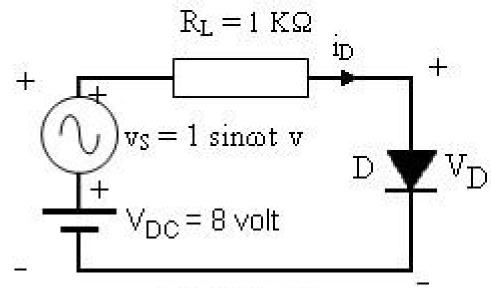
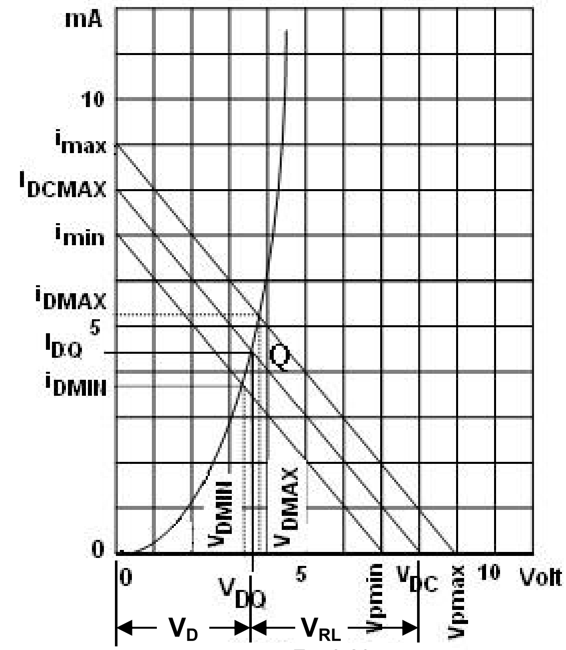
3.13. Ασκήσεις – Παραδείγματα

ΑΣΚ 1.) Η χαρακτηριστική της διόδου, στο κύκλωμα του σχήματος 3.28, δίδεται στο σχήμα 3.29. Να βρεθεί το σημείο λειτουργίας της διόδου, με την αντίστοιχη τάση και ρεύμα λειτουργίας (I_{DQ} , V_{DQ}), και η συνολική στιγμιαία τιμή των i_D & v_D. Όπου i_D και v_D το άθροισμα των συνεχών και εναλλασσόμενων συνιστωσών του ρεύματος και της τάσης της διόδου D.



Σχ. 3.28



Σχ. 3.29

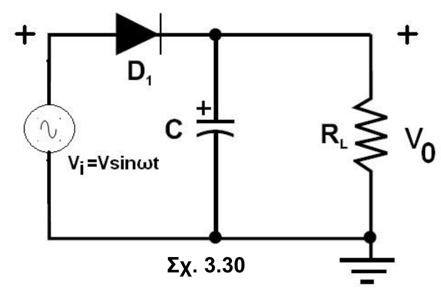
α) Το σημείο λειτουργίας βρίσκεται με τη βοήθεια της ευθείας φορτίου. Ορίζουμε στους άξονες τάσης-ρεύματος τα σημεία (V_{DC}=8 V, $I_{DCmax}=V_{DC}/R_L$=8 mA). Η τομή της ευθείας φορτίου με τη χαρακτηριστική της διόδου δίνει το σημείο λειτουργίας Q με συντεταγμένες V_{DCQ} = 3,5 V και I_{DCQ} = 4,5 mA.

β) Η μέγιστη τιμή της τάσης της γεννήτριας είναι αυτή για την οποία sinωt=1 άρα v_{pmax}=8+1=9 V και η ελάχιστη τιμή της είναι αυτή για την οποία sinωt = - 1 άρα v_{pmin}=8-1=7 V. Με αρχή τα σημεία 7 και 9 V πάνω στον άξονα των τάσεων χαράσσονται δυο ευθείες παράλληλες στην ευθεία φορτίου. Προβάλλοντας στους άξονες τα σημεία τομής των ευθειών αυτών με τη χαρακτηριστική της διόδου, βρίσκονται τα : v_{Dmax}=3,8 V, v_{Dmin}=3,2 V και i_{Dmax}=5,3 mA, i_{Dmin}=3,7 mA.

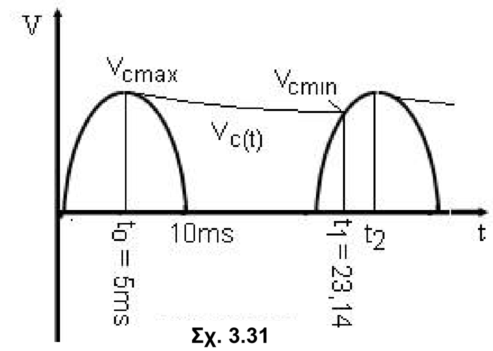
Άρα :

$v_d = 1/2(v_{Dmax} - v_{Dmin})$ sinωt = 1/2(3,8-3,2) sinωt = 0,3 sinωt V και v_D= (3,5+0,3 sinωt) V

$i_d = 1/2(i_{Dmax} - i_{Dmin})$ sinωt = 1/2(5,3-3,7) sinωt = 0,8 sinωt mA και i_D= (4,5+0,8 sinωt) mA.



Σχ. 3.30



Σχ. 3.31

ΑΣΚ 2.) Για το κύκλωμα του σχήματος 3.30 δίδονται C=100μF και R_L=1KΩ. Η δίοδος D θεωρείται ιδανική και η πηγή είναι ημιτονοειδής πλάτους 311volts, συχνότητας 50 Hz. Να σχεδιαστούν οι κυματομορφές τάσης της πηγής και του πυκνωτή C. Να υπολογιστούν η ελάχιστη και μέγιστη τάση του πυκνωτή, καθώς και οι χρονικές στιγμές κατά τις οποίες αυτές εμφανίζονται. Να υπολογιστεί η κυμάτωση της τάσης εξόδου, η μέση τιμή της όπως και η μέση τιμή του ρεύματος εξόδου. Τέλος να συγκριθεί ο χρόνος κατά τον οποίο άγει η δίοδος, με την περίοδο της γεννήτριας τάσης.

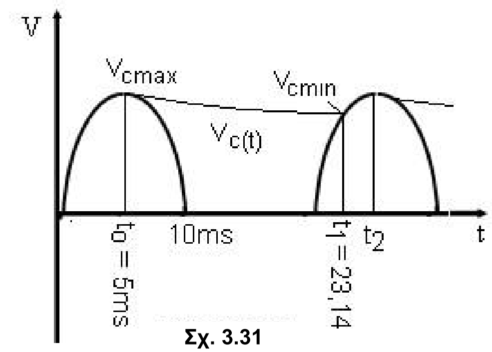
Κατά τη χρονική στιγμή της ενεργοποίησης του κυκλώματος ο πυκνωτής είναι τελείως αφόρτιστος, η δίοδος D αρχίζει να άγει και η πηγή να φορτίζει τον πυκνωτή C. Έτσι για ωt= π/2 ή t_0 =π/2ω=5mS έχουμε $V_C=V=V_0$ (βλ. σχήμα 3.31). Στη συνέχεια η τάση της πηγής αρχίζει να μειώνεται με γρήγορο ρυθμό ακολουθώντας το ημίτονο, ενώ ο πυκνωτής εκφορτίζεται εκθετικά μέσω της αντίστασης R με αργότερο ρυθμό, σε σχέση με τη μείωση της τάσης εισόδου (τάση πηγής).

Δηλαδή για ωt>π/2 έχουμε $V_C(t) = V.e^{\frac{-(t-t_0)}{RC}}$

Η τάση V_C μειώνεται ενώ η τάση της πηγής μετά το τέλος της περιόδου αρχίζει να αυξάνει παίρνοντας θετικές τιμές. Σε κάποια χρονική στιγμή t_1 οι δυο αυτές τάσεις θα εξισωθούν, οπότε και η δίοδος D θα πολωθεί ορθά (καθώς η V_i τείνει να γίνει μεγαλύτερη της V_C) και συνεπώς ο πυκνωτής C φορτίζεται πάλι ημιτονικά μέχρι το μέγιστο της τάσης εισόδου.

Επομένως : $V_C(t_1) = V.e^{-\frac{(t_1 - 5.10^{-3})}{RC}} = V.\sin\omega t_1$ όπου C=100μF και R_L=1KΩ, αντικαθιστώντας τα C και R :

$$e^{-0.01(t_1-5)} = \sin 0.1\pi t_1 \text{ όπου } t_1 \text{ σε mSec.}$$



Σχ. 3.31

Ζητούμενο λοιπόν είναι το t_1 για το οποίο θα ισχύει η πιο πάνω ισότητα. Έτσι :

για t_1=23 mS $e^{-0.01(23-5)} = 0,83527$ $\sin(0,1\pi.23) = 0,80902$

για t_1=23,1 mS $e^{-0.01(23,1-5)} = 0,8344$ $\sin(0,1\pi.23,1) = 0,8271$

για t_1=23,15 mS $e^{-0.01(23,15-5)} = 0,834$ $\sin(0,1\pi.23,15) = 0,836$

για t_1=23,14 mS $e^{-0.01(23,14-5)} = 0,8341$ $\sin(0,1\pi.23,14) = 0,8341$

Άρα V_{cmin}= 311.0,8341= 259,41 Volts , V_{cmax}= 311 Volts και η κυμάτωση προκύπτει από τη σχέση :

κυμάτωση = $V_{cmax} - V_{cmin}$ = 311 - 259,41 = **51,59** Volts.

Η μέση τιμή της τάσης στην έξοδο θα είναι :

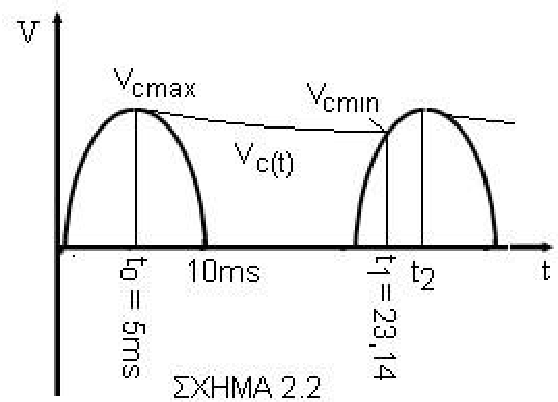
$$\overline{V_0} = \overline{V_C} = \frac{1}{T}\int_0^T V_C(t)dt = 50\left[\int_{5.10^{-3}}^{23,14.10^{-3}} 311.e^{-10(t-5.10^{-3})}dt + \int_{23,14.10^{-3}}^{25.10^{-3}} 311\sin 100\pi t.dt\right] =$$

$$= 50\left(\left|\frac{311}{-10}e^{-10(t-5.10^{-3})}\right|_{5.10^{-3}}^{23,14.10^{-3}} - \left|\frac{311}{100\pi}\cos 100\pi t\right|_{23,14.10^{-10}}^{25.10^{-3}}\right) =$$

$$= 1555\left(1 - e^{-0.1814}\right) - 49,5.\cos\left(100\omega.23,14.10^{-3}\right) = 1555 \cdot 0,1659 + 49,5 \cdot 0,5516 = \mathbf{285,27\ Volts}$$

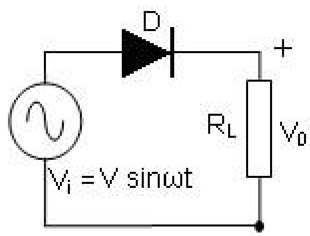
Η μέση τιμή του ρεύματος στην έξοδο θα είναι : $\overline{I_0} = \frac{\overline{V_0}}{R} = 285,27\ mA$

Ο χρόνος στον οποίο άγει η δίοδος είναι $(t_2 - t_1)$ όπου $t_2 = T+T/4 = 20$ mS + (20/4)mS = 25 mS, άρα $(t_2 - t_1) = (25 - 23{,}14)$ mS = 1,86 mS και συνεπώς η δίοδος άγει στο (1,86/20).100 = 9,3% της περιόδου της γεννήτριας τάσης.

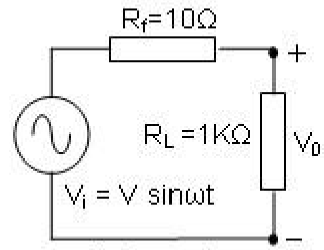


ΣΧΗΜΑ 2.2

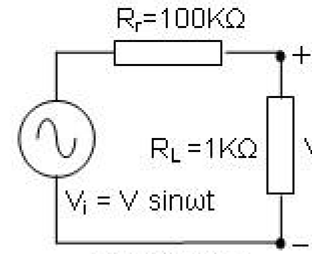
ΑΣΚ 3.) Στο κύκλωμα του σχήματος 3.32 δίδονται η τάση της πηγής V_i = 311.sin(100πt) και η αντίσταση φορτίου R_L=1ΚΩ. Η δίοδος θεωρείται ότι παρουσιάζει κατά την ορθή πόλωση αντίσταση R_f =10Ω και κατά την ανάστροφη R_r =100ΚΩ. Επιπλέον θεωρείται ότι η τάση αγωγής της διόδου V_γ =0. Να σχεδιαστεί η τάση εξόδου V_0 του κυκλώματος και να υπολογιστούν οι μέσες τιμές της τάσης και του ρεύματος εξόδου (V_0 ,I_0).



Σχ. 3.32



0 < ωt < π
Σχ. 3.33



π < ωt < 2π
Σχ. 3.34

Για **0<ωt<π** η δίοδος D είναι ορθά πολωμένη.

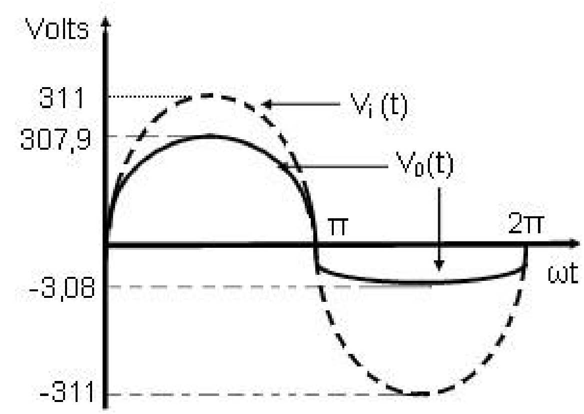
Στο σχήμα 3.33 φαίνεται το ισοδύναμο κύκλωμα.

$$V_0(t) = \frac{R_L}{R_L + R_f} V_m \sin\omega t = \frac{1000}{1010}\ 311.\sin\omega t = 307{,}92.\sin 100\pi t$$

Για **π<ωt<2π** η δίοδος D είναι ανάστροφα πολωμένη.

Στο σχήμα 3.34 φαίνεται το ισοδύναμο κύκλωμα

$$V_0(t) = \frac{R_L}{R_L + R_r} V_m \sin\omega t = \frac{1000}{101000}\ 311.\sin\omega t = 3{,}0792.\sin 100\pi t$$

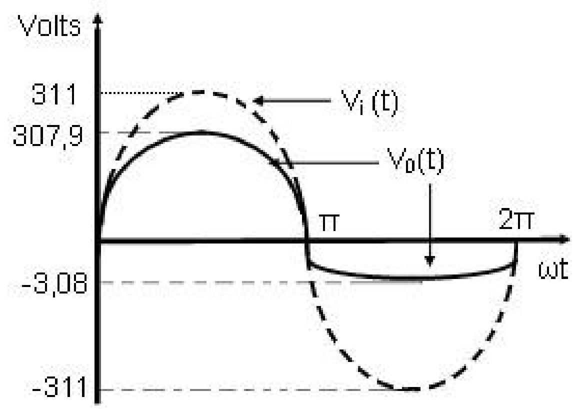


Η μέση τιμή της τάσης εξόδου είναι :

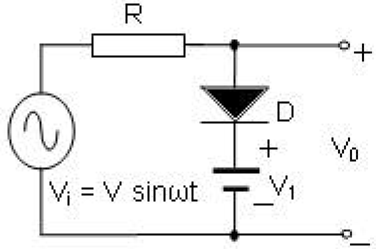
$$\overline{V_0} = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} V_0(t).d(\omega t) = \frac{1}{2\pi}\left[\int_0^{\pi} 307,92.\sin\omega t.d(\omega t) + \int_{\pi}^{2\pi} 3,079.\sin\omega t.d(\omega t)\right] =$$

$$= \frac{1}{2\pi}\left[307,92(-\cos\omega t)\Big|_0^{\pi} + 3,079(-\cos\omega t)\Big|_{\pi}^{2\pi}\right] = \frac{1}{2\pi}(2 \;.\; 307,92 - 2 \;.\; 3,079) = \mathbf{97,03\ Volts}$$

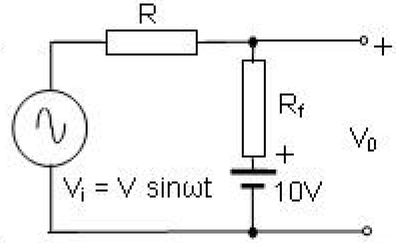
Η μέση τιμή του ρεύματος εξόδου είναι : $\overline{I_0} = \dfrac{\overline{V_0}}{R_L} =$ **97,03 (mA)**



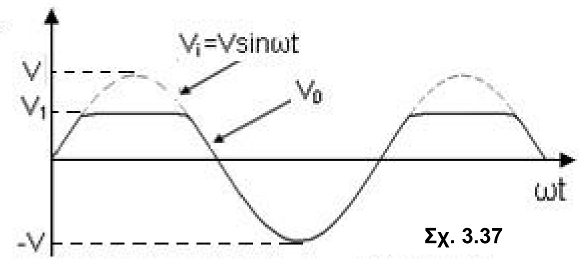
ΑΣΚ 4.) Στο κύκλωμα ψαλιδισμού, σχήμα 3.35, δίδονται η στάθμη αναφοράς V_1=10V και V_i=20sinωt. Η αντίσταση ορθής πόλωσης της διόδου είναι R_f = 100Ω και η αντίσταση ανάστροφης πόλωσης R_r = ∞. Να σχεδιαστούν οι κυματομορφές εισόδου $V_i(t)$ και εξόδου $V_0(t)$ και να υπολογιστούν οι μέγιστες τιμές της τάσης εξόδου $V_0(t)$ για:
(i) R = 10KΩ, (ii) R = 1KΩ, (iii) R = 100Ω.



Σχ. 3.35



Σχ. 3.36



Σχ. 3.37

Η δίοδος D αρχίζει να άγει όταν V_i = 20sinωt = 10V δηλ. όταν ωt=30^0. Το ισοδύναμο κύκλωμα του σχήματος 3.35 όταν η D άγει, φαίνεται στο σχήμα 3.36 και συνεπώς:

$V_0 = (V_i - 10)\frac{R_f}{R+R_f} + 10$ και το V_0 γίνεται μέγιστο όταν V_i = 20V δηλ. όταν sinωt = 1 :

$$V_{omax} = (20-10)\frac{R_f}{R+R_f} + 10 = \frac{20R_f + 10R}{R+R_f} = 10\frac{R+2R_f}{R+R_f}$$

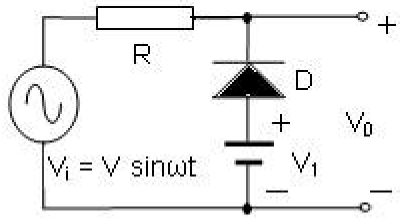
όταν η δίοδος δεν άγει $V_0 = V_i$.

(i)	R = 10KΩ	V_{0max}= 10,1V	V_{0min}= -20V
(ii)	R = 1KΩ	V_{0max}= 10,9V	V_{0min}= -20V
(iii)	R = 100Ω	V_{0max}= 15V	V_{0min}= -20V

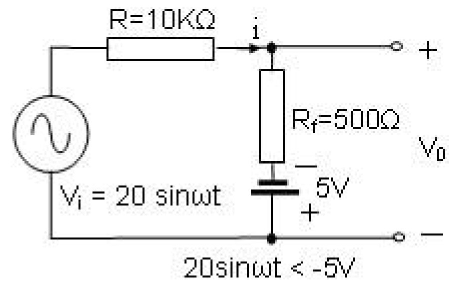
το σχήμα αναφέρεται στην ιδανική δίοδο όπου R_f=0 , R_r=∞ .

ΑΣΚ 5.) Στο κύκλωμα ψαλιδισμού του σχήματος 3.38 δίδονται R =10KΩ, η στάθμη αναφοράς V_1=-5V και η τάση της πηγής V_i =20sinωt. Η αντίσταση ορθής πόλωσης της διόδου είναι R_f = 500Ω και η αντίσταση ανάστροφης πόλωσης R_r = 100KΩ. Να σχεδιαστούν οι κυματομορφές εισόδου $V_i(t)$ και εξόδου $V_0(t)$ για μια περίοδο.

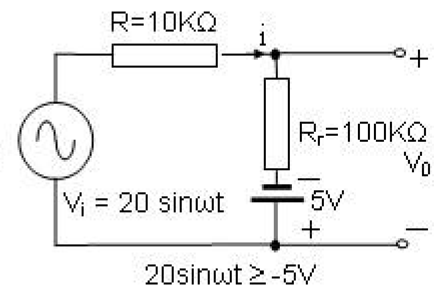
Όταν η δίοδος είναι ορθά πολωμένη : Vsinωt < -5V και το ισοδύναμο κύκλωμα είναι αυτό του σχήματος 3.39. Όταν η δίοδος είναι ανάστροφα πολωμένη : Vsinωt ≥ -5V και το ισοδύναμο κύκλωμα είναι αυτό του σχήματος 3.40.



Σχ. 3.38



Σχ. 3.39



Σχ. 3.40

Η δίοδος πολώνεται ανάστροφα όταν 20sinωt ≥ -5 ⇒ ωt ≤ $194{,}5^0$ και ωt ≥ $345{,}5^0$.

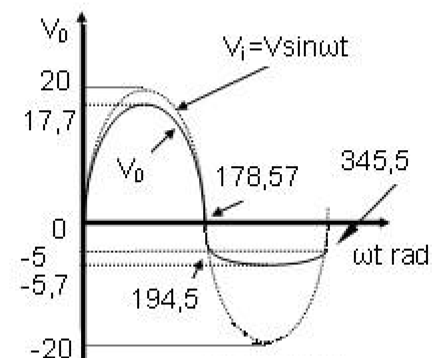
Στο σχήμα 3.40 η εξίσωση του βρόχου είναι :

5+20sinωt =110000i ⇒ i = (5+ 20sinωt)/110000 A και V_0 = 100000i - 5 = -0,454 + 18,18sinωt Volts.

Η δίοδος πολώνεται ορθά και άγει όταν 20sinωt < -5 ⇒ $345{,}5^0$>ωt > $194{,}5^0$

Στο σχήμα 3.39 η εξίσωση του βρόχου είναι :

5+20sinωt = 10500i ⇒ i = (5+ 20sinωt)/10500 A και V_0 = 500i - 5 = -4,76 + 0,952sinωt Volts.



Σχ. 3.41

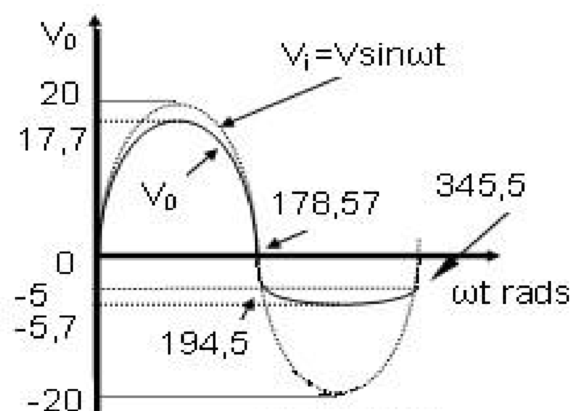
Από τις πιο πάνω εξισώσεις έχουμε :

V_{0max} όταν sinωt = 1, δηλ. V_{0max}= -0,454 + 18,18 = 17,726 Volts.

V_{0min} όταν sinωt = -1, δηλ. V_{0min}= -4,76 - 0,952 = -5,712 Volts.

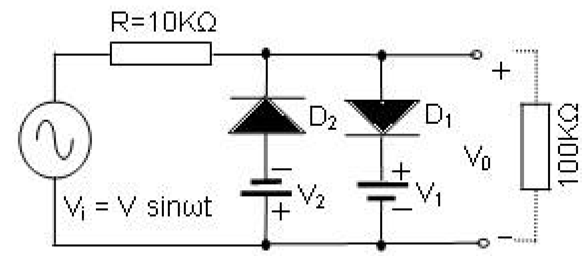
Τέλος η τάση εξόδου μηδενίζεται όταν :

-0,454 + 18,18 sinωt = 0 $\Rightarrow$ sinωt = 0,454 / 18,18 και ωt = $1{,}43^0$ άρα ωt $\cong$ 180-$1{,}43^0$ = $178{,}57^0$.

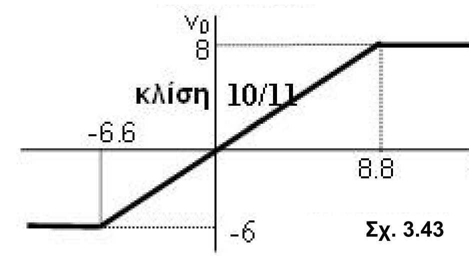


Σχ. 3.41

ΑΣΚ 6.) Στο κύκλωμα ψαλιδισμού του σχήματος 3.42 δίδονται : R=10KΩ, στάθμες αναφοράς V_1=8V και V_2=6V (με τις πολικότητες όπως φαίνονται στο σχήμα). Στην έξοδο V_0 συνδέεται αντίσταση 100KΩ. Να σχεδιαστεί η τάση εξόδου σαν συνάρτηση της τάσης εισόδου, δίδοντας την συνολική χαρακτηριστική του κυκλώματος που τερματίζει στην αντίσταση των 100KΩ .



Σχ. 3.42



Σχ. 3.43

Και οι δυο δίοδοι είναι ανάστροφα πολωμένες όταν $-6 < V_0 < 8$. Με την προϋπόθεση ότι οι δίοδοι είναι ιδανικές, το ρεύμα μέσα από τους κλάδους των διόδων είναι μηδενικό. Η εξίσωση του βρόχου θα είναι: $V_i = 10000\,i + 100000\,i$ ή $i = V_i / 110000$.

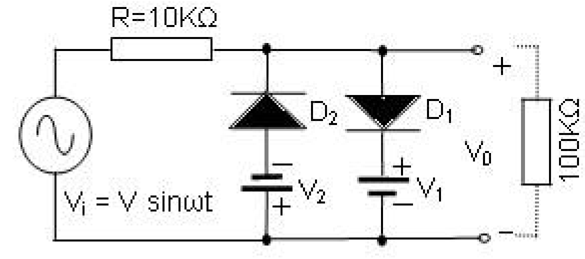
Η τάση εξόδου γι' αυτή την περιοχή λειτουργίας είναι :

$V_0=100000V_i/110000=10V_i/11$(διαιρέτης τάσης) άρα η χαρακτηριστική του κυκλώματος έχει κλίση 10 / 11 για την περιοχή από $-6 < V_0 < 8$.
Έτσι όταν V_0=-6V τότε V_i=-6,6V, όταν V_0=8V τότε V_i=8,8V.

Όταν V_0=8V η δίοδος D_1 είναι ορθά πολωμένη και η D_2 ανάστροφα. Η μέγιστη τιμή της τάσης εξόδου οριοθετείται από τα +8V για $V_i \geq 8{,}8$V.

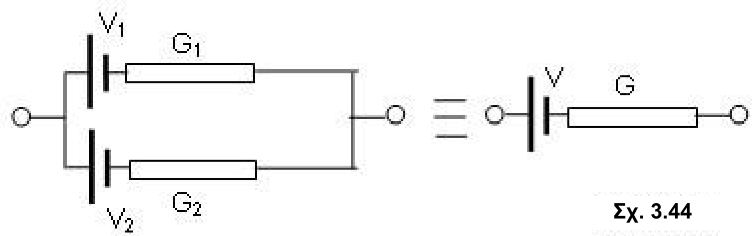
Όταν V_0=-6V η δίοδος D_2 είναι ορθά πολωμένη και η D_1 ανάστροφα. Η ελάχιστη τιμή της τάσης εξόδου οριοθετείται από τα -6V για $V_i \leq 6{,}6$V.
Με βάση τα παραπάνω, η χαρακτηριστική του κυκλώματος δίδεται από το σχήμα 3.43.

ΑΣΚ 7.) Στο κύκλωμα του σχήματος 3.42 δίδονται : R=10ΚΩ, στάθμες αναφοράς V_1=3V και V_2=4V. Οι δίοδοι δεν είναι ιδανικές και έχουν αντίσταση ορθής πόλωσης R_f=200Ω, ανάστροφης πόλωσης R_r=500ΚΩ και τάση αγωγής V_γ=0. Η τάση εισόδου είναι V_i=10sinωt και η εσωτερική αντίσταση της γεννήτριας εισόδου , που δεν φαίνεται στο σχήμα, είναι 600Ω. Να βρεθεί και να σχεδιαστεί η τάση εξόδου σαν συνάρτηση του χρόνου.



Σχ. 3.42

ΣΗΜΕΙΩΣΗ : Θα διακρίνουμε 3 περιπτώσεις, ανάλογα με το αν οι δίοδοι άγουν ή όχι. Για κάθε περίπτωση χρησιμοποιούμε ισοδύναμα κυκλώματα λαμβάνοντας υπόψη τον κανόνα “Millmann” (σχήμα 3.44) :



Σχ. 3.44

$G = G_1 + G_2$ $\quad$ $G = 1 / R$

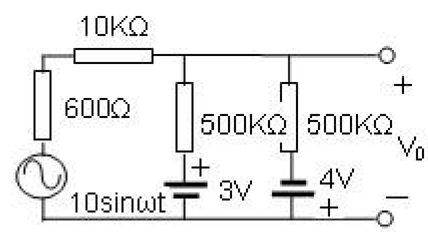
$V = (V_1G_1 + V_2G_2) / (G_1 + G_2)$

α) και οι δύο δίοδοι είναι ανάστροφα πολωμένες όταν $-4 < 10\sin\omega t < 3$ ή όταν $162{,}5^0 < \omega t < 203{,}5^0$ και $336{,}5^0 < \omega t < 17{,}5^0$. Από τη στιγμή που η αντίσταση ανάστροφης πόλωσης δεν είναι άπειρη, το ισοδύναμο κύκλωμα για την περιοχή αυτή λειτουργίας παρουσιάζεται στο σχήμα 3.45.

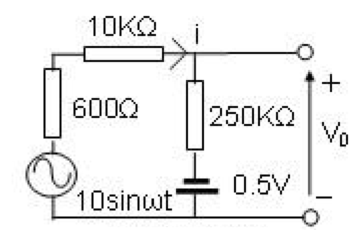
Χρησιμοποιώντας “Millmann” :

$G=G_1+G_2 \Rightarrow 1/R=1/R_1+1/R_2=(R_1+R_2)/(R_1.R_2) \Rightarrow R=(R_1.R_2)/(R_1+R_2)$ και με αντικατάσταση **R=250ΚΩ.**

$V=(V_1G_1+V_2G_2)/(G_1+G_2) = (3/R_1-4/R_2)/(1/R_1+1/R_2)$ και με αντικατάσταση **V=-0,5V**.



Σχ. 3.45

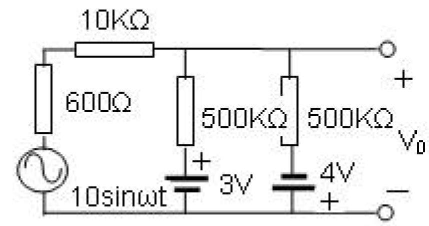


Σχ. 3.46

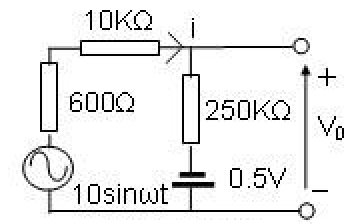
Άρα το κύκλωμα του σχήματος 3.45 μετασχηματίζεται σε αυτό του σχήματος 3.46.

Η στιγμιαία τιμή του ρεύματος χρησιμοποιώντας την εξίσωση του βρόχου για το κύκλωμα είναι : i=(0,5+10sinωt)/260,6 mA

και η τάση εξόδου V_0 θα είναι :
V_0=250i-0,5=(-0,02+9,6sinωt) Volts, $V_0 \cong$ 9,6sinωt Volts, όπου R[KΩ], i[mA], V[Volts].
Η τάση εξόδου μηδενίζεται για ωt ≅ 180^0 και ωt ≅ 360^0.

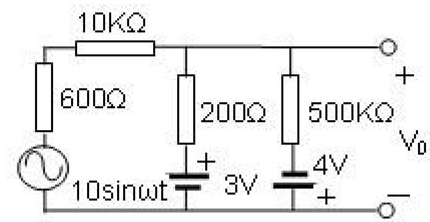


Σχ. 3.45

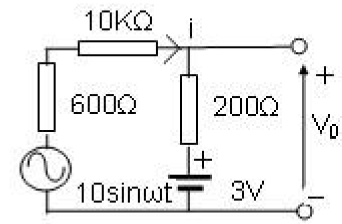


Σχ. 3.46

β) η δίοδος D_1 είναι ορθά πολωμένη όταν 10sinωt ≥ 3 ή όταν $17,5^0 \leq$ ωt ≤ $162,5^0$. Το ισοδύναμο κύκλωμα για την περιοχή αυτή λειτουργίας παρουσιάζεται στο σχήμα 3.47. Ο κλάδος που περιέχει την D_2 μπορεί να αγνοηθεί και το κύκλωμα μετασχηματίζεται σε αυτό του σχήματος 3.48.
Η στιγμιαία τιμή του ρεύματος χρησιμοποιώντας την εξίσωση του βρόχου για το κύκλωμα είναι :



Σχ. 3.47



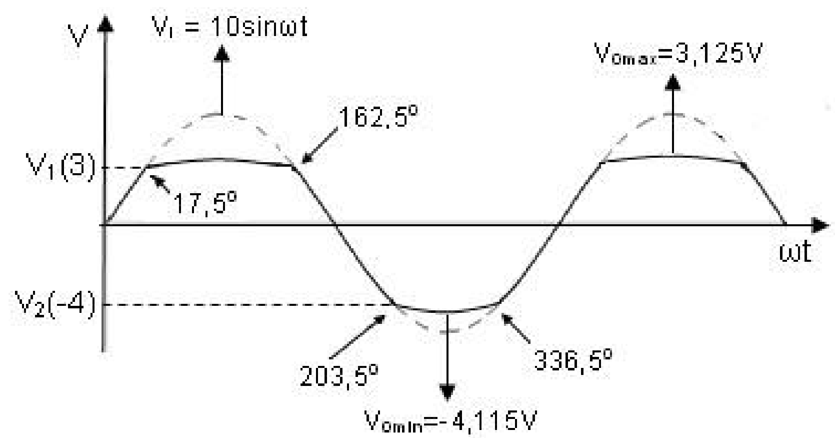
Σχ. 3.48

i=(-3+10sinωt)/10,8 mA
η τάση εξόδου θα είναι : V_0=0,2.i+3=0,2(-3+10sinωt)/10,8+3 =2,94+0,185sinωt Volt
δηλ. $V_0(17,5^0) = V_0(162,5^0) \cong$ 3Volts και V_{0max}= 2,94 + 0,185 = 3,125 για ωt = 90^0.

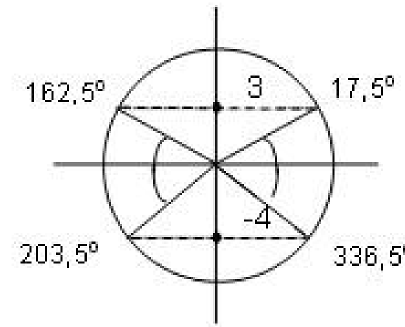
γ) η δίοδος D_2 είναι ορθά πολωμένη όταν 10sinωt ≤ -4 ή όταν $203,5^0 \leq$ ωt ≤ $336,5^0$. Το ισοδύναμο κύκλωμα για την περιοχή αυτή λειτουργίας είναι όμοιο με αυτό στο σχήμα 3.47 και κατ' επέκταση 3.48, με μόνη διαφορά ότι η τάση της πηγής θα είναι τώρα -4V.

Η στιγμιαία τιμή του ρεύματος χρησιμοποιώντας εξίσωση του βρόχου για το κύκλωμα είναι :
i=(4+10sinωt)/10,8 mA,
η τάση εξόδου θα είναι : V_0=0,2.i-4=0,2(4+10sinωt)/10,8-4=-3,93+0,185sinωt Volt
δηλ. $V_0(203,5^0) = V_0(336,5^0) \cong$ -4Volts και V_{0min}= -3,93 - 0,185 = -4,115 για ωt = 270^0.

Η συνολική εικόνα της κυματομορφής στην έξοδο του ψαλιδιστή απεικονίζεται στο σχήμα 3.49 και εναλλακτικά στο Σχ. 3.50.

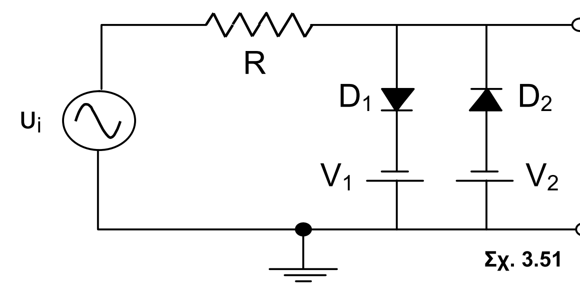


Σχ. 3.49



Σχ. 3.50

ΑΣΚ 8.) Για το κύκλωμα του Σχ. 3.51 δίδονται: R=10KΩ, στάθμες αναφοράς V_1=5.5V και V_2=8.3V. Οι δίοδοι δεν είναι ιδανικές και έχουν αντίσταση ορθής πόλωσης r_d=100Ω, άπειρη αντίσταση ανάστροφης πόλωσης R_r και τάση αγωγής V_0=0.5V. Η τάση εισόδου είναι υ_i=10sinωt με περίοδο T=10msec. Δώστε την ακριβή αναλυτική έκφραση της κυματομορφής εξόδου και υπολογίστε τους χρόνους T_1 και T_2 που η κυματομορφή εξόδου παραμένει σταθερή στη μέγιστη και την ελάχιστη τιμή της αντίστοιχα.



Σχ. 3.51

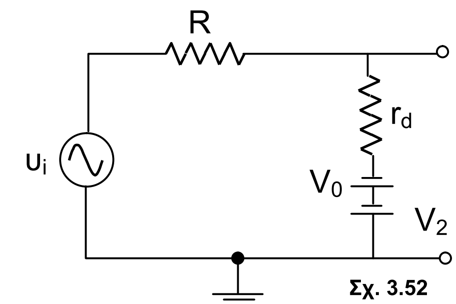
Από τον νόμο του Kirchhoff στον αριστερό βρόχο έχουμε:

$\upsilon_i + V_1 - V_0 = i(R + r_d) \Rightarrow \upsilon_i + V_1 - V_{D1} = iR$

Η D1 άγει όταν: $\upsilon_i + V_1 - V_0 \geq 0 \Rightarrow \upsilon_i \geq -5$ Volts.

Η D2 άγει όταν: $\upsilon_i + V_2 + V_0 \leq 0 \Rightarrow \upsilon_i \leq -8.8$ Volts.

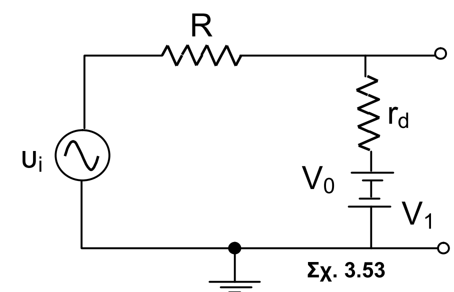
Εξετάζουμε κάθε περίπτωση χωριστά.



Σχ. 3.52

(α) $\upsilon_i \leq -8.8$ Volts, η D1 δεν άγει, η D2 άγει όταν ωt ≥ π+π/3 και ωt ≤ 2π-π/3 ή 4π/3 ≤ ωt ≤ 5π/3.

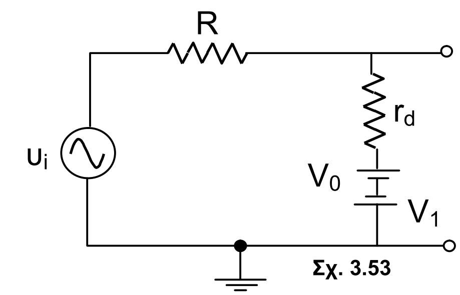
Το ισοδύναμο κύκλωμα γι' αυτή την περίπτωση φαίνεται στο Σχ. 3.52.



Σχ. 3.53

Η στιγμιαία τιμή του ρεύματος χρησιμοποιώντας εξίσωση του βρόχου για το κύκλωμα είναι : i=(10sinωt + 8.3 + 0.5)/10,1 (mA),

η τάση εξόδου θα είναι : V_0=0.1*i – 8.3 – 0.5= (10sinωt + 8.3 + 0.5)*0.1/10,1 – 8.3 – 0.5 = -8.8 + 0,088 + 0,1sinωt (Volt) = -8.712 + 0.1sinωt.



Σχ. 3.53

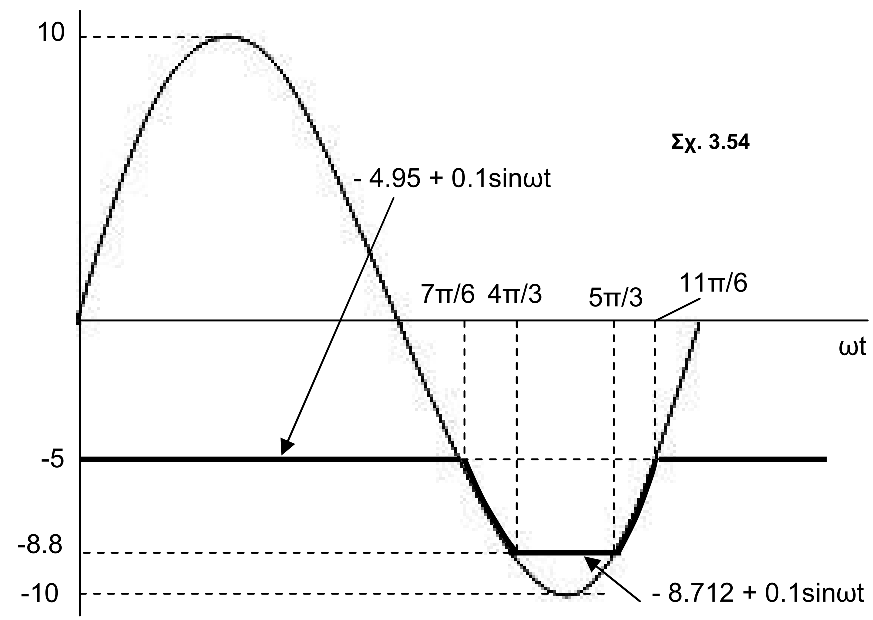
(β) $υ_i \geq -5$ Volts, η D2 δεν άγει, η D1 άγει όταν ωt ≤ π+π/6 και ωt ≥ 2π-π/6 ή 11π/6 ≤ ωt ≤ 7π/6.
Το ισοδύναμο κύκλωμα γι' αυτή την περίπτωση φαίνεται στο Σχ. 3.53.

Η στιγμιαία τιμή του ρεύματος χρησιμοποιώντας εξίσωση του βρόχου για το κύκλωμα είναι : i=(10sinωt+5.5-0.5)/10,1 (mA),

η τάση εξόδου θα είναι : V_0=0.1*i-5.5+0.5=(10sinωt+5)*0.1/10,1 – 5.5 + 0.5 = –5 + 0,0495 + 0.1sinωt (Volt) = –4.95 + 0.1sinωt.

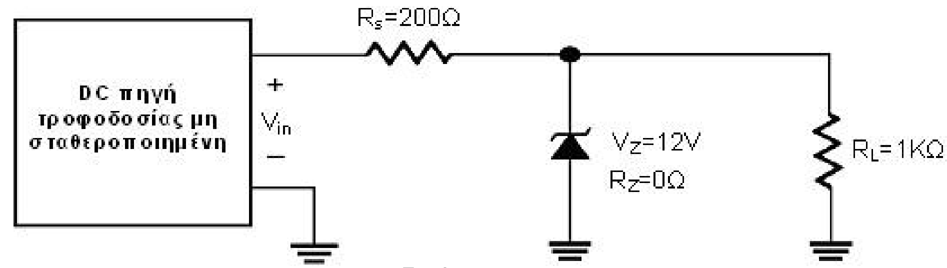
(γ) Όταν $-5 \leq υ_i \leq -8.8$ δεν άγει καμία δίοδος και η έξοδος ακολουθεί πιστά την είσοδο, δηλ.: $υ_0 = υ_i$. Η συνολική κυματομορφή φαίνεται στο Σχ. 3.54.

(δ) Η διάρκεια που η κυματομορφή εξόδου παραμένει σταθερή στη μέγιστη τιμή της είναι σε μονάδες ορίσματος ωt: π/6 + π/6 + π = 8π/6. Άρα σε μονάδες χρόνου με δεδομένη περίοδο σήματος T=10msec δηλ. f = 100 Hz, θα έχουμε: $ωT_1$ = 8π/6 → T_1 = 6.66 msec.
Ομοίως για τη διάρκεια που η κυματομορφή εξόδου παραμένει σταθερή στην ελάχιστη τιμή της είναι σε μονάδες ορίσματος ωt: π/3. Άρα σε μονάδες χρόνου με δεδομένη περίοδο σήματος T=10msec δηλ. f = 100 Hz, θα έχουμε: $ωT_2$ = π/3 → T_2 = 1.66 msec.



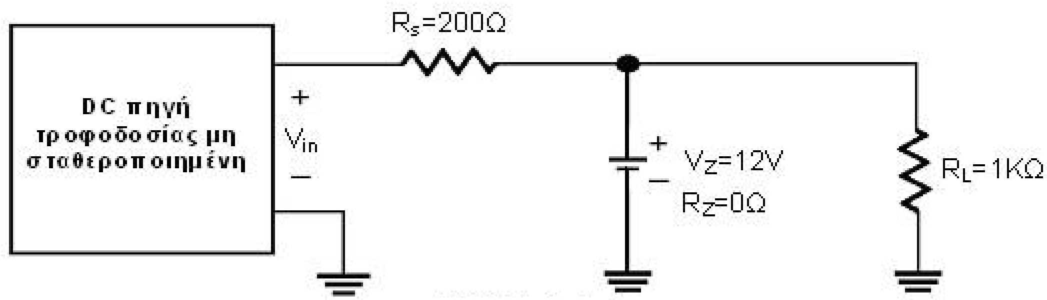
Σχ. 3.54

ΑΣΚ 9.) Στο κύκλωμα του Σχήματος 3.55 δίδονται R_s=200Ω, V_Z=12V, R_Z=0Ω, R_L=1KΩ. Να υπολογιστούν τα μεγέθη: I_S , I_L και I_Z για Vin=15 V.



Σχ. 3.55

Λόγω της πολικότητας και της τιμής της τάσης Vin, η δίοδος Zener θα υποστεί το φαινόμενο της διάσπασης, άρα το ισοδύναμο κύκλωμα του σχήματος 3.56 περιγράφει την λειτουργία του αρχικού κυκλώματος.
Εφαρμόζουμε Ν.Τ.Κ. στο κύκλωμα (Vin -R_s - V_Z) : Vin - V_Z = I_s R_s



Σχ. 3.56

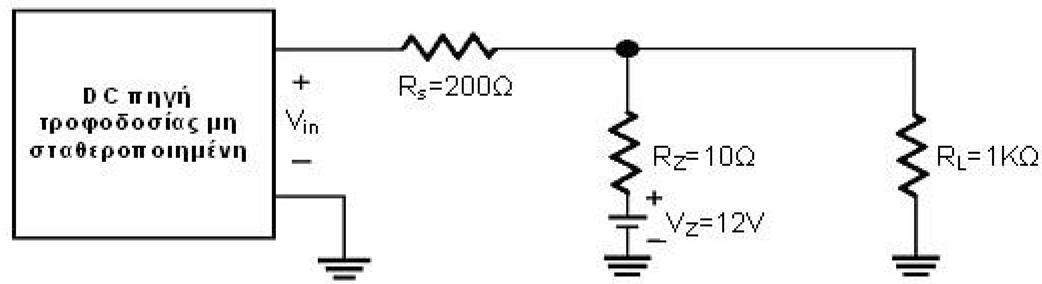
Το ολικό ρεύμα (ρεύμα εισόδου) δίνεται από την σχέση : $I_S = \dfrac{Vin - V_Z}{R_S} = \dfrac{15V - 12V}{200\Omega} = 15mA$

Το ρεύμα φορτίου είναι $I_L = \dfrac{V_Z}{R_L} = \dfrac{12V}{1k\Omega} = 12mA$

Το ρεύμα που διαρρέει τη δίοδο Zener είναι : $I_Z = I_s - I_L$ = 15 mA -12 mA = 3 mA.

ΑΣΚ 10.) Στο κύκλωμα του σχήματος 3.55 δίδονται R_s=200Ω, V_Z=12V, R_Z=10Ω, R_L=1KΩ. Να υπολογιστούν τα μεγέθη I_S, I_L, I_Z και Vout, όταν η τάση εισόδου παίρνει τις τιμές : 15V, 20V, 25V, 30V και 35V.

Λόγω της πολικότητας και της τιμής της τάσης Vin η δίοδος Zener θα υποστεί το φαινόμενο της διάσπασης, άρα το ισοδύναμο κύκλωμα του σχήματος 3.57 περιγράφει την λειτουργία του αρχικού κυκλώματος.



Σχ. 3.57

Εφαρμόζοντας Ν.Τ.Κ. στο κύκλωμα (Vin -R_s - V_Z) : $Vin - V_Z = I_S R_s + I_Z R_Z$ 3.92

Το ολικό ρεύμα (ή ρεύμα εισόδου) δίνεται από την σχέση : $I_S = I_Z + I_L$

Το ρεύμα φορτίου είναι $I_L = \dfrac{V_Z + I_Z R_Z}{R_L}$ 3.93

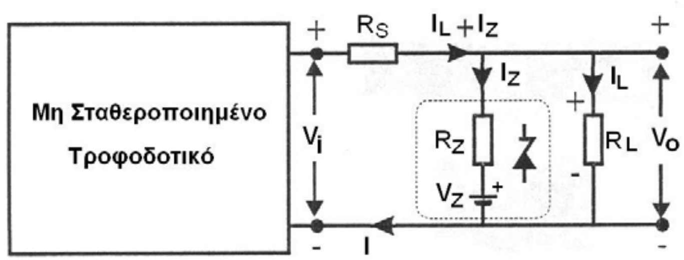
Το ρεύμα που διαρρέει τη δίοδο Zener είναι : $I_Z = I_S - I_L$ 3.94

Συνδυάζοντας τις σχέσεις 3.92, 3.93 και 3.94 το ρεύμα I_Z προκύπτει : $I_Z = \dfrac{(Vin - V_Z)R_L - V_Z R_S}{R_L R_S + R_Z R_S + R_Z R_L}$ 3.95

Κάνοντας αριθμητική αντικατάσταση στη σχέση 3.95 και με διαδοχική αντικατάσταση στις σχέσεις 3.93 και 3.92 προκύπτουν τα αποτελέσματα του παρακάτω πίνακα.

Vin (V)	I_Z (mA)	I_L (mA)	Vout (V)	I_S (mA)
15	2.83	12.03	12.03	14.86
20	26.42	12.26	12.26	38.68
25	50.00	12.50	12.50	62.50
30	73.59	12.74	12.74	86.33
35	97.17	12.97	12.97	110.14

ΑΣΚ 11.) Ο σταθεροποιητής τάσης του κυκλώματος του σχήματος είναι συνδεδεμένος στην έξοδο ενός μη σταθεροποιημένου D.C. τροφοδοτικού, για να διατηρεί σταθερή την τάση στα άκρα του φορτίου R_L υπό συνθήκες μεταβολών της τάσης εισόδου V_i. Το κύκλωμα σταθεροποίησης τάσης χρησιμοποιεί μια δίοδο Zener με V_Z = 9,1V και R_Z = 10Ω, έχει αντίσταση σειράς R_S = 500Ω και αντίσταση φορτίου R_L = 1ΚΩ.



α) Να αποδειχθεί ότι η τάση εξόδου V_L είναι ίση με:

$$V_L = \frac{V_{in} + \frac{R_S}{R_Z} V_Z}{\frac{R_S}{R_Z} + \frac{R_S}{R_L} + 1}$$

β) Εάν η τάση εισόδου V_i μεταβάλλεται από 13 έως 18 Volt, να προσδιοριστεί η μεταβολή ΔV_L της τάσης εξόδου.

Α) Εφαρμόζοντας Ν.Τ.Κ. στο κύκλωμα (Vin -R_s - R_L) : $V_{in} = I_S R_S + V_L$ όπου $I_S = I_L + I_Z$, και V_0=V_L

Ισχύει επίσης ότι: $V_L = V_Z + I_Z R_Z \Rightarrow I_Z = \frac{V_L - V_Z}{R_Z}$ και $I_L = \frac{V_L}{R_L}$

Άρα με αντικατάσταση των ρευμάτων στην αρχική σχέση :

$$V_{in} = \left(I_L + I_Z\right) R_S + V_L = \left(\frac{V_L - V_Z}{R_Z} + \frac{V_L}{R_L}\right) R_S + V_L = \frac{V_L}{R_Z} R_S - \frac{V_Z}{R_Z} R_S + \frac{V_L}{R_L} R_S + V_L \Longrightarrow$$

$$V_{in} = \left(\frac{R_S}{R_Z} + \frac{R_S}{R_L} + 1\right) V_L - \frac{R_S}{R_Z} V_Z \Longrightarrow \left(\frac{R_S}{R_Z} + \frac{R_S}{R_L} + 1\right) V_L = V_{in} + \frac{R_S}{R_Z} V_Z$$

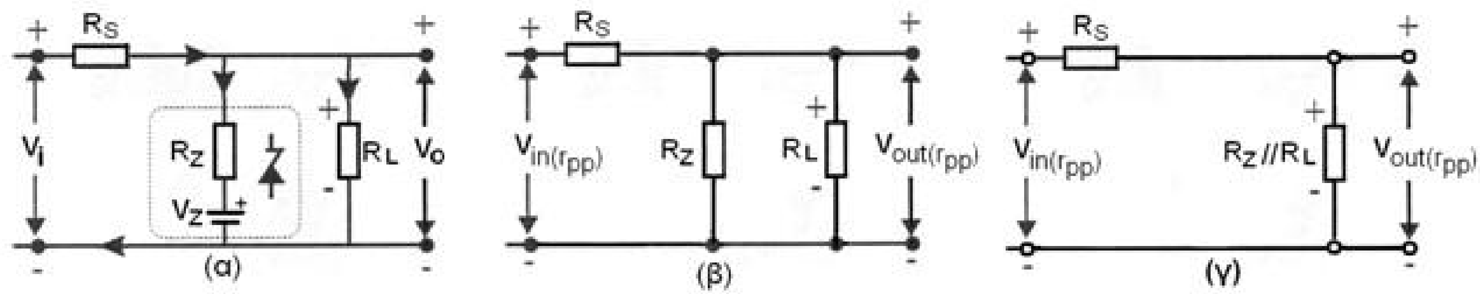
απ' όπου $V_L = \dfrac{V_{in} + \dfrac{R_S}{R_Z} V_Z}{\dfrac{R_S}{R_Z} + \dfrac{R_S}{R_L} + 1}$ και B) με αντικατάσταση

Για Vin = 13V	προκύπτει V_L = 9,08 V
Για Vin = 18V	προκύπτει V_L = 9,18 V

και άρα ΔV_L = 0,1V

ΑΣΚ 12.) Ο Σταθεροποιητής Zener μαζί με το κύκλωμά του (άσκηση 11), εκτός από τη σταθεροποίηση που παρέχει στην έξοδο του μη σταθεροποιημένου τροφοδοτικού, μειώνει παράλληλα και την όποια κυμάτωση μπορεί να υπάρχει στην έξοδό του. Με βάση τα δεδομένα της προηγούμενης άσκησης να υπολογιστεί η μείωση αυτή στα άκρα του φορτίου, θεωρώντας ότι η κυμάτωση στην είσοδο του κυκλώματος σταθεροποίησης είναι V_{rpp}=0,3 V.

Θεωρώντας λοιπόν ότι στην DC τάση εξόδου (V_i) του τροφοδοτικού – όποια και αν είναι αυτή – υπάρχει κυμάτωση της τάξης των 0,3 V_{rpp}, δηλαδή AC συνιστώσα, μπορούμε να αναλύσουμε το κύκλωμα του σταθεροποιητή ως προς το ac ως εξής:



Όπου κύκλωμα (α) το αρχικό, κύκλωμα (β) αυτό που βλέπει η V_{rpp} και κύκλωμα (γ) το τελικό κύκλωμα. Η τάση στα άκρα της αντίστασης που προκύπτει από τον παράλληλο συνδυασμό των R_Z και R_L ,δηλαδή η $V_{out(rpp)}$ θα είναι λόγω του διαιρέτη:

$$V_{out(rpp)} = \frac{\left(R_Z // R_L\right)}{\left(R_Z // R_L\right) + R_S} V_{in(rpp)}$$

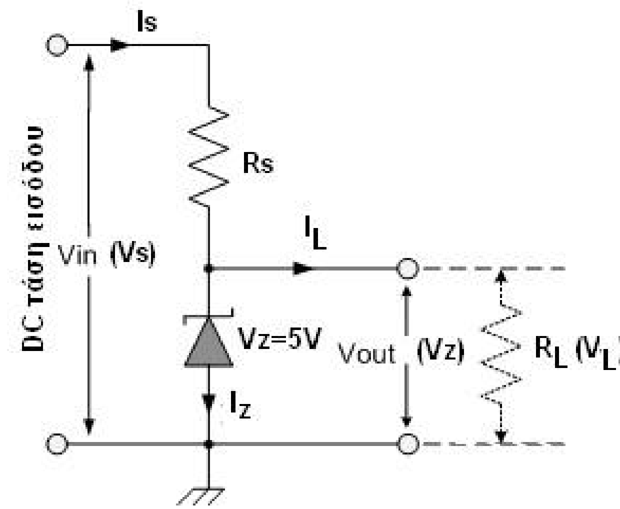
Από τη σχέση αυτή και με δεδομένες τις τιμές των R_Z, R_L ,R_S και $V_{in(rpp)}$, προκύπτει η τιμή της κυμάτωσης στην έξοδο του σταθεροποιητή:

$$V_{out(rpp)} = \frac{\left(R_Z // R_L\right)}{\left(R_Z // R_L\right) + R_S} V_{in(rpp)} = \frac{\frac{10 \times 1000}{10 + 1000}}{\frac{10 \times 1000}{10 + 1000} + 500} \times 0{,}3 = 0{,}0194 \times 0{,}3 = 5{,}82\text{mV}$$

Δηλαδή η κυμάτωση που θα εμφανιστεί στην σταθεροποιημένη έξοδο θα είναι το 1,94% της αρχικής κυμάτωσης.

ΑΣΚ 13.) Ένας σταθεροποιητής τάσης 5.0V και 1W τοποθετείται στην έξοδο τροφοδοτικού με V_S = 12V d.c. όπως στο παρακάτω κύκλωμα. Με τη βοήθεια του κυκλώματος να υπολογιστούν :

α) Το μέγιστο ρεύμα που θα διαρρέει τη δίοδο Zener. (Πότε συμβαίνει αυτό;).
β) Η τιμή της αντίστασης σειράς (αντίσταση προστασίας), R_S.
γ) Το ρεύμα φορτίου I_L εάν η αντίσταση φορτίου R_L, που συνδέεται παράλληλα με τη Zener, είναι 0,5kΩ.
δ) Το παρεχόμενο από το τροφοδοτικό ρεύμα I_S.



Α) Το μέγιστο ρεύμα που θα διαρρέει τη Zener παρουσιάζεται όταν δεν υπάρχει φορτίο συνδεδεμένο στην έξοδο του σταθεροποιητή, άρα

$$P = V_Z I_{Zmax} \Rightarrow I_{ZMAX} = \frac{Watts}{Voltage} = \frac{1W}{5V} = 200mA$$

Β) Η αντίσταση σειράς που προστατεύει τη δίοδο

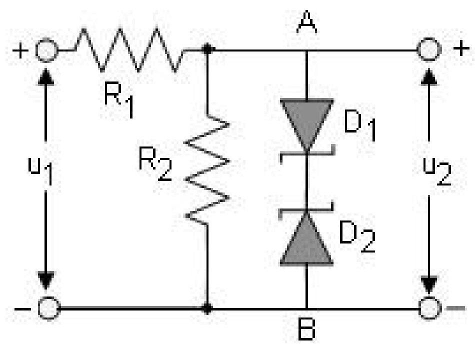
$$R_S = \frac{V_S - V_Z}{I_{Zmax}} = \frac{12-5}{200mA} = 35\Omega$$

Γ) το ρεύμα στο φορτίο $I_L = \frac{V_Z}{R_L} = \frac{5V}{500\Omega} = 10mA$

Δ) το ρεύμα που παρέχεται από το μη σταθεροποιημένο τροφοδοτικό:

$$I_S = I_Z + I_L = 200 + 10 = 210mA$$

ΑΣΚ 14.) Οι αντιστάσεις του παρακάτω κυκλώματος R_1 και R_2 έχουν τιμές 5ΚΩ και 10ΚΩ αντίστοιχα. Οι δίοδοι zener D_1 και D_2 είναι όμοιες με τάση Vz=15V, η δε τάση αγωγής τους κατά την ορθή πόλωση είναι V_γ=0,7V, κατά τα λοιπά θεωρούνται ιδανικές. Αν η τάση εισόδου u_1 είναι της μορφής u_1=30ημωt, να σχεδιαστεί σε σύστημα αξόνων όπου ο οριζόντιος θα αντιπροσωπεύει το ωt και ο κατακόρυφος το u, η u_1 με διακεκομμένη γραμμή και στους ίδιους άξονες η u_2 με συνεχή γραμμή.



Ο κλάδος ΑΒ περιλαμβάνει δύο διόδους τοποθετημένες αντίστροφα τη μια ως προς την άλλη και γίνεται αγώγιμος όταν η τάση εισόδου γίνει ίση με το άθροισμα των τάσεων των διόδων.

Έτσι όταν η D_1 είναι αγώγιμη ως απλή δίοδος η D_2 λειτουργεί ως zener.

Αντίστοιχα όταν η D_2 είναι αγώγιμη ως απλή δίοδος η D_1 λειτουργεί ως zener.

Ανεξάρτητα από την τιμή της τάσης εισόδου και τη φορά της, ο κλάδος θα είναι αγώγιμος όταν ισχύει η σχέση:

$$|V_{AB}| = |V_0 + V_Z|$$

δηλαδή ο κλάδος άγει όταν

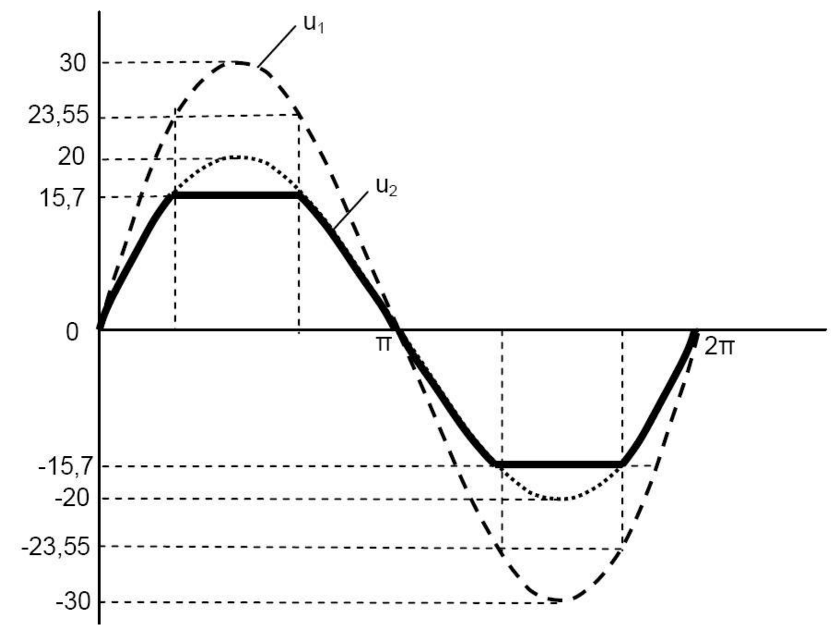
$|u_2| = |V_{AB}| = 15 + 0,7 = 15,7V$ οπότε και ψαλιδίζει.

Έτσι λοιπόν

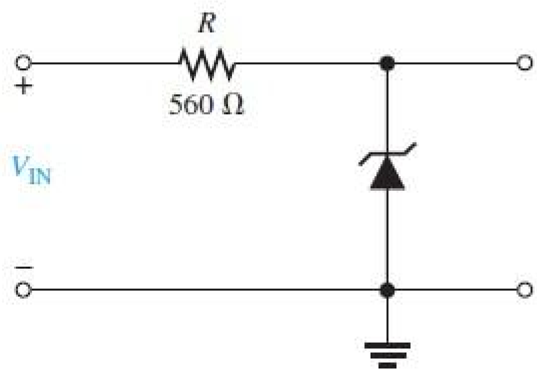
$$|u_2| = \left[R_2/(R_1+R_2)\right]|u_1| \Rightarrow |u_1| = \left[(R_1+R_2)/R_2\right]|u_2|$$

$\Rightarrow$

$$|u_1| = (15/10)\bullet 15,7 = 23,55V$$

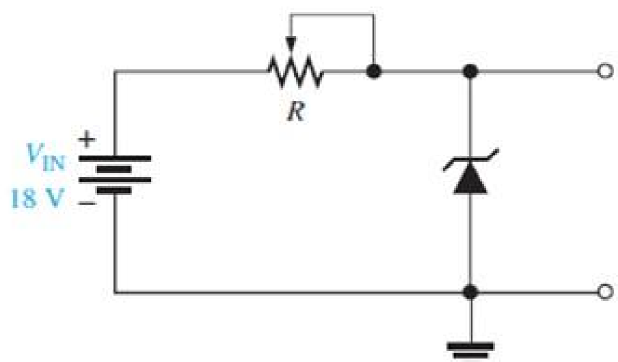


ΑΣΚ 15.) Να προσδιοριστεί η ελάχιστη τάση εισόδου που απαιτείται για το κύκλωμα σταθεροποίησης που δίνεται στο σχήμα. Υποθέστε ιδανική δίοδο Zener με ελάχιστο ρεύμα λειτουργίας I_{ZK} = 1.5 mA και V_Z = 14 V.



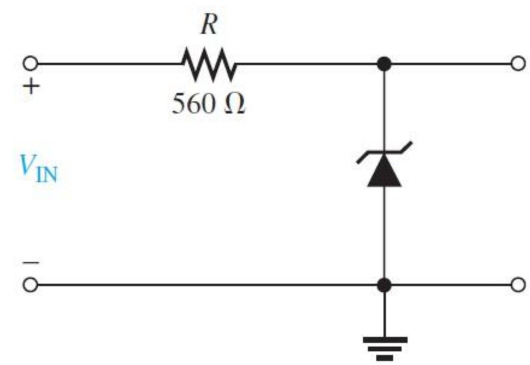
$$V_{IN(min)} = V_Z + I_{ZK}R = 14\text{ V} + (1.5\text{ mA})(560\ \Omega) = \mathbf{14.8\ V}$$

ΑΣΚ 16.) Ποια πρέπει να είναι η τιμή της R, ώστε I_Z = 40 mA? Υποθέστε V_Z = 12 V και R_Z = 10 Ω.



$$R = \frac{18V - 12V - 40mA \cdot 10\Omega}{40mA} = 140\Omega$$

ΑΣΚ 17.) Προσδιορίστε την ελάχιστη και μέγιστη τάση εισόδου για να λειτουργεί το κύκλωμα σταθεροποίησης του σχήματος. Θεωρήστε δίοδο Zener με R_Z = 0 Ω, I_{ZK} = 1 mA, I_{ZM} = 120 mA and V_z = 8.7V.



$$V_{IN(\min)} = V_Z + I_{ZK}R = 8.7V + 1mA \cdot 560\Omega = 9.26V$$

$$V_{IN(\max)} = V_Z + I_{ZM}R = 8.7V + 120mA \cdot 560\Omega = 75.9V$$

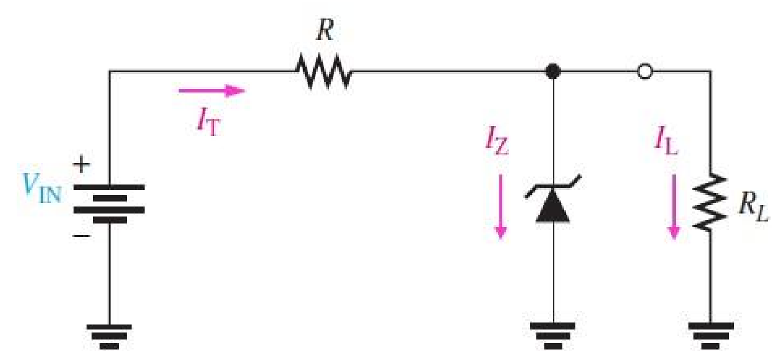
ΑΣΚ 18.) Προσδιορίστε την **ελάχιστη** και **μέγιστη** τιμή φορτίου R_L η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο σταθεροποιητή του σχήματος, θεωρώντας V_{IN}= 12V, Vz= 6V, I_{ZK}= 2mA, and I_{ZM} = 45mA**.** Υποθέστε R=50Ω.

$$I_T = \frac{12-6}{50} = 120mA$$

$$I_{L(\max)} = I_T - I_{ZK} = 120mA - 2mA = 118mA$$

$$R_{L(\min)} = \frac{V_Z}{I_{L(\max)}} = \frac{6V}{118mA} = 50.85\Omega$$

$$I_{L(\min)} = I_T - I_{ZM} = 120mA - 45mA = 75mA$$



$$R_{L(\max)} = \frac{V_Z}{I_{L(\min)}} = \frac{6V}{75mA} = 80\Omega$$