηριστική μεταφοράς του κυκλώματος αν οι δίοδοι θεωρηθούν ιδανικές

Λύση:



• για $-5V \leq v_I \leq 5V$

δεν άγει κανένας κλάδος $\Rightarrow v_O = v_I$

• για $v_I \geq 5V$

άγει ο δεύτερος κλάδος \Rightarrow

$$v_I = IR + 5V + IR \Rightarrow I = \frac{v_I - 5V}{2R}$$

$$v_O = 5V + IR \Rightarrow v_O = \frac{v_I}{2} + 2,5V \Rightarrow \text{κλίση} = \frac{\Delta v_O}{\Delta v_I} = \frac{1}{2}$$

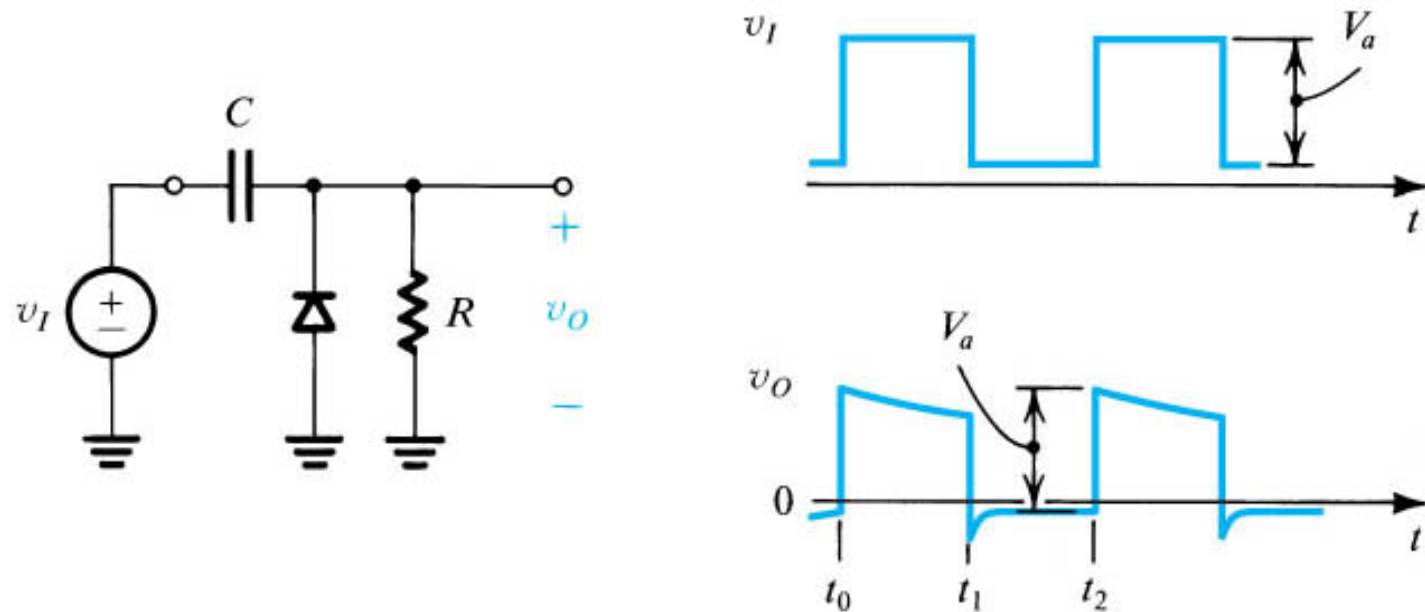
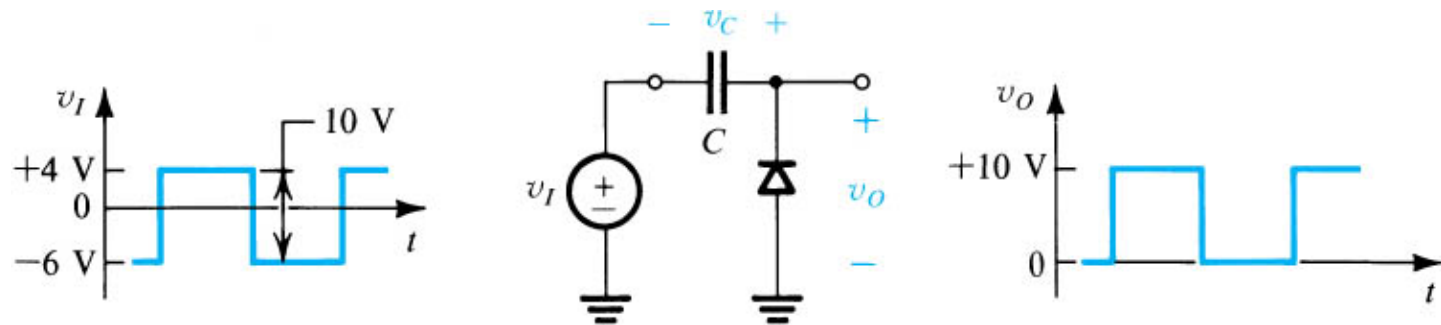
• για $v_I \leq -5V$

άγει ο πρώτος κλάδος \Rightarrow

$$v_I = IR - 5V + IR \Rightarrow I = \frac{v_I + 5V}{2R}$$

$$v_O = -5V + IR \Rightarrow v_O = \frac{v_I}{2} - 2,5V \Rightarrow \text{κλίση} = \frac{\Delta v_O}{\Delta v_I} = \frac{1}{2}$$

Αποκατάσταση συνεχούς τάσης



Διπλασιασμός Τάσης

