

## Άσκηση 4

### Δίοδος Zener

#### **Εισαγωγή – Σκοπός Πειράματος**

Στην εργαστηριακή άσκηση 2 μελετήθηκε η δίοδος ανόρθωσης η οποία είδαμε ότι λειτουργεί μονάχα εάν πολωθεί ορθά. Το ίδιο ισχύει και στην περίπτωση της φωτοεκπέμπουσας δίοδου (LED) (βλέπε άσκηση 3).

Στην εργαστηριακή αυτή άσκηση θα μελετήσουμε ένα είδος δίοδου που λειτουργεί και στην περίπτωση που είναι ανάστροφα πολωμένη (περιοχή διάσπασης). Η δίοδος αυτή είναι γνωστή ως δίοδος Zener και όπως θα δούμε στην συνέχεια κύρια εφαρμογή της είναι ως σταθεροποιητή τάσης δηλαδή σε κυκλώματα που διατηρούν την dc τάση σταθερή ανεξάρτητα από τις μεταβολές της τάσης εισόδου ή της αντίστασης φορτίου.

#### **Θεωρητικό μέρος**

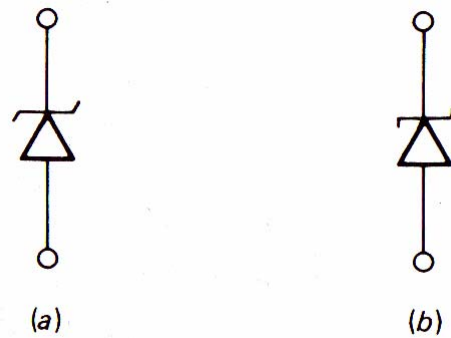
Η διάσπαση σε μια δίοδο μπορεί να προκληθεί από 2 φαινόμενα: α) το φαινόμενο της χιονοστιβάδας και β) το φαινόμενο Zener.

Θα μελετήσουμε αρχικά το φαινόμενο της χιονοστιβάδας. Όταν μια δίοδος είναι πολωμένη ανάστροφα, και η ανάστροφη τάση είναι μικρότερη από την τάση διάσπασης, οι φορείς μειονότητας προκαλούν ένα πολύ μικρό ανάστροφο ρεύμα. Όταν η ανάστροφη τάση γίνει μεγαλύτερη από την τάση διάσπασης οι φορείς μειονότητας αποκτούν πολύ μεγάλη ενέργεια και ‘ξηλώνουν’ ηλεκτρόνια σθένους τα οποία με την σειρά τους ‘ξηλώνουν’ άλλα ηλεκτρόνια σθένους από τις κανονικές τροχιές τους (φαινόμενο χιονοστιβάδας) με αποτέλεσμα να προκληθεί ένα μεγάλο ανάστροφο ρεύμα.

Ένας άλλος τρόπος να διασπαστεί μια δίοδος είναι το φαινόμενο Zener. Όταν μια επαφή είναι ανάστροφα πολωμένη τότε στα άκρα της αναπτύσσεται ένα ισχυρό ηλεκτρικό πεδίο το οποίο μπορεί να ‘ξηλώσει’ ηλεκτρόνια σθένους από την τροχιά τους και έτσι να προκληθεί μεγάλο ανάστροφο ρεύμα.

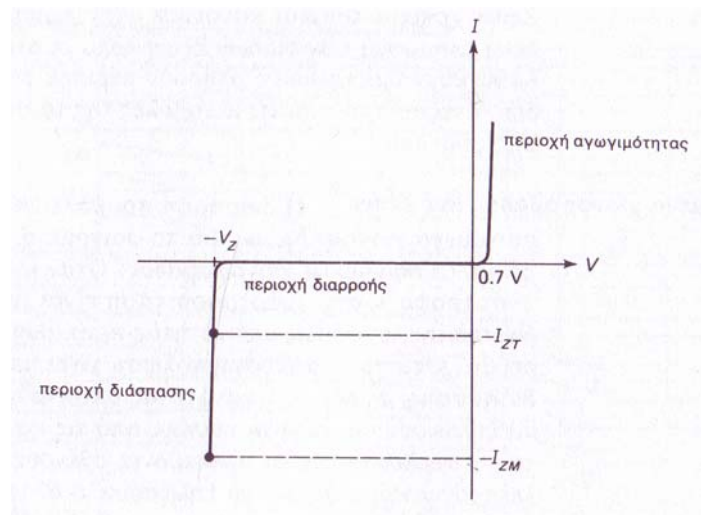
Για ανάστροφες τάσεις μικρότερες από 5 V η διάσπαση οφείλεται στο φαινόμενο Zener ενώ για ανάστροφες τάσεις μεγαλύτερες από 6 V υπερισχύει το φαινόμενο της χιονοστιβάδας. Για ανάστροφες τάσεις όπου  $5 < V_{reverse} < 6$  η διάσπαση της δίοδου οφείλεται και στα δυο φαινόμενα.

Το κυκλωματικό ισοδύναμο της διόδου Zener απεικονίζεται στο σχήμα 1. Οι γραμμές μοιάζουν με z για να μας θυμίζουν ότι πρόκειται για διόδους Zener.



Σχήμα 1:(α) & (β) Κυκλωματικά σύμβολα διόδων Zener ('Βασική Ηλεκτρονική', Malvino 4<sup>η</sup> έκδοση)

Στο σχήμα 2 απεικονίζεται η χαρακτηριστική της διόδου Zener. Από την χαρακτηριστική αυτή καταλαβαίνουμε ότι η διόδος αυτή μπορεί να λειτουργήσει κάτω από ορθή αλλά και υπό ανάστροφη πόλωση.

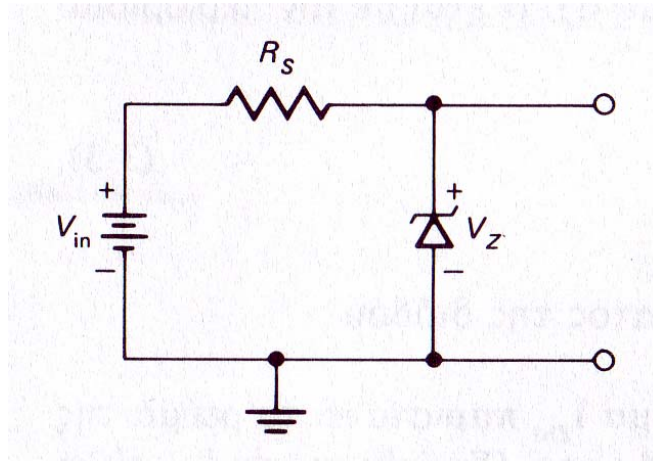


Σχήμα 2: Χαρακτηριστική Διόδου Zener ('Βασική Ηλεκτρονική', Malvino 4<sup>η</sup> έκδοση)

Η διόδος Zener στην περιοχή της αγωγιμότητας λειτουργεί όπως μια διόδος ανόρθωσης ενώ στην περιοχή διάσπασης λειτουργεί ως σταθεροποιητής τάσης (βλέπε σχήμα 2). Από σχήμα 2 παρατηρούμε ότι στην περιοχή διαρροής η Zener διαρέεται από ένα πολύ μικρό

ανάστροφο ρεύμα ενώ στην διάσπαση η Zener εμφανίζει ένα απότομο γόνατο που ακολουθείται από μια σχεδόν κατακόρυφη αύξηση του ρεύματος. Παρατηρείται επίσης ότι η τάση στα άκρα της Zener στην περιοχή της διάσπασης παραμένει σταθερή και ίση με  $V_Z$ .

Η χαρακτηριστική της διόδου Zener προκύπτει μελετώντας το κύκλωμα του σχήματος 3.



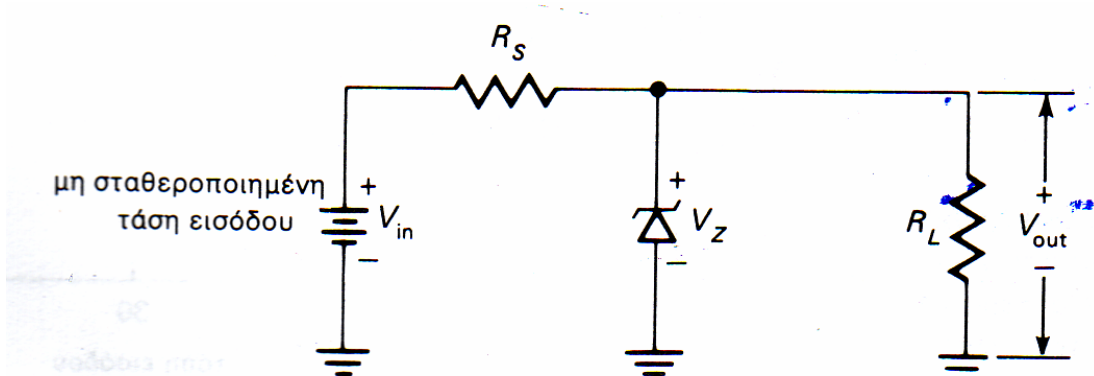
**Σχήμα 3:** Κύκλωμα πόλωσης διόδου Zener ('Βασική Ηλεκτρονική', Malvino 4<sup>η</sup> έκδοση)

Από την λειτουργία της Zener στην περιοχή διάσπασης παρατηρείται ότι όσο και να αυξάνει το ρεύμα η τάση στα άκρα της Zener παραμένει σταθερή. Αυτό ισχύει στην περίπτωση της ιδανικής διόδου Zener. Στην πραγματικότητα όμως καθώς αυξάνει το ρεύμα που την διαρρέει αυξάνει και η τάση στα άκρα της. Αυτό σημαίνει ότι η Zener παρουσιάζει μια μικρή αντίσταση γνωστή ως αντίσταση Zener  $R_Z$ . Στον πίνακα 1 αναγράφονται διάφοροι τύποι διόδων Zener με τις χαρακτηριστικές τιμές τους για την τάση Zener, την αντίσταση Zener και το μέγιστο ρεύμα που μπορεί να διέλθει μέσα από αυτές.

Type	$V_Z$	$R_Z$	$I_{ZM}$	$T_c$
1N746	3.3 V	28 $\Omega$	121 mA	-0.062%/°C
1N747	3.6 V	24 $\Omega$	111 mA	-0.055%/°C
1N748	3.9 V	23 $\Omega$	103 mA	-0.049%/°C
1N749	4.3 V	22 $\Omega$	93 mA	-0.036%/°C
1N750	4.7 V	19 $\Omega$	85 mA	-0.018%/°C
1N751	5.1 V	17 $\Omega$	78 mA	-0.008%/°C
1N752	5.6 V	11 $\Omega$	71 mA	+0.006%/°C
1N753	6.2 V	7 $\Omega$	65 mA	+0.022%/°C
1N754	6.8 V	5 $\Omega$	59 mA	+0.035%/°C
1N755	7.5 V	6 $\Omega$	53 mA	+0.045%/°C
1N756	8.2 V	8 $\Omega$	49 mA	+0.052%/°C
1N757	9.1 V	10 $\Omega$	44 mA	+0.056%/°C
1N758	10 V	17 $\Omega$	40 mA	+0.060%/°C
1N759	12 V	30 $\Omega$	33 mA	+0.060%/°C

**Πίνακας 1:** Χαρακτηριστικά μεγέθη διαφόρων τύπων διόδων Zener  
(‘Βασική Ηλεκτρονική’, Malvino 4<sup>η</sup> έκδοση)

Μέχρι αυτό το σημείο έχουμε αναλύσει την δίοδο Zener βασισμένοι στο κύκλωμα του σχήματος 3. Δηλαδή στα άκρα της Zener δεν έχει συνδεθεί αντίσταση φορτίου. Στο σχήμα 4 απεικονίζεται ένας σταθεροποιητής τάσης που δεν διαφέρει από το κύκλωμα του σχήματος 3 παρά μονάχα στο ότι στα άκρα της διόδου Zener έχει συνδεθεί μια αντίσταση φόρτου  $R_L$ . Ο σταθεροποιητής τάσης είναι η βασική εφαρμογή της διόδου Zener.



**Σχήμα 4:** Σταθεροποιητής Τάσης (‘Βασική Ηλεκτρονική’, Malvino 4<sup>η</sup> έκδοση)

Αυτό που καταφέρνει το κύκλωμα του σχήματος 4 είναι η σταθεροποίηση της dc τάσης εξόδου  $V_{out}$ . Την δίοδο Zener θα την θεωρούμε ιδανική άρα στο κύκλωμα του σχήματος 4 συμπεριφέρεται σαν μια πηγή τάσης. Έτσι η τάση στο φορτίο είναι σταθερή και ίση με  $V_Z$ . Από ανάλυση του κυκλώματος του σχήματος 4 έχουμε ότι το ρεύμα που διαρρέει την αντίσταση  $R_S$  είναι:

$$I_S = \frac{V_{in} - V_{out}}{R_S} \quad (1)$$

Από 1<sup>ο</sup> κανόνα του Kirchoff έχουμε ότι

$$I_S = I_L + I_Z = \frac{V_{out}}{R_L} + I_Z \Leftrightarrow I_Z = I_S - \frac{V_{out}}{R_L} \quad (2)$$

Υπολογίζοντας λοιπόν την (1) μπορούμε να υπολογίσουμε μέσω της (2) το ρεύμα που διαρρέει την δίοδο Zener. Το ρεύμα  $I_Z$  θα πρέπει να είναι μεγαλύτερο από μηδέν για να λειτουργεί η Zener στην περιοχή της διάσπασης. Στις περισσότερες αναλύσεις βέβαια ισχύει ότι  $V_{out} \approx V_Z$  που σημαίνει ότι η επίδραση της εσωτερικής αντίστασης της Zener δεν επηρεάζει καθόλου την τάση εξόδου.

Μερικές φορές βέβαια πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και η επίδραση της εσωτερικής αντίστασης της διόδου Zener για τον υπολογισμό της τάσης εξόδου. Αυτό γίνεται με τον παρακάτω τρόπο. Κάθε αύξηση του ρεύματος προκαλεί μια πρόσθετη πτώση τάσης στα άκρα της εσωτερικής αντίστασης. Έτσι η μεταβολή της τάσης εξόδου δίνεται από την σχέση

$$\Delta V_{out} = (\Delta I_Z) R_Z \quad (3)$$

### Πειραματικό Μέρος

Σκοπός της άσκησης αυτής είναι η εξοικείωση του φοιτητή με την δίοδο Zener και την εφαρμογή της ως σταθεροποιητή τάσης.

Θα χρειαστείτε τα παρακάτω στοιχεία, εξαρτήματα:

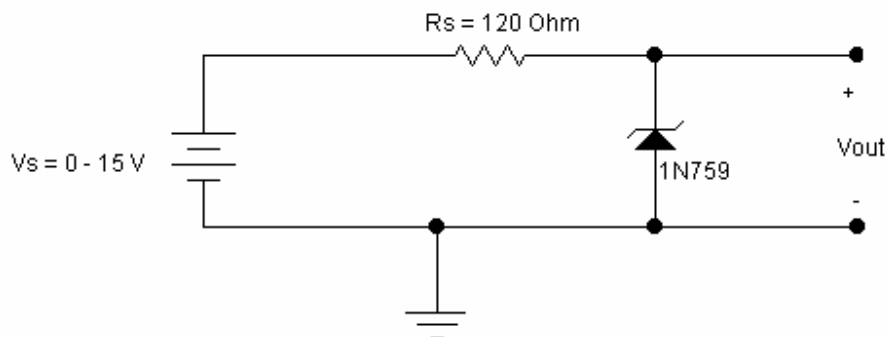
(α) Βολτόμετρο

(β) DC πηγή τροφοδοσίας

(γ) Δίοδος Zener (1N759)

(δ) Αντιστάσεις  $R_S = 120 \Omega$ ,  $R_L = 1.0 \text{ k}\Omega$

(α) **Κατασκευάστε στο breadboard** το παρακάτω κύκλωμα

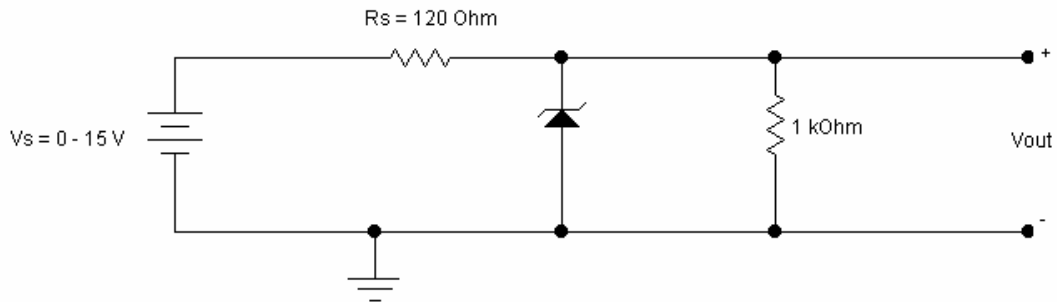


Σχήμα 5 (Ερωτήματα (β) και (γ))

(β) Πολώστε αρχικά την δίοδο Zener ορθά (**αντίστροφη φορά** η δίοδος Zener από αυτή που έχει στο σχήμα 5). Μεταβάλλετε την πηγή τροφοδοσίας  $V_S$  να δίνει τάσεις από 0 έως 15 Volt με την βοήθεια του βολτόμετρου μετρήστε την τάση στα άκρα της αντίστασης  $R_S$ . Χρησιμοποιώντας τον νόμο του Ohm υπολογίστε το ρεύμα που διαρρέει την δίοδο Zener για κάθε τιμή της τάσης  $V_S$ . Επίσης για κάθε τιμή της τάσης  $V_S$  με την βοήθεια του βολτόμετρου υπολογίστε την τάση στα άκρα της δίοδου Zener.

(γ) Πολώστε την δίοδο ανάστροφα (όπως δείχνει το σχήμα 5) και μεταβάλλεται την πηγή τροφοδοσίας ώστε να δίνει τάσεις από 0 έως 15 Volts. Για κάθε τιμή της  $V_S$  υπολογίστε το ρεύμα που διαρρέει την δίοδο Zener  $I_Z$ . Επίσης για κάθε τιμή της τάσης  $V_S$  με την βοήθεια του βολτόμετρου υπολογίστε την τάση  $V_Z$  στα άκρα της δίοδου Zener.

- (δ) Από τις μετρήσεις των ερωτημάτων (β) & (γ) χαράξτε την χαρακτηριστική  $V_Z - I_Z$  της διόδου Zener.
- (ε) Κατασκευάστε στο breadboard το παρακάτω κύκλωμα



Σχήμα 6 : Σταθεροποιητής Τάσης

- (ζ) Μεταβάλλεται την τάση της πηγής τροφοδοσίας  $V_S$  από 0 – 15 V. Με την βοήθεια των σχέσεων (1) και (2) και του βολτομέτρου υπολογίστε για κάθε τιμή της  $V_S (= V_{in})$  το ρεύμα που διαρρέει την Zener, την τάση στα άκρα της όπως και την τάση στα άκρα της αντίστασης φορτίου  $V_{out}$ . Συμπληρώστε τον παρακάτω πίνακα

Τάση Πηγής Τροφοδοσίας $V_S$ (Volts)	Τάση στα άκρα της Zener $V_Z$ (Volts)	Ρεύμα διόδου Zener (mA)	Τάση Φόρτου $V_{out}$ (Volts)
0			
1			
.			
.			
.			
15			

- (η) Από τις μετρήσεις του παρακάτω πίνακα υπολογίστε την αντίσταση Zener ( $\frac{\Delta V_{out}}{\Delta I_Z}$ )

### Επαναληπτικές Ερωτήσεις

1. **Τι ισχύει για την τάση κατάρρευσης σε μια δίοδο zener;**
  - (α) Ελαττώνεται όσο αυξάνεται το ρεύμα
  - (β) Καταστρέφει την δίοδο
  - (γ) Ισούται με το ρεύμα επί την αντίσταση
  - (δ) Είναι σχεδόν σταθερή
2. **Ποιο από τα παρακάτω είναι η καλύτερη περιγραφή μιας διόδου zener;**
  - (α) Είναι μια δίοδος ανόρθωσης
  - (β) Είναι μια διάταξη σταθερής – τάσης
  - (γ) Είναι μια διάταξη σταθερού – ρεύματος
  - (δ) Λειτουργεί στην ορθή περιοχή
3. **Μια δίοδος zener**
  - (α) Είναι μια μπαταρία
  - (β) Έχει σταθερή τάση στην περιοχή κατάρρευσης
  - (γ) Έχει φράγμα δυναμικού
  - (δ) Είναι ορθά πολωμένη
4. **Η τάση στα άκρα της διόδου zener συνήθως**
  - (α) Είναι μικρή
  - (β) Είναι μεγάλη
  - (γ) Μετριέται σε volts
  - (δ) Αφαιρείται από την τάση κατάρρευσης
5. **Η τάση φορτίου είναι περίπου σταθερή όταν μια δίοδος zener**
  - (α) Είναι ορθά πολωμένη
  - (β) Είναι ανάστροφα πολωμένη
  - (γ) Λειτουργεί στην περιοχή κατάρρευσης
  - (δ) Είναι μη πολωμένη
6. **Αν η αντίσταση φορτίου ελαττωθεί σε ένα σταθεροποιείται zener, το ρεύμα zener**
  - (α) Ελαττώνεται
  - (β) Παραμένει το ίδιο
  - (γ) Αυξάνεται

- (δ) Ισούται με την τάση της πηγής δια της αντίστασης σειράς
7. **Αν η δίοδος zener συνδεθεί σε λάθος άκρο (πολικότητα), η τάση φορτίου θα είναι κοντά στην τιμή**  
(α) 0.7 V      (β) 14 V      (γ) 10 V      (δ) 18 V
8. **Αν η αντίσταση φορτίου ελαττωθεί σε ένα σταθεροποιητή zener, το ρεύμα σειράς**  
(α) Ελαττώνεται      (β) Παραμένει το ίδιο (γ) Αυξάνεται  
(δ) Ισούται με την τάση της πηγής δια της αντίστασης σειράς