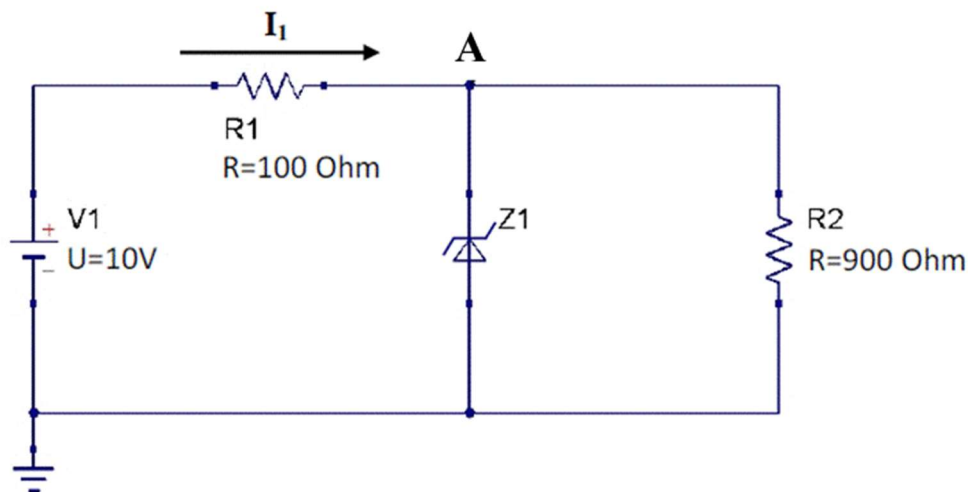




5^ο Φυλλάδιο Ασκήσεων (Δίοδος Zener)

Άσκηση 1

Να υπολογιστεί η ένταση του ρεύματος που διαρρέει τον αντιστάτη R_1 και η διαφορά δυναμικού μεταξύ των άκρων του αντιστάτη R_2 . Δίνεται ότι η τάση Zener της διόδου Z_1 είναι ίση με 5V. Η αντίσταση της διόδου στην περιοχή Zener να υποτεθεί μηδενική



Λύση

Θα υπολογίσουμε την τάση στο σημείο A, απουσία της διόδου Zener. Από τον διαιρέτη τάσης που σχηματίζουν οι αντιστάσεις R_1 και R_2 βρίσκουμε:

(Παρατήρηση! Στην βιβλιογραφία η τάση στο σημείο A, ονομάζεται και τάση thevenin διότι υπολογίζεται χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η παρουσία της διόδου Zener. Κατ' αντιστοιχία με το θεώρημα Thevenin δηλαδή.. Όποτε το κύκλωμα το επιτρέπει πρέπει να υπολογίζουμε αυτή την τάση ώστε να καταλαβαίνουμε αν η διόδος Zener λειτουργεί στην περιοχή κατάρρευσης, και άρα «παρεμβαίνει» για να σταθεροποιήσει την τάση.)

$$V_A = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_1 \Rightarrow V_A = \frac{900\Omega}{100\Omega + 900\Omega} \cdot 10V \Rightarrow V_A = \frac{900\Omega}{1000\Omega} \cdot 10V \Rightarrow V_A = 9V$$

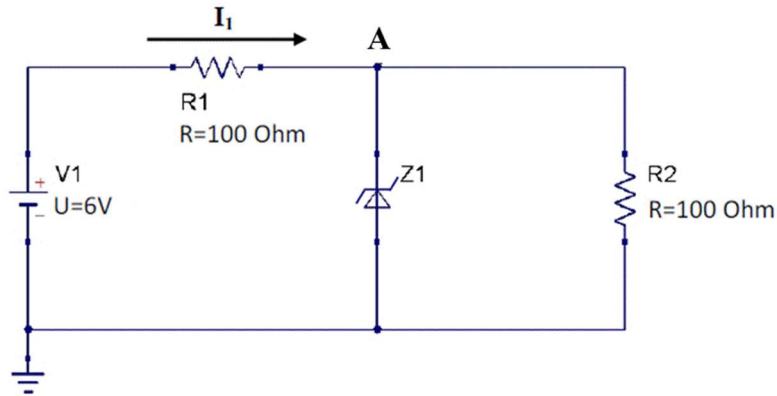
Άρα, η τάση στο σημείο A (=9V) είναι μεγαλύτερη την τάση Zener της διόδου (=5V) και επομένως η παρουσία της διόδου Zener θα επηρεάσει την κατάσταση του κυκλώματος ώστε η τάση στο σημείο A να υποβιβαστεί στα 5V. Επομένως, παρουσία της διόδου Zener θα έχουμε $V_A=5V$. Η ζητούμενη τάση στα άκρα του αντιστάτη R_2 είναι προφανώς ίση με την τάση στο σημείο A, δηλαδή 5V.

Το ρεύμα που διαρρέει τον αντιστάτη R_1 μπορεί να βρεθεί από τον νόμο του Ohm, εφαρμοζόμενο για τον αντιστάτη R_1 :

$$I_1 = \frac{V_{R1}}{R_1} \Rightarrow I_1 = \frac{V_1 - V_A}{R_1} \Rightarrow I_1 = \frac{10V - 5V}{100\Omega} \Rightarrow I_1 = \frac{5V}{100\Omega} = 50mA$$

Άσκηση 2

Να υπολογιστεί η ένταση του ρεύματος που διαρρέει τον αντιστάτη R_1 και η διαφορά δυναμικού μεταξύ των άκρων του αντιστάτη R_2 . Δίνεται ότι η τάση Zener της διόδου Z_1 είναι ίση με 5V. Η αντίσταση της διόδου στην περιοχή Zener να υποτεθεί μηδενική.

**Λύση**

Θα υπολογίσουμε την τάση στο σημείο A, απουσία της διόδου Zener. Από τον διαίρεση τάσης που σχηματίζουν οι αντιστάσεις R_1 και R_2 βρίσκουμε:

$$V_A = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_1 \Rightarrow V_A = \frac{100\Omega}{100\Omega + 100\Omega} \cdot 6V \Rightarrow V_A = \frac{100\Omega}{200\Omega} \cdot 6V \Rightarrow V_A = 3V$$

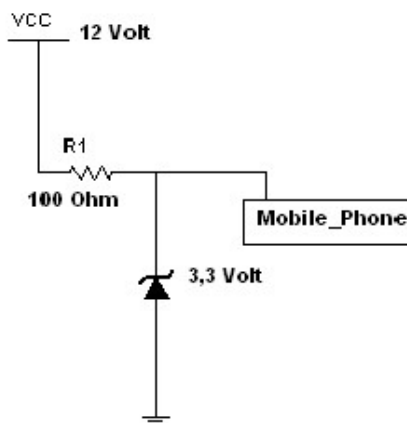
Άρα, η τάση στο σημείο A ($=3V$) είναι μικρότερη από την τάση Zener της διόδου ($=5V$) και επομένως η παρουσία της διόδου Zener δεν θα επηρεάσει την κατάσταση του κυκλώματος. Συνεπώς, παρουσία της διόδου Zener θα εξακολουθούμε να έχουμε $V_A = 3V$. Η ζητούμενη τάση στα άκρα του αντιστάτη R_2 είναι προφανώς ίση με την τάση στο σημείο A, δηλαδή 3V.

Το ρεύμα που διαρρέει τον αντιστάτη R_1 μπορεί να βρεθεί από τον νόμο του Ohm, εφαρμοζόμενο για τον αντιστάτη R_1 .

$$I_1 = \frac{V_{R1}}{R_1} \Rightarrow I_1 = \frac{V_1 - V_A}{R_1} \Rightarrow I_1 = \frac{6V - 3V}{100\Omega} \Rightarrow I_1 = \frac{3V}{100\Omega} = 30mA$$

Άσκηση 3

Φτιάξαμε το παρακάτω τροφοδοτικό για να φορτίζουμε το κινητό μας από τον αναπτήρα του αυτοκινήτου. Πόσο είναι το μέγιστο ρεύμα φόρτισης που μπορεί να δώσει; Λάβετε υπόψη ότι η τιμή της τάσης στα άκρα της διόδου είναι 3,3 Volt.

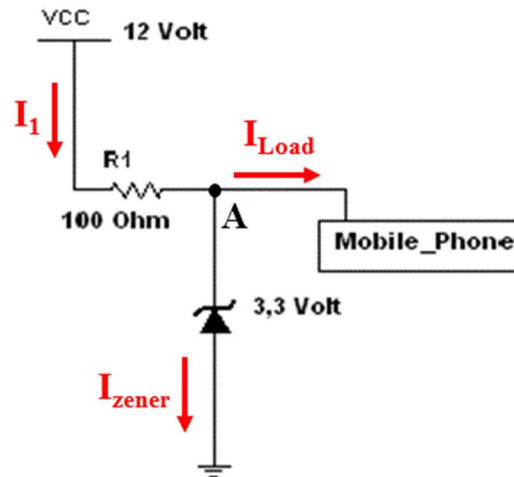


Λύση

Η άσκηση μας ζητάει την μέγιστη ένταση του ρεύματος φόρτισης I_{Load} . Από το 1^ο κΚ αλλά και όπως φαίνεται από το παρακάτω σχήμα ισχύει ότι:

1^{ος} κΚ στον κόμβο A

$$I_1 = I_{Load} + I_{zener} \Rightarrow I_{Load} = I_1 - I_{zener}$$



Άρα το ρεύμα φόρτισης γίνεται μέγιστο όταν η διόδος Zener δεν άγει ρεύμα και λειτουργεί σε αποκοπή ($I_{zener} = 0$). Δηλαδή η τάση στα άκρα της διόδου η οποία μας δίνεται από την εκφώνηση 3.3 V δεν πρέπει να ξεπερνά την χαρακτηριστική τιμή V_{zener} ώστε να μην διαρρέει ρεύμα την διόδο. Στην περίπτωση αυτή το μέγιστο ρεύμα φόρτισης θα ισούται με το ρεύμα I_1 το οποίο και μπορώ να υπολογίσω εύκολα με έναν 2^ο κΚ από την τάση V_{cc} έως την γείωση κάτω από την Zener

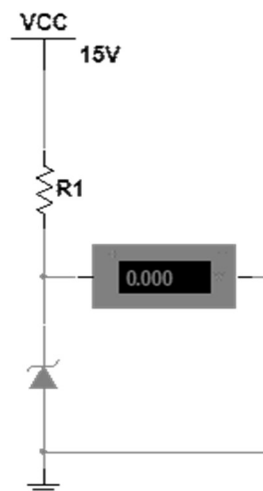
2^{ος} κΚ στον βρόχο $V_{cc} \rightarrow R_1 \rightarrow Zener \rightarrow GND$

$$V_{cc} - I_1 \cdot R_1 - V_{zener} = 0 \Rightarrow 12 - 100I_1 - 3.3V = 0$$

$$\Rightarrow 8.7V - 100I_1 = 0 \Rightarrow 100I_1 = 8.7V \Rightarrow I_{1MAX} = \frac{8.7V}{100V\Omega} = 0.087A = 87mA$$

Άσκηση 4

Για να βρούμε πειραματικά την εσωτερική αντίσταση της Zener υλοποιούμε το παρακάτω κύκλωμα. Με αντίσταση $R_1=100\ \Omega$, το βολτόμετρο έδειξε διαφορά δυναμικού 12.4 volts, ενώ με $R_2=300\ \Omega$, το βολτόμετρο έδειξε 12.3 volts. Να βρεθεί η R_z , δηλαδή η εσωτερική αντίσταση της διόδου Zener.



Λύση

Εφόσον η άσκηση μας ζητάει εσωτερική αντίσταση Zener θα πρέπει να αντιμετωπίσουμε την διόδο σε 3^η προσέγγιση. Επομένως η τάσεις που μετράει το βολτόμετρο (ένδειξη που θα την ονομάζουμε $V_{\text{βολτομετρου}}$) είναι η τάση στα άκρα της διόδου συν την πτώση τάσης λόγω εσωτερικής αντίστασης. Για να υπολογίσουμε την πτώση τάσεις λόγω εσωτερικής αντίστασης αμέσως πρέπει να καταλάβουμε ότι πρέπει να υπολογίσουμε το ρεύμα που διαρρέει το κύκλωμα σε κάθε μια από τις 2 περιπτώσεις, και να εφαρμόσουμε 2^ο κΚ.

ΠΡΟΣΟΧΗ Σημειώνουμε ξανά ότι ένα βολτόμετρο δεν επηρεάζει την ένταση του ρεύματος σε ένα κύκλωμα αφού έχει πολύ μεγάλη αντίσταση.

Για το πρώτο πείραμα 2^{ος} κΚ

$$V_{cc} - I_1 \cdot R_1 - V_{\text{βολτομετρου}} = 0 \Rightarrow 15 - 100I_1 - 12.4 = 0$$

$$\Rightarrow 2.6 = 100I_1 \Rightarrow I_1 = 0.026\text{A} = 26\text{mA}$$

Όμως

$$V_{\text{βολτομετρου}} = V_{\text{zener}} + I_1 \cdot r_{\text{zener}} \Rightarrow 12.4 = V_{\text{zener}} + 0.0026 \cdot r_{\text{zener}} \quad (1)$$

Κατά παρόμοιο τρόπο για το 2^ο πείραμα που κάνουμε αλλάζοντας την αντίσταση σε $R_2 = 300\Omega$ έχουμε:

Για το δεύτερο πείραμα 2^{ος} κΚ

$$V_{cc} - I_2 \cdot R_2 - V_{\text{βολτομετρου}} = 0 \Rightarrow 15 - 300I_2 - 12.3 = 0$$

$$\Rightarrow 2.7 = 300I_2 \Rightarrow I_2 = 0.009\text{A} = 9\text{mA}$$

και

$$V_{\text{βολτομετρου}} = V_{\text{zener}} + I_2 \cdot r_{\text{zener}} \Rightarrow 12.3 = V_{\text{zener}} + 0.009 \cdot r_{\text{zener}} \quad (2)$$

$$\stackrel{(1)}{(2)} \Rightarrow 12.3 = (12.4 - 0.0026 \cdot r_{\text{zener}}) + 0.009 \cdot r_{\text{zener}} \Rightarrow$$

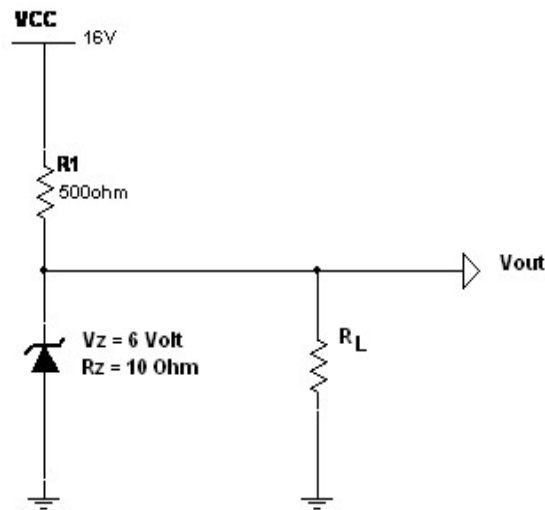
$$\Rightarrow 12.4 - 12.3 - 0.0026 \cdot r_{\text{zener}} + 0.009 \cdot r_{\text{zener}} = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 0.1 - 0.017 \cdot r_{\text{zener}} = 0 \Rightarrow 0.017 \cdot r_{\text{zener}} = 0.1$$

$$\Rightarrow r_{\text{zener}} = \frac{0.1}{0.017} = 5.88\Omega$$

Άσκηση 5

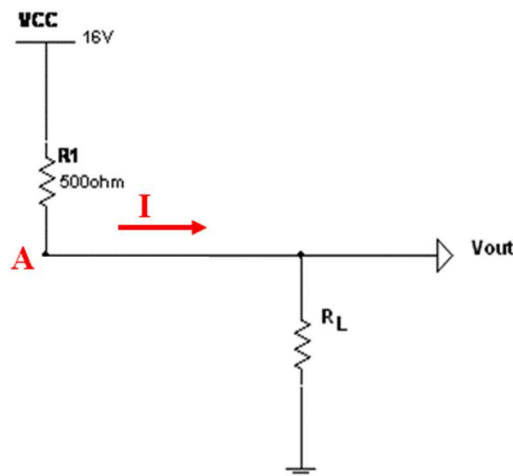
Να υπολογιστεί η τάση εξόδου V_{out} όταν η αντίσταση φορτίου είναι 500Ω , $V_{cc} = 18\text{V}$. Οι εργοστασιακές τιμές της διόδου zener είναι: $V_Z = 6\text{V}$ και $R_Z = 10\Omega$.



Λύση

Αρχικά σκέφτομαι θα πρέπει να μελετήσω αν η δίοδος zener (η οποία είναι ανάστροφα πολωμένη) λειτουργεί στην περιοχή κατάρρευσης (βλέπε tips μεθοδολογίας).

Αφαιρώ την δίοδο από το κύκλωμα και υπολογίσω την τάση που θα είχε το κύκλωμα χωρίς την ύπαρξη της. Το κύκλωμα γίνεται:



Από 2^ο κΚ στο κύκλωμα έχουμε:

$$\begin{aligned}
 V_{cc} - I \cdot R_1 - I \cdot R_L &= 0 \Rightarrow \\
 \Rightarrow 18 - 500I - 500I &= 0 \Rightarrow \\
 \Rightarrow 1000I = 18 \Rightarrow I &= \frac{18}{1000} = 0.018 A
 \end{aligned}$$

Σημείο A η τάση είναι:

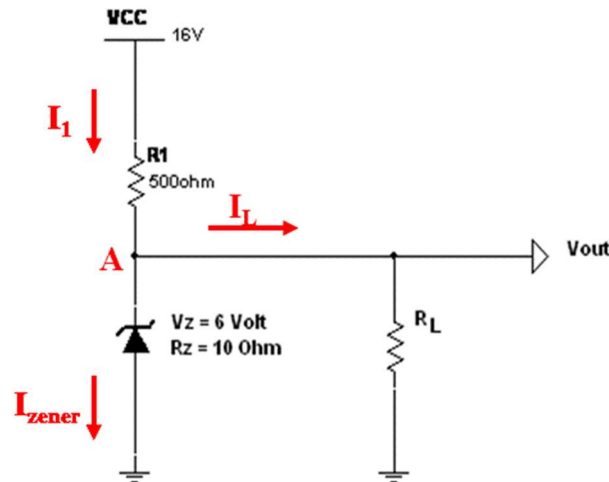
$$V_{Thevenin} = I \cdot R_L = 0.018 A \cdot 500 \Omega = 9V$$

Η $V_{thevenin}$ είναι μεγαλύτερη της εργοστασιακής τάσης Zener και άρα η δίοδος λειτουργεί στην περιοχή κατάρρευσης

Η τάση στα άκρα της διόδου θα είναι:

$$V_A = V_{zener} + I_{zener} \cdot R_{zener}$$

Το κύκλωμα με την παρουσία της διόδου έχει ως εξής:



Από 1ο κΚ στον κόμβο Α έχω

$$I_1 = I_{zener} + I_L \quad (1)$$

Από 2^ο κΚ στον βρόχο $R_L \rightarrow$ Zener

$$\begin{aligned} I_{zener} \cdot R_{zener} + V_{zener} - I_L \cdot R_L &= 0 \Rightarrow \\ 10I_{zener} + 6 - 500I_L &= 0 \Rightarrow \quad (2) \\ I_L &= \frac{I_{zener} + 0.6}{50} \end{aligned}$$

Από 2^ο κΚ στον βρόχο $V_{cc} \rightarrow R_1 \rightarrow$ Zener

$$\begin{aligned} V_{cc} - I_1 R_1 - V_{zener} - I_{zener} \cdot r_{zener} &= 0 \Rightarrow \\ \stackrel{(1)}{\Rightarrow} 18 - (I_{zener} + I_L) 500 - 6 - 10I_{zener} &= 0 \\ \Rightarrow 12 - 500I_{zener} - 500I_L - 10I_{zener} &= 0 \\ \Rightarrow 12 - 510I_{zener} - 500I_L &= 0 \\ \stackrel{(2)}{\Rightarrow} 12 - 510I_{zener} - 500 \left(\frac{I_{zener} + 0.6}{50} \right) &= 0 \\ \Rightarrow 12 - 510I_{zener} - 10I_{zener} - 6 &= 0 \\ \Rightarrow 6 - 520I_{zener} &= 0 \\ \Rightarrow I_{zener} &= \frac{520}{6} \approx 0.008A \end{aligned}$$

Άρα το V_{out} είναι:

$$V_{out} = V_{zener} + I_{zener} \cdot R_{zener} = 6V + 0.008A \cdot 10\Omega = 6.08V$$

Παράρτημα

Tips Μεθοδολογίας

Όταν βλέπουμε σε ένα προς επίλυση κύκλωμα δίοδο Zener, και μας δίνεται η εργοστασιακή τιμή της τάσης **zener** τότε πρέπει να μελετήσουμε αν η δίοδος Zener

- 1) αν είναι ανάστροφα πολωμένη
- 2) αν λειτουργεί στην περιοχή κατάρρευσης

Τότε μόνον μπορούμε να αποφανθούμε για την τάση που υπάρχει στα άκρα της διόδου.

Για να το επιτύχουμε αυτό:

Βήμα 1: Επιλύουμε το κύκλωμα έχοντας αφαιρέσει την δίοδο με σκοπό να διερευνήσουμε την τάση που θα είχε το κύκλωμα στο σημείο που βρίσκεται η Zener αν αυτή δεν υπήρχε. Σύμφωνα με το βιβλίο του Malvino δηλαδή υπολογίζουμε την V_{thevenin} του κυκλώματος θεωρώντας την δίοδο Zener σαν φόρτο.

Βήμα 2: Αν αυτή η V_{thevenin} είναι μεγαλύτερη της κατασκευαστικής V_{zener} τότε η Zener «παρεμβαίνει» στο κύκλωμα με την ύπαρξη της και σταθεροποιεί την τάση στο σημείο εκείνο. Επομένως πρέπει να υπολογίζουμε ότι στα άκρα της έχουμε τάση ίση με την κατασκευαστική τάση Zener.

Αν αυτή η V_{thevenin} είναι μικρότερη της κατασκευαστικής V_{zener} τότε θα πρέπει να θεωρούμε ότι η Zener δεν λειτουργεί στην περιοχή κατάρρευσης και δεδομένου ότι είναι ανάστροφα πολωμένη, δεν διαρρέεται από ρεύμα ο κλάδος της. Στα άκρα της θα θεωρούμε ότι υπάρχει η τάση V_{thevenin}

Προσοχή! Μπορεί μια άσκηση να μας δίνει απευθείας την τάση που έχει η Zener στο δοθέν κύκλωμα. Οπότε δεν χρειάζεται να κάνω αυτή την ανάλυση. (βλέπε άσκηση 3 του φυλλαδίου)