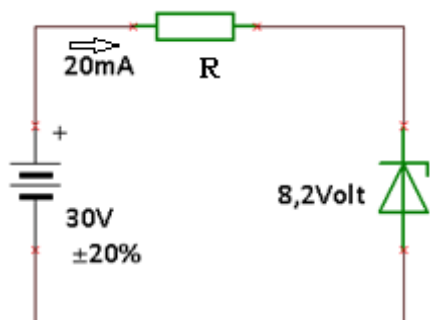


## Προβλήματα 2γ. Δίοδοι Zener Ανόρθωση

### Ομάδα Α

#### Πρόβλημα 2γ.1



Η δυναμική αντίσταση μιας διόδου zener είναι  $12\Omega$  και συνδέεται στο διπλανό κύκλωμα. Υπολογίστε την τιμή της αντίστασης ( $1090\Omega$ ) καθώς και την μέγιστη και ελάχιστη τιμή της τάσης zener. ( $8,14V$ ,  $8,27V$ )

$R_D = 12\Omega$ 
 $\begin{cases} R = ? \\ V_{Zmin} = ? \\ V_{Zmax} = ? \end{cases}$

$(i) 30 = 20 \cdot R + 8,2 \Rightarrow R = \frac{30 - 8,2}{20} = 1090 \Omega$

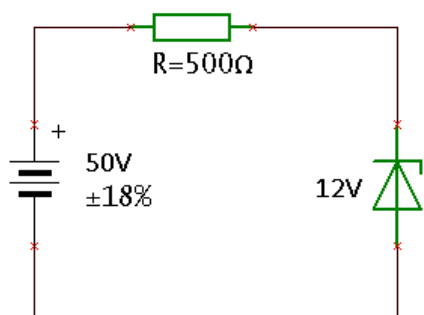
$(ii) V_Z = \frac{V_{in} \cdot R_{ZD}}{R + R_{ZD}} \Rightarrow \Delta V_Z = \frac{\Delta V_{in} \cdot 12}{12 + 1090} \Rightarrow$

$\Delta V_Z = \frac{\pm 6V \cdot 12}{1102} = \pm 0,065$

$V_{Zmin} = 8,134 V$

$V_{Zmax} = 8,265 V$

#### Πρόβλημα 2γ.2



i) Υπολογίστε το ρεύμα και την ισχύ που καταναλώνεται επάνω στη δίοδο Zener καθώς και την μέγιστη απόκλιση της τάσης. Δίνεται ότι η δυναμική αντίσταση της διόδου είναι  $15\Omega$ . ( $76mA$ ,  $912mW$ ,  $11,74V$ ,  $12,26V$ )

ii) Εάν η αντίσταση πάρει τη μισή τιμή και η δυναμική αντίσταση γίνει  $50\Omega$  προσδιορίστε το ακόλουθα: α) τη μέγιστη και ελάχιστη τιμή του ρεύματος. ( $182mA$ ,  $118mA$ ) β) την ισχύ που

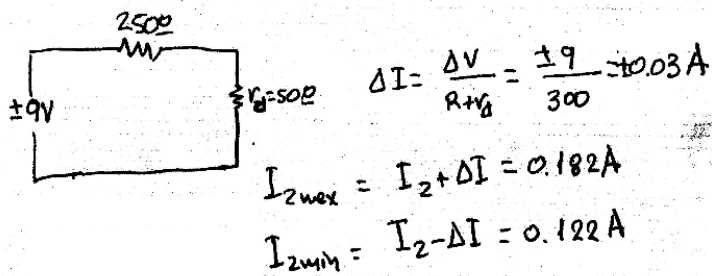
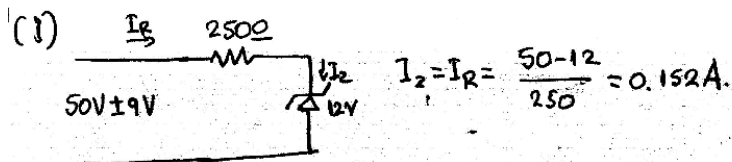
ξοδεύεται επάνω στη δίοδο (1,824W) γ) τη μέγιστη και ελάχιστη τιμή της τάσης zener. (13,5V, 11,35V) δ) τη μέγιστη και ελάχιστη τιμή της ισχύος επάνω στη δίοδος zener. (2,46W, 1,36W)

$$I_2 = I_R = \frac{50 - 12}{500} = 76 \mu\text{A}$$

$$P_2 = V_2 \cdot I_2 = 0,912 \text{ W}$$

$$\Delta V_2 = \frac{\Delta V_{in} \cdot R_2}{R_2 + R} \Rightarrow \Delta V_2 = \frac{\pm 9 \cdot 15}{515} = 0,262 \text{ Volt}$$

$$V_{2\text{max}} = 12,262 \text{ V}$$



(ii)  $P_2 = V_2 \cdot I_2 = 12 \cdot 0,152 = 1,824 \text{ W}$

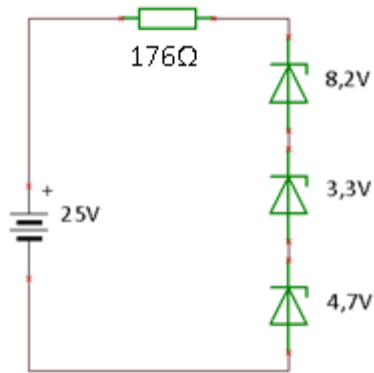
(iii)  $\Delta V_2 = \frac{19 \cdot 50}{300} = \pm 3,167 \text{ V}$

$V_{\text{max}} = 13,5 \text{ V}, V_{\text{min}} = 10,5 \text{ V}$

$P_{2\text{max}} = V_{\text{max}} \cdot I_{2\text{max}} = 13,5 \cdot 0,182 = 2,46 \text{ W}$

$P_{2\text{min}} = V_{\text{min}} \cdot I_{2\text{min}} = 10,5 \cdot 0,122 = 1,28 \text{ W}$

Πρόβλημα 2γ.3



α) Προσδιορίστε το ρεύμα που διαρρέει το κύκλωμα. (50mA). β) Υπολογίστε τον διαφορικό συντελεστή θερμοκρασίας των διόδων που υπάρχουν μέσα στο κύκλωμα όταν οι συντελεστές θερμοκρασίας της κάθε διόδου χωριστά είναι οι ακόλουθοι: (1,1mV/°C)

Zener 8,2V	2,2mV/°C
Zener 4,7V	-1,8mV/°C
Zener 3,3V	-1,5mV/°C

Προσδιορίστε την ενεργό μεταβολή στην τάση εξόδου όταν η θερμοκρασία λειτουργίας μεταβληθεί κατά 50 βαθμούς Κελσίου. (±55mV)

$$1. \quad i) \quad I = \frac{25 - 8,2 - 3,3 - 4,7}{176} = 50 \text{mA}$$

$$ii) \quad \begin{aligned} t_{c1} &= 2,2 = \frac{\Delta V_{z1}}{\Delta T} \Rightarrow \Delta V_{z1} = t_{c1} \cdot \Delta T \\ t_{c2} &= -1,8 = \frac{\Delta V_{z2}}{\Delta T} \Rightarrow \Delta V_{z2} = t_{c2} \cdot \Delta T \\ t_{c3} &= -1,5 = \frac{\Delta V_{z3}}{\Delta T} \Rightarrow \Delta V_{z3} = t_{c3} \cdot \Delta T \end{aligned} \quad \left. \begin{array}{l} \text{For. the} \\ \text{same } \Delta T \end{array} \right\}$$

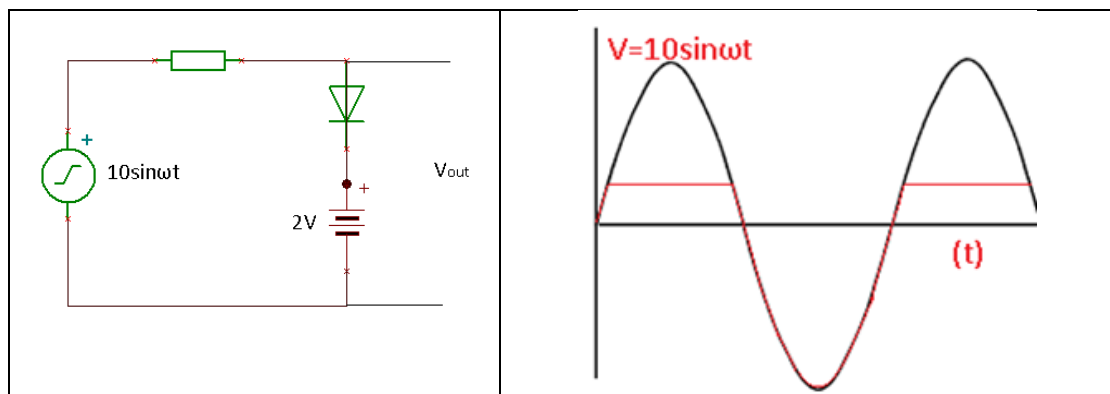
$$\Rightarrow \Delta V_z = (t_{c1} + t_{c2} + t_{c3}) \cdot \Delta T = 0$$

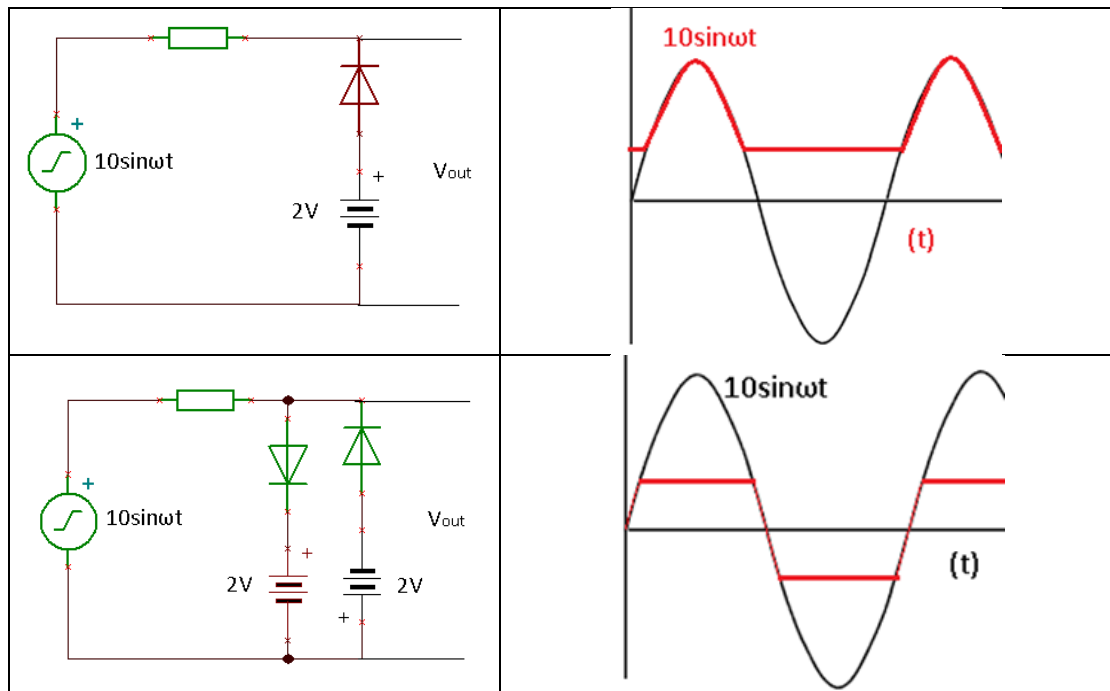
$$\frac{\Delta V_z}{\Delta T} = t_c = t_{c1} + t_{c2} + t_{c3} = -1,1 \text{ mV/grade}$$

$$iii) \quad \Delta V_z = t_c \cdot \Delta T = (-1,1) \cdot (\pm 50) = \pm 5,5 \text{mV}$$

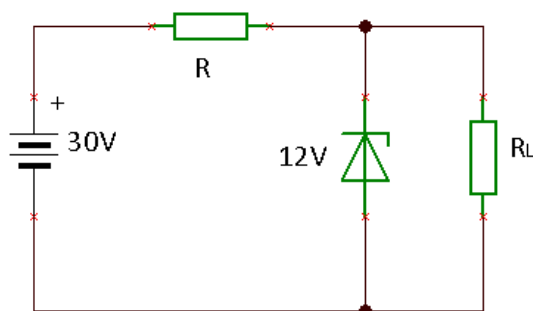
#### Πρόβλημα 2γ.4

Σχεδιάστε την κυματομορφή της εξόδου για τα ακόλουθα κυκλώματα:





### Πρόβλημα 2γ.5



i) Προσδιορίστε τις τιμές της αντίστασης  $R$  και της αντίστασης φορτίου  $R_L$  όταν  $I_z = I_L = 150\text{mA}$  ( $80\Omega$ ,  $60\Omega$ )

ii) Προσδιορίστε την ισχύ που ξοδεύεται από τη δίοδο Zener καθώς και την συνολική ισχύ που ξοδεύεται από το κύκλωμα ( $1,8\text{W}$ ,  $9\text{W}$ ). iii) Εάν η δυναμική αντίσταση της διόδου είναι  $5\Omega$ .

υπολογίστε την νέα τάση zener όταν το φορτίο είναι ένα ανοιχτό κύκλωμα.

Επαναλάβετε για την περίπτωση που η δυναμική αντίσταση zener είναι  $10\Omega$  και  $20\Omega$ .

iii) α) Εάν η τάση εισόδου μεταβάλλεται κατά  $\pm 20\%$  προσδιορίστε την αντίστοιχη μεταβολή στην τάση της διόδου zener ( $\pm 0,462\text{V}$ ,  $\pm 0,857$ ,  $\pm 1,5\text{V}$ )

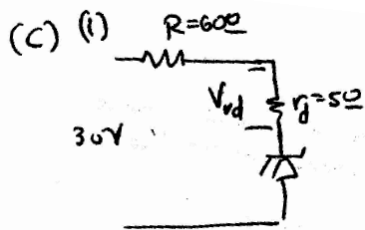
β) Περιγράψτε γιατί η δυναμική αντίσταση της διόδου zener επιδρά στην σταθερότητα της τάσης στα άκρα της διόδου.

$$(a) R = \frac{30-12}{I_2+I_L} \Rightarrow R = \frac{30-12}{0.3} \Rightarrow R = 60 \Omega$$

$$R_L = \frac{12}{I_L} = \frac{12}{0.15} = 80 \Omega$$

$$(b) (i) P_2 = V_2 \cdot I_2 = 12 \cdot 0,15 = 1,8 \text{ W}$$

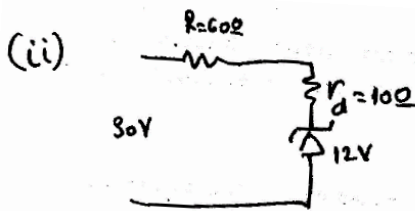
$$(ii) P_{tot} = V_m \cdot I_{1+2} = 30 \cdot 0,3 = 9 \text{ W}$$



$$I = \frac{30-12}{R+r_d} = \frac{18}{65 \Omega} = 0,277 \text{ A}$$

$$V_{r_d} = 1,38 \text{ Volt}$$

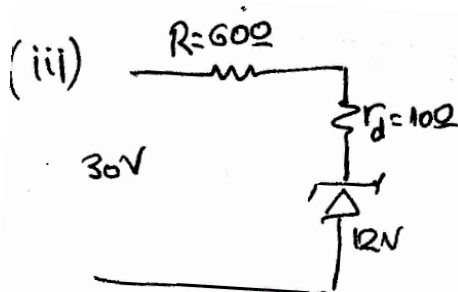
$$V_2' = V_{r_d} + 12 = 13,38 \text{ Volt}$$



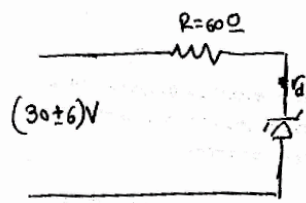
$$I = \frac{30-12}{60+10} = \frac{18}{70} = 0,26$$

$$V_{r_d} = I \cdot r_d = 0,26 \cdot 10 = 2,6$$

$$V_2'' = V_{r_d} + 12 = 14,57 \text{ V}$$



$$V_2''' = 16,5 \text{ Volt}$$



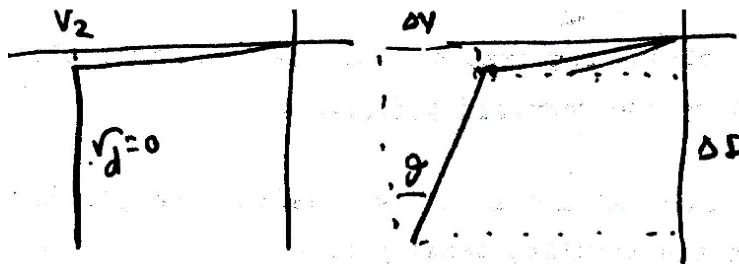
$$\Delta V_Z = \frac{\Delta V_{i_1} \cdot V_Z}{-R + V_Z} \approx 0$$

$$\Delta V_Z = \frac{\pm 6 \cdot 5}{65} = \pm 0,462 \text{ V}$$

$$\Delta V_Z' = \frac{\pm 6 \cdot 10}{70} = \pm 0,857 \text{ V}$$

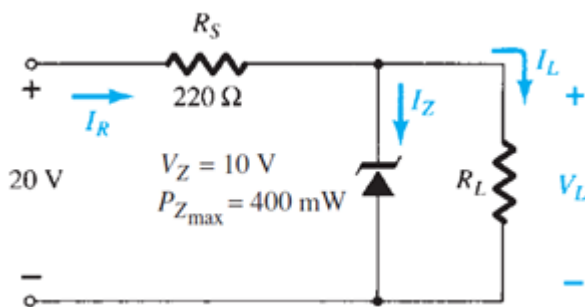
$$\Delta V_Z'' = \frac{\pm 6 \cdot 20}{80} = \pm 1,5 \text{ V}$$

Εάν η δυναμική αντίσταση της Zener είναι  $r_d=0$ , η χαρακτηριστική είναι κάθετη στον άξονα των τάσεων οπότε οποιαδήποτε μεταβολή στο ρεύμα που διαρρέει την δίοδο δεν προκαλεί μεταβολή στην τάση Zener. Η τάση Zener είναι ανεξάρτητη των μεταβολών της τάσης στην είσοδο.



Όταν η δίοδος έχει σταθερή δυναμική αντίσταση, η χαρακτηριστική δεν είναι κάθετη στον οριζόντιο άξονα. Όσο μεγαλύτερη είναι η δυναμική αντίσταση τόσο μεγαλύτερη είναι η μεταβλητότητα της τάσης Zener σε σχέση με την ονομαστική της τιμή.

### Πρόβλημα 2γ.6



α) Υπολογίστε την τάση στο φορτίο, το ρεύμα στη δίοδο Zener, το ρεύμα στην αντίσταση φορτίου και το ρεύμα στην αντίσταση  $R_S$  εάν  $R_L=180\Omega$ .

β) Επαναλάβετε τους υπολογισμούς για  $R_L=470\Omega$ .

γ) Υπολογίστε την αντίσταση φορτίου έτσι ώστε η ισχύς στη δίοδο Zener να είναι μέγιστη.

δ) Υπολογίστε την ελάχιστη τιμή της αντίστασης  $R_L$  έτσι ώστε η δίοδος Zener να λειτουργεί.

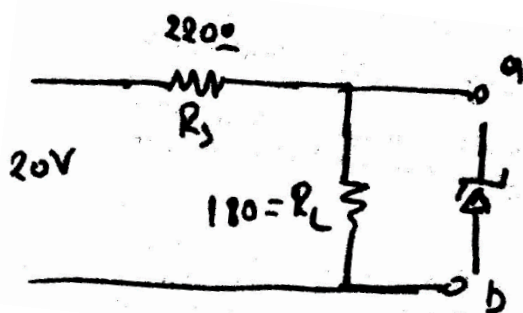
$$V_L = V_Z = 10V$$

$$I_L = \frac{V_L}{R_L} = \frac{10}{180} = 0,056 = 56\mu A$$

Kirchoff :  $20 - 10 = I_R \cdot 220 \Rightarrow I_R = \frac{10}{220} = 0,045\mu A$

strange  $I_R < I_L$

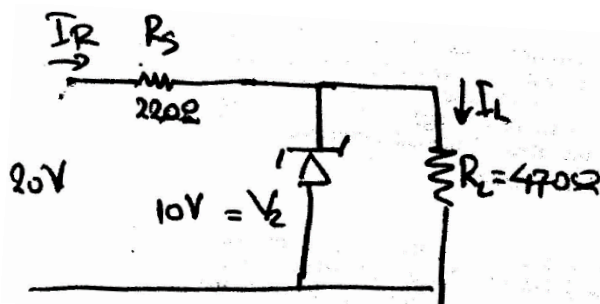
Thevenin



$$V_{ab} = 20 \cdot \frac{R_L}{R_s + R_L} = 0$$

$$V_{ab} = 20 \cdot \frac{180}{180 + 220} = 9V \quad V_{ab} < V_Z \text{ η δίοδος δεν σταθεροποιεί.}$$

β)



$$V_L = 10V$$

$$I_L = \frac{10}{470} = 0,0213A = 21\mu A$$

$$I_R = \frac{20 - 10}{220} = \frac{10}{220} = 45\mu A$$

$$I_Z = I_R - I_L = 24\mu A$$

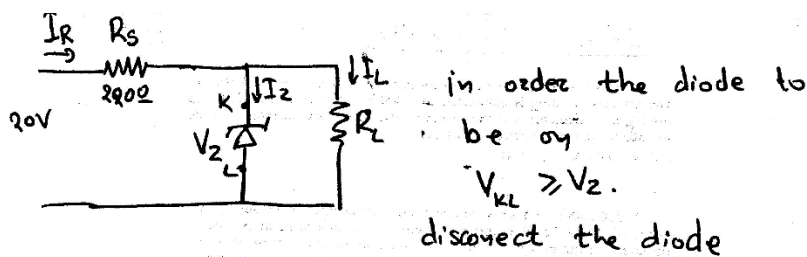
γ)

$$P_{Z_{max}} = 400 \text{ mW} \Rightarrow I_{Z_{max}} = \frac{400}{10} = 40 \text{ mA}$$

$$I_Z = I_R - I_L = 45 - \frac{V_Z}{R_L} = 40 \text{ mA} \Rightarrow$$

$$45 - 40 = \frac{10}{R_L} \Rightarrow S = \frac{10}{R_L} \Rightarrow \boxed{R_L = 2 \text{ k}\Omega}$$

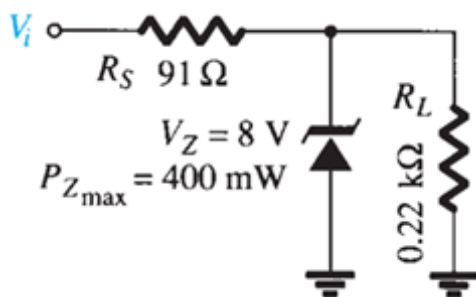
δ)



$$V_{KL} = \frac{V_{in} \cdot R_L}{R_S + R_L} \Rightarrow 10 = \frac{20 \cdot R_L}{220 + R_L} \Rightarrow$$

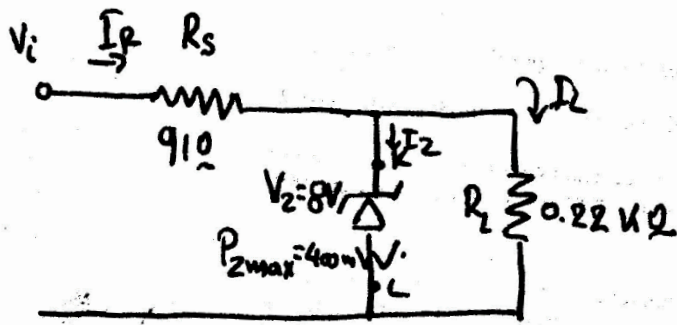
$$2200 + 10R_L = 20R_L \Rightarrow \boxed{R_L = 220 \Omega}$$

Πρόβλημα 2γ.7



Υπολογίστε την ελάχιστη και την μέγιστη τιμή της τάσης  $V_i$  για τις οποίες η δίοδος Zener θα διατηρεί στα άκρα της μια τάση ίση με 8Volt χωρίς να ξεπερνά την μέγιστη επιτρεπόμενη ισχύ.





$V_{KL} \geq V_Z$  . disconnect zener

$$V_{KL} = \frac{V_{in} \cdot R_L}{R_S + R_L} \Rightarrow$$

$$\frac{V_{in} \cdot R_L}{R_S + R_L} \geq V_Z \Rightarrow$$

$$V_{in} \geq \frac{V_Z (R_S + R_L)}{R_L} \Rightarrow V_{in \min} = \frac{8 \cdot (91 + 220)}{220} = 11.3 \text{ Volt}$$

$$I_Z \leq \frac{400}{8} = 50 \text{ mA}$$

$$I_Z = I_R - I_L$$

$$I_L = \frac{8V}{0.22} = 36.36 \text{ mA}$$

$$\frac{V_{in} - V_Z}{R_S} = I_R \Rightarrow I_R = \frac{V_{in} - 8}{91}$$

$$50 = \frac{V_{in} - 8}{91} - 36.36 \Rightarrow 86.36 = \frac{V_{in} - 8}{91} \Rightarrow$$

$$7.86 + 8 = V_{in \max}$$

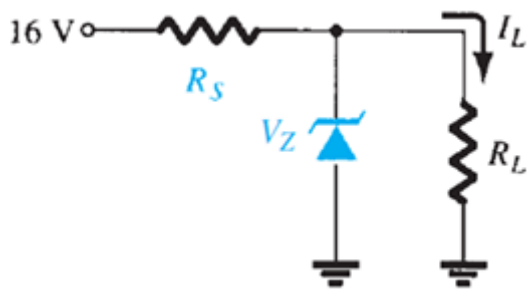
$$\Rightarrow V_{in \max} = 15.86V$$

$$\Rightarrow I_{Z \max} = 50 \text{ mA}$$

$$I_{Z \max} \Leftrightarrow I_R = \max$$

$$\Leftrightarrow V_{in} = \max.$$

Πρόβλημα 2γ.8



α) Σχεδιάστε το διπλανό κύκλωμα έτσι ώστε να διατηρείται στο άκρο του φορτίου μια τάση ίση με 12Volt για μεταβολές του φορτίου από 0mA έως 200mA. β) Υπολογίστε την μέγιστη ισχύ στη δίοδο Zener.

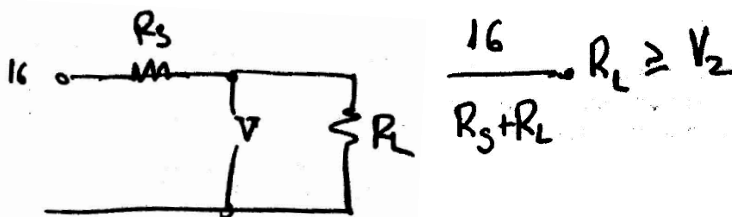
α)

$I_L$  varies between 0A and 200A

$$V_L = V_Z = 12V$$

$$R_L = \frac{V_L}{I_L} \Rightarrow R_{Lmin} = \frac{V_L}{I_{Lmax}} \Rightarrow R_{Lmin} = \frac{12V}{200mA} = 60\Omega$$

Για να σταθεροποιεί η Zener θα πρέπει  $V > V_Z$



$$16 \cdot R_L \geq R_S \cdot V_Z + R_L \cdot V_Z \Rightarrow$$

$$R_L (16 - V_Z) \geq R_S V_Z \Rightarrow \frac{R_L (16 - V_Z)}{V_Z} \geq R_S$$

$$R_{Smax} = \frac{R_L (16 - V_Z)}{V_Z} \Rightarrow$$

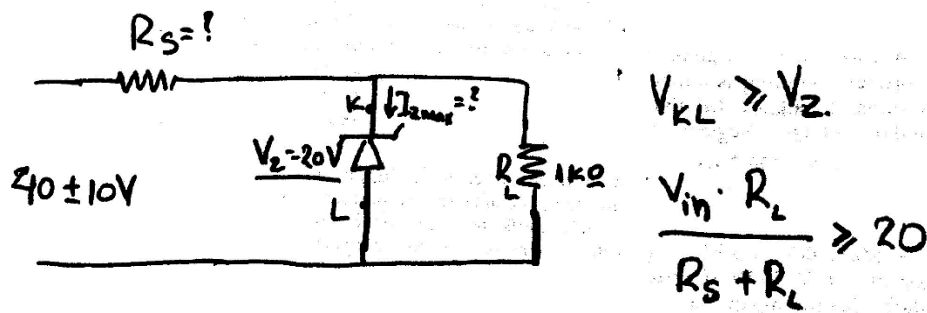
$$R_S = \frac{60 \cdot (16 - 12)}{12} = 20\Omega$$

$$P_{Z_{max}} = V_Z \cdot I_{Z_{max}} \stackrel{I_L=0}{=} V_Z \cdot 200\mu A = 2,4 W$$

$$16 \cdot 12 = I_R \cdot R_S \Rightarrow \frac{4}{20} = I_R \Rightarrow \boxed{I_R = 0,2 A}$$

Πρόβλημα 2γ.9

Σχεδιάστε ένα κύκλωμα σταθεροποίησης τάσης το οποίο θα διατηρεί τάση 20Volt στα άκρα φορτίου 1kΩ, όταν η τάση στην είσοδο μεταβάλλεται μεταξύ 30 και 50Volt. (Υπολογίστε την μέγιστη τιμή της αντίστασης  $R_S$  και το μέγιστο ρεύμα μέσα από την δίοδο Zener)



$$V_{in} = 30V \Rightarrow \frac{30 \cdot 1}{1 + R_S} \geq 20 \Rightarrow$$

$$30 \geq 20 + 20R_S \Rightarrow \frac{10}{20} \geq R_S \Rightarrow R_S \leq 0,5 k\Omega$$

$$\therefore \boxed{R_{S_{max}} = 500 \Omega}$$

$$V_{in} = 50V \Rightarrow \frac{50 \cdot 1}{1 + R_S} \geq 20 \Rightarrow$$

$$50 \geq 20 + 20R_S \Rightarrow 30 \geq 20R_S \Rightarrow R_S \leq \frac{3}{2}$$

$$R_S \leq 1,5 k\Omega \Rightarrow \boxed{R_{S_{max}} = 1,5 k\Omega}$$

$$\text{Hence } \boxed{R_{S_{max}} = 500 \Omega}$$

$$I_2 = I_R - I_L$$

$$I_L = \frac{20}{1} = 20 \text{ mA}$$

$$I_R = \frac{V_{in} - 20}{R_S}$$

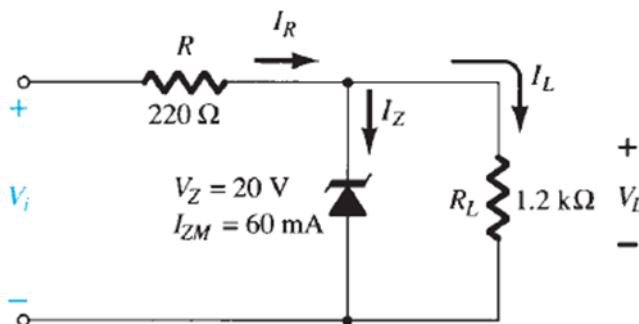
$$\Rightarrow I_2 = \frac{V_{in} - 20}{R_S} - 20$$

For  $V_{in} = 30 \text{ V} \rightarrow I_2 = \frac{10}{0.5} - 20 = 0 \text{ A}$

For  $V_{in} = 50 \text{ V} \rightarrow I_2 = \frac{30}{0.5} - 20 = 40 \text{ mA}$   
 max  
 for  $R_S = 500 \Omega$

### Ομάδα Β

Πρόβλημα 2γ.10



Προσδιορίστε το εύρος τιμών της τάσης  $V_i$  έτσι ώστε η δίοδος Zener να σταθεροποιεί.

Across the diode  $V \geq V_Z \Leftrightarrow$

$$\frac{V_{in} \cdot R_L}{R + R_L} \geq V_Z \Rightarrow V_{in} \geq \frac{(R + R_L) V_Z}{R_L} \Rightarrow$$

$$V_{in \min} = \frac{(R + R_L) V_Z}{R_L} = 23,67 \text{ V}$$

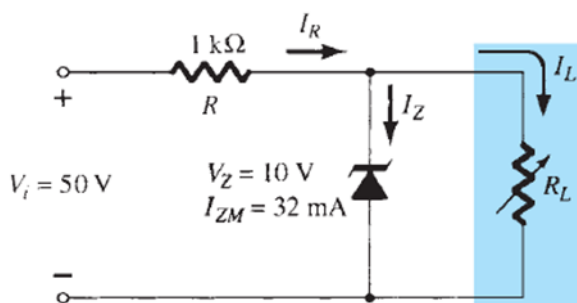
$$I_L = \frac{V_L}{R_L} = \frac{20}{1,2} = 16,7 \text{ mA}, \quad I_{R_{max}} = I_L + I_{ZM} = 76,7 \text{ mA}$$

$$V_i = V_R + V_L \Rightarrow V_{i_{max}} = V_{R_{max}} + V_L = 0$$

$$V_{i_{max}} = I_{R_{max}} \cdot R + V_Z = 76,7 \cdot 220 + 20 = 36,87 \text{ V}$$

$$23,67 \text{ V} \leq V_L \leq 36,87$$

Πρόβλημα 2γ.11



α) Για το διπλανό κύκλωμα προσδιορίστε το εύρος τιμών των  $R_L$  και  $I_L$  έτσι ώστε η τάση στο φορτίο να είναι 10Volt. β) Υπολογίστε την μέγιστη ισχύ που καταναλώνεται στην διάοδο Zener.

Η διαφορά δυναμικού στα άκρα της διόδου πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την τάση σταθεροποίησης που είναι 10V

$$V_L \geq 10 \text{ V} \Leftrightarrow \frac{V_i \cdot R_L}{R + R_L} \geq 10 \Rightarrow V_i R_L \geq 10(R + R_L)$$

$$V_i R_L - 10 R_L \geq 10 R \Rightarrow R_L \geq \frac{10 R}{(V_i - 10)}$$

$$R_L \geq \frac{10 \cdot 1}{50 - 10} = 250 \Omega$$

$$R_{L\min} = 250 \Omega$$

$$V_R = V_i - V_z = 50 - 10 = 40 \text{ V.}$$

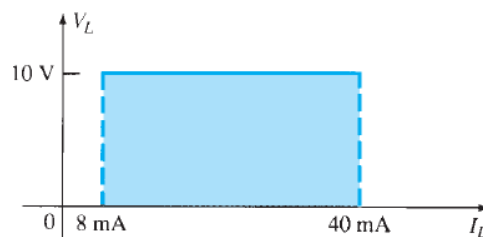
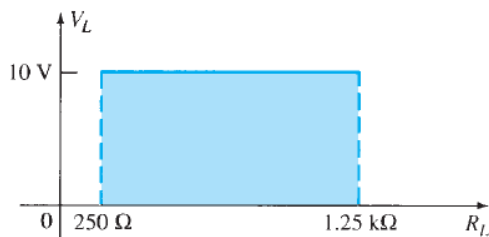
$$I_R = \frac{V_R}{R} = 40 \text{ mA.}$$

$$I_L = I_R - I_z \Rightarrow I_{L\min} = I_R - I_{z\max}$$

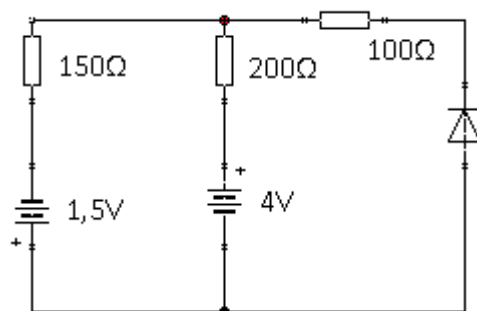
$$I_{L\min} = 40 - 32 = 8 \text{ mA}$$

$$R_{L\max} = \frac{V_z}{I_{L\min}} = \frac{10 \text{ V}}{8 \text{ mA}} = 1,25 \text{ k}\Omega$$

$$250 \Omega \leq R_L \leq 1250 \Omega$$



### Πρόβλημα 2γ.12



Εξετάστε εάν η διάδος στο διπλανό κύκλωμα είναι ορθά ή ανάστροφα πολωμένη. Χρησιμοποιείστε την χαρακτηριστική του προβλήματος 2 για να βρείτε το ρεύμα και την τάση λειτουργίας.

Αποσυνδέουμε την διάοδο και υπολογίζουμε το ισοδύναμο κύκλωμα Thevenin στα άκρα a, b.

$$1.5 + 4 = I \cdot 350 \approx 0$$

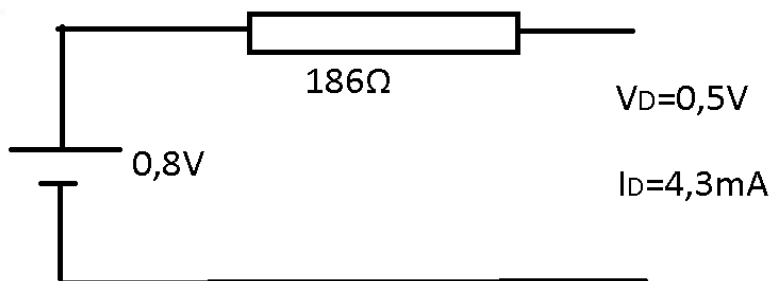
$$V_{Th} = 0,8 \text{ Volt}$$

$$I = 0,016 \text{ A}$$

Υπολογισμός της  $r_{Th}$

$$V_{ab} = 4 - V_R = 4 - 0,016 \cdot 250 = 98 \text{ V.}$$

$$\frac{150 \cdot 250}{150 + 250} + 150 = 186 \Omega.$$

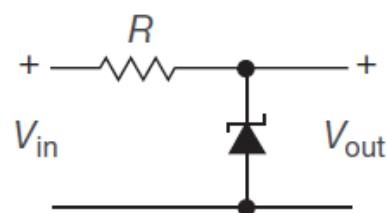


### Πρόβλημα 2γ.13

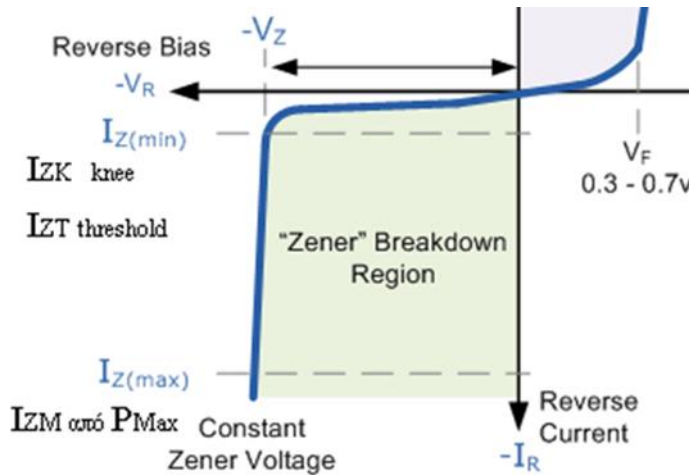
α) Εξηγήστε με τη βοήθεια της κατάλληλης γραφικής παράστασης το νόημα της δυναμικής αντίστασης μίας διόδου Zener.

β) Η πηγή τάσης  $V_{in}$  στο διπλανό κύκλωμα δίνει συνεχή αλλά μεταβαλλόμενη τάση, η οποία μεταβάλλεται από μία ελάχιστη τιμή  $V_1$  μέχρι μία μέγιστη τιμή  $V_2$ . Η δυναμική αντίσταση της διόδου Zener είναι  $r_d$ . Αποδείξτε ότι η μεταβολή της τάσης στα άκρα της διόδου Zener δίνεται από τη σχέση:

$$\Delta V_Z = (V_2 - V_1) \frac{r_d}{r_d + R}$$

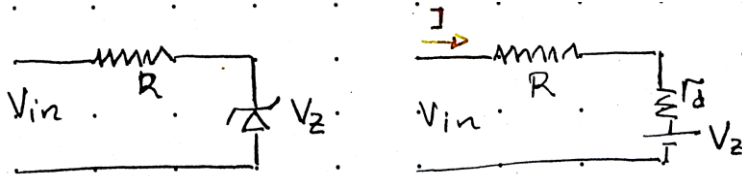


α) Εάν η χαρακτηριστική είναι κάθετη στον άξονα των τάσεων τότε οι μεταβολές στο ρεύμα που διαρρέει την δίοδο Zener δεν προκαλούν μεταβολές στη τάση Zener. Εάν για παράδειγμα  $r_d = 5\Omega$  τότε μία μεταβολή 20mA στο ρεύμα θα προκαλεί μεταβολή στην τάση ίση με  $5 \times 20 = 100 \text{ mV}$ . Όταν η τάση που εφαρμόζεται παρουσιάζει κυμάτωση, τότε μεταβάλλεται και το ρεύμα μέσα από την δίοδο οπότε αλλάζει και η τάση σταθεροποίησης. Πρέπει όμως να σημειωθεί ότι η κυμάτωση μετά την Zener



είναι της τάξης των μερικών mV, οπότε είναι πολύ καλύτερη από την κυμάτωση που προκύπτει από ένα κύκλωμα ανόρθωσης με πυκνωτή.

β) Μπορούμε να αναπαραστήσουμε την Ζενερ με μια πηγή τάσης και την δυναμική αντίσταση συνδεδεμένα σε σειρά.



Kirchhoff:  $V_{in} - V_Z = I(R + r_d) \Rightarrow I = \frac{V_{in} - V_Z}{R + r_d}$

Αφού η μεταβολή των τάσεων Ζενερ έχει πέραση επάνω στην  $r_d$  μπορούμε να πούμε ότι η μεταβολή του ρεύματος  $I$  θα είναι:

$\Delta I = \frac{\Delta V_{in}}{R + r_d}$  και θα προμαλεί μια πτώση τάσης επάνω στην  $r_d$  που θα είναι  $\Delta V_Z = \Delta V_{in} \frac{r_d}{R + r_d}$

Πρόβλημα 2γ.14

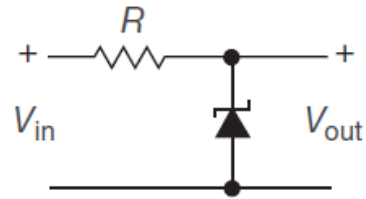
Αποδείξτε τη σχέση της κυμάτωσης σε κύκλωμα πλήρους ανόρθωσης  $\Delta V = \frac{I_{LOAD}}{2f \cdot C}$ .

Εξηγήστε με κάθε λεπτομέρεια τι πληροφορία δίνει. Σχεδιάστε το κύκλωμα το οποίο αφορά.



Πρόβλημα 2γ.15

Στο διπλανό κύκλωμα η τάση  $V_{in}$  μεταβάλλεται μεταξύ 10V και 14V. Η ονομαστική τιμή της Zener είναι 8,1V. α) Υπολογίστε την τιμή της αντίστασης έτσι ώστε το ρεύμα μέσα από την δίοδο να είναι 20mA. β) Υπολογίστε το μέγιστο και το ελάχιστο ρεύμα που διαρρέει την δίοδο Zener.



γ) Εάν η δυναμική αντίσταση της διόδου Zener είναι  $7\Omega$  υπολογίστε την μέγιστη και την ελάχιστη τάση στα άκρα της Zener δ) Υπολογίστε την μέγιστη και την ελάχιστη τιμή της ισχύος επάνω στη δίοδο Zener.

$I_z = 20\text{mA}$   $R$   
 $10-14\text{V}$

α). Η μέγιστη τιμή της εφαρμοζόμενης τάσης είναι  $V_{in} = 14\text{V}$ .

$$R = \frac{14 - 8,1}{20\text{mA}} = \frac{5,9\text{V}}{20\text{mA}} = 295\Omega$$

β) Η δίοδος διαρρέεται από το ελάχιστο (μέγιστο) ρεύμα όταν η  $V_{in}$  είναι ελάχιστη (μέγιστη).

$$V_{in\text{min}} - V_Z = I_{\text{min}} \cdot R \Rightarrow I_{\text{min}} = \frac{V_{in\text{min}} - V_Z}{R} = \frac{10 - 8,1}{195} = 9,74\text{mA}$$

$$I_{\text{max}} = \frac{V_{in\text{max}} - V_Z}{R} = \frac{14 - 8,1}{195} = 30,26\text{mA}$$

γ)  $\Delta V_Z = \Delta V_{in} \frac{r_d}{R + r_d} = \pm 2 \cdot \frac{7}{195 + 7} = \pm \frac{14}{202} = \pm 70\text{mV}$

δ)  $P_{\text{min}} = V_Z \cdot I_{\text{min}} = 78,90\text{mW}$   
 $P_{\text{max}} = V_Z \cdot I_{\text{max}} = 245,11\text{mW}$

Πρόβλημα 2γ.16

Σχεδιάστε ένα τροφοδοτικό που θα μετατρέπει την τάση του δικτύου σε συνεχή τάση 12V, 2Amp. Το τροφοδοτικό να έχει μία ασφάλεια στο πρωτεύον του μετασχηματιστή και ένα LED που θα ανάβει όταν το τροφοδοτικό λειτουργεί. Θα πρέπει να υπολογίσετε:

- α) Τον λόγο μετασχηματισμού και την ισχύ του μετασχηματιστή
- β) Το μέγιστο ρεύμα και τάση της γέφυρας διόδων (κύκλωμα ανόρθωσης)
- γ) Την χωρητικότητα και την επιτρεπόμενη τάση του πυκνωτή εξομάλυνσης. Υπολογίστε την κυμάτωση της τάσης μετά τον πυκνωτή.
- δ) Επιλέξτε την Zener σταθεροποίησης. Εάν θέλετε μπορείτε να χρησιμοποιήσετε ένα voltage regulator αντί για δίοδο Zener.

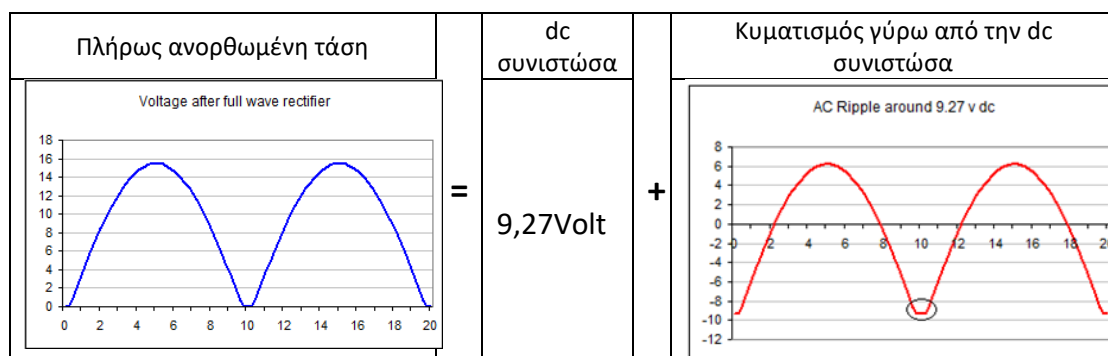
Θα πρέπει να εξηγήσετε τις επιλογές σας.

Λύση:

Ένα τροφοδοτικό περιλαμβάνει τον μετασχηματιστή, το κύκλωμα ανόρθωσης, το κύκλωμα εξομάλυνσης και τον σταθεροποιητή τάσης. Ο μετασχηματιστής μετατρέπει την τάση του δικτύου σε μία πιο βολική εναλλασσόμενη τάση. Ο ανορθωτής μετατρέπει την εναλλασσόμενη τάση σε συνεχή μεταβαλλόμενη τάση. Ο πυκνωτής μειώνει την κυμάτωση του μεταβαλλόμενου σήματος. Τέλος ο ρυθμιστής τάσης αποκαθιστά την απαιτούμενη σταθερή τάση με πολύ μικρή κυμάτωση.

Ο μετασχηματιστής και το κύκλωμα Ανόρθωσης.

Το κύκλωμα ανόρθωσης αποτελείται από μία γέφυρα 4 διόδων. Κάθε διάδος πυριτίου προκαλεί στα άκρα της μία πτώση δυναμικού ίση με 0,7V. Κατά την ανόρθωση κάθε ημιπερίοδος της εναλλασσόμενης τάσης περνάει από δύο διόδους κατά συνέπεια περιμένουμε ότι μετά τον ανορθωτή θα υπάρχει μία μείωση του πλάτους ίση με 2Volt περίπου. Ο μετασχηματιστής παρουσιάζει απώλειες στον πυρήνα και την περιέλιξη. Όταν ένας μετασχηματιστής αναγράφει «220V:12V, 2A» δίνει 12V rms στην έξοδο όταν το φορτίο είναι 2Amp. Αν ο μετασχηματιστής δουλεύει χωρίς φορτίο η τάση στην έξοδο θα είναι μεγαλύτερη. Επιπλέον η τιμή 12V του μετασχηματιστή αναφέρεται στην ενεργό τιμή της τάσης και όχι στο πλάτος. Αυτό σημαίνει ότι το πλάτος της εξόδου του μετασχηματιστή θα είναι  $12 \cdot 1,41 = 16,92\text{Volt}$ . Η εναλλασσόμενη τάση του μετασχηματιστή εισέρχεται στη συνέχεια στη γέφυρα ανόρθωσης. Το κύκλωμα ανόρθωσης γυρίζει ανάποδα τις αρνητικές ημιπεριόδους της τάσης και μειώνει το πλάτος της ανορθωμένης τάσης κατά  $2 \cdot 0,7 = 1,4\text{V}$ . Έτσι μετά το κύκλωμα ανόρθωσης το δυναμικό έχει τη μορφή ενός πλήρως ανορθωμένου σήματος με πλάτος λίγο μεγαλύτερο από 15,6Volt.



Σχήμα 2γ.16: Η πλήρως ανορθωμένη τάση στα αριστερά (μπλε γραμμή), μπορεί να θεωρηθεί σαν μία κυμάτωση γύρω από το μηδέν (δεξιά, κόκκινη γραμμή), η οποία έχει μετατοπιστεί προς τα επάνω κατά μία ποσότητα ίση με την dc συνιστώσα. Με μαύρη γραμμή έχει κυκλωθεί μέρος του διαγράμματος για το οποίο οι διόδοι δεν άγουν.

Η dc συνιστώσα ενός ημι-ανορθωμένου σήματος είναι  $0,318 \cdot V_{\max}$  ενώ η dc συνιστώσα ενός πλήρως ανορθωμένου σήματος είναι  $0,636 \cdot V_{\max}$  ( $0,636 = 2/\pi$ ). Στο συγκεκριμένο πρόβλημα η dc συνιστώσα της ανορθωμένης τάσης είναι 9,27Volt.

Εάν θέλουμε να φτιάξουμε ένα τροφοδοτικό που θα φορτίζει μία μπαταρία αυτοκινήτου με συνεχή τάση 12V, 2A τότε ένα απλό κύκλωμα που αποτελείται από

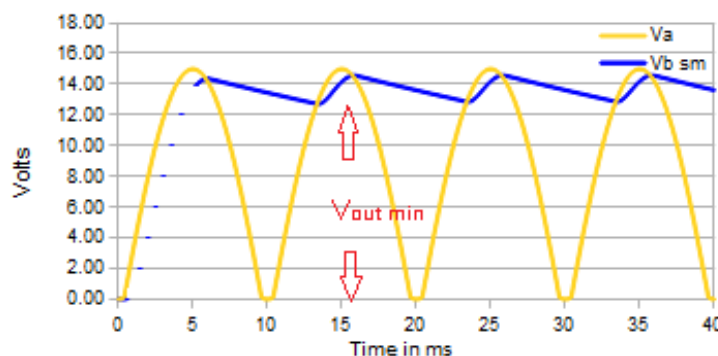
ένα μετασχηματιστή και μία γέφυρα ανόρθωσης είναι αρκετό. Η κυμάτωση που παρουσιάζει αυτό το απλό κύκλωμα δεν δημιουργεί πρόβλημα στην φόρτιση της μπαταρίας. Η συνολική ισχύς του μετασχηματιστή θα πρέπει να είναι  $12 \cdot 2 = 24W$ . Για το σκοπό αυτό μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ένα μετασχηματιστή του εμπορίου στα 12volt με μέγιστη ισχύ 48watt. Για άλλες εφαρμογές η κυμάτωση αποτελεί πρόβλημα γι' αυτό το κύκλωμα θα πρέπει να περιλαμβάνει εξομάλυνση με ένα κατάλληλο πυκνωτή και σταθεροποίηση με δίοδο Zener.

Ο πυκνωτής εξομάλυνσης υπολογίζεται με βάση την κύματος ή τις στάσεις. Στο συγκεκριμένο πρόβλημα και δεν μας έχουν δώσει κάποια επιθυμητή κυμάτωση όμως εάν θέλουμε σταθερή τάση να είναι 12 volt είναι λογικό στην προκειμένη περίπτωση να δεχθούμε μία κυμάτωση μικρότερη ή ίση με 1volt peak to peak. Η κυμάτωση υπολογίζεται με βάση την εξίσωση:

$$V_{Ripple} = \frac{I_{Load}}{4fC}, \text{ όπου } f \text{ είναι η συχνότητα της εναλλασσόμενης τάσης (50Hz στην}$$

$$\text{προκειμένη περίπτωση)}. C = \frac{I_{Load}}{4fV_{Ripple}} = \frac{2}{4 \cdot 50 \cdot 1} = 10mF. \text{ Η κυμάτωση της τάσης}$$

εξαρτάται επίσης από την εσωτερική αντίσταση του μετασχηματιστή. Όσο μικρότερη είναι η αντίσταση τόσο μικρότερη είναι η κυμάτωση.



Το διάγραμμα δείχνει την ανορθωμένη τάση (κίτρινη γραμμή) και την τάση μετά τον πυκνωτή (μπλε γραμμή).  $V_{out \min}$  είναι η ελάχιστη τιμή της ανορθωμένης τάσης μετά την εξομάλυνση. Η τάση αυτή πρέπει να είναι αρκούτσως μεγάλη ώστε να μπορεί να σταθεροποιεί η δίοδος Zener που θα ακολουθεί. Δεξιά φαίνεται ένας πυκνωτής εξομάλυνσης του εμπορίου με τιμή 22mF.

Η κυμάτωση πρέπει να είναι τόσο ώστε το  $V_{out \min}$  να είναι μεγαλύτερο από την επιθυμητή τάση (12Volt στην προκειμένη περίπτωση) έτσι ώστε να μπορεί να σταθεροποιεί η δίοδος Zener που ακολουθεί. Προφανώς μετά τον πυκνωτή θα ακολουθήσει μία δίοδος Zener με τάση λειτουργίας ίση με την επιθυμητή τάση. Για να λειτουργεί σωστά η Zener θα πρέπει η τάση μετά τον πυκνωτή να είναι μεγαλύτερη από 12V. Επομένως, εάν το πλάτος της ανορθωμένης τάσης είναι 17V θα υπάρχει ένα περιθώριο κυμάτωσης  $2Vp-p$  γιατί τότε το  $V_{out \min}$  θα είναι  $17-2=15V$ , η οποία είναι αρκετή ώστε να σταθεροποιεί η Zener. Στην προκειμένη περίπτωση, η τάση μετά την πλήρη ανόρθωση είναι 15,6Volt οπότε μία κυμάτωση  $2Vp-p$  θα βάζει σε κίνδυνο την σταθεροποίηση με Zener αφού η  $V_{out \min}$  θα είναι  $15,6-2=13,6Volt$ .

Χρησιμοποιώντας τον πυκνωτή 22mF η κυμάτωση θα είναι

$$V_{Ripple} = \frac{I_{Load}}{4fC} = \frac{2}{4 \cdot 50 \cdot 22 \cdot 10^{-3}} = 0,45Volt \quad \text{και} \quad V_{out\_min} = 15,6 - 0,45 = 15,1Volt.$$

Ο πυκνωτής 22mF επιφέρει μία μικρή κυμάτωση αλλά έχει μεγαλύτερο κόστος.

Πρακτικοί κανόνες:

1. Όταν θέλουμε συνεχή τάση 12V θα επιλέξουμε ένα μετασχηματιστή που θα μας δίνει 12V rms δηλ.  $12 \cdot 1,41 = 17Volt$  πλάτος. Σε ότι αφορά την ισχύ του μετασχηματιστή αυτή πρέπει να είναι μεγαλύτερη από  $12V \cdot 2A = 24Watt$ . Πόσο μεγαλύτερη; Ας πούμε κατά ένα παράγοντα 1,25. Οπότε ο μετασχηματιστής που θα διαλέξουμε θα είναι 220:12V, στα 30Watt

2. Σε ότι αφορά την γέφυρα ανόρθωσης η σημαντικότερη παράμετρος είναι το ρεύμα. Στα specification sheets αυτό αναφέρεται σαν average forward current δηλαδή μέσο ρεύμα ορθής πόλωσης. Στην προκειμένη περίπτωση το τροφοδοτικό θέλουμε να δίνει ρεύμα 2 Αμπέρ και για το λόγο αυτό θα επιλέξουμε μία γέφυρα η οποία θα έχει μέσο ρεύματος ορθής πόλωσης ίσο με  $2 \cdot 2A = 4A$ . Σε ότι αφορά την μέγιστη επιτρεπόμενη τάση αναστροφής πόλωσης (PIV) αυτή συνήθως είναι της τάξης των μερικών εκατοντάδων Volt. Σαν πρακτικό κανόνα όμως κάνεις θα πρέπει να επιλέγει  $PIV = 3 \cdot V_{out} = 36Volt$ .

3. Ο πυκνωτής σταθεροποίησης θα πρέπει να έχει αρκετά μεγάλη τιμή έτσι ώστε η

MCC Part Number	Device Marking	Maximum Recurrent Peak Reverse Voltage	Maximum RMS Voltage	Maximum DC Blocking Voltage
GBU4JL	GBU4JL	600V	420V	600V
GBU4KL	GBU4KL	800V	560V	800V

κυμάτωση που θα δημιουργείται να κρατάει την τάση σε ένα αρκετά υψηλό επίπεδο με σκοπό να ξεπερνάει σε ικανοποιητικό

**Electrical Characteristics @ 25°C Unless Otherwise Specified**

Average Forward Current	$I_{F(AV)}$	4A	$T_C = 108^\circ C$
Peak Forward Surge Current	$I_{FSM}$	150A	8.3ms, Half Sine
Maximum Instantaneous Forward Voltage	$V_F$	0.89V 0.90V	$I_{FM} = 2A; T_A = 25^\circ C$ $I_{FM} = 4A; T_A = 25^\circ C$
Maximum DC Reverse Current At Rated DC Blocking Voltage	$I_R$	10μA	$T_A = 25^\circ C$
Rating for fusing	$I^2t$	93A <sup>2</sup> s	1ms < t < 8.3ms

βαθμό την τιμή της διόδου Zener η οποία θα ακολουθήσει. Σαν πρακτικός κανόνας αναφέρεται  $5000\mu F \cdot I_{out}$  που στην προκειμένη περίπτωση δίνει 10mF. Σε ότι αφορά την τάση

λειτουργίας του πυκνωτή αυτή θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από  $1,5 \cdot V_{out} = 1,5 \cdot 12 = 18Volt$ .

Spec.sheet της E502650 γέφυρας ανόρθωσης

<http://www.skillbank.co.uk/psu/index.htm>