



Πολυτεχνείο Κρήτης
Εργαστήριο Δομής της Ύλης & Φυσικής Λείζερ



Φυσική II (Εργαστηριακές Ασκήσεις)

Εαρινό Εξάμηνο Ακαδ. Έτους 2019 - 20

Άσκηση 7

“Μέτρηση ωμικής αντίστασης και
χαρακτηριστικής καμπύλης διόδου”



Πείραμα 1. (Μέτρηση ωμικής αντίστασης)

Βασική θεωρία

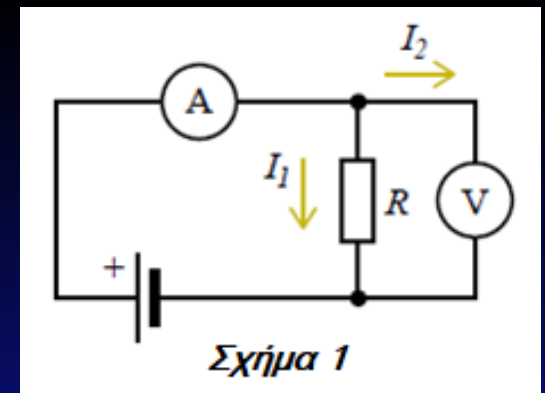
Η τιμή μιας ωμικής αντίστασης (resistance) μπορεί να υπολογιστεί από τον νόμο του Ohm εφόσον γνωρίζουμε το ρεύμα I που την διαρρέει και την τάση V στα άκρα της.

$$R = V/I$$

Υπάρχουν δύο τρόποι συνδεσμολογίας βολτομέτρου και αμπερομέτρου, για να μετρηθεί η τάση V στα άκρα μιας αντίστασης και το ρεύμα I που τη διαρρέει, όπως φαίνεται στα σχήματα που θα ακολουθήσουν.

Κύκλωμα Α (πρώτος τρόπος)

Στο κύκλωμα Α του σχήματος 1 η πραγματική τιμή της τάσης στα άκρα της αντίστασης είναι αυτή που μετράει το βολτόμετρο. Η τιμή της έντασης του ρεύματος που μετράει το αμπερόμετρο είναι το άθροισμα των εντάσεων I_1 και I_2 , τα οποία διαρρέουν την αντίσταση και το βολτόμετρο αντίστοιχα.



Α. Όταν η τιμή της αντίστασης R είναι μεγάλη, (συγκρίσιμη με την τιμή της εσωτερικής αντίστασης του βολτομέτρου).

Το ρεύμα I_2 , το οποίο διαρρέει το βολτόμετρο, δεν είναι αμελητέο σε σχέση με το ρεύμα I_1 το οποίο διαρρέει την αντίσταση. Επομένως ο λόγος : $R = V/I_1$

δεν υπολογίζει ολόκληρη την τιμή της R .

Άρα ο υπολογισμός μιας μεγάλης αντίστασης δεν ενδείκνυται να γίνει με το κύκλωμα του σχήματος 1.

Β. Όταν η τιμή της αντίστασης R είναι μικρή, (συγκρίσιμη με την τιμή της εσωτερικής αντίστασης του αμπερομέτρου).

Η τιμή της αντίστασης R είναι μικρής τιμής, (πολύ μικρότερη από την εσωτερική αντίσταση του βολτομέτρου), οπότε το ρεύμα I_2 το οποίο διαρρέει το βολτόμετρο θεωρείται ότι είναι αμελητέο σε σχέση με το ρεύμα I_1 το οποίο διαρρέει την αντίσταση. Επομένως ο λόγος:

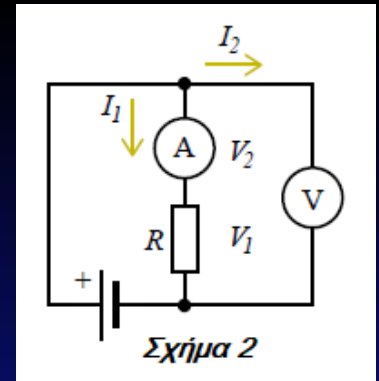
$$V/(I_1+I_2) \approx V/I_1$$

υπολογίζει σωστά την τιμή της R .

Άρα ο υπολογισμός μιας μικρής αντίστασης ενδείκνυται να γίνει με το κύκλωμα του σχήματος 1.

Κύκλωμα Β (Δεύτερος τρόπος)

Στο κύκλωμα Β του σχήματος 2 η πραγματική τιμή της έντασης του ρεύματος που διαρρέει την αντίσταση είναι αυτή που μετράει το αμπερόμετρο. Η τιμή της τάσης που μετράει το βολτόμετρο είναι το άθροισμα των τάσεων V_1 και V_2 στα άκρα της αντίστασης και του αμπερομέτρου αντίστοιχα.



Α. Όταν η τιμή της αντίστασης R είναι μεγάλη, (συγκρίσιμη με την τιμή της εσωτερικής αντίστασης του βολτομέτρου).

Η εσωτερική αντίσταση του αμπερομέτρου είναι πολύ μικρή, συγκριτικά με τη μετρούμενη αντίσταση R , οπότε η τάση που μετράει το βολτόμετρο είναι πρακτικά ίση με την πραγματική τιμή της τάσης στα άκρα της αντίστασης R . Επομένως ο λόγος:

$$R = V_1 + V_2 / I \approx V_1 / I$$

υπολογίζει σωστά την τιμή της R .

Άρα ο υπολογισμός μιας μεγάλης αντίστασης ενδείκνυται να γίνει με το κύκλωμα του σχήματος 2.

Β. Όταν η τιμή της αντίστασης R είναι μικρή, (συγκρίσιμη με την τιμή της εσωτερικής αντίστασης του αμπερομέτρου).

Η αντίσταση του αμπερομέτρου δεν είναι αμελητέα συγκριτικά με την άγνωστη αντίσταση R , που είναι μικρής τιμής, οπότε το βολτόμετρο δε μετράει την πραγματική πτώση τάσης στα άκρα της R . Επομένως ο λόγος:

$$R = V_1 + V_2 / I_1$$

δεν υπολογίζει σωστά την τιμή της R .

Άρα ο υπολογισμός μιας μικρής αντίστασης δεν ενδείκνυται να γίνει με το κύκλωμα του σχήματος 2.

Πείραμα 1

Απαραίτητα όργανα και υλικά

1. Τροφοδοτικό DC.
2. Δύο πολύμετρα (αμπερόμετρο, βολτόμετρο).
3. Πλακέτα για την κατασκευή κυκλωμάτων.
4. Δύο ωμικές αντιστάσεις. Μία μικρής τιμής (τάξης Ω) και μία μεγάλης τιμής (τάξης $M\Omega$).

Σκοπός

Μέτρηση της τιμής μιας άγνωστης ωμικής αντίστασης με τη βοήθεια βολτομέτρου και αμπερομέτρου και η εφαρμογή του πρώτου και του δεύτερου νόμου του Kirchhoff

7.3.3 Εκτέλεση – Μετρήσεις

1. Χρησιμοποιώντας το πολύμετρο σαν ωμόμετρο, μετράμε τις τιμές των δύο αντιστάσεων του πειράματος μας:

$$R_{\text{μικρή}} = 101,0 \, \Omega \quad \text{και} \quad R_{\text{μεγάλη}} = 1,531 \, M\Omega$$

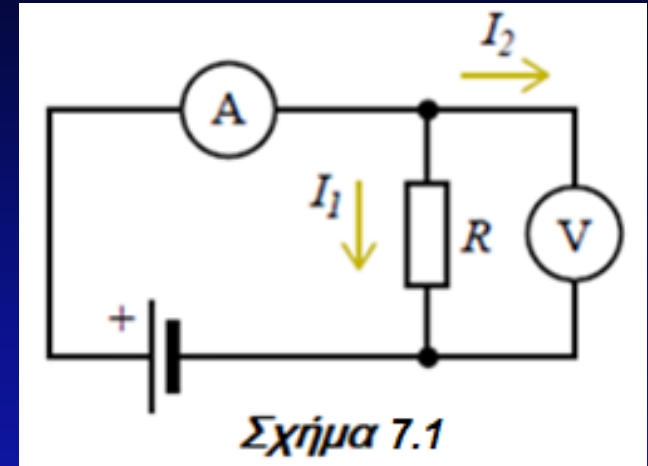
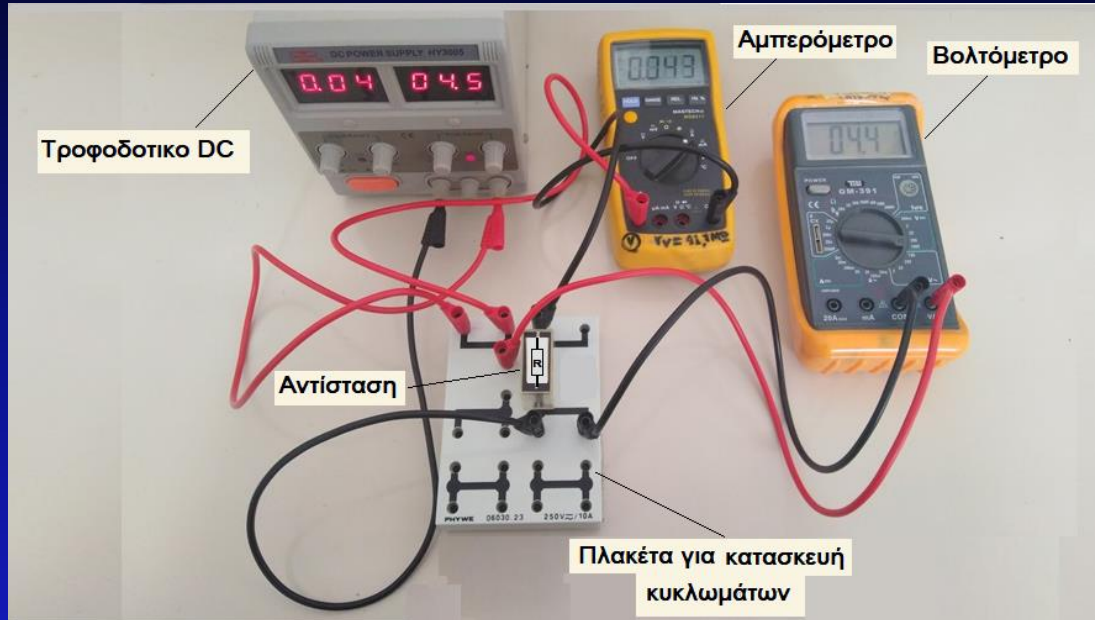
- Μετράμε την εσωτερική αντίσταση του πολύμετρου (i) σε λειτουργία μιλιαμπερομέτρου:

$$r_A = 4,8 \, \Omega$$

- Μετράμε την εσωτερική αντίσταση του πολύμετρου (ii) σε λειτουργία βολτομέτρου:

$$r_V = 9,9 \, M\Omega$$

2. Κατασκευάζουμε στην πλακέτα (breadboard) το κύκλωμα του σχήματος 7.1 (Κύκλωμα Α), χρησιμοποιώντας την αντίσταση μεγάλης τιμής (***R*μεγάλη**).



3. Μεταβάλλοντας την τάση από το τροφοδοτικό, μετράμε πέντε διαφορετικές τιμές του ρεύματος και της αντίστοιχης τάσης απο το αμπερόμετρο και το βολτόμετρο αντίστοιχα.

4. Επαναλαμβάνουμε τα βήματα 2 και 3 χρησιμοποιώντας την αντίσταση μικρής τιμής τιμής (***R*μικρή**), για το ίδιο κύκλωμα Α.

5. Πέρνουμε τον παρακάτω πίνακα μετρήσεων:

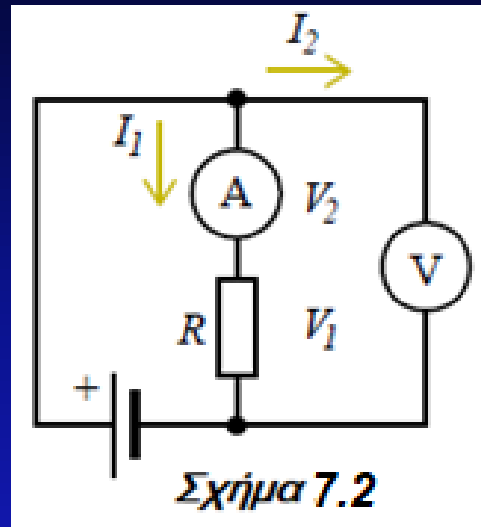
Πίνακας μετρήσεων 7.1

ΚΥΚΛΩΜΑ 7.1 (Α)

<i>R</i> μεγάλη	
<i>V</i> (V)	<i>I</i> (A)
1,169	$0,81 \times 10^{-6}$
2,124	$1,49 \times 10^{-6}$
3,254	$2,32 \times 10^{-6}$
4,030	$3,00 \times 10^{-6}$
5,280	$3,88 \times 10^{-6}$

<i>R</i> μικρή	
<i>V</i> (V)	<i>I</i> (A)
1,074	$10,59 \times 10^{-3}$
2,155	$21,41 \times 10^{-3}$
3,120	$31,10 \times 10^{-3}$
4,330	$43,12 \times 10^{-3}$
5,030	$50,10 \times 10^{-3}$

6. Κατασκευάζουμε στην πλακέτα (breadboard) το κύκλωμα του σχήματος 7.2 (Κύκλωμα Β), χρησιμοποιώντας την αντίσταση μεγάλης τιμής (**Ρμεγάλη**).



7. Μεταβάλλοντας την τάση από το τροφοδοτικό, μετράμε πέντε διαφορετικές τιμές του ρεύματος και της αντίστοιχης τάσης από το αμπερόμετρο και το βολτόμετρο αντίστοιχα.

8. Επαναλαμβάνουμε τα βήματα 2 και 3 χρησιμοποιώντας την αντίσταση μικρής τιμής τιμής (**Ρμικρή**), για το ίδιο κύκλωμα Β.

5. Πέρνουμε τον παρακάτω πίνακα μετρήσεων:

Πίνακας μετρήσεων 7.2

ΚΥΚΛΩΜΑ Β.

<i>R</i> μεγάλη	
<i>V</i> (V)	<i>I</i> (A)
1,171	$0,75 \times 10^{-6}$
2,107	$1,34 \times 10^{-6}$
3,239	$2,10 \times 10^{-6}$
4,240	$2,73 \times 10^{-6}$
5,150	$3,40 \times 10^{-6}$

<i>R</i> μικρή	
<i>V</i> (V)	<i>I</i> (A)
1,367	$12,10 \times 10^{-3}$
2,303	$21,91 \times 10^{-3}$
3,125	$29,78 \times 10^{-3}$
4,290	$41,10 \times 10^{-3}$
5,280	$50,57 \times 10^{-3}$

7.3.4 Επεξεργασία των μετρήσεων

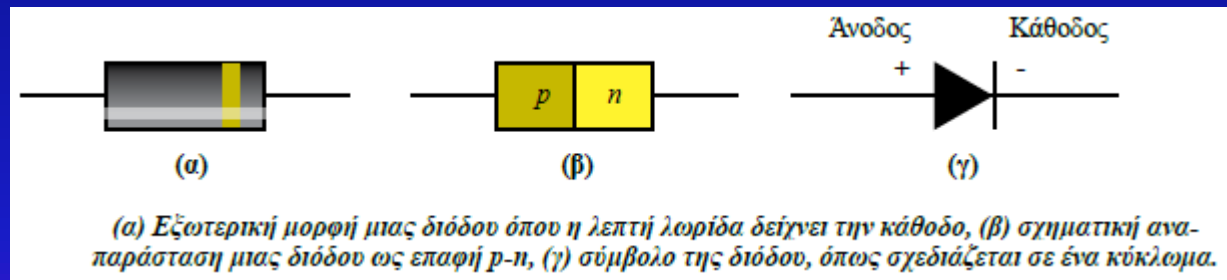
Η επεξεργασία θα γίνει σύμφωνα με τα βήματα που περιγράφονται στις οδηγίες του βιβλίου των Εργαστηριακών Ασκήσεων και τις αναλυτικές οδηγίες που θα δοθούν.

Πείραμα 2. (Χαρακτηριστική διόδου)

Βασική θεωρία

Δίοδος

Η διόδος (diode) κατασκευάζεται από κρύσταλλο πυριτίου (Si) ή γερμανίου (Ge) και δημιουργείται από τη συνένωση δύο ημιαγωγών (**επαφή p - n**), όπως φαίνεται στο σχήμα. Ενός τύπου **n (negative)** και ενός τύπου **p (positive)**. Και οι δύο αυτές περιοχές περιέχουν προσμίξεις άλλων στοιχείων στο υλικό τους, που είναι στοιχεία με ηλεκτρόνια σθένους περισσότερα ή λιγότερα από τα ηλεκτρόνια του υλικού, από το οποίο είναι κατασκευασμένη η διόδος. Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται περίσσεια ή έλλειμμα ηλεκτρονίων στο υλικό κάθε περιοχής της διόδου.



Στήν **επαφή (junction)** μεταξύ των περιοχών **p - n** , σημειώνεται μετακίνηση ηλεκτρονίων από τον ημιαγωγό **n** προς τον ημιαγωγό **p** , προς επανασύνδεση με τις παραπλήσιες οπές, οπότε λαμβάνει χώρα η αντίδραση: **ηλεκτρόνιο+οπή→ενέργεια**.

Αποτέλεσμα αυτής της δράσης είναι να δημιουργείται στην περιοχή της επαφής μια περιοχή ουδέτερη, χωρίς ηλεκτρόνια ή οπές, που ονομάζεται ζώνη απογύμνωσης (**depletion region**).

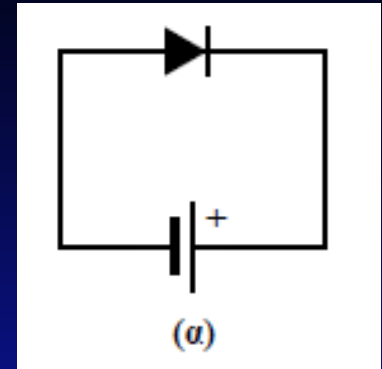
Στην ζώνη απογύμνωσης ο ημιαγωγός χάνει τοπικά την ηλεκτρική ουδετερότητά του. Εκεί παρουσιάζονται δύο περιοχές: μια με μόνο θετικά ιόντα (χωρίς την παρουσία ηλεκτρονίων) και μια μόνο με αρνητικά ιόντα (χωρίς οπές), ενώ η υπόλοιπη περιοχή εκατέρωθεν της ζώνης απογύμνωσης παραμένει ουδέτερη. Τα αρνητικά και τα θετικά ιόντα παραμένουν ακίνητα. Η ζώνη απογύμνωσης δημιουργεί φραγμό στη μετακίνηση ηλεκτρονίων διαμέσου αυτής (εμφανίζει συνήθως μια τάση 0,6 έως 0,8V). Το ελάχιστο δυναμικό που πρέπει να επιβληθεί, για να υπερπηδηθεί η ζώνη απογύμνωσης από τα ηλεκτρόνια, ονομάζεται **δυναμικό φραγμού (barrier potential)**.

Η πολικότητα μιας DC τάσης που εφαρμόζεται εξωτερικά σε σχέση με το δυναμικό επαφής, παίζει καθοριστικό ρόλο στη ροή του ρεύματος μέσα από τη δίοδο. Για το λόγο αυτό διατάξεις αυτού του είδους μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν **διακόπτες ρεύματος** σε ηλεκτρονικά κυκλώματα.

Υπάρχουν δύο τρόποι σύνδεσης της διόδου σε σχέση με την πολικότητα της, η **ανάστροφη πόλωση (reverse bias)** και η **ορθή πόλωση (forward bias)**.

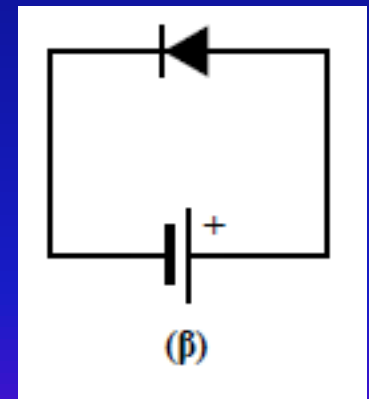
(α) Ανάστροφη πόλωση διόδου

Όταν ο θετικός ακροδέκτης της διόδου p συνδεθεί με τον αρνητικό ακροδέκτη της πηγής, έχουμε συνδεσμολογία ανάστροφης πόλωσης (reverse bias) με αποτέλεσμα να προκαλείται αύξηση του φραγμού δυναμικού. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα οι φορείς μειονότητας κάθε περιοχής να περνάνε εύκολα το φραγμό δυναμικού, ενώ οι φορείς πλειονότητας να συναντούν ακόμα μεγαλύτερη δυσκολία. Έτσι το ολικό ρεύμα έχει πολύ μικρή τιμή (πρακτικά μηδέν).



(β) Ορθή πόλωση διόδου

Όταν ο θετικός ακροδέκτης της διόδου p συνδεθεί με το θετικό ακροδέκτη της πηγής έχουμε συνδεσμολογία ορθής πόλωσης (forward bias), με αποτέλεσμα να προκαλείται μείωση του φραγμού δυναμικού. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την έντονη διάχυση των φορέων πλειονότητας της περιοχής p στην περιοχή n και αντίστροφα. Ταυτόχρονα υπάρχει και το ανάστροφο ρεύμα. Το ολικό ρεύμα αυξάνεται εκθετικά με την τάση V της πηγής.



Από τα παραπάνω είναι προφανές ότι η διάταξη άγει πολύ πιο εύκολα στην κατεύθυνση από το p προς το n από ότι στην αντίθετη κατεύθυνση, σε αντίθεση με τη συμμετρική συμπεριφορά υλικών που ακολουθούν το νόμο του Ohm.

Πείραμα 2

Απαραίτητα όργανα και υλικά

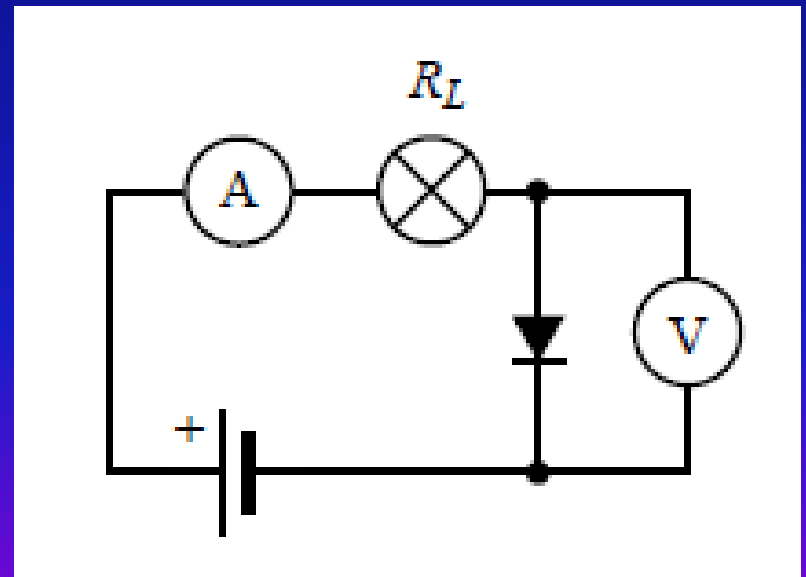
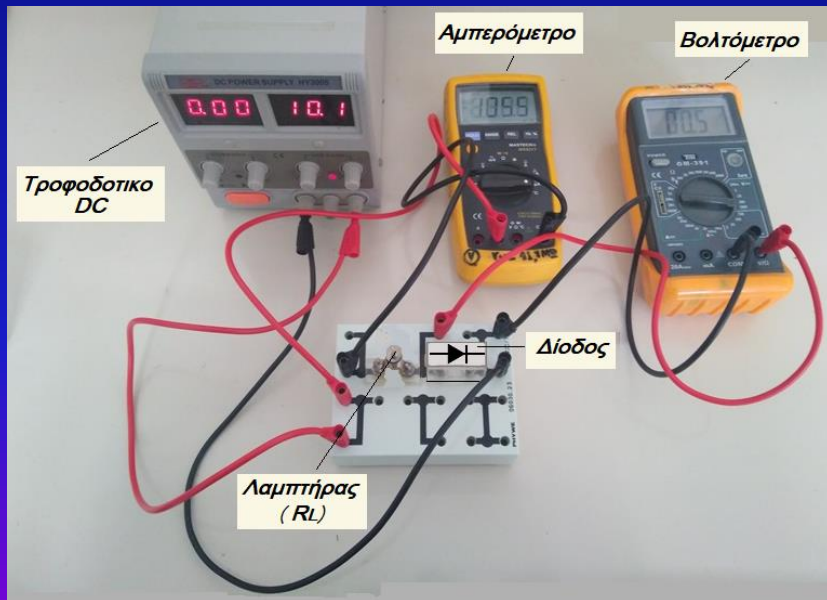
1. Τροφοδοτικό DC.
2. Δύο πολύμετρα (αμπερόμετρο, βολτόμετρο).
3. Πλακέτα για την κατασκευή κυκλωμάτων.
4. Ηλεκτρικό λαμπτήρα 2V.
5. Δίοδο

Σκοπός

Εύρεση της χαρακτηριστικής διόδου κατά την ορθή και την ανάστροφη πόλωση.

7.4.3 Εκτέλεση – Μετρήσεις

1. Κατασκευάζουμε στην πλακέτα (breadboard) το κύκλωμα ορθής πόλωσης της διόδου, όπως στο σχήμα (όπου R_L χρησιμοποιούμε το λαμπτήρα).



2. Γίνονται οι κατάλληλες μετρήσεις για το σχεδιασμό της καμπύλης $I_D=f(V)$ της διόδου.

Μεταβάλλουμε πολύ αργά τη τάση, μέχρι να βρούμε τη **τάση αγωγής**, δηλαδή την τάση όπου αρχίζει να διαρρέει ρεύμα τη δίοδο.

Την βρήσκουμε στα 0,22 Volts.

Συνεχίζουμε την αργή μεταβολή της τάσης και βρήσκουμε που αυτή αρχίζει να σταθεροποιείται.

Την βρήσκουμε στα 0,80 Volts.

Από τα **0,22 Volts** έως τα **0,80 Volts** μετράμε για 8 διαφορετικές τιμές της τάσης, το ρεύμα που διαρρέει την δίοδο και συνεχίζουμε για τρία ακόμη διαφορετικά ρεύματα όχι πολύ μεγάλων τιμών για τα οποία η τάση παραμένει περίπου σταθερή.

3. Πέρνουμε με τον παρακάτω πίνακα μετρήσεων:

Πίνακας μετρήσεων 7.3

$V (V)$	$I (mA)$
0,218	0,0001
0,319	0,0013
0,415	0,0190
0,504	0,1800
0,623	2,3900
0,702	12,4500
0,756	42,9000
0,800	116,8000
0,814	159,8000
0,817	170,0000
0,823	200,0000

4. Κατασκευάζουμε στην συνέχεια το κύκλωμα ανάστροφης πόλωσης διόδου.

5. Αυξάνουμε σιγά – σιγά την τάση μέχρι τα 15V.

6. Παρατηρούμε ότι **ΔΕΝ** διέρχεται ρεύμα από το κύκλωμα καθώς **ΔΕΝ** βλέπουμε ένδειξη στο αμπερόμετρο και **ΔΕΝ** ανάβει ο λαμπτήρας.

7.4.4 Επεξεργασία των μετρήσεων

Η επεξεργασία θα γίνει σύμφωνα με τα βήματα που περιγράφονται στις οδηγίες του βιβλίου των Εργαστηριακών Ασκήσεων και τις αναλυτικές οδηγίες που θα δοθούν.

