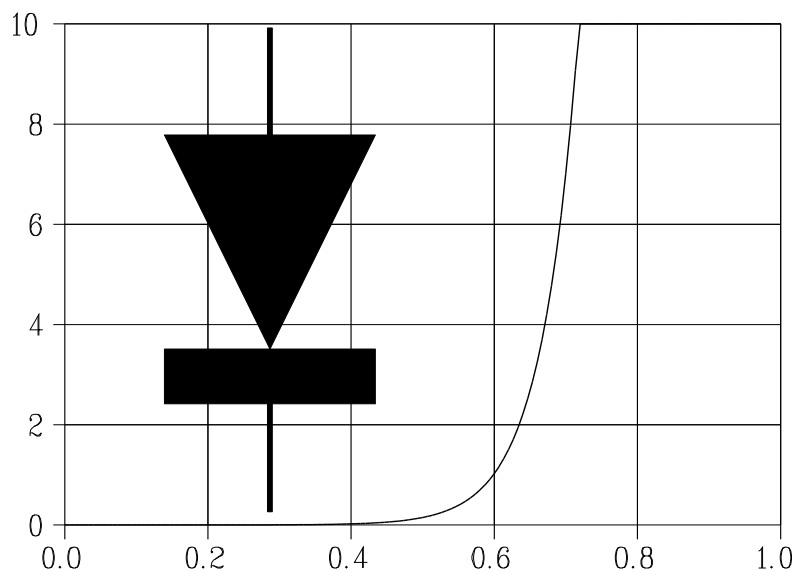


**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ
ΛΑΜΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ**



**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΑΣΚΗΣΕΙΣ
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ**

**ΠΑΝΑΓΙΩΤΗ ΤΣΙΤΣΙΠΗ
ΦΥΣΙΚΟΥ Ρ/Η**

ΛΑΜΙΑ 2011

ΑΣΚΗΣΗ 1η

ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΟΡΓΑΝΩΝ - ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Κάθε εργαστηριακή άσκηση, περιέχει τις διαδικασίες της μέτρησης διαφόρων κάθε φορά μεγεθών, και της επεξεργασίας των μετρήσεων που θα γνωρίσουμε παρακάτω αναλυτικά.

Η μέτρηση

είναι ίσως το πιο σπουδαίο μέρος της άσκησης και αφορά την καταγραφή των δεδομένων και των τιμών των διαφόρων μεγεθών που μπαίνουν στην κάθε εργαστηριακή άσκηση συγκεκριμένα. Ανεξάρτητα από το είδος του μετρούμενου μεγέθους και τον τρόπο μέτρησης το κύριο πρόβλημα κάθε μέτρησης είναι η ακρίβεια που έχει σχέση με την ελαχιστοποίηση του θορύβου που εισέρχεται στο όργανο και επηρεάζει την κάθε μέτρηση. Θα δούμε παρακάτω τα κυριότερα σημεία που αξίζουν την προσοχή μας σε μέτρηση ηλεκτρικών μεγεθών (Τάση - ένταση, αντίσταση) με τη βοήθεια των αντιστοιχών οργάνων που είναι γνωστά ως πολύμετρα.

Πολικότητα

Για τη μέτρηση συνεχών (DC) τάσεων ή ρευμάτων, είναι απαραίτητη η σύνδεση του οργάνου με τη σωστή πολικότητα. Το αντίθετο, όχι μόνο θα έδινε λάθος μέτρηση, αλλά και πολύ πιθανό να καταστρέψει και το όργανο. Η πολικότητα του οργάνου είναι σημειωμένη με τα σήματα (+,-) ή (+,COM) η (+, \perp) στους δυο ακροδέκτες του οργάνου. Ο έλεγχος της πολικότητας γίνεται πριν συνδεθεί το όργανο ή πριν τροφοδοτηθεί με ηλεκτρικό ρεύμα η προς μέτρηση διάταξη.

Επιλογή κλίμακας

Το όργανο μπορεί να μετράει κάθε φορά μια τιμή του μεγέθους, που οφείλει να βρίσκεται μέσα σε ορισμένη περιοχή $[0..x_{max}]$, όπου x_{max} η μέγιστη μετρήσιμη τιμή του μεγέθους μέσα σ' αυτή την περιοχή. Η επιλογή κλίμακας έχει μεγάλη σημασία για την ακρίβεια της μέτρησης. Αν η τιμή του μεγέθους x είναι πολύ μικρότερη του x_{max} τότε το σφάλμα είναι πολύ μεγάλο. Αν $x > x_{max}$ η μέτρηση δίνει απαράδεκτες τιμές, ενώ υπάρχει κίνδυνος καταστροφής του οργάνου. Ο τρόπος εύρεσης της σωστής κλίμακας διαφέρει πολύ ανάμεσα στα αναλογικά και τα ψηφιακά όργανα.

Σχ. 1

εικ.1.1 Αναλογικό πολύμετρο (metrix MX323).

A. ΑΝΑΛΟΓΙΚΑ ΟΡΓΑΝΑ

Αυτά περιλαμβάνουν πίνακα με διαβαθμισμένη κλίμακα, μια η περισσότερες, ενώ μια βελόνα που κινείται μπροστά στον πίνακα δείχνει τη μετρούμενη τιμή (εικ.1.1).

Στα αναλογικά όργανα η μέτρηση δεν θεωρείται αρκετά ακριβής αν $x < x_{max}/3$ δηλαδή όταν η βελόνα βρίσκεται κάτω από το 1/3 της μέγιστης απόκλισης. Στην περίπτωση αυτή θα πρέπει να επιλεγεί η αμέσως μικρότερη περιοχή μέτρησης. Για μεγέθη που δεν γνωρίζουμε την τάξη μεγέθους των, αρχίζουμε την μέτρηση από τη μέγιστη περιοχή μέτρησης και εφαρμόζοντας τον παραπάνω κανόνα ελαττώνουμε περιοχή ώστε κάποτε η βελόνα να ξεπεράσει το 1/3 της μέγιστης απόκλισης. Τότε έχει επιλεγεί και η σωστή περιοχή μέτρησης.

ΠΡΟΣΟΧΗ. Παραπέρα ελάττωση της περιοχής ή αντίθετο ξεκίνημα, θα έχει σαν συνέπεια $x > x_{max}$ με αποτέλεσμα αυτό που αναφέραμε πιο πάνω.

Στο όργανο που αναφέρεται, οι κλίμακες των συνεχών τάσεων (V_{DC}), ρευμάτων (I_{DC}), και αντιστάσεων (R).

V_{DC}	ακρίβεια	I_{DC}	ακρίβεια	$R(0.2\Omega - 10M)$	ακρίβεια
0.1V	2%	10nA	2%	x 0.1	2%
0.3V	2%	100nA	2%	x 1	2%
1V	2%	1μA	2%	x 10	2%
3V	2%	10μA	2	x 100	2%
10V	2%	100μA	2%	x 1K	2%
30V	2%	1mA	2%	x 10K	2%
100V	2%	10mA	2%		
300V	2%				
1kV	2%				
3kV	2%				

Η ακρίβεια κάθε μέτρησης δίνεται % της αντίστοιχης τιμής της μέγιστης κλίμακας.

π.χ. Αν με το όργανο αυτό μετρηθεί μια τάση και βρεθεί 21V, η ακρίβεια της μέτρησης (αν βέβαια έχει γίνει στη σωστή κλίμακα), είναι: 2% x 30V δηλαδή 0.6V.

Αν η ίδια τιμή έχει βρεθεί σε λάθος κλίμακα, (π.χ. 0 - 100V), η αντίστοιχη ακρίβεια είναι: 2% x 100V = 2V.

Τα περισσότερα αναλογικά όργανα (ηλεκτρονικά) όπως και το metrix MX323 χρειάζονται μηδενισμό πριν από την αρχή των μετρήσεων σε κάθε κλίμακα. Μηδενισμός σημαίνει το να μας δείχνει το όργανο την ένδειξη "μηδέν" όταν το μέγεθος που μετρείται έχει την τιμή μηδέν.

B. ΨΗΦΙΑΚΑ ΟΡΓΑΝΑ

Αυτά δίνουν την τιμή του μετρούμενου μεγέθους απ' ευθείας σε αριθμό,

πάνω σε οθόνη υγρού κρυστάλλου (εικ.1.2). Τα όργανα αυτά, λόγω ακριβώς της πιο πάνω ιδιότητας τους, είναι πολύ εύχρηστα, και αν συνδυαστούν με ορισμένους αυτοματισμούς κατά τη μέτρηση, καθιστούν την όλη διαδικασία της μέτρησης τρομερά απλή.

Ωστόσο στην κλασσική τους μορφή τα όργανα αυτά λειτουργούν με την ίδια λογική των αναλογικών οργάνων. Μπορούν να μετρούν την τιμή ενός μεγέθους x (τάση, ένταση, αντίσταση) που βρίσκεται μέσα στην περιοχή $(0 - x_{max})$. Προσπάθεια να μετρηθεί μέγεθος $x > x_{max}$ έχει συνέπεια την ένδειξη ενός εσφαλμένου αριθμού που αναβοσβήνει η του αριθμού "1" στο περισσότερο σημαντικό ψηφίο της απεικόνισης.

εικ. 1.2 Ψηφιακό πολύμετρο (metrix MX5638).

Παρατεταμένες υπερβάσεις του x_{max} έχουν σαν συνέπεια την καταστροφή του οργάνου, αν δεν περιέχει ειδικό κύκλωμα προστασίας. Αντίθετα, προσπάθεια να μετρηθεί μέγεθος $x \ll x_{max}$ δίνει αποτέλεσμα με μικρή ακρίβεια (μεγάλο σφάλμα). Συγκεκριμένα αποφεύγεται μια κλίμακα όταν $x < x_{max}/10$ στα ψηφιακά όργανα, η πιο πρακτικά, όταν το μέγεθος που μετρείται έχει τιμή μικρότερη από τη μέγιστη τιμή της αμέσως χαμηλότερης κλίμακας. αυτό εκδηλώνεται και από την εμφάνιση μηδενικών στα πιο σημαντικά ψηφία της απεικόνισης.

Στα ψηφιακά όργανα δεν χρειάζεται μετατροπή της ένδειξης για να βρεθεί η πραγματική τιμή. Με τη μετακίνηση της υποδιαστολής που κάνει το ίδιο το όργανο δείχνει ακριβώς τη μετρούμενη τιμή.

Όπως και στα αναλογικά όργανα, τα ψηφιακά, μπορούν να μετράνε τιμές μέσα σε μια περιοχή. Εδώ όμως κάθε περιοχή είναι δεκαπλάσια από την αμέσως χαμηλότερή της. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι κλίμακες του MX563B για την τάση (V), το ρεύμα (I) και την αντίσταση (R). Επίσης φαίνεται και η ακρίβεια των μετρήσεων σε κάθε κλίμακα, όπου R : μετρούμενη τιμή, d : ελάχιστο σημαντικό ψηφίο.

V_{DC}	ακρίβεια	I_{DC}	ακρίβεια	R	ακρίβεια
0-200 μ V	$\pm 0.1\%R \pm 1d$	0-200 μ A	$\pm 0.6\%R \pm 1d$	0-200 Ω	$\pm 0.2\%R \pm 3d$
0-200 μ V	$\pm 0.1\%R \pm 1d$	0-200 μ A	$\pm 0.6\%R \pm 1d$	0-200 Ω	$\pm 0.2\%R \pm 3d$
0-200 μ V	$\pm 0.1\%R \pm 1d$	0-200 μ A	$\pm 0.6\%R \pm 1d$	0-200 Ω	$\pm 0.2\%R \pm 3d$
0-200 μ V	$\pm 0.1\%R \pm 1d$	0-200 μ A	$\pm 0.6\%R \pm 1d$	0-200 Ω	$\pm 0.2\%R \pm 3d$
0-200 μ V	$\pm 0.1\%R \pm 1d$	0-200 μ A	$\pm 0.6\%R \pm 1d$	0-200 Ω	$\pm 0.2\%R \pm 3d$

π.χ. αν μετρηθεί συνεχές ρεύμα 10mA η ακρίβεια της μέτρησης είναι: $0.6\% \times 10mA = 0.06mA$

Σε πολλά ψηφιακά όργανα δεν έχει σημασία η πολικότητα. Μπορεί το ίδιο το όργανο να μετράει τάσεις κάθε πολικότητας και να σημειώνει στην οθόνη την πολικότητα αυτή.

3. Σφάλματα κατά την ανάγνωση

Στα ψηφιακά όργανα δεν υπάρχουν σφάλματα ανάγνωσης γιατί μας δίνουν κατ' ευθείαν τη μετρούμενη τιμή. Αντ' αυτών υπάρχει το σφάλμα κβαντοποίησης που είναι πάντα ίσο με μια μονάδα από το ελάχιστο σημαντικό ψηφίο, το πολύ. π.χ. όταν μετράμε στην κλίμακα 0 - 20V μια τάση 6.50V, το σφάλμα της θα είναι το πολύ 0.01V.

Αντίθετα στα αναλογικά όργανα υπάρχουν σφάλματα ανάγνωσης που μπορεί να είναι αρκετά σημαντικά και έχουν σχέση με:

α) **Την παράλλαξη.** όταν ο παρατηρητής δεν βλέπει κάθετα τον πίνακα του οργάνου, μπαίνει σφάλμα παράλλαξης. Για την εξουδετέρωσή του υπάρχει καθρέφτης κατά μήκος της κλίμακας. Το σφάλμα αυτό μηδενίζεται όταν το είδωλο της βελόνας στον καθρέφτη κρύβεται πίσω απ' αυτήν.

β) **Την κλίμακα.** Οφείλεται στη δυσκολία του παρατηρητή να διακρίνει την ακριβή θέση της βελόνας μέσα στον πίνακα. Το σφάλμα αυτό υπολογίζεται από τον παρατηρητή και μπορεί να εκτιμηθεί σαν το ελάχιστο από < το διπλάσιο του πάχους της βελόνας ή την ελάχιστη υποδιαίρεση της κλίμακας >.

Η επεξεργασία

Η επεξεργασία των μετρήσεων έχει σκοπό την εξουδετέρωση ορισμένων σφαλμάτων και την εξαγωγή των συμπερασμάτων, που, μέσα στο περιβάλλον θορύβου που είναι αναπόφευκτος, πλησιάζουν όσο το δυνατόν στην αλήθεια. Η διαδικασία αυτή, περιέχει γενικά, τη συγκέντρωση των μετρήσεων και των αποτελεσμάτων σε πίνακα ή πίνακες, και παραπέρα τη χάραξη διαγραμμάτων και τη χρησιμοποίησή τους για τη συναγωγή συμπερασμάτων.

Παρακάτω φαίνεται πίνακας που συγκεντρώνει τις μετρημένες τιμές τάσης και έντασης ρεύματος πάνω σε μια ωμική αντίσταση.

V(V)	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
I(mA)	0.0	5.2	10.2	14.7	20.0	25.5	29.7

Τα δεδομένα του πίνακα αυτού μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη χάραξη του διαγράμματος $I=f(V)$ (Σχ. 2). Το κάθε διάγραμμα θα πρέπει να δίνει εύκολα και γρήγορα τις πληροφορίες που περιέχει σε κάθε μελετητή του. Για το σκοπό αυτό, θα πρέπει να ακολουθεί ορισμένους κανόνες.

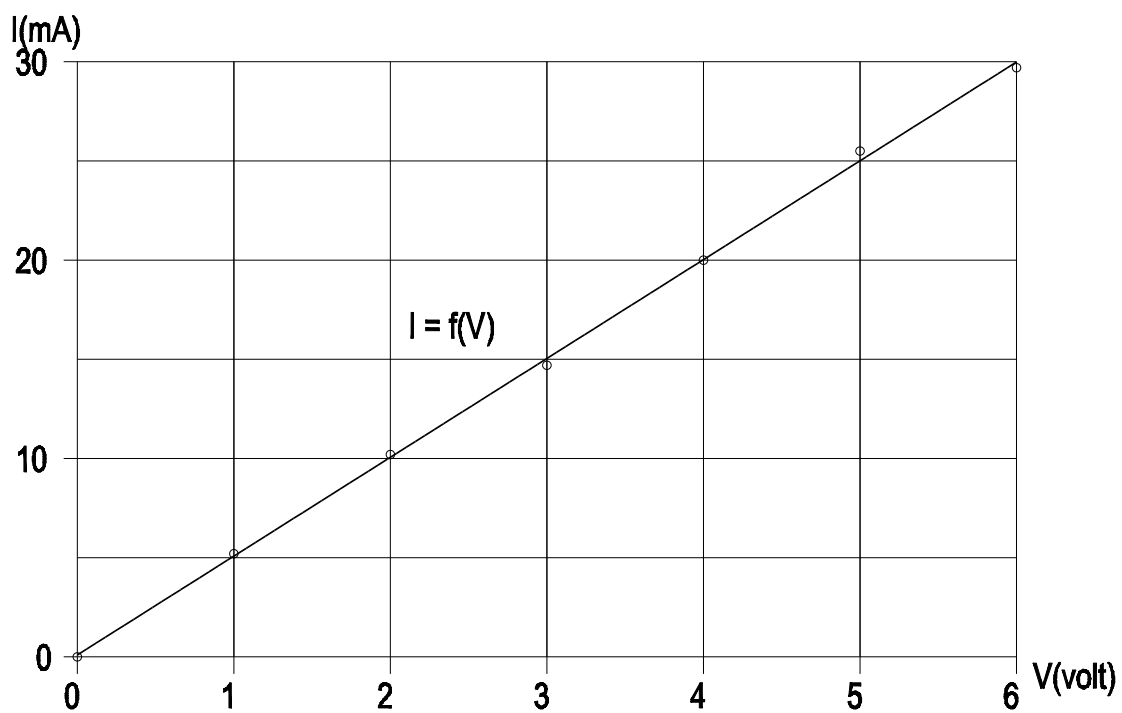
α) Να έχει **μέγεθος** όχι μεγαλύτερο μιας σελίδας A4 αλλά ούτε και μικρότερο από το 1/4 του μεγέθους αυτού.

β) Να έχει **σχήμα** η τετράγωνο η ορθογώνιο (A4), χωρίς υπερβολικά μεγαλύτερη τη μια διάσταση.

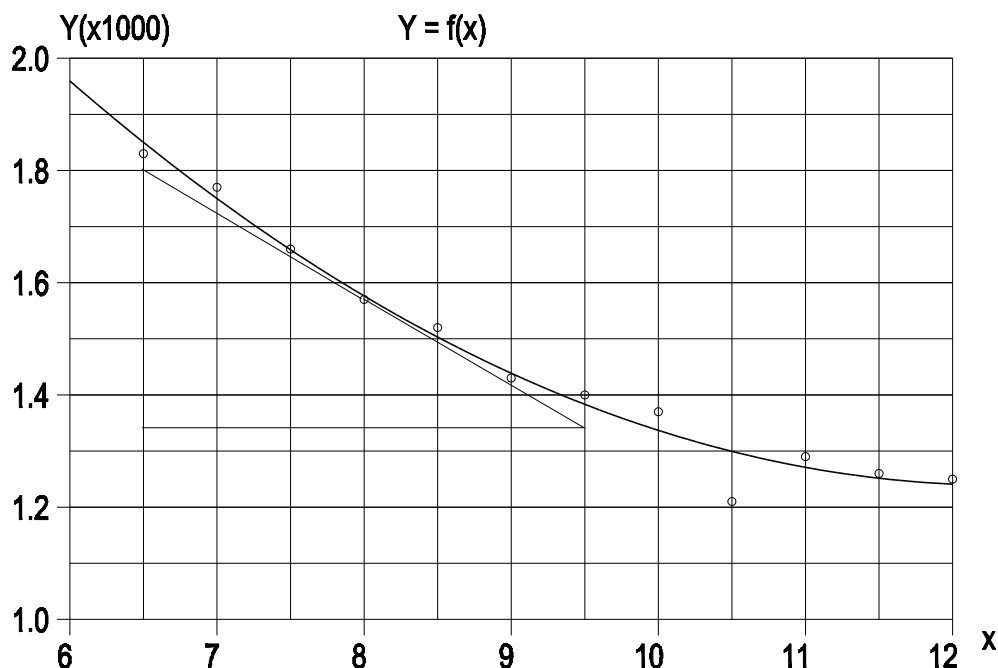
γ) Οι **κλίμακες** των συμμεταβαλλομένων μεγεθών, να προσαρμόζονται κατάλληλα, ώστε η καμπύλη ή οι καμπύλες να καταλαμβάνουν ολόκληρο το χώρο του διαγράμματος.

δ) Τα **σημεία** των μετρήσεων σημειώνονται ζωηρά, ή με μικρούς κύκλους, ώστε να

φαίνονται καθαρά.



Σχ. 2 Διάγραμμα $I = f(V)$.



Σχ. 3 Διάγραμμα $y = f(x)$.

ε) Οι καμπύλες σχεδιάζονται με βάση τον νόμο των ελάχιστων τετράγωνων. δηλαδή, χωρίς απαραίτητα να διέρχονται από όλα τα σημεία των μετρήσεων, αλλά να έχουν την ίδια μορφή με αυτές που προβλέπει η θεωρία (π.χ. ευθεία, παραβολή, κ.λ.π.) και με τέτοιες παραμέτρους, ώστε το άθροισμα των τετράγωνων των αποστάσεων των σημείων των μετρήσεων από την καμπύλη, να είναι ελάχιστο. Στο Σχ. 3, φαίνεται μια άλλη καμπύλη, που σχεδιάστηκε από τα δεδομένα του αντιστοιχικού πίνακα που φαίνεται παρακάτω.

x	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0	10.5	11.0	11.5	12.0
y	1.83	1.77	1.66	1.57	1.52	1.43	1.40	1.37	1.21	1.29	1.28	1.25

Αυτή χρησιμοποιείται για να βρεθεί η κλίση γραφικά. Όπως είναι γνωστό, η κλίση της καμπύλης αυτής, δίνεται από το πηλίκο:

$$\frac{\Delta Y}{\Delta x} = \frac{Y_2 - Y_1}{x_2 - x_1}$$

για $x = 8$

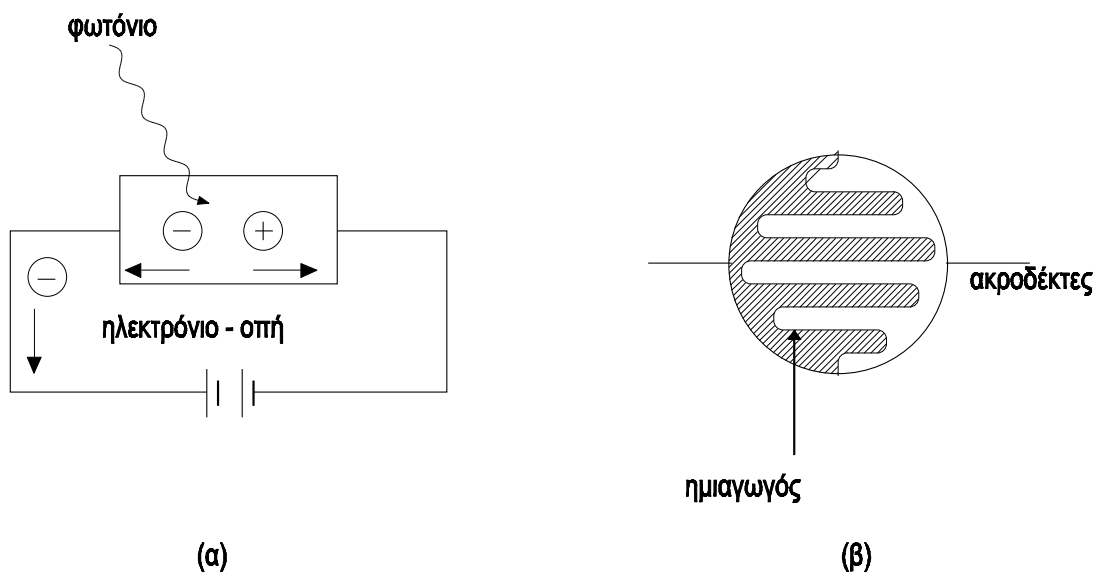
ΑΣΚΗΣΗ 2η

ΦΩΤΟΑΝΤΙΣΤΑΣΗ

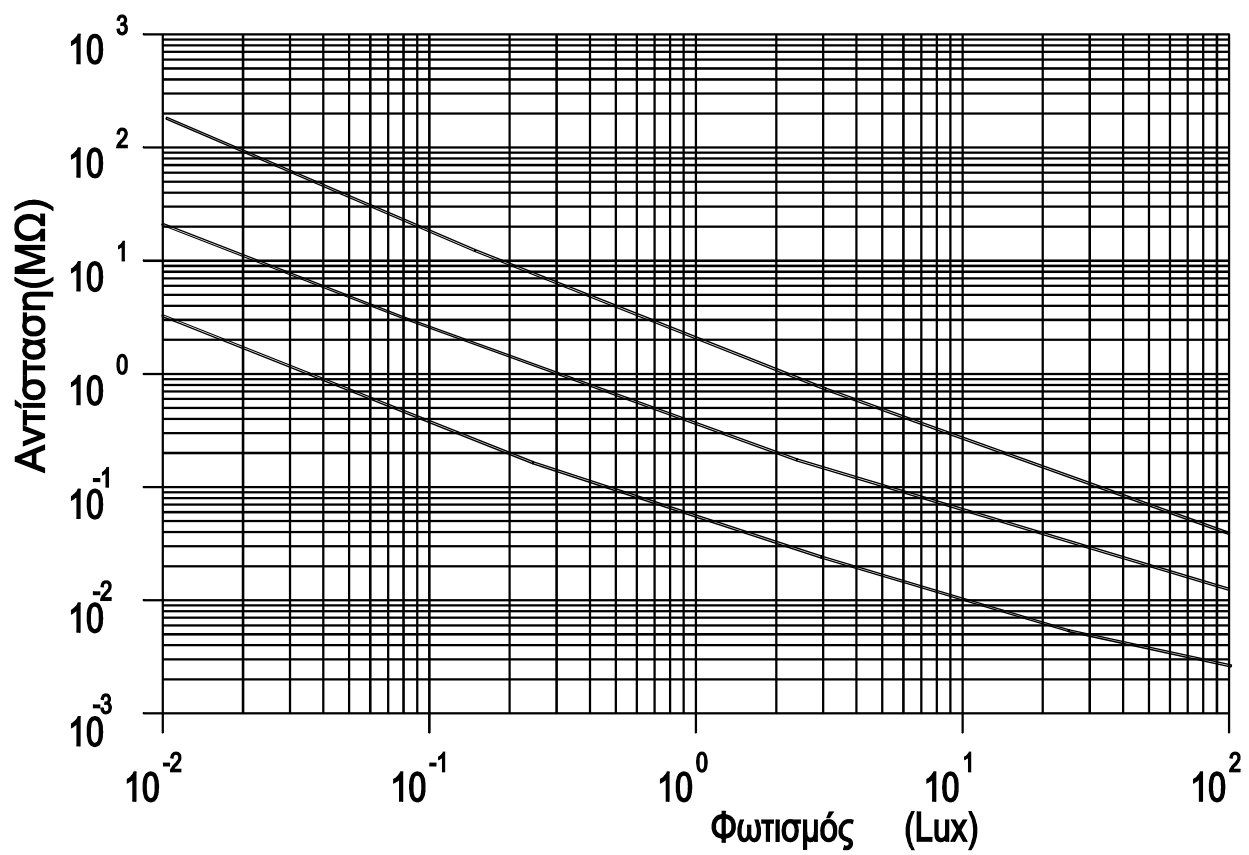
Θεωρητικό μέρος

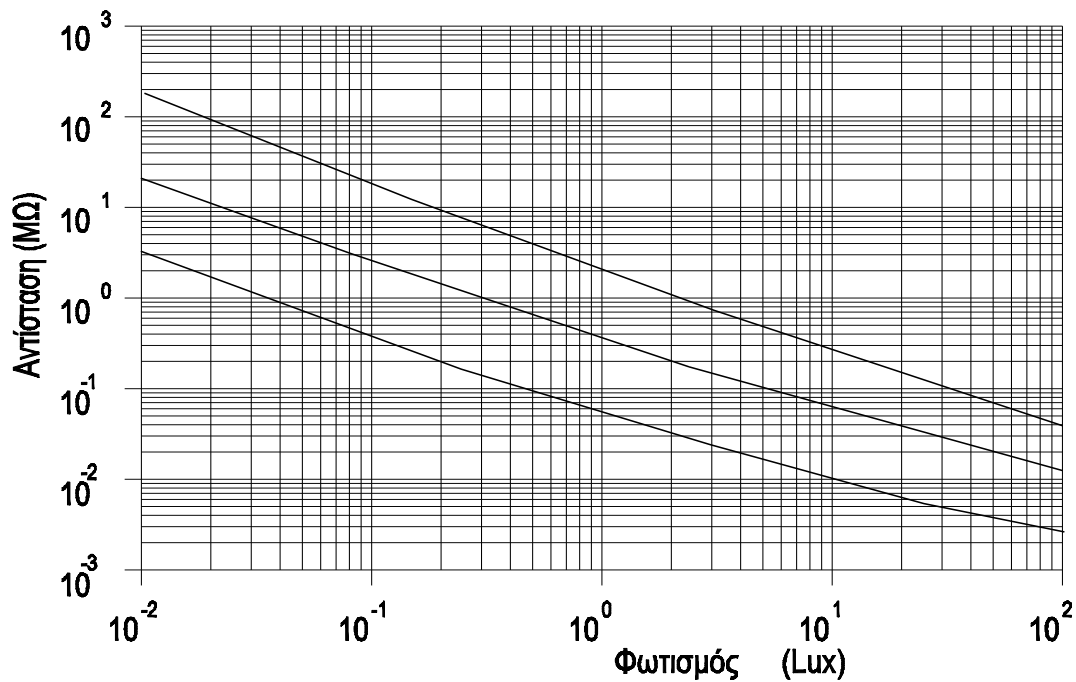
Όταν αρκετή ενέργεια οποιασδήποτε μορφής προσπέσει πάνω σε οποιοδήποτε υλικό, ηλεκτρόνια σθένους Μπορεί να διαφύγουν από τα άτομα που ανήκουν, και να γίνουν ελεύθερα. Εξ ορισμού, μια οπή είναι η απουσία ενός ηλεκτρονίου, άρα αυτή δημιουργείται συγχρόνως με ένα ελεύθερο ηλεκτρόνιο. Η ενέργεια που χρειάζεται για να καλύψει το ενεργειακό χάσμα, είναι από 0.2 μέχρι 3eV, εξαρτώμενη από το υλικό, και επομένως, αν πρόκειται για ακτινοβολία, χρειάζεται αυτή να έχει μήκος κύματος 400 - 6000 nm. Το φαινόμενο αυτό είναι η αρχή λειτουργίας για όλες τις φωτοαντιστάσεις (εικ.2.1α). Ας σημειωθεί ότι δεν χρειάζεται επαφή p-n για να λειτουργήσει αυτή η διάταξη, αρκεί ένα στρώμα φωτοαγωγίμου υλικού που η αντίσταση του ελαττώνεται ανάλογα με την ένταση του προσπίπτοντος Φώτος. Το ηλεκτρικό πεδίο που εφαρμόζεται είναι απαραίτητο για να εξαναγκάσει τα ηλεκτρόνια η τις οπές να κινηθούν μέσα στο υλικό, ενώ το εξωτερικό κύκλωμα τελικά, επανασυνδέει τους φορείς αυτούς.

Η βασική ιδέα όλων των φωτοενεργών διατάξεων (φωτοαντιστάσεων, φωτοδιόδων, φωτοτρανζίστορ κ.λ.π.), είναι να μετατρέψουν τις διακυμάνσεις του φωτός σε ηλεκτρικό σήμα, η να συλλάβουν τα φωτόνια που προσπίπτουν πάνω σ' αυτά με την ελάχιστη ανάκλαση, και να δημιουργήσουν ελεύθερα ηλεκτρόνια ή και οπές με τη μέγιστη απόδοση. Για να γίνει αυτό, η φωτοαντίσταση θα πρέπει να κατασκευαστεί από υλικό διαφανές στα μήκη κύματος που ενδιαφέρουν, με ενεργειακό χάσμα μικρότερο από την ενέργεια των φωτονίων. Μια εξωτερική τάση είναι απαραίτητη για να δημιουργήσει το ρεύμα των φωτοηλεκτρονίων. Στην εικ.2.1(β) φαίνεται μια τυπική φωτοαντίσταση.



Σχ. 4 (α) αρχή λειτουργίας της φωτοαντίστασης
(β) Φυσική όψη φωτοαντίστασης.





Σχ. 5 Η μεταβολή της αντίστασης με το φωτισμό.

εικ.2.2 Φασματική απόκριση φωτοαγωγίμων υλικών.

Η μεταβολή της αντίστασης με τον φωτισμό, είναι περίπου γραμμική όπως δείχνει η εικ.2.2, και ο λόγος:

(αντίσταση στο σκοτάδι):(αντίσταση στο φως)

είναι συχνά μεγαλύτερος από 1000:1

Η Φασματική απόκριση μερικών ενδογενών φωτοαγωγίμων υλικών δίνεται στην εικ.2.3. Για σύγκριση δίνεται η Φασματική απόκριση μιας λάμπας πυράκτωσης. (φαίνεται από τα στίγματα "x").

Οι φωτοαντιστάσεις, σε σχέση με άλλες διατάξεις που μετατρέπουν φως σε ηλεκτρικό σήμα, έχουν τα παρακάτω πλεονεκτήματα:

1. Μεγάλη ευαισθησία. (που οφείλεται στη μεγάλη φωτιζόμενη επιφάνεια).
2. Ευκολία στη χρήση. (απλή φωτοευαίσθητη αντίσταση).
3. Χαμηλό κόστος.
4. Δεν εμφανίζουν τάση επαφής.

Τα μειονεκτήματά τους είναι:

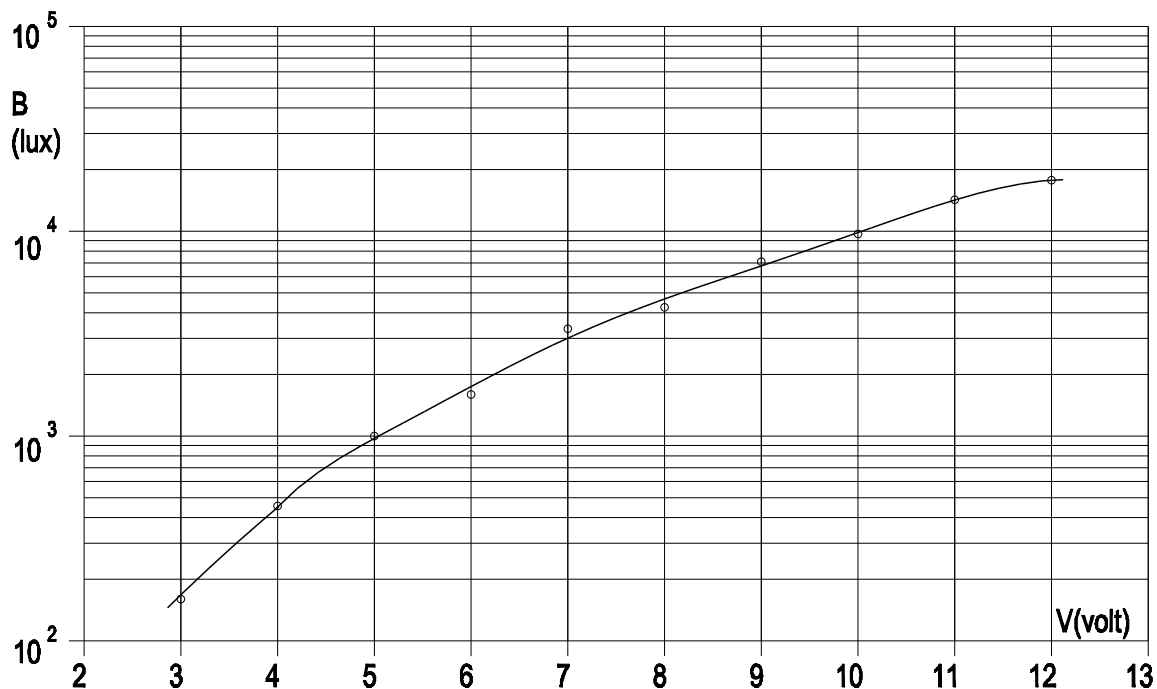
1. Στενή Φασματική απόκριση.
2. Αδράνεια σε γρήγορες μεταβολές του φωτισμού.
3. Μικρή σταθερότητα με τη θερμοκρασία, κυρίως για τα υλικά με γρήγορη απόκριση.

4. Αργή απόκριση για τα υλικά με σταθερότητα σε θερμοκρασιακές μεταβολές.

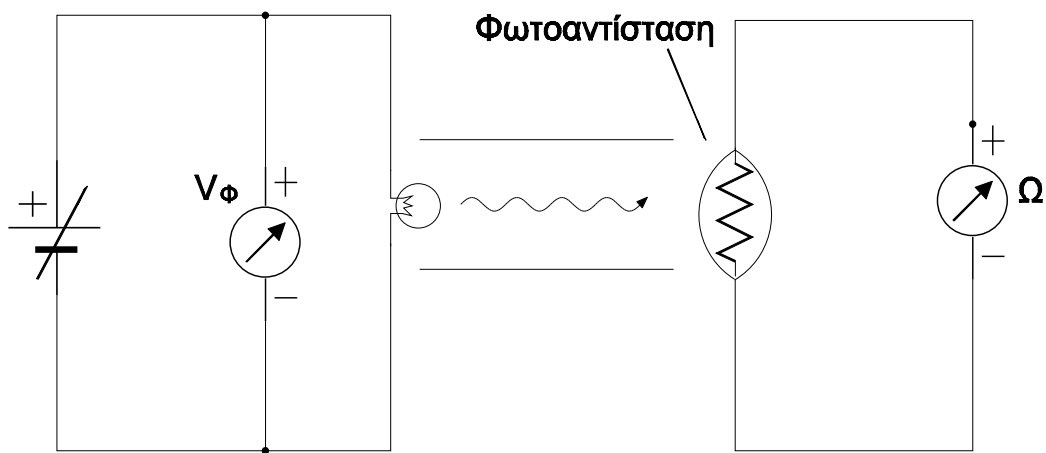
Οι κύριες εφαρμογές των φωτοαντιστάσεων είναι:
Φτηνή αλλά με μικρή ακρίβεια μέτρηση του φωτός, και έλεγχος συναγερμού μέσω του φωτός.

Πρακτικό μέρος

Η άσκηση αυτή έχει σκοπό να μας δείξει την εξάρτηση της αντίστασης μιας φωτοαντίστασης από το φωτισμό που δέχεται αυτή. Επειδή η απόσταση ανάμεσα στον λαμπτήρα και τη φωτοαντίσταση διατηρείται σταθερή, ο φωτισμός θα είναι πάντα ανάλογος της φωτοβολίας της φωτεινής πηγής και κατά συνέπεια συνάρτηση της τάσης που εφαρμόζεται στη φωτεινή πηγή. Έτσι, για κάθε μέτρηση εφαρμόζεται ορισμένη τάση στη φωτεινή πηγή, και με τη βοήθεια του παρακάτω διαγράμματος βρίσκεται ο φωτισμός (σε Lux) που δέχεται η φωτοαντίσταση. Φυσικά υποτίθεται ότι η απόσταση φωτεινής πηγής - φωτοαντίστασης διατηρείται σταθερή.



Σχ. 6 $B_{\text{φωτοαντίστασης}} = f(V_{\text{φωτεινής πηγής}})$ για $d=7\text{cm}$



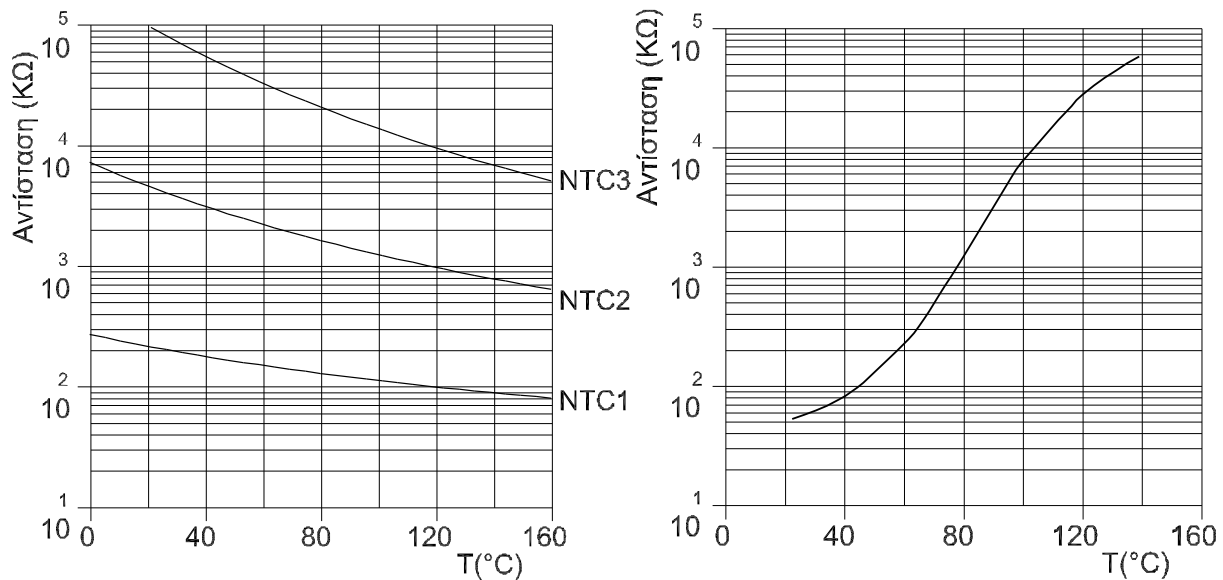
ΑΣΚΗΣΗ 3η ΘΕΡΜΙΣΤΟΡ

Θεωρητικό μέρος

Η αγωγιμότητα του γερμανίου/πυριτίου, βρίσκεται ότι αυξάνει περίπου κατά 6% (8%) αυξανόμενης της θερμοκρασίας κατά 1°C. Τέτοια μεγάλη μεταβολή της αγωγιμότητας με τη θερμοκρασία, περιορίζει τη χρήση των ημιαγωγών σε μερικά κυκλώματα. Από την άλλη μεριά όμως, σε μερικές εφαρμογές, αυτή ακριβώς την ιδιότητα χρειαζόμαστε. Ο ημιαγωγός που χρησιμοποιείται με αυτό τον τρόπο, λέγεται **θερμίστορ**. Μια τέτοια διάταξη βρίσκει εκτεταμένη χρήση στη θερμομετρία, στη μέτρηση ισχύος μικροκυματικών συχνοτήτων, ως θερμικός διακόπτης, και σε διατάξεις αυτόματου έλεγχου που ενεργοποιούνται από μεταβολές της θερμοκρασίας. Το πυρίτιο και το γερμάνιο, δεν χρησιμοποιούνται σαν θερμίστορ γιατί είναι πολύ ευαίσθητα στις προσμίξεις. Τα θερμίστορ του εμπορίου, αποτελούνται από μίγματα οξειδίων, όπως: NiO, Mn₂O₃, Co₂O₃.

Η εκθετική μείωση της αντίστασης ενός ημιαγωγού, έρχεται σε αντίθεση με τη μικρή και σχεδόν γραμμική αύξηση της αντίστασης των μετάλλων. Μια αύξηση της θερμοκρασίας των μετάλλων έχει ως αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη θερμική κινητικότητα των ιόντων, και ελαττώνει ελαφρά τη μέση ελεύθερη διαδρομή των ελευθέρων ηλεκτρονίων. αυτό επηρεάζει την κινητικότητα των ελευθέρων ηλεκτρονίων, ελαττώνοντάς την και άρα την αγωγιμότητα, ελαττώνοντάς την επίσης. Για τα περισσότερα μέταλλα, η αντίσταση αυξάνει περίπου 0,4% °C. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι υπάρχουν θερμίστορ με αρνητικό συντελεστή θερμοκρασίας (NTC), η με θετικό συντελεστή θερμοκρασίας (PTC) που κατασκευάζονται από ημιαγωγό με ισχυρή πρόσμιξη. Στην περίπτωση αυτή (των PTC θερμίστορ) η αντίσταση αυξάνει γιατί ελαττώνεται η κινητικότητα των φορέων με την αύξηση της θερμοκρασίας, όπως και στα μέταλλα.

Αντίθετα, στα NTC θερμίστορ, αυξανόμενης της θερμοκρασίας, αυξάνει η ενέργεια των δέσμιων ηλεκτρονίων με αποτέλεσμα πολλοί δεσμοί να σπάσουν και τα αντίστοιχα ηλεκτρόνια να γίνουν ελεύθερα, αυξάνοντας την αγωγιμότητα, ή μειώνοντας την αντίσταση του ημιαγωγού.



Σχ. 7 Διαγράμματα $R = f(T)$. (α) Για τρία διαφορετικά NTC θερμίστορ. (β) Για ένα PTC θερμίστορ.

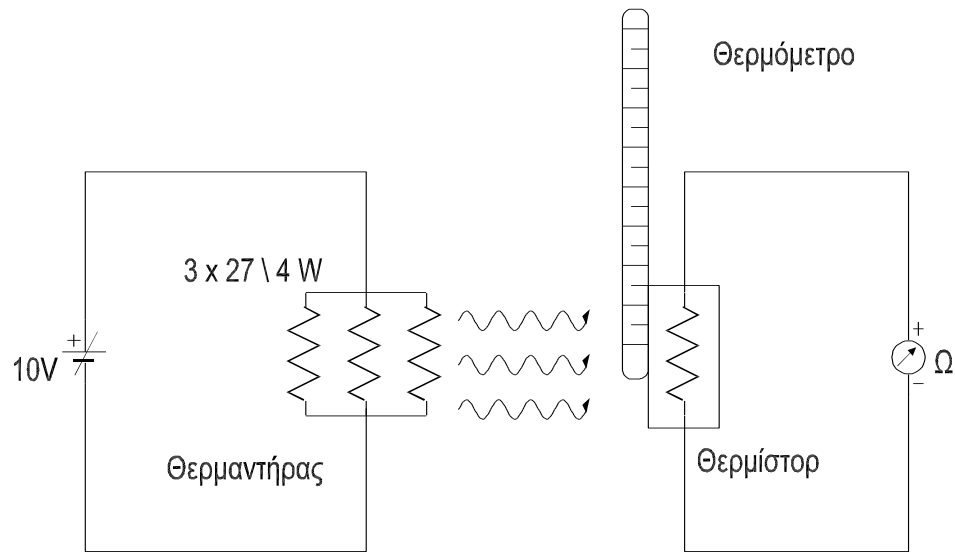
Συγκεκριμένα για το NTC θερμίστορ, η εξάρτηση της αντίστασης (R) από τη θερμοκρασία (T) είναι λογαριθμική, και εκφράζεται από τη σχέση:

$$R = A \cdot e^{\frac{B}{T}}$$

όπου A, B : σταθερές.

Πρακτικό μέρος

Στην άσκηση αυτή, θα πάρουμε τις απαραίτητες μετρήσεις για τη χάραξη των καμπυλών $R = f(T)$ για δυο διαφορετικά θερμίστορ NTC. Για το σκοπό αυτό το θερμίστορ θερμαίνεται με τη βοήθεια ενός θερμαντήρα που βρίσκεται σε θερμική επαφή μ' αυτό, ενώ ταυτόχρονα, με θερμόμετρο που βρίσκεται σε καλή θερμική επαφή με το θερμίστορ, μετρούμε τη θερμοκρασία. Επειδή το φαινόμενο της θερμικής αγωγής επηρεάζει τη μέτρηση της θερμοκρασίας εισάγοντας ένα συστηματικό σφάλμα, για να το εξουδετερώσουμε, μετράμε για την ίδια θερμοκρασία (T), του θερμίστορ, δυο φορές την αντίσταση του, μια φορά καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία του, και μια άλλη καθώς αυτό ψύχεται. Σαν τελική τιμή της αντίστασης του θερμίστορ, λαμβάνεται ο μέσος όρος των δυο αυτών μετρήσεων.



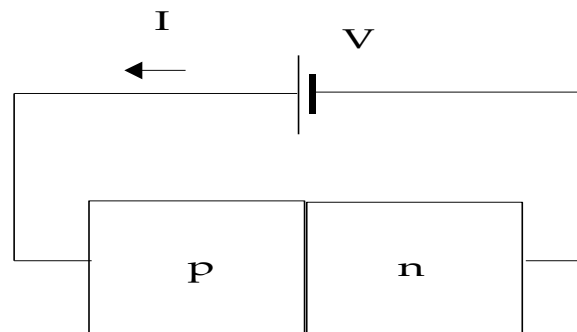
Σχ. 8 Η διάταξη της άσκησης

Παρατήρηση: Το θερμόμετρο βρίσκεται ανάμεσα στο θερμαντήρα και στο θερμίστορ. Η διάταξη της άσκησης φαίνεται στο Σχ. 8

ΑΣΚΗΣΗ 4η ΔΙΟΔΟΣ

Θεωρητικό μέρος

είναι γνωστό ότι η διόδος αποτελείται από δυο ημιαγωγούς **p** και **n** κατασκευασμένους πάνω στο ίδιο υπόστρωμα, όπως φαίνεται και στην εικ.4.1.



Σχ. 9 Επαφή p-n που λειτουργεί ως διόδος.

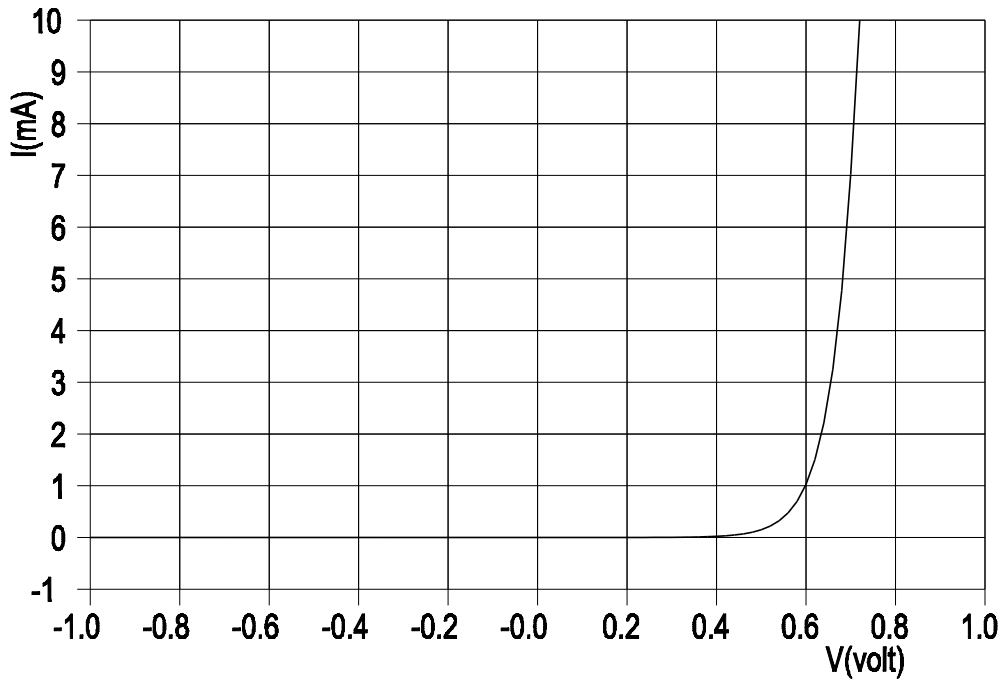
Η διάταξη αυτή, αν πολωθεί με τάση V , θα διαρέεται από ρεύμα:

$$I = I_0 \left(e^{\frac{V}{nV_T}} - 1 \right)$$

όπου I :το ρεύμα ανάστροφης πόλωσης της διόδου.

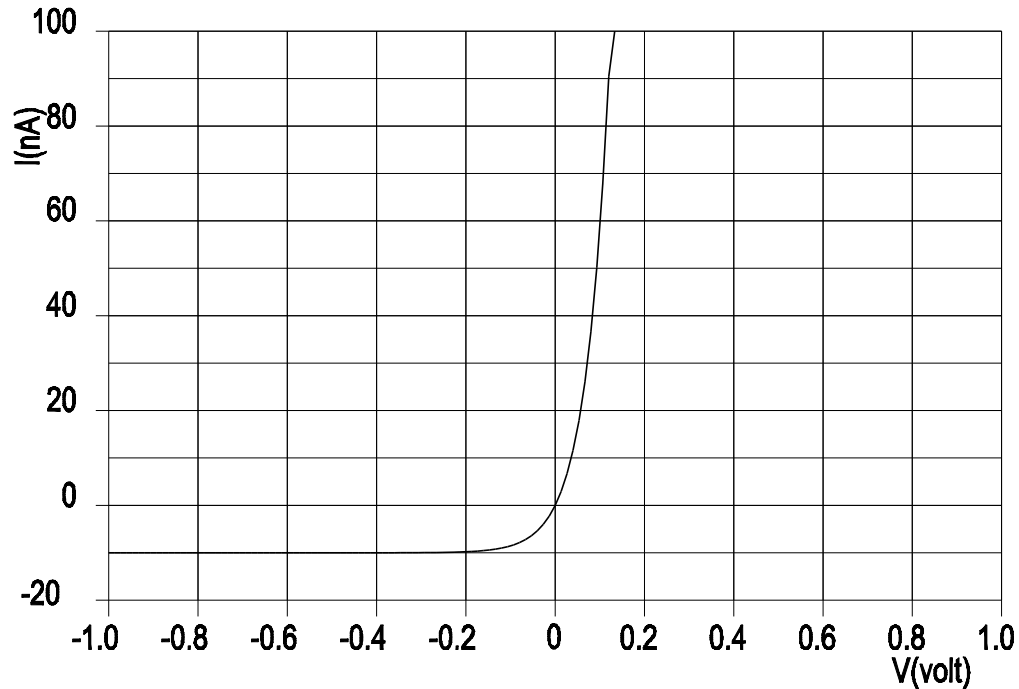
V_T :σε θερμοκρασία 300 °C είναι 26mV.

n :παράγοντας κλίμακας που για τις διόδους Ge είναι περίπου 1 ενώ για τις διόδους Si είναι περίπου 2.



Σχ. 10 χαρακτηριστική καμπύλη της διόδου.

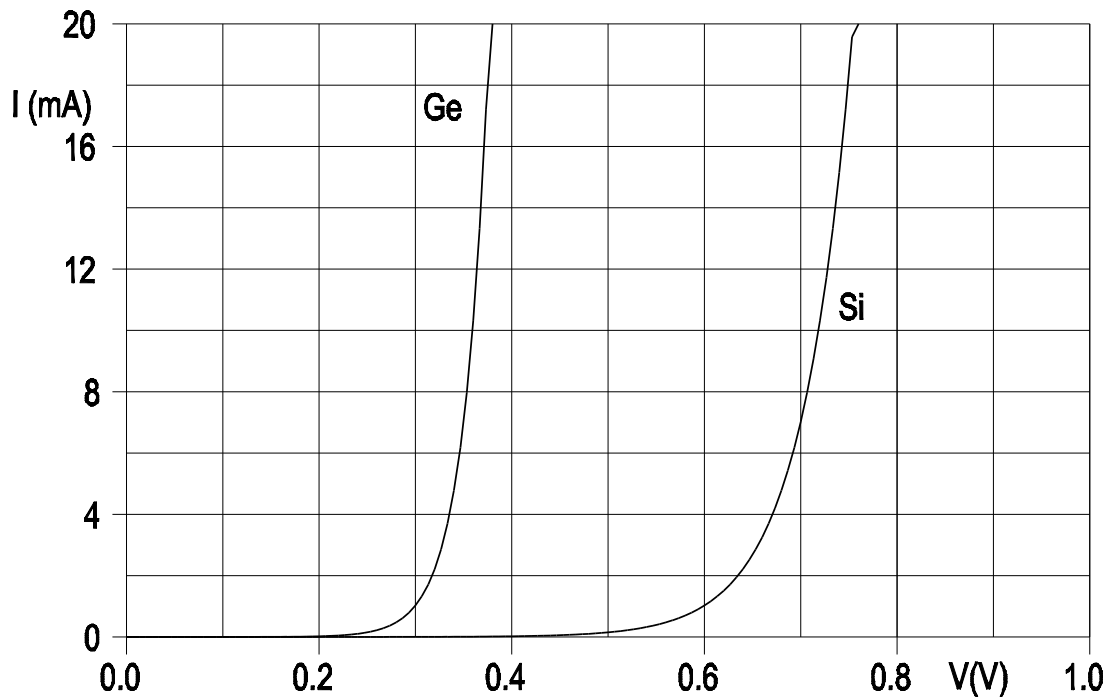
Η γραφική παράσταση της παραπάνω σχέσης που στο εξής θα τη λέμε χαρακτηριστική καμπύλη της διόδου, φαίνεται στο Σχ. 10. Όταν η τάση V είναι θετική και πολύ μεγαλύτερη από τη V_T , η μονάδα στην παρένθεση της σχέσης μπορεί να παραληφθεί. Έτσι, το ρεύμα αυξάνει εκθετικά με την τάση. Όταν η διόδος είναι ανάστροφα πολωμένη και η $|V|$ είναι μερικά V_T , τότε $I = -I_0$. Το ανάστροφο ρεύμα είναι άρα σταθερό, ανεξάρτητο της εφαρμοζόμενης ανάστροφης τάσης. Επομένως, το I αναφέρεται σαν το ανάστροφο ρεύμα κόρου.



Σχ. 11 χαρακτηριστική καμπύλη της διόδου.

Στο Σχ. 11 έχουμε το ίδιο διάγραμμα του Σχ. 10 με τη διαφορά ότι εδώ έχει αναπτυχθεί αρκετά ο κατακόρυφος άξονας ώστε να διακρίνεται καλά το αναστροφο ρεύμα κόρου I_0 .

Οι διόδοι που κυκλοφορούν στο εμπόριο είναι κυρίως διόδοι πυριτίου ή γερμανίου. Στο Σχ. 12 φαίνεται η σχετική θέση των χαρακτηριστικών καμπυλών των δυο αυτών διόδων σε θερμοκρασία δωματίου. Θα πρέπει να σημειώσουμε ότι και οι δυο εμφανίζουν μια τάση κατωφλίου V_K κάτω από την οποία το ρεύμα είναι πολύ μικρό. Από το Σχ. 12 βλέπουμε ότι για τη δίοδο Ge η τάση κατωφλίου είναι περίπου 0,2V ενώ για τη δίοδο Si περίπου 0,6V.



Σχ. 12 Σύγκριση χαρακτηριστικών διόδων Ge,Si.

Όταν η διάδος διαρρέεται από ρεύμα I η δυναμική της αντίστασης που ορίζεται από τη σχέση:

$$r_d = \frac{dV}{dI}$$

δίνεται από τον τύπο:

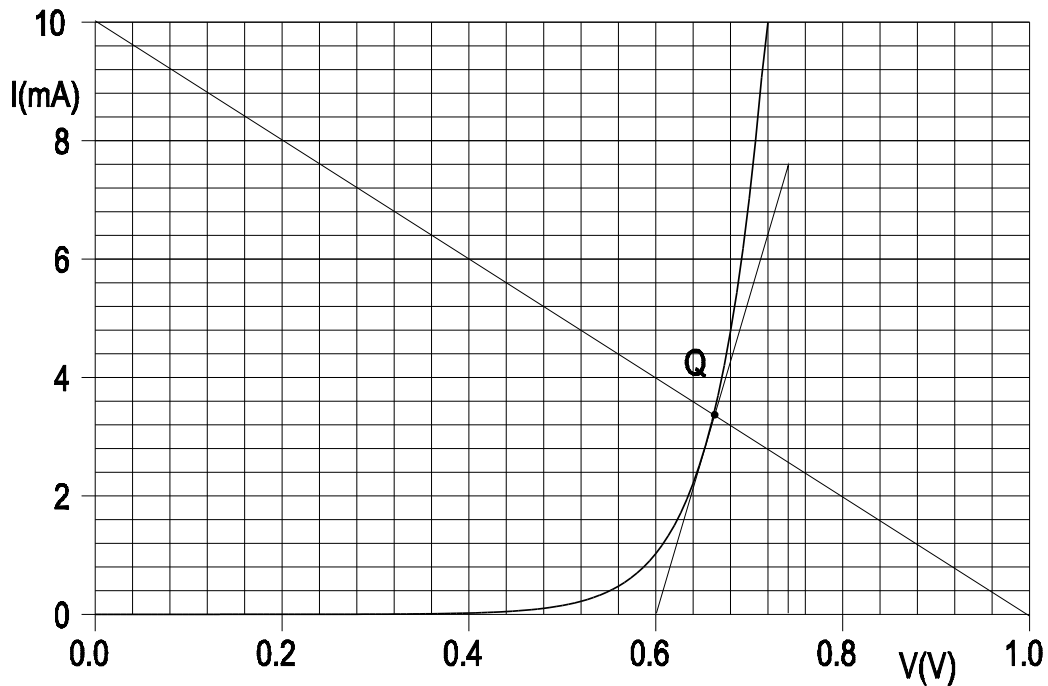
$$r_d \cong \frac{nV_T}{I} \quad I$$

όπου $V_T = 26\text{mV}$ και $n = 1$ για το γερμάνιο και 2 για το πυρίτιο.

Πρακτικό μέρος

Στην άσκηση αυτή θα πάρουμε μετρήσεις και μ' αυτές θα κατασκευάσουμε τη χαρακτηριστική καμπύλη μιας διόδου πυριτίου και μιας διόδου γερμανίου. Στα σχεδιαγράμματα, θα χαράξουμε την ευθεία φόρτου που αντιστοιχεί σε δοσμένο κύκλωμα που περιλαμβάνει τη μια ή την άλλη διάοδο, καθώς και τη δυναμική χαρακτηριστική της. Παρακάτω φαίνεται ο τρόπος που χαράσσονται η ευθεία φόρτου και η δυναμική χαρακτηριστική.

Η ευθεία φόρτου είναι μια ευθεία που τέμνει τον άξονα της τάσης στην τιμή V_D (τάση πόλωσης) και τον άξονα του ρεύματος στην τιμή $\frac{V_{DD}}{R_L}$, όπου R_L είναι η αντίσταση πόλωσης.



Σχ. 13 Ευθεία φόρτου, σ. λειτουργίας, τάση λειτουργίας και δυναμική αντίσταση της διόδου.

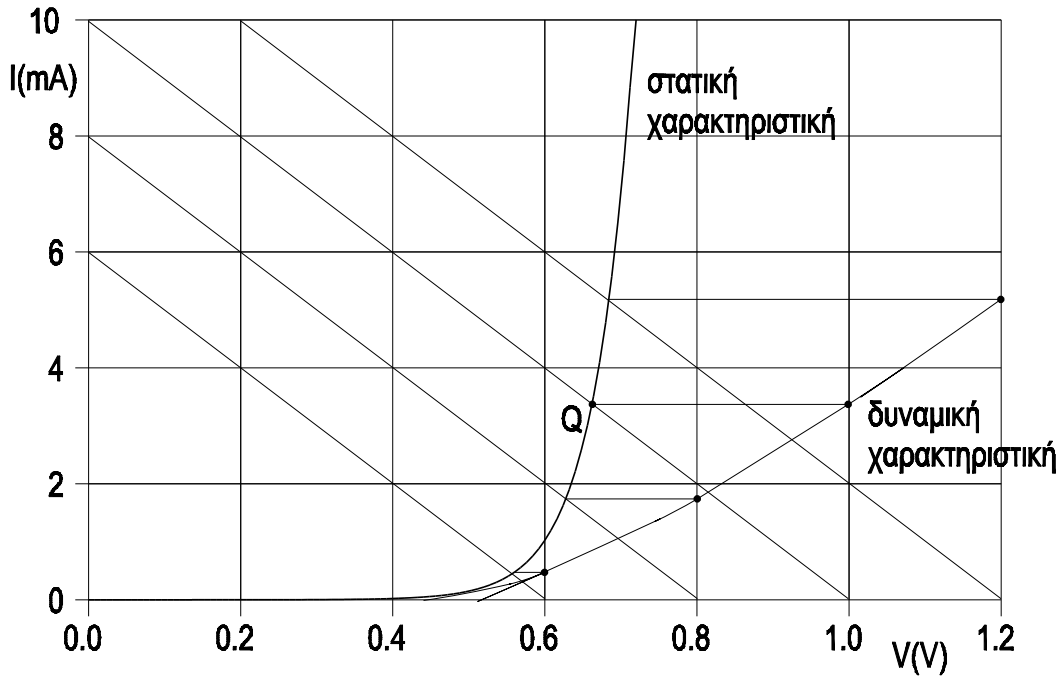
Το σημείο λειτουργίας της διόδου είναι το $A: (V_A, I_A)$ όπως φαίνεται στην εικ.4.5. Η δυναμική αντίσταση της διόδου βρίσκεται γραφικά από το αντίστροφο της κλίσης της χαρακτηριστικής στο σ. λειτουργίας.

π.χ.



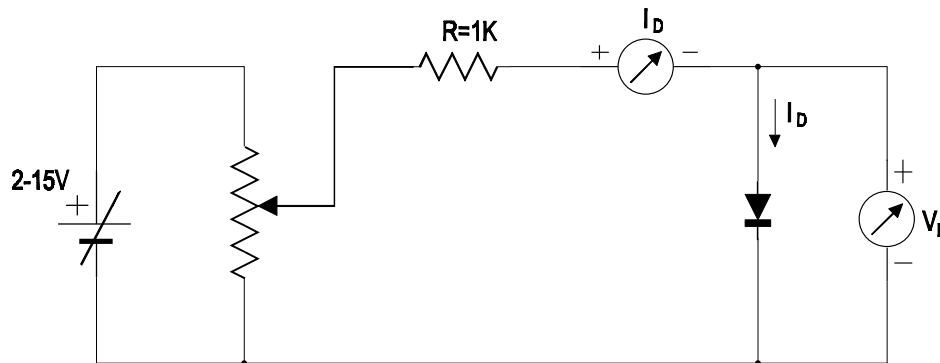
Η τάση κατωφλίου βρίσκεται από το σημείο που η παραπάνω εφαπτόμενη τέμνει τον άξονα της τάσης.

Η δυναμική χαρακτηριστική σχεδιάζεται όπως φαίνεται και στο Σχ. 14.



Σχ. 14 Χάραξη της δυναμικής χαρακτηριστικής.

Για τυχούσα τάση εισόδου V_{DD} και με αντίσταση φόρτου R_L χαράσσεται η ευθεία φόρτου. Για το σημείο λειτουργίας A της στατικής χαρακτηριστικής, βρίσκουμε ένα άλλο σημείο B της δυναμικής. Το σημείο αυτό είναι το (V_{BB}, I_A) . Ακολουθώντας ακριβώς την ίδια διαδικασία μερικές φορές (π.χ. 5 φορές) παίρνουμε μερικά σημεία $B', B'' \dots$ και χαράσσουμε την καμπύλη που περνάει απ' όλα αυτά. Γίνεται κατανοητό ότι η δυναμική χαρακτηριστική είναι η γραφική απεικόνιση $I = f(V)$. Στο παρακάτω Σχ. 15 φαίνεται το κύκλωμα της άσκησης.



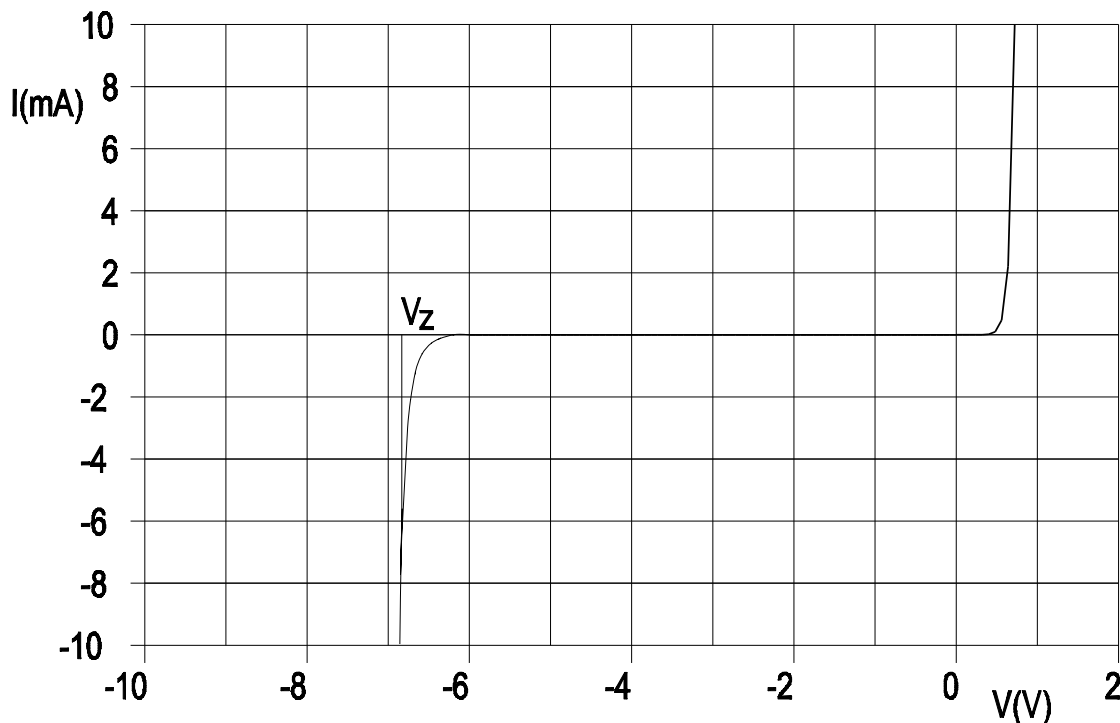
Σχ. 15 Το κύκλωμα της άσκησης

ΑΣΚΗΣΗ 5η ΔΙΟΔΟΣ ZENER

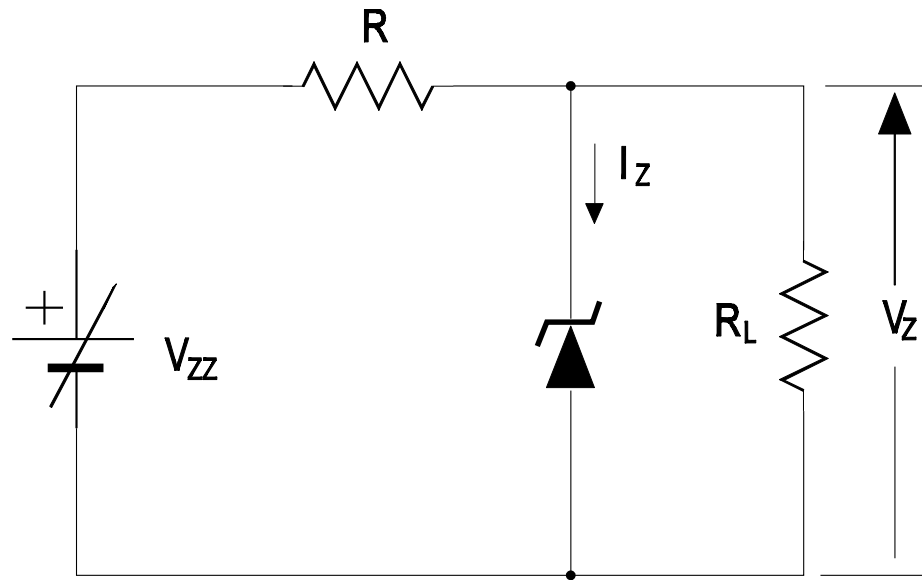
Θεωρητικό μέρος

Η χαρακτηριστική καμπύλη μιας κρυσταλλοδιόδου, για μεγάλες αρνητικές τάσεις παίρνει τη μορφή του παρακάτω Σχ. 17 εμφανίζοντας μια περιοχή όπου για μικρή μεταβολή της τάσης το ρεύμα αυξάνει εκρηκτικά (περιοχή κατάρρευσης). Δίοδοι που έχουν σχεδιαστεί να λειτουργούν στην περιοχή κατάρρευσης, μπορούν να χρησιμοποιούνται σαν διατάξεις τάσεων αναφοράς ή σταθερής τάσης. Τέτοιες διόδους είναι γνωστές σαν διόδους zener. Αυτές χρησιμοποιούνται χαρακτηριστικά με τον τρόπο που φαίνονται στο Σχ. 17, όπου η πηγή τάσης V και η αντίσταση R εκλέγονται Έτσι ώστε αρχικά η διόδος να λειτουργεί στην περιοχή κατάρρευσης. Εδώ η τάση της διόδου είναι V_Z και το ρεύμα της I_Z . Τώρα η διόδος θα εξομαλύνει την τάση V_Z ενάντια σε μεταβολές του ρεύματος φορτίου ή μεταβολές της τάσης τροφοδοσίας V_{ZZ} .

Έχουν διαπιστωθεί δυο μηχανισμοί που συντελούν στην κατάρρευση της διόδου.



Σχ. 16 Χαρακτηριστική καμπύλη διόδου zener.



Σχ. 17 Τυπικό κύκλωμα πόλωσης διόδου zener.

a) **Πολλαπλασιασμός χιονοστιβάδας.** Σύμφωνα με το μηχανισμό αυτό, ένα ηλεκτρόνιο (οπή) που δημιουργήθηκε θερμικά, πέφτει μέσα στο φραγμό δυναμικού της επαφής p-n, επιταχύνεται από το ηλεκτρικό πεδίο και πέφτει με αρκετή ενέργεια πάνω σ' ένα δεσμό και τον διασπάσει, δημιουργώντας ένα ζευγάρι φορέων (ηλεκτρόνιο-οπή). Ο κάθε νέος φορέας θα ακολουθήσει την ίδια διαδικασία και θα δημιουργήσει ένα καινούργιο ζευγάρι κ.ο.κ. αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία μεγάλου αναστροφου ρεύματος, όποτε λέμε ότι η διάδος βρίσκεται στην περιοχή κατάρρευσης χιονοστιβάδας. Σύμφωνα με το μηχανισμό αυτό, αύξηση της θερμοκρασίας συνεπάγεται αύξηση της τάσης κατάρρευσης, και αυτό γιατί αύξηση της θερμοκρασίας, αυξάνει το πλάτος ταλάντωσης των ιόντων του ημιαγωγού, άρα μειώνει τη μέση ελεύθερη διαδρομή των φορέων, άρα μειώνει τον αριθμό των ενεργών συγκρούσεων στη μονάδα του χρόνου, όποτε για να περάσει το ίδιο ρεύμα χρειάζεται μεγαλύτερη τάση.

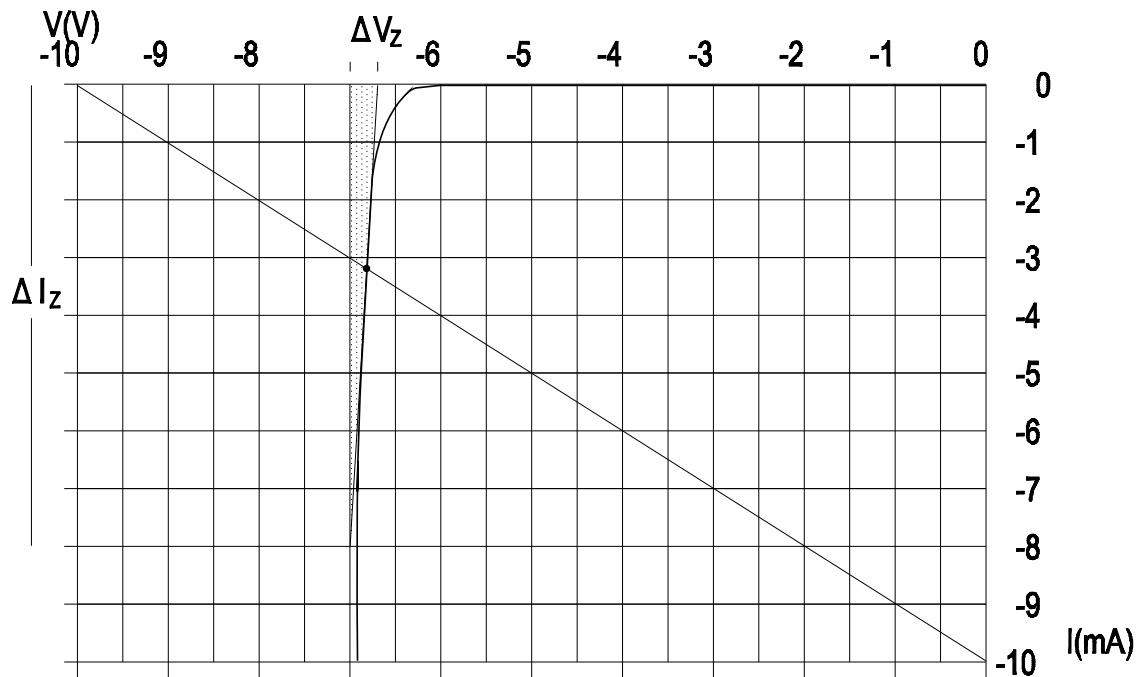
b) **Κατάρρευση zener.** Ακόμα κι' αν δεν υπάρχουν αρχικά φορείς ηλεκτρισμού, ένα ισχυρό ηλεκτρικό πεδίο μπορεί να ασκήσει στα ηλεκτρόνια τέτοιες δυνάμεις, ώστε να τα αποσπάσει από τους δεσμούς και να δημιουργήσει ζευγάρια ηλεκτρονίων-οπών. Έτσι, αφού αυξάνονται οι φορείς, αυξάνεται και το ρεύμα. Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται όταν δημιουργηθεί στην επαφή p-n ισχυρό πεδίο ($2 \cdot 10^7$ V/m) το οποίο μπορεί να δημιουργηθεί με χαμηλές τάσεις (6V) για διόδους με βαριά πρόσμιξη. Εδώ, αύξηση της θερμοκρασίας συνεπάγεται αύξηση της ενέργειας των ηλεκτρονίων σθένους, άρα αρκεί μικρότερη εξωτερική τάση για να ελευθερωθούν αυτά. Δηλαδή, τότε η τάση κατάρρευσης ελαττώνεται.

Πρακτικό μέρος

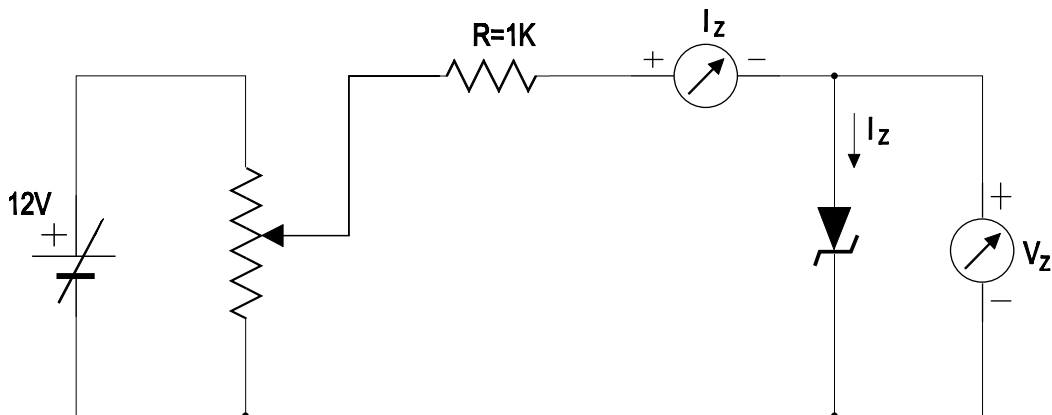
Στην άσκηση αυτή θα ληφθούν μετρήσεις για τη χάραξη της χαρακτηριστικής καμπύλης μιας διόδου zener και στη συνέχεια θα βρεθεί η δυναμική αντίσταση της στο σ. λειτουργίας της καθώς και η σταθεροποίηση τάσης.

Έτσι από το Σχ. 18, το αντίστροφο της κλίσης της χαρακτηριστικής της zener στο σ. λειτουργίας, δίνει τη δυναμική αντίσταση της.

Στο Σχ. 19 φαίνεται το κύκλωμα της άσκησης, ενώ στοιχεία κατασκευαστού για τη χρησιμοποιούμενη zener δίνονται στο παράρτημα Α.



Σχ. 18 Επεξεργασία της χαρακτηριστικής καμπύλης της zener.



Σχ. 19 Το κύκλωμα της άσκησης.

ΑΣΚΗΣΗ 6η

ΤΡΑΝΖΙΣΤΟΡ ΕΠΑΦΗΣ ΣΕ ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ΚΟΙΝΟΥ ΕΚΠΟΜΠΟΥ

Χαρακτηριστικές καμπύλες εισόδου

Θεωρητικό μέρος

Στην εικ.6.1 βλέπουμε τη μορφή ενός τρανζίστορ επαφής τύπου npn, καθώς και τις διάφορες συνιστώσες των ρευμάτων που κυκλοφορούν μέσα σ' αυτό, όταν η επαφή είναι ορθά πολωμένη και η επαφή του συλλέκτη ανάστροφα.

Το ρεύμα εκπομπού I_E αποτελείται από τα ρεύματα I_{pE} (οπές που περνάνε από τη βάση στον εκπομπού), I_{nE} (ηλεκτρόνια που περνάνε από τον εκπομπού στη βάση).

$$I_E = I_{pE} + I_{nE}$$

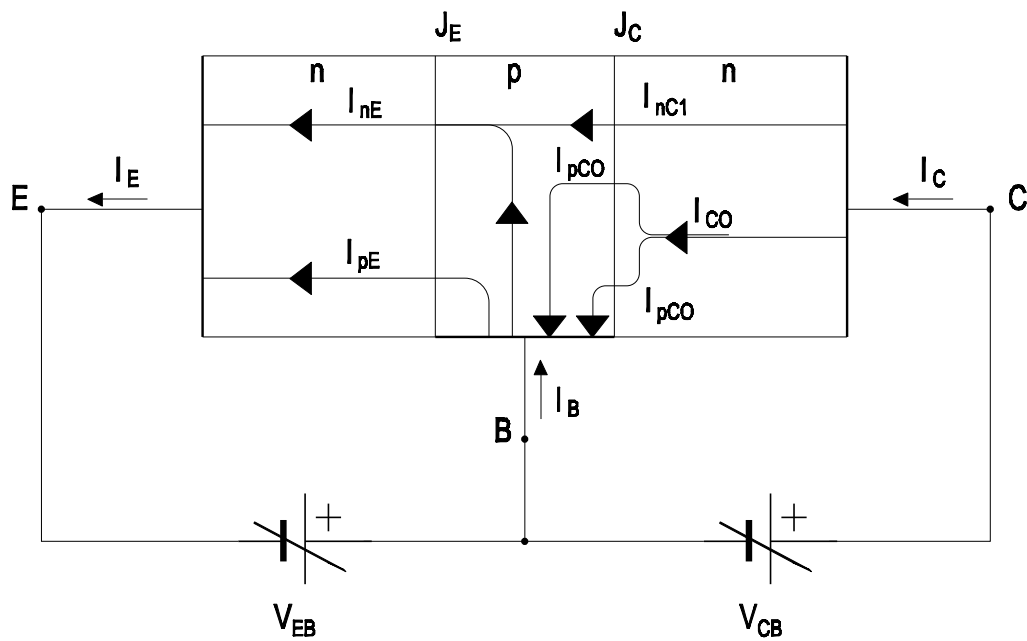
I_{CO} : είναι το ανάστροφο ρεύμα κόρου της επαφής συλλέκτη - βάσης (J_C) και αποτελείται από τα ρεύματα:

I_{nC0} : ηλεκτρόνια που περνάνε από τη βάση στον εκπομπο.

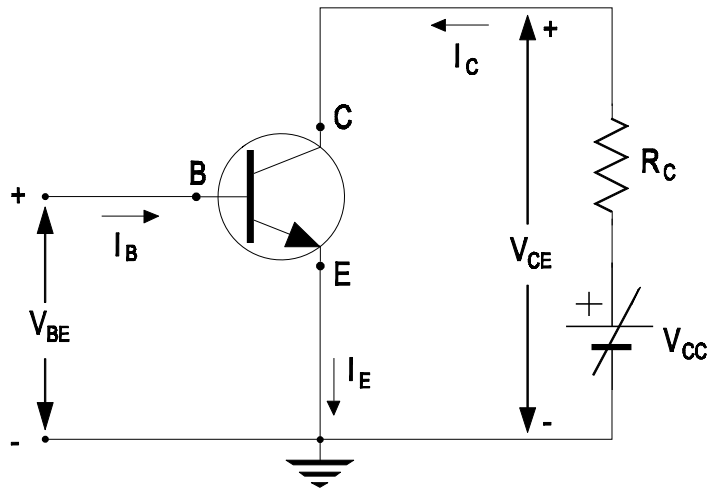
I_{pC0} : ηλεκτρόνια που περνάνε από το συλλέκτη στη βάση

$$I_{CO} = I_{pC0} + I_{nC0}$$

Το ρεύμα του συλλέκτη I_C θα αποτελείται από το ρεύμα I_{CO} μαζί με ένα μέρος του ρεύματος εκπομπού I_E



Σχ. 20 Εσωτερικά ρεύματα στο τρανζίστορ.



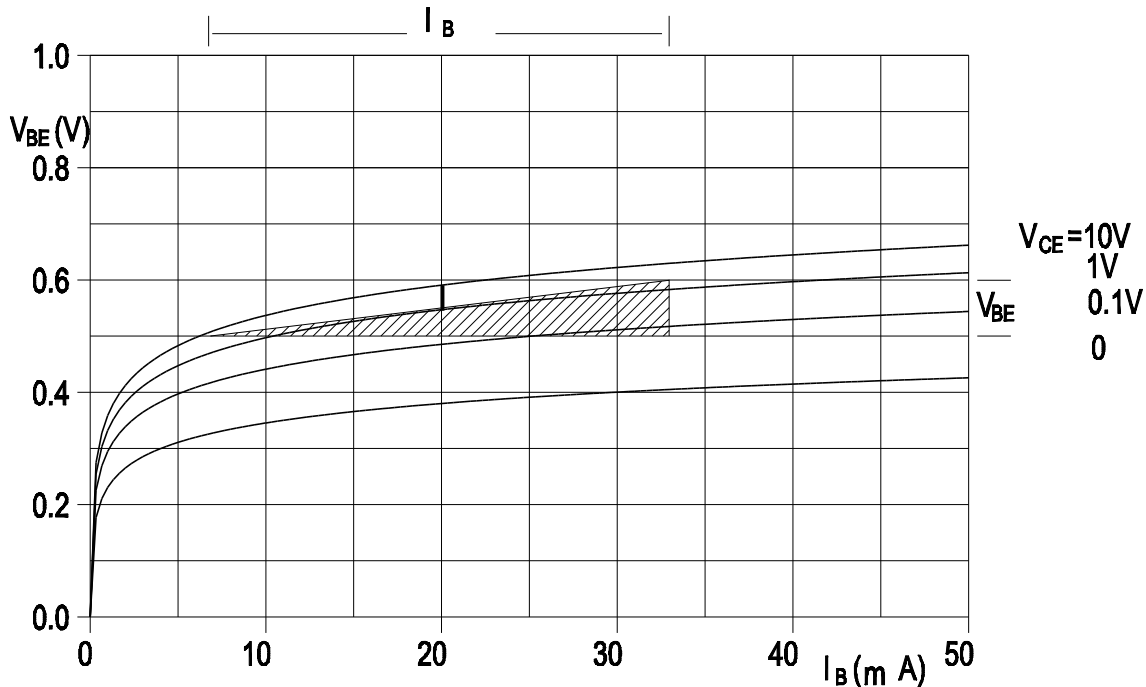
Σχ. 21 Τρανζίστορ σε συνδεσμολογία κοινού εκπομπού.

$$I_C = I_{C0} + \alpha I_E$$

όπου α : αριθμός λίγο μικρότερος της μονάδας.

Τα περισσότερα κυκλώματα έχουν σαν κοινό άκρο της εισόδου και εξόδου του κυκλώματος, τον εκπομπό του τρανζίστορ. Έτσι έχουμε τη συνδεσμολογία κοινού εκπομπού, όπου οι ανεξάρτητες μεταβλητές είναι το ρεύμα εισόδου και η τάση εξόδου, ενώ η τάση εισόδου και το ρεύμα εξόδου είναι εξαρτημένες μεταβλητές.

$$\begin{aligned} V_{BE} &= f(V_{CE}, I_B) \\ I_C &= f(V_{CE}, I_B) \end{aligned}$$



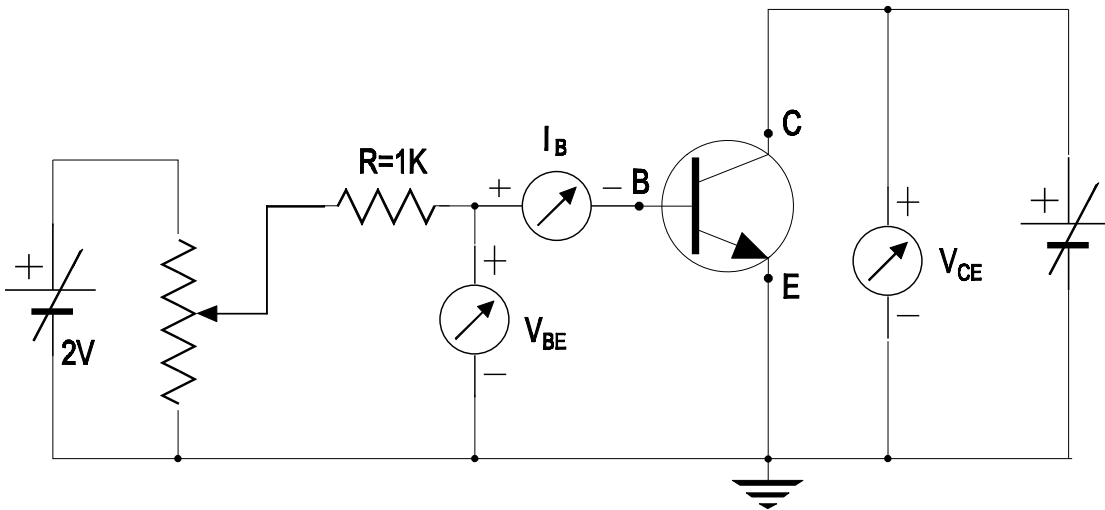
Σχ. 22 Χαρακτηριστικές καμπύλες εισόδου ενός τρανζίστορ για τη συνδεσμολογία κοινού εκπομπού.

Η πρώτη εξίσωση περιγράφει την οικογένεια των χαρακτηριστικών καμπυλών εισόδου, ενώ η δεύτερη την οικογένεια των χαρακτηριστικών καμπυλών εξόδου. Τυπικές Χαρακτηριστικές καμπύλες εισόδου για ένα ηρη τρανζίστορ φαίνονται στο Σχ. 22.

Εδώ η τεταγμένη είναι το ρεύμα βάσης I_B , η τεταγμένη είναι η τάση βάσης-εκπομπού V_{BE} , και οι καμπύλες δίνονται για διάφορες τιμές της τάσης συλλέκτη-εκπομπού V_{CE} . Παρατηρούμε ότι με βραχυκυκλωμένο συλλέκτη-εκπομπού και με εκπομπού ορθά πολωμένο, οι χαρακτηριστική εισόδου είναι σχεδόν ίδια με τη χαρακτηριστική μιας ορθά πολωμένης διόδου. Αν το V_{BE} γίνει μηδέν τότε επίσης $I_B = 0$. Γενικά, καθώς αυξάνεται το $|V_{CE}|$ με σταθερό V_{BE} προκαλείται ελάττωση του εύρους της βάσης με αποτέλεσμα να μικραίνει ο αριθμός των επανασυνδέσεων μέσα στη βάση, και συνεπώς το I_B .

Πρακτικό μέρος

Στην άσκηση αυτή θα παρθούν μετρήσεις για να χαραχτούν οι χαρακτηριστικές καμπύλες εισόδου ενός τρανζίστορ επαφής Si, τύπου ηρη, του 2N2219. Τεχνικές πληροφορίες για το τρανζίστορ αυτό δίνονται στο παράρτημα Α στο τέλος των σημειώσεων. Από τις καμπύλες που θα σχεδιαστούν, θα υπολογιστούν γραφικά οι υβριδικοί παράμετροι h_{ie} και h_{re} του τρανζίστορ.



Σχ. 23 Το κύκλωμα της άσκησης.

$$h_{ie} = \left. \frac{\Delta V_{BE}}{\Delta I_B} \right|_{V_{CE}=\text{σταθερή}}$$

$$h_{re} = \left. \frac{\Delta V_{BE}}{\Delta V_{CE}} \right|_{I_B=\text{σταθερό}}$$

Δηλαδή το h_{ie} θα είναι η αντίσταση εισόδου του τρανζίστορ με σταθερή την τάση εξόδου και θα βρίσκεται από την κλίση της χαρακτηριστικής καμπύλης εισόδου, στο σημείο λειτουργίας.

Το h_{re} εκφράζει την αντίστροφη ενίσχυση τάσης για σταθερό ρεύμα βάσης. Από το Σχ. 22 αν εφαρμόσουμε τα παραπάνω θα έχουμε.

$$h_{ie} = \frac{\Delta V_{BE}}{\Delta I_B} = \frac{(0,60 - 0,5)V}{(33 - 7)\mu A} \quad \text{δηλαδή} \quad h_{ie} = 3,85K\Omega$$

$$h_{re} = \frac{\Delta V_{BE}}{\Delta V_{CE}} = \frac{(0,59 - 0,55)V}{(10 - 1)V} \quad \text{δηλαδή} \quad h_{re} = 4,44 \cdot 10^{-3}$$

Στο Σχ. 23 φαίνεται το κύκλωμα της άσκησης.

ΑΣΚΗΣΗ 7η

ΤΡΑΝΖΙΣΤΟΡ ΕΠΑΦΗΣ ΣΕ ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ΚΟΙΝΟΥ ΕΚΠΟΜΠΟΥ

Χαρακτηριστικές καμπύλες εξόδου

Θεωρητικό μέρος

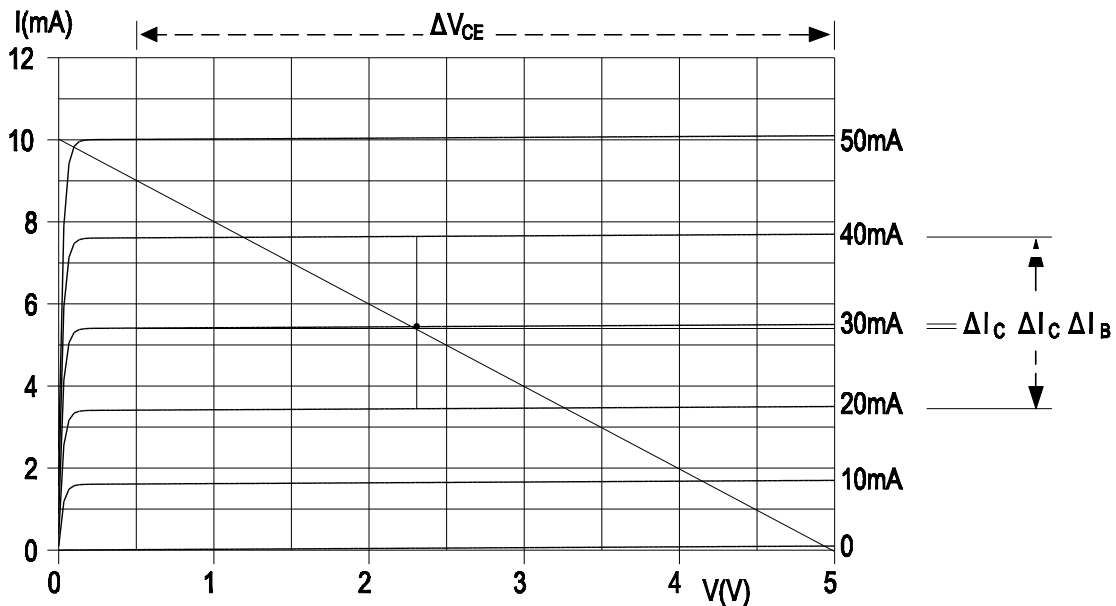
Η οικογένεια των χαρακτηριστικών καμπυλών εξόδου ενός τρανζίστορ περιγράφεται από τη σχέση:

$$I_C = f(V_{CE}, I_B)$$

Όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικ.7.1, η τεταγμένη είναι η τάση συλλέκτη-εκπομπού, η τεταγμένη είναι το ρεύμα συλλέκτη και οι καμπύλες δίνονται για διάφορες τιμές του ρεύματος βάσης I_B . Για ορισμένη τιμή του I_B το ρεύμα συλλέκτη δεν επηρεάζεται πολύ από την τάση V_{CE} . Παρατηρούμε ότι το ρεύμα βάσης είναι πολύ μικρότερο από το ρεύμα εκπομπού.

Η όλη περιοχή του παραπάνω σχήματος μπορεί να χωριστεί σε τρεις περιοχές.

Ενεργός περιοχή. Εδώ η επαφή του συλλέκτη είναι ανάστροφα πολωμένη ενώ η επαφή του εκπομπού είναι πολωμένη ορθά. αυτή είναι η περιοχή δεξιά από την ευθεία $V = 0,2 \text{ V}$ και για $I_B > 0$. Σ' αυτή την περιοχή το ρεύμα εξόδου του τρανζίστορ, επηρεάζεται περισσότερο από το ρεύμα εισόδου.



Σχ. 24 Οι Χαρακτηριστικές καμπύλες εξόδου του τρανζίστορ.

Όπως γνωρίζουμε:

$$I_C = I_{CO} + \alpha \cdot I_E \quad (1)$$

και από τον Α' κανόνα του Kirchhoff για κάθε τρανζίστορ ισχύει:

$$-I_E + I_C + I_B = 0 \quad (2)$$

Από τις σχέσεις (1),(2) έχουμε:

$$I_C = I_{CO} + \alpha \cdot (I_C + I_B)$$

συνεπώς

$$I_C(1-\alpha) = \alpha I_E + I_{CO}$$

$$I_C = \frac{\alpha}{1-\alpha} I_B + \frac{1}{1-\alpha} I_{CO}$$

και θέτοντας $\alpha/(1-\alpha) = \beta$, προκύπτει:

$$I_C = \beta I_B + (\beta+1)I_{CO} \quad (3)$$

Απο τη σχέση (1) βρίσκεται το

$$\alpha = \frac{I_C - I_{CO}}{I_E}$$

και επειδή $I_{CO} \ll I_C$ προκύπτει

$$\alpha \cong \frac{I_C}{I_E} \quad \text{και} \quad \beta \cong \frac{I_C}{I_B}$$

Περιοχή αποκοπής. Είναι η περιοχή κάτω από τη χαρακτηριστική $I_B = 0$. Το I_C είναι μικρότερο από την ποσότητα $(\beta+1)I_{CO}$, δηλαδή είναι πολύ μικρό. Εδώ και οι δυο επαφές (του εκπομπού και του συλλέκτη), είναι ανάστροφα πολωμένες.

Περιοχή κόρου. Είναι η περιοχή αριστερά της ευθείας $V_{CE} = 0.2V$ Για να πολωθεί το τρανζίστορ στην περιοχή αυτή, πρέπει οι επαφές (εκπομπού και συλλέκτη) να είναι ορθά πολωμένες. Τότε, μικρή αύξηση της τάσης V_{CE} συνεπάγεται μεγάλη αύξηση του ρεύματος I_C , ενώ για την περιοχή αυτή πάντα θα ισχύει η σχέση:

$$I_C < \beta \cdot I_B$$

Στην περιοχή αποκοπής, επειδή και οι δυο επαφές είναι ανάστροφα πολωμένες, αυτές θα διαρρέονται από το ανάστροφο ρεύμα κόρου (πολύ μικρό) και συγκεκριμένα (όπως φαίνεται από τη σχέση (3) αυτό θα είναι $(\beta+1)I_{CO}$.

Η ενεργός περιοχή περιγράφεται πλήρως από τη σχέση (3), δηλαδή:

- Το I_C δεν εξαρτάται από την τάση V_{CE} .
- Το I_C είναι ανάλογο του I_B .
- Η πρώτη συνθήκη δεν ισχύει απόλυτα (οι καμπύλες έχουν μια ελαφριά κλίση προς τα πάνω) επειδή αυξανόμενης της τάσης, ελαττώνεται το ενεργό

μήκος της βάσης όποτε μειώνεται το ποσοστό των επανασυνδέσεων, δηλαδή αυξάνει το α και από τη σχέση $\alpha/(1-\alpha) = \beta$ αυξάνει ελαφρά και το β .

Η περιοχή κόρου περιγράφεται από την εξίσωση:

$$I_C = \beta I_C + (\beta + 1) I_{CO} \left(e^{\frac{q_e V_{CB}}{kT}} - 1 \right)$$

όπου V_{CB} :αρνητική τάση.

Εδώ το I_C συνίσταται από δυο ρεύματα αντίθετα μεταξύ τους. Επειδή τα δυο αυτά ρεύματα μεταβάλλονται πολύ με την τάση, το ίδιο θα συμβεί και με τη διαφορά τους.

Πρακτικό μέρος

Στην άσκηση αυτή θα ληφθούν μετρήσεις για τη χάραξη των χαρακτηριστικών καμπυλών εξόδου ενός τρανζίστορ επαφής πυριτίου, τύπου npn του 2N2219 για το οποίο δίνονται τεχνικές πληροφορίες στο παράρτημα Α των σημειώσεων. από τις καμπύλες που θα σχεδιαστούν, θα υπολογιστούν γραφικά οι υβριδικοί παράμετροι h_{fe} και h_{oe} του τρανζίστορ, όπου:

$$h_{fe} = \left. \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \right|_{V_{CE}=\text{σταθερή}} \quad \text{Ενίσχυση ρεύματος με σταθερή τάση}$$

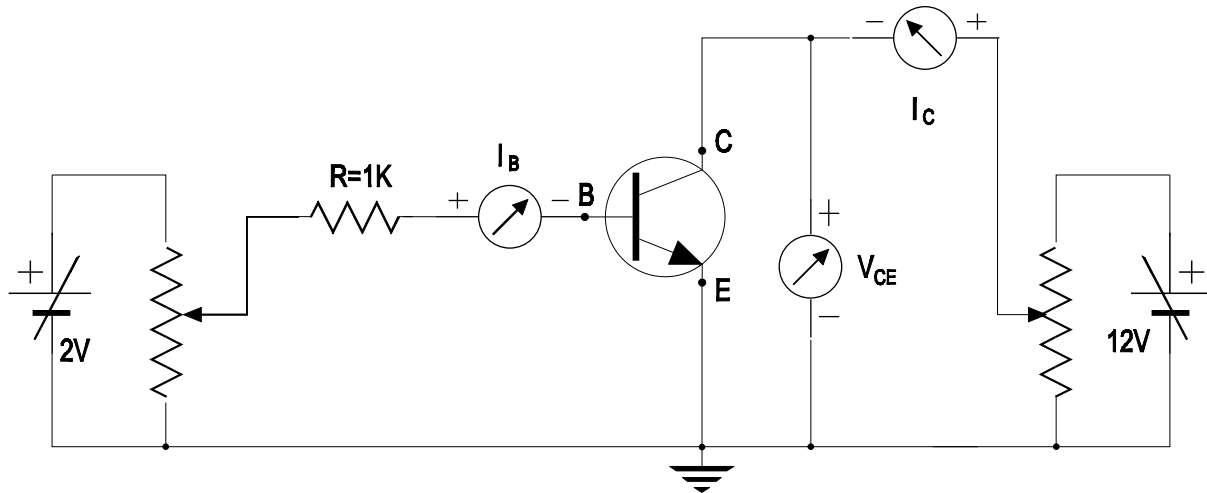
$$h_{oe} = \left. \frac{\Delta I_C}{\Delta V_{CE}} \right|_{I_B=\text{σταθερό}} \quad \text{Αγωγιμότητα εξόδου με σταθερό ρεύμα}$$

Από το Σχ. 24 προκύπτει:

$$h_{fe} = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} = \frac{(7,7 - 3,5)\text{mA}}{(40 - 20)\mu\text{A}} = 210$$

$$h_{oe} = \frac{\Delta I_C}{\Delta V_{CE}} = \frac{(5,6 - 5,4)\text{mA}}{(5 - 1)\text{V}} = 50 \cdot 10^{-6} \Omega^{-1}$$

$$\text{ενώ} \quad \alpha = \frac{I_C}{I_E} = \frac{I_C}{I_C + I_B} = \frac{5,5\text{mA}}{5,5\text{mA} + 30\mu\text{A}} = 0,995$$



Σχ. 25 Το κύκλωμα της άσκησης.

$$\text{και } \beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{5,5\text{mA}}{30\mu\text{A}} = 183$$

Στο Σχ. 25 φαίνεται το κύκλωμα της άσκησης.

ΑΣΚΗΣΗ 8η ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ JFET

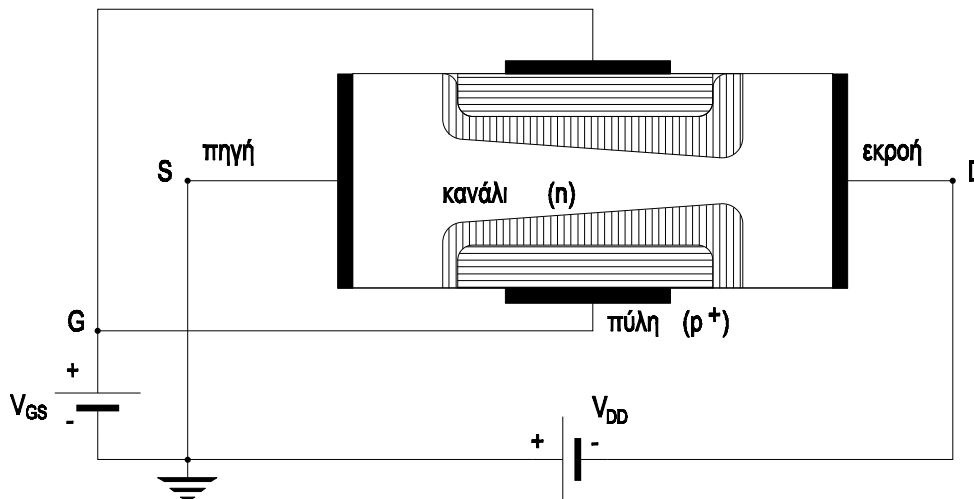
Θεωρητικό μέρος

Το FET επαφής (JFET), αποτελείται από ημιαγωγό τύπου n (η-καναλιού) με δυο ακροδέκτες στα άκρα, την πηγή (Source), και την εκροή (Drain) (Σχ. 26). Οι φορείς πλειονότητας κινούνται πάντα από την πηγή προς την εκροή.

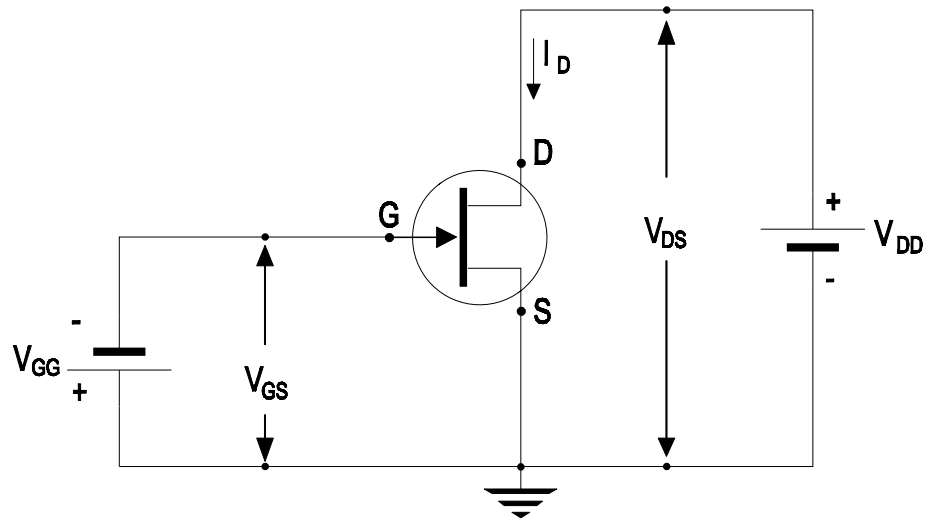
Εφαρμογή αρνητικής τάσης στην πύλη (ως προς το κανάλι), δημιουργεί περιοχές απογύμνωσης ανάμεσα στην πύλη και στο κανάλι, με αποτέλεσμα να ελαττώνεται η ενεργός διατομή του καναλιού και άρα να αυξάνεται η αντίσταση του.

Στο Σχ. 27 φαίνεται το σύμβολο του JFET και η πόλωση του. Η διεύθυνση του βέλους δείχνει την κατεύθυνση κίνησης του ρεύματος πύλης αν η πύλη ήταν ορθά πολωμένη. Οι χαρακτηριστικές καμπύλες εξόδου για ένα FET **n-καναλιού** σε συνδεσμολογία κοινής πηγής φαίνονται στο Σχ. 28 όπου το I_D μεταβάλλεται σε σχέση με την τάση V_{DS} με την τάση V_{GS} σαν παράμετρο.

Έστω πρώτα-πρώτα ότι $V_{GS} = 0$. Για $I_D = 0$ το κανάλι είναι τελείως ανοικτό ανάμεσα στις επαφές. Για μικρές τάσεις V_{DS} η n-τύπου



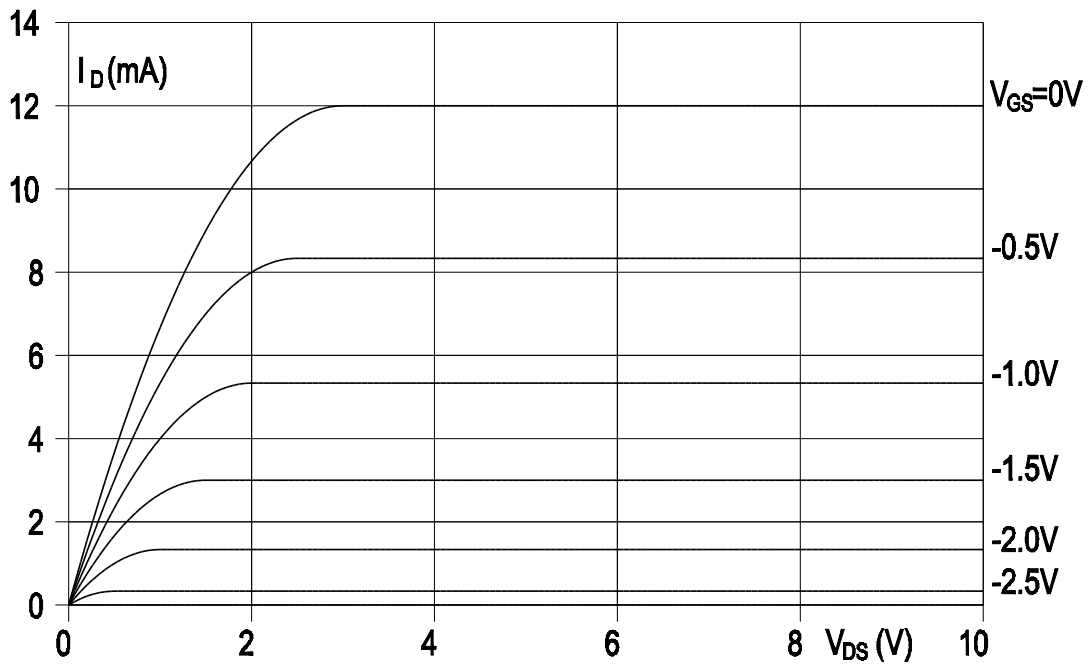
Σχ. 26 Κατασκευαστική δομή του FET επαφής.



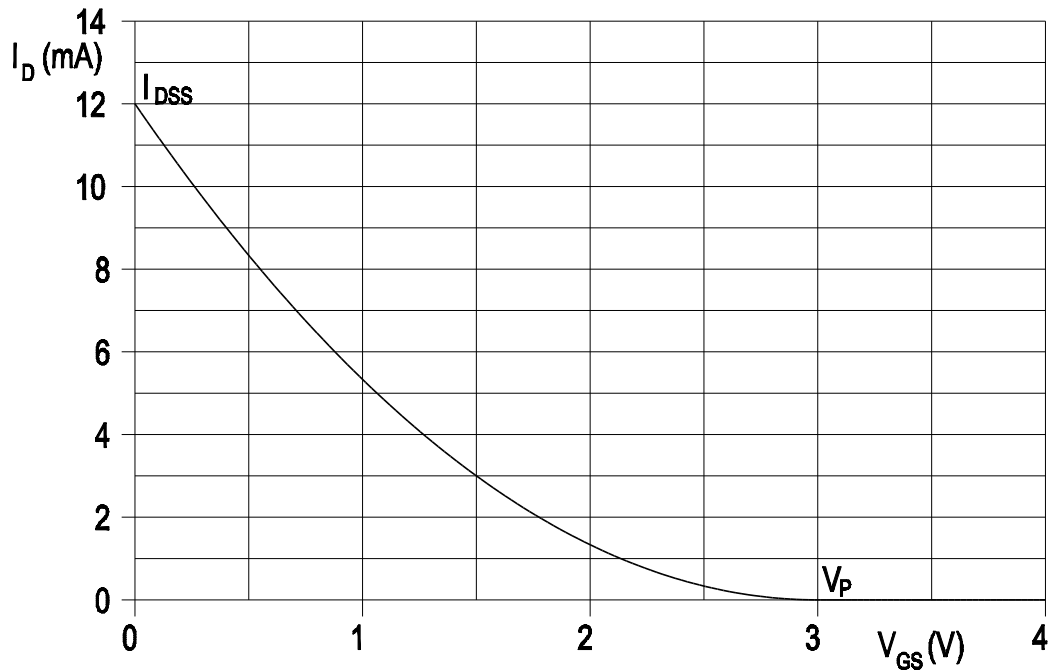
Σχ. 27 Πόλωση του FET επαφής.

ράβδος λειτουργεί σαν απλή αντίσταση και το I_D αυξάνει αυξανόμενης της V_{DS} . Με αυξανόμενο το ρεύμα η τάση ανάμεσα σε πηγή και εκροή πολώνει ανάστροφα την επαφή της πύλης με αποτέλεσμα να αρχίσει να περιορίζεται το ρεύμα. Αυτό το φαινόμενο συνεχίζεται μέχρι το ρεύμα να αποκτήσει μια περίπου σταθερή τιμή, μη εξαρτώμενη από την τάση V_{DS} . Αν τώρα η τάση V_{GS} πάρει κάποια αρνητική τιμή, τότε αυξάνει η περιοχή απογύμνωσης της πύλης με συνέπεια την ελάττωση της ενεργού διατομής του καναλιού, άρα τη μείωση του ρεύματος.

Η μέγιστη τάση που μπορεί να εφαρμοστεί ανάμεσα στα δυο άκρα του FET, είναι η χαμηλότερη τάση που μπορεί να προκαλέσει κατάρρευση χιονοστιβάδας.



Σχ. 28 Χαρακτηριστικές καμπύλες εξόδου του FET επαφής.

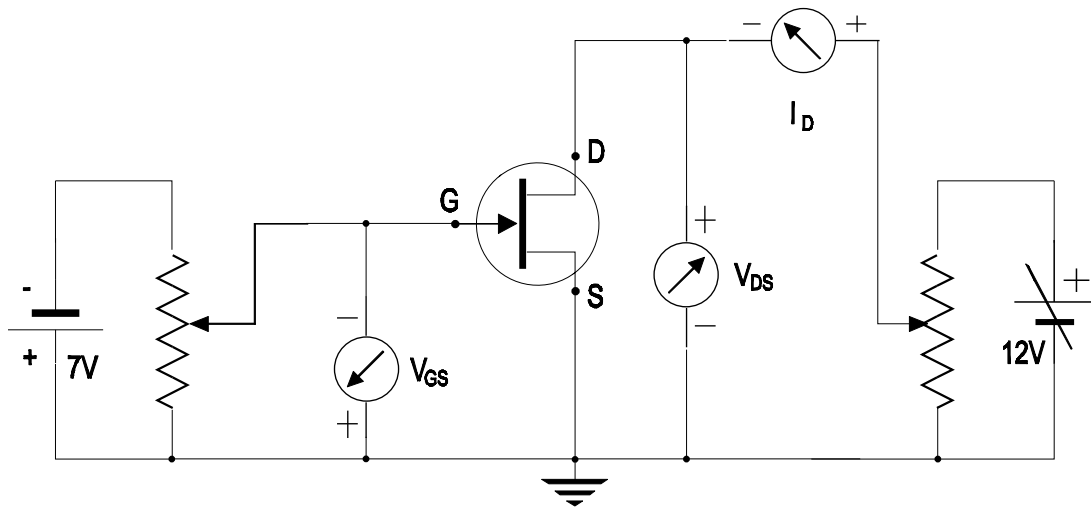


Σχ. 29 Χαρακτηριστική καμπύλη μεταφοράς του JFET.

Στο Σχ. 29 βλέπουμε τη μεταβολή του ρεύματος εκροής I_D σε συνάρτηση με την τάση V_{GS} . βλέπουμε ότι για μια τιμή τάσης και πάνω (V_P), το ρεύμα πρακτικά μηδενίζεται (τάση στραγγαλισμού).

Πρακτικό μέρος

Στην άσκηση αυτή θα παρθούν μετρήσεις για να χαραχθούν οι χαρακτηριστικές καμπύλες εξόδου ενός FET επαφής (του 2N4416).



Σχ. 30 Το κύκλωμα της άσκησης.

Επίσης, θα χαραχτεί η χαρακτηριστική καμπύλη μεταφοράς του FET αυτού. Δηλαδή θα χαραχθούν οι καμπύλες $I_D = f(V_{DS})$ με παράμετρο την τάση V_{GS} , καθώς και η καμπύλη $I_D = f(V_{GS})$.

Από τα διαγράμματα, προκύπτει η **διαγωγιμότητα μεταφοράς**

$$g_m = \left. \frac{\Delta I_D}{\Delta V_{GS}} \right|_{V_{DS}=\text{σταθερή}}$$

ως η κλίση της καμπύλης $I_D = f(V_{GS})$ στο σημείο λειτουργίας, ενώ επίσης η **αντίσταση εξόδου** του FET

$$r_d = \left. \frac{\Delta V_{DS}}{\Delta I_D} \right|_{V_{GS}=\text{σταθερή}}$$

ως η κλίση της καμπύλης $I_D = f(V_{DS})$ στο σημείο λειτουργίας.

Στο Σχ. 30 φαίνεται το κύκλωμα της άσκησης, ενώ τεχνικές πληροφορίες για το χρησιμοποιούμενο FET υπάρχουν στο παράρτημα Α στο τέλος των σημειώσεων.

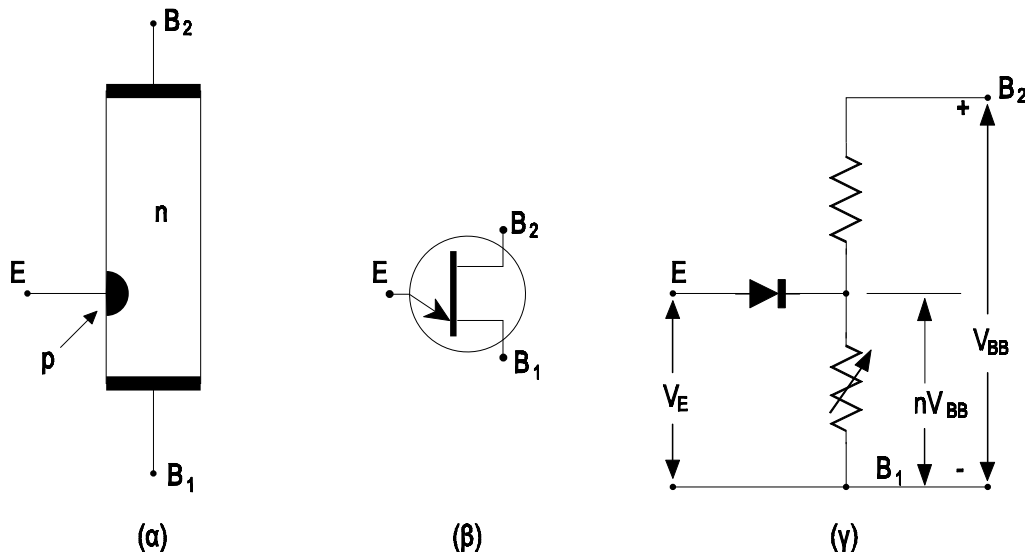
ΑΣΚΗΣΗ 9η UNIUNCTION TRANSISTOR

Θεωρητικό μέρος

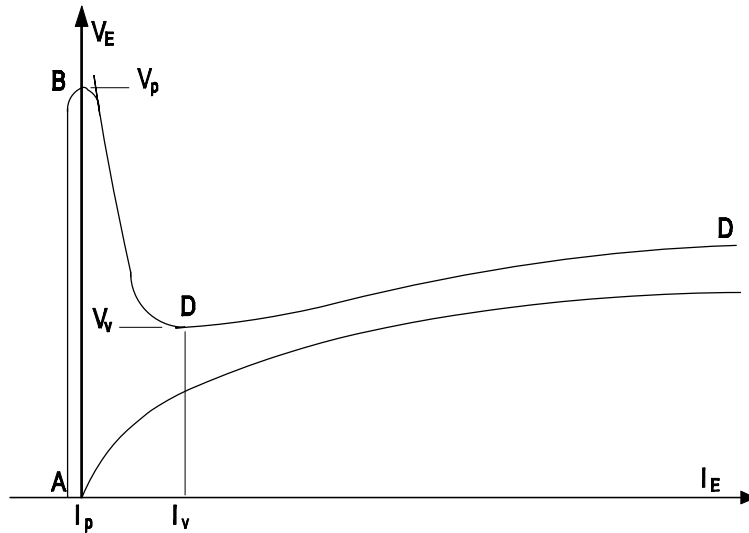
Το unijunction τρανζίστορ είναι από τα πιο παλιά και απλά ηλεκτρονικά εξαρτήματα και αποτελείται από τρεις ακροδέκτες (ένα εκπομπό και δυο βάσεις), καθώς και μια μόνο επαφή p-n. Στο Σχ. 31 φαίνονται η κατασκευαστική δομή (α), το σύμβολο (β), και το ισοδύναμο κύκλωμα (γ) ενός unijunction τρανζίστορ (UJT).

Μεταξύ των ακροδεκτών B_1 , B_2 παρεμβάλλεται μια ράβδος από ημιαγωγό n, ενώ στη μια πλευρά τοποθετείται ημιαγωγός p. Ανάμεσα στις βάσεις B_1 , B_2 η ράβδος παρουσιάζει αντίσταση 5-10 KΩ. Η βάση B_2 βρίσκεται σε θετικό δυναμικό V_{BB} σε σχέση με τη B_1 , ενώ ο εκπομπός, σε κάποιο δυναμικό η· V_{BB} που εξαρτάται από τη θέση του πάνω στη ράβδο. Αν στον εκπομπό εφαρμοστεί μια τάση V_E μικρότερη της η· V_{BB} , τότε ο εκπομπός είναι ανάστροφα πολωμένος και παρουσιάζεται μόνο ρεύμα διαρροής από την επαφή του εκπομπού.

Αν η V_E είναι μεγαλύτερη της V_{BB} , ο εκπομπός πολώνεται ορθά και δημιουργείται μεγάλο ρεύμα εκπομπού που αποτελείται κυρίως από οπές που έχουν εγχυθεί στη ράβδο n και κινούνται προς το B_1 . Εκεί προκαλούν ίση αύξηση των ηλεκτρονίων με αποτέλεσμα να αυξάνει η αγωγιμότητα του τμήματος ανάμεσα στον εκπομπό και τη B_1 , και να πέφτει η τάση.

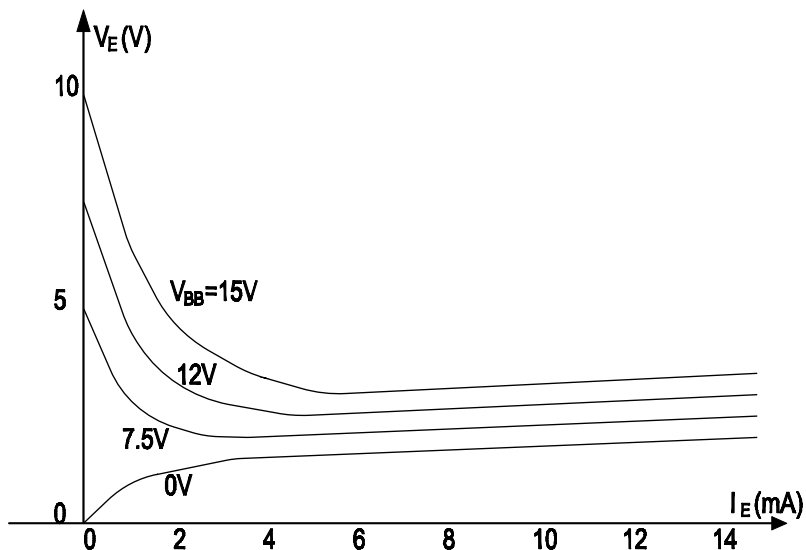


Σχ. 31 (α) Κατασκευαστική δομή (β) σύμβολο (γ) ισοδύναμο κύκλωμα ενός UJT



Σχ. 32 Χαρακτηριστική καμπύλη του UJT.

Το Σχ. 32 δείχνει καλύτερα τη δράση του εκπομπού. Με $V_E < \eta \cdot V_{BB}$ ο εκπομπός είναι ανάστροφα πολωμένος και καθώς η V_E αυξάνει, το ρεύμα έχει μια μικρή τιμή (ρεύμα διαρροής). Στο B_1 , η V_E φθάνει την τιμή $\eta \cdot V_{BB}$ και η διάδος πολώνεται ορθά.



Σχ. 33 Σμήνος χαρακτηριστικών καμπυλών ενός UJT.

Αυτή η διάδος έχει μια χαρακτηριστική καμπύλη που δίνεται από τη γραμμή ACD. Έτσι από το σημείο B στο σημείο C η τάση πέφτει καθώς το ρεύμα αυξάνεται. Η περιοχή BC είναι περιοχή αρνητικής αντίστασης. Παραπέρα αύξηση της V_E

προκαλεί αύξηση του ρεύματος, όπως καθορίζει η κανονική καμπύλη της διόδου. Στην τάση της διόδου, προστίθεται και μια μικρή τάση που πραγματοποιείται στην περιοχή εκπομπού-B .

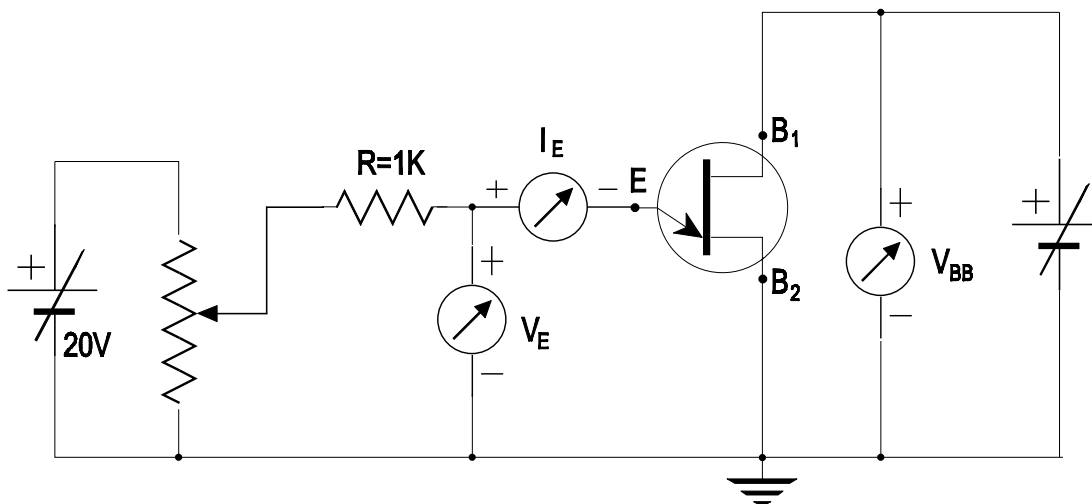
Το Σχ. 33 δείχνει ένα σμήνος από χαρακτηριστικές καμπύλες για διάφορες τιμές της V_{BB} . Κάθε καμπύλη έχει διαφορετική τάση κορυφής V_E καθώς και τάση κοιλάδας V_V , όπου η τάση παίρνει τη μεγαλύτερη και τη μικρότερη τιμή της αντίστοιχα. Ανάμεσα στην κορυφή και στην κοιλάδα, υπάρχει η περιοχή αρνητικής αντίστασης. Έτσι για $V_{BB} = 10V$ η τάση κορυφής είναι 5.8 V, η τάση κοιλάδας είναι 3.6 V, ενώ το ρεύμα κοιλάδας είναι περίπου 5 mA.

Η τιμή της τάσης κορυφής μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση:

$$V = \eta \cdot V_{BB} + 0,7$$

Όπου το 0,7V σημαίνει την κατά προσέγγιση τάση πάνω στην επαφή p-n αν ο η-μαγωγός είναι από πυρίτιο. Από το Σχ. 33 φαίνεται ότι $\eta=0,6$.

Το UJT χρησιμοποιείται σε εφαρμογές έλεγχου, σαν διακόπτης ελεγχόμενος από τάση.



Σχ. 34 Το κύκλωμα της άσκησης.

Πρακτικό μέρος

Στην άσκηση Αυτή θα ληφθούν μετρήσεις για την χάραξη των χαρακτηριστικών καμπυλών του Unijunction τρανζίστορ ECG6400A από τις οποίες και θα υπολογιστούν ορισμένα χαρακτηριστικά μεγέθη.

Για το UJT παρέχονται τεχνικά στοιχεία στο παράρτημα Α, ενώ στο Σχ. 34 φαίνεται το κύκλωμα της άσκησης.

ΑΣΚΗΣΗ 10η ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ MOSFET

Θεωρητικό μέρος

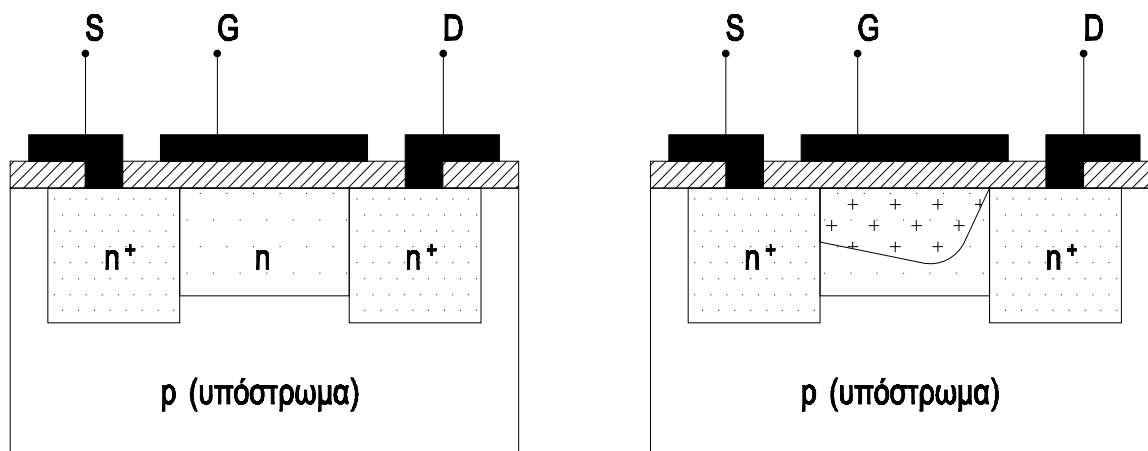
Το MOSFET που θα μελετηθεί είναι ένα n- καναλιού MOSFET απογύμνωσης, που όπως φαίνεται στο Σχ. 35(α) αποτελείται από ράβδο ημιαγωγού n (κανάλι) που κάνει ωμική επαφή με τους δυο ακροδέκτες (πηγή-S, εκροή-D).

Εφαρμογή αρνητικής τάσης στην πύλη απωθεί ηλεκτροστατικά από επαγωγή τα ηλεκτρόνια του καναλιού που είναι οι φορείς πλειονότητας και απογυμνώνει το κανάλι, ελαττώνοντας έτσι την ενεργό διατομή του και κατά συνέπεια αυξάνοντας την αντίστασή του. Αντίθετα, εφαρμογή θετικής τάσης στην πύλη προκαλεί αύξηση της συγκέντρωσης των φορέων πλειονότητας (ηλεκτρονίων) στο κανάλι και άρα μείωση της αντίστασης και αύξηση του ρεύματος. Η σχέση αυτή του ρεύματος εκροής I_D σε συνάρτηση με την τάση πύλης V_{GS} φαίνεται στο Σχ. 36 και εκφράζεται από μια συνάρτηση δεύτερου βαθμού:

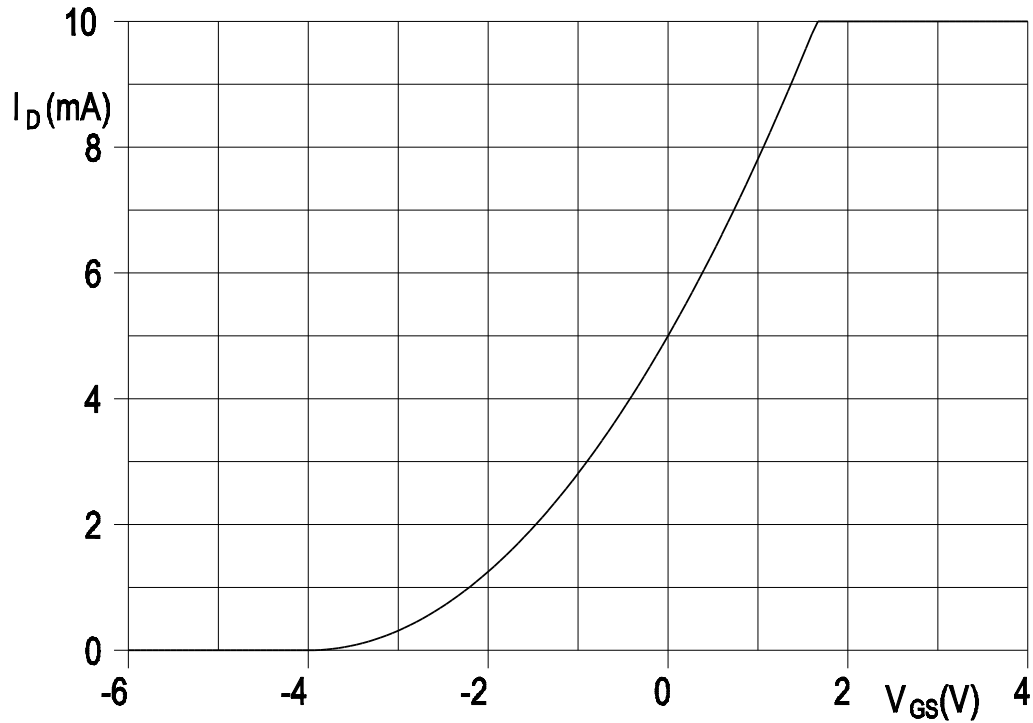
$$I_D = I_{DSS} \cdot \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)^2 \quad \text{για } V_{GS} \geq V_P$$

$$I_D = 0 \quad \text{για } V_{GS} < V_P$$

Η τάση V_P είναι η ελάχιστη τιμή της V_{GS} για την οποία $I_D = 0$, ενώ I_{DSS} είναι το ρεύμα I_D για $V_{GS} = 0$. Αντίθετα με το JFET (που δέχεται μόνο αρνητικές τάσεις V_{GS}) το MOSFET απογύμνωσης δέχεται και αρνητικές και θετικές τάσεις.

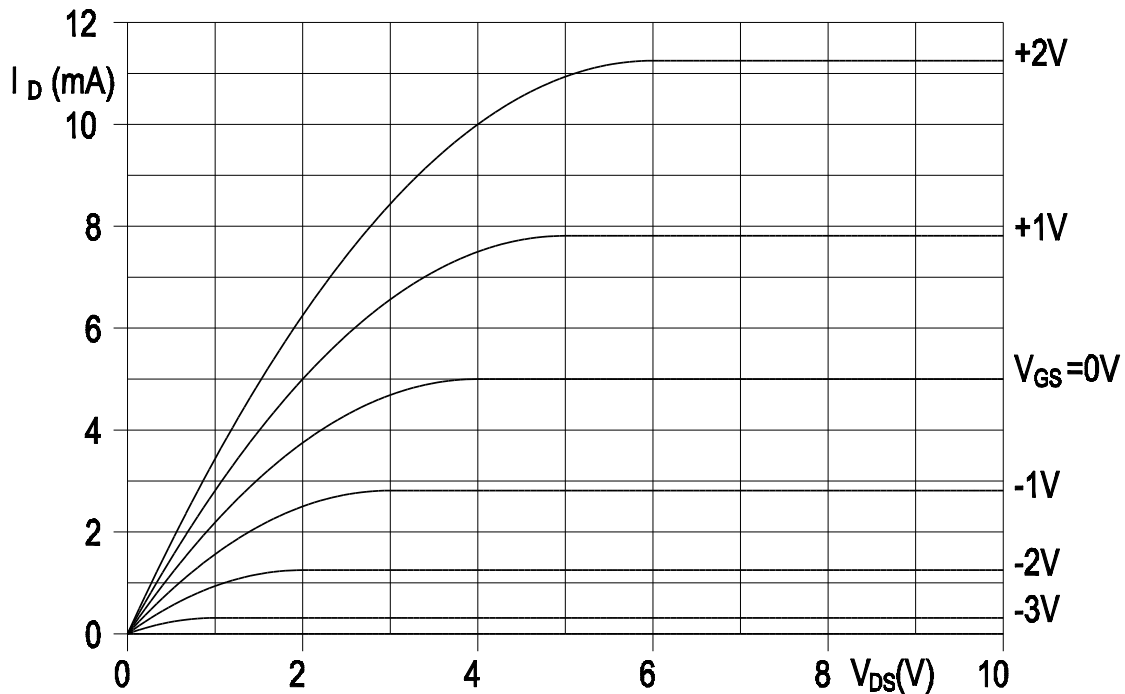


Σχ. 35 Κατασκευαστική δομή του MOSFET απογύμνωσης (α) Με $V_{GS} = 0$ (β) Με $V_{GS} < 0$



Σχ. 36 Χαρακτηριστική καμπύλη μεταφοράς του MOSFET.

Στο Σχ. 37 φαίνονται οι χαρακτηριστικές καμπύλες εξόδου του MOSFET. Για δοσμένη $V_{GS} > V_P$, καθώς η V_{DS} αυξάνεται, αυξάνεται και το ρεύμα I_D , ακολουθώντας το νόμο του Ohm. Για μεγαλύτερες όμως τάσεις V_{DS} αρχίζει να αναπτύσσεται διάφορα δυναμικού ανάμεσα στην πύλη και στο κανάλι με αποτέλεσμα τη μείωση της ενεργού διατομής του καναλιού και άρα περιορισμό της αύξησης του ρεύματος. Έτσι το ρεύμα αυξανόμενο τείνει σε μια οριακή τιμή.



Σχ. 37 Χαρακτηριστικές καμπύλες εξόδου του MOSFET.

Πρακτικό μέρος

Στην άσκηση αυτή θα ληφθούν μετρήσεις για τη χάραξη των χαρακτηριστικών καμπυλών εξόδου ενός MOSFET, δηλαδή των καμπυλών $I_D = f(V_{DS})$ με παράμετρο την τάση V_{GS} . Για τις μετρήσεις χρησιμοποιείται το MOSFET n-καναλιού ECG462. Επίσης θα χαραχτεί η καμπύλη $I_D = f(V_{GS})$. Από τις καμπύλες θα προσδιοριστούν γραφικά μερικές από τις σταθερές του MOSFET, όπως η τάση στραγγαλισμού V_P το ρεύμα I_{DSS} , η **διαγωγιμότητα μεταφοράς**:

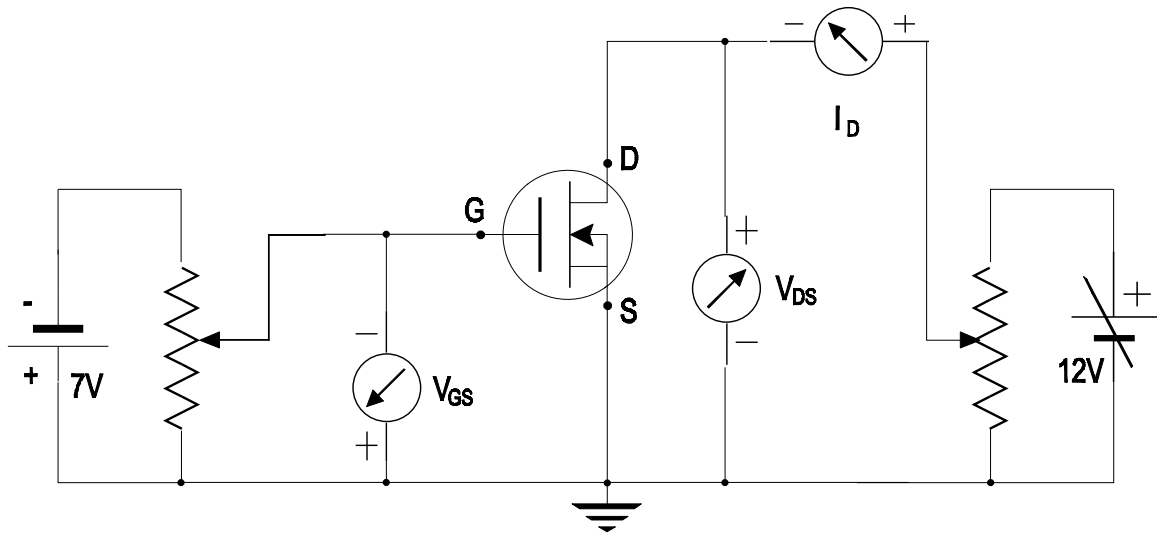
$$g_m = \left. \frac{\Delta I_D}{\Delta V_{GS}} \right|_{V_{DS}=\text{σταθερή}}$$

από την κλίση της καμπύλης $I_D = f(V_{GS})$ στο σημείο λειτουργίας, η **αντίσταση εξόδου** του MOSFET.

$$r_d = \left. \frac{\Delta V_{DS}}{\Delta I_D} \right|_{V_{GS}=\text{σταθερή}}$$

που είναι η κλίση της καμπύλης $I_D = f(V_{DS})$ στο σημείο λειτουργίας.

Στο Σχ. 38 φαίνεται το κύκλωμα της άσκησης.



Σχ. 38 Το κύκλωμα της άσκησης.

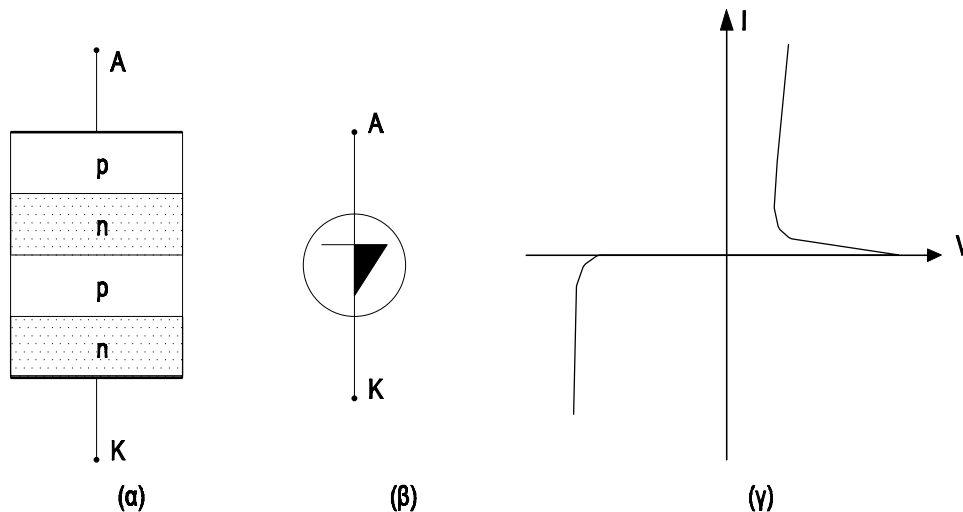
ΑΣΚΗΣΗ 11η ΕΛΕΓΧΟΜΕΝΟΣ ΑΝΟΡΘΩΤΗΣ ΠΥΡΙΤΙΟΥ (SCR)

Θεωρητικό μέρος

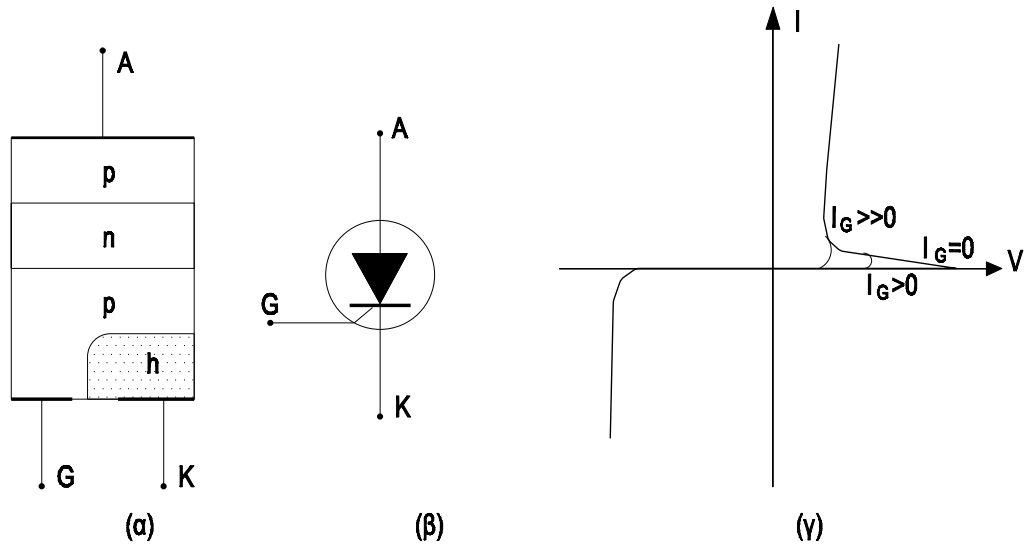
Ο ελεγχόμενος ανορθωτής πυριτίου αποτελεί μέλος μιας ολόκληρης οικογένειας ημιαγωγών με το γενικό όνομα THYRISTORS. Κατασκευαστικά, όλοι αυτοί οι ημιαγωγοί αποτελούνται από τέσσερα στρώματα ημιαγωγού πρόσμιξης p και n εναλλάξ. Η διάταξη αυτή προσδίδει χαρακτηριστικές και πολύ ενδιαφέρουσες ιδιότητες στους ημιαγωγούς αυτούς.

Το πρώτο και πιο απλό μέλος της οικογένειας, είναι η **δίοδος τεσσάρων στρωμάτων** (four layer diode) ή δίοδος Shockley (Σχ. 39) Η διαφορά της διόδου αυτής με μια κοινή δίοδο είναι ότι κατά την ορθή πόλωση, για να αρχίσει να περνάει ρεύμα, πρέπει η τάση να ξεπεράσει μια σχετικά μεγάλη τάση πυροδότησης V_{BO} . Η εξήγηση της λειτουργίας της διόδου αυτής ίδια με του SCR που θα δούμε παρακάτω.

Το SCR (Silicon Controlled Rectifier) είναι επίσης ημιαγωγός τεσσάρων στρωμάτων όπως ο προηγούμενος με τη διαφορά ότι υπάρχει και τρίτος ακροδέκτης που συνδέεται με το μεσαίο στρώμα p (Σχ. 40). Η λειτουργία του SCR εξηγείται αν προσεγγίσουμε τη διάταξη με δυο τρανζίστορ pnp και npn συνδεμένα "πλάτη με πλάτη" (Σχ. 41).



Σχ. 39 Δίοδος τεσσάρων στρωμάτων (α) δομή (β) σύμβολο (γ) Χαρακτηριστική



Σχ. 40 SCR (α) δομή (β) σύμβολο (γ) Χαρακτηριστική

Για $I_G = 0$ θα ισχύει:

$$I_{E1} = I \quad \text{και} \quad I_{E2} = -I$$

και επίσης για κάθε τρανζίστορ η γνωστή εξίσωση:

$$I_{C1} = -\alpha_1 I + I_{CO1}$$

$$I_{C2} = \alpha_2 I + I_{CO2}$$

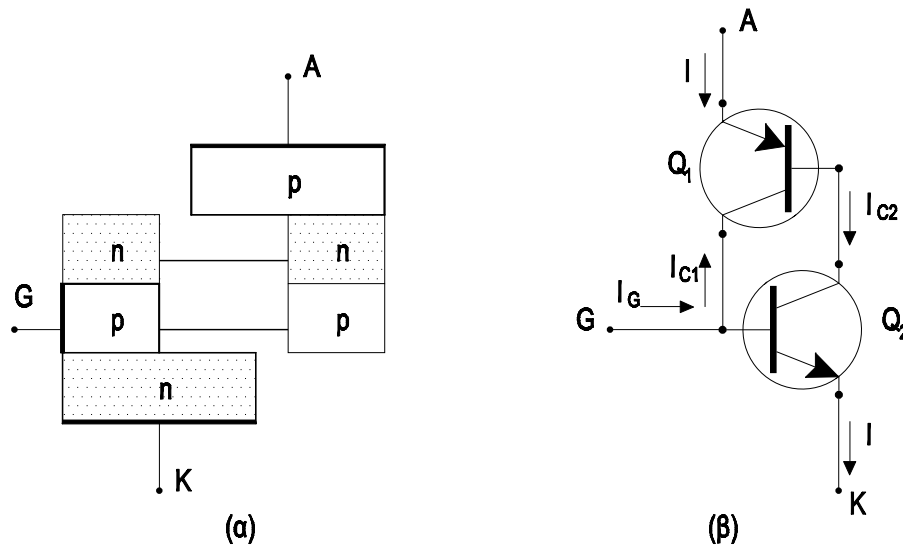
Εφαρμόζοντας τον Α' κανόνα του Kirchhoff στο τρανζίστορ Q_1 παίρνουμε:

$$I + I_{C1} - I_{C2} = 0$$

οπότε

$$I = \frac{I_{CO2} - I_{CO1}}{1 - \alpha_1 - \alpha_2}$$

Από τον τελευταίο τύπο βλέπουμε ότι όταν το άθροισμα $\alpha_1 + \alpha_2$ τείνει στο 1 το ρεύμα I αυξάνει απεριόριστα.



Σχ. 41 Προσέγγιση του SCR (α) δομή (β) ισοδύναμο κύκλωμα.

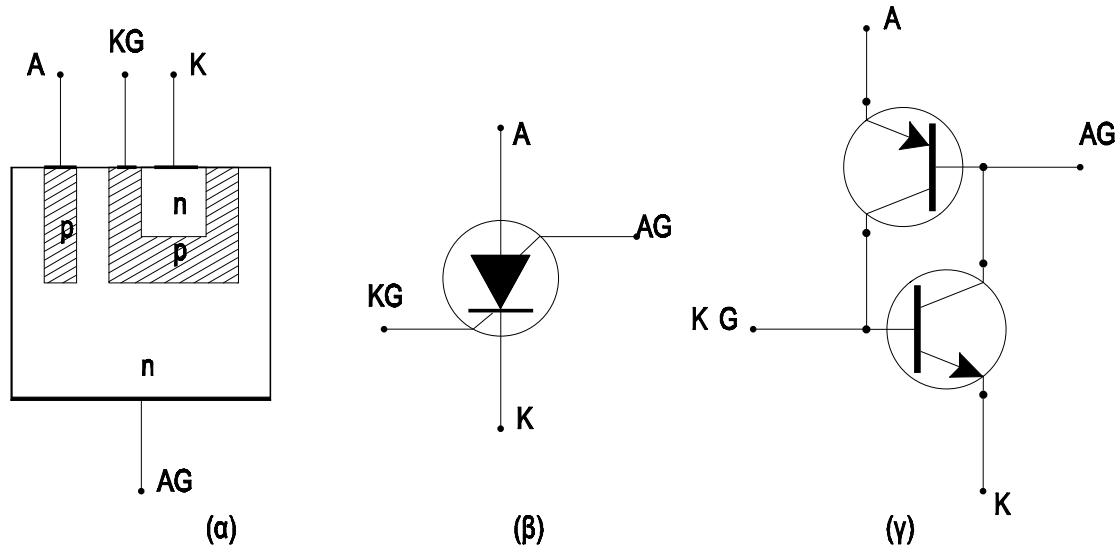
Σε πολύ μικρές τάσεις τα α_1, α_2 είναι μικρά οπότε $\alpha_1 + \alpha_2 < 1$ και το ρεύμα I διατηρείται χαμηλό. Σε υψηλότερες τάσεις γίνεται $\alpha_1 + \alpha_2 = 1$ οπότε μπαίνει σε λειτουργία ένας μηχανισμός ανατροφοδότησης που αυξάνει ακαριαία το ρεύμα I , μειώνοντας ταυτόχρονα την τάση κατά μήκος του SCR, και δημιουργώντας μια περιοχή αρνητικής ανάδρασης. Η ύπαρξη ρεύματος $I_G > 0$ δημιουργεί μια κατάσταση πιο κοντά στην πυροδότηση ($\alpha_1 + \alpha_2 = 1$) και συνεπώς χρειάζεται μικρότερη εξωτερική τάση για να γίνει αυτό. Συνέπεια αυτού είναι η ελάττωση της τάσης πυροδότησης.

Μετά την πυροδότηση, η τάση πέφτει σε μια ελάχιστη τιμή (τάση συγκράτησης) που κυμαίνεται από 0,5 μέχρι περίπου 20 V. Το ρεύμα αυξάνει σχεδόν κατακόρυφα (Σχ. 40γ) ενώ η αντίσταση σ' αυτή την περιοχή είναι πολύ μικρή ($\leq 10\Omega$).

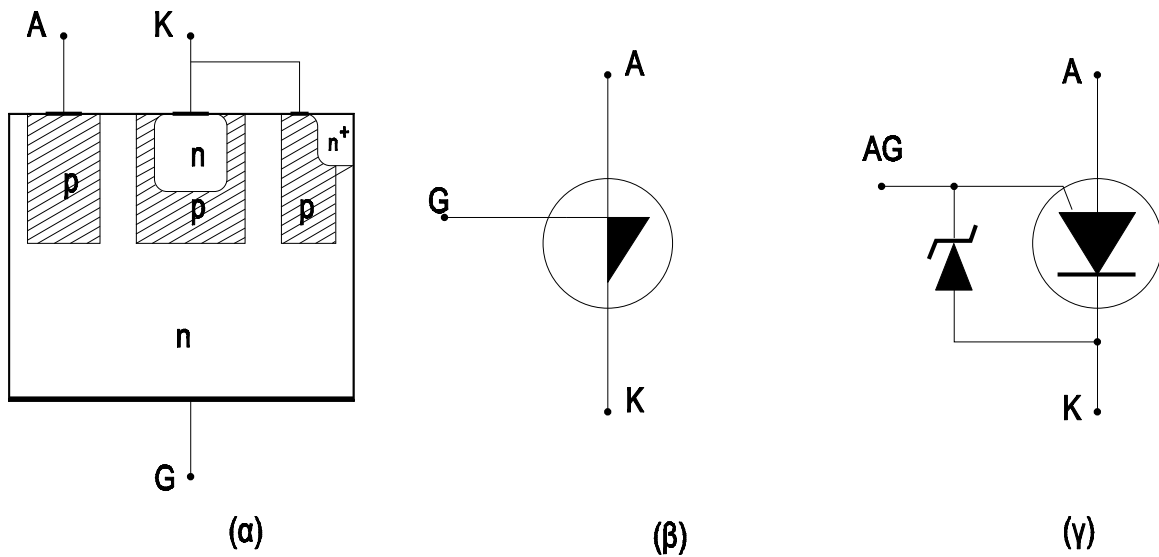
Παρόμοια δομή, χαρακτηριστική καμπύλη και συμπεριφορά με το SCR έχει και ο **ελεγχόμενος διακόπτης πυριτίου** (Silicon Controlled Switch) SCS. Η διαφορά με το SCR είναι ότι έχει δυο ηλεκτρόδια έλεγχου (KG και AG) ενώ η χαρακτηριστική καμπύλη είναι ίδια με του SCR.

Το **Silicon Unilateral Switch** (SUS) είναι πάλι ένα SCR με την ίδια ακριβώς χαρακτηριστική, ελεγχόμενο από την ανοδική πύλη, και με δυνατότητα ελέγχου από σχετικά υψηλές τάσεις, γεγονός που πετυχαίνεται χάρη σε μια zener που εμπεριέχεται στο ίδιο chip (build-in). (Σχ. 43).

Το **Light Activated SCR** (LASCR) είναι ένα SCR με την ίδια δομή κλπ, που όμως ενεργοποιείται όταν πέσει φως πάνω του, όπως δηλώνει και η ονομασία του.



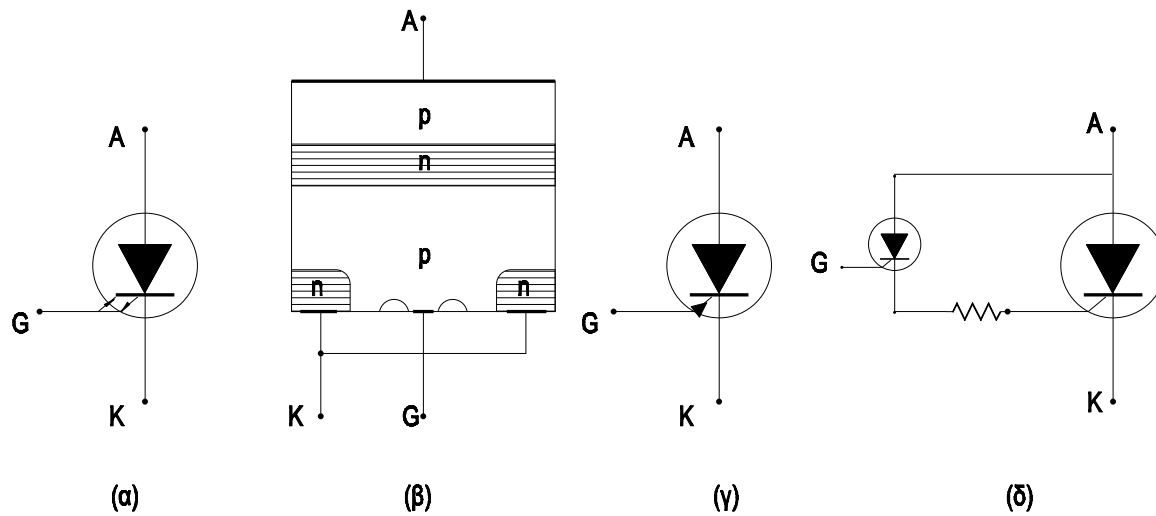
Σχ. 42 SCS (α) δομή (β) σύμβολο (γ) ισοδύναμο κύκλωμα.



Σχ. 43 SUS (α) δομή (β) σύμβολο (γ) ισοδύναμο κύκλωμα.

Το **Gate-Turn-Off** (GTO) είναι επίσης ένα thyristor με την ίδια δομή, χαρακτηριστική, ισοδύναμο κύκλωμα, με του SCR. έχει τη χαρακτηριστική ιδιότητα να μεταγει σε ON κατάσταση τη διόδο (Σχ. 44), με την εφαρμογή θετικού σήματος πύλης, ενώ επαναφέρει στην OFF κατάσταση με την εφαρμογή αρνητικού σήματος.

Το **Amplifying Gate SCR** (Σχ. 45,β,γ,δ) χάρη στην κατασκευή του παρουσιάζει την ίδια χαρακτηριστική με το SCR αλλά αυξημένη ευαισθησία, διεγερόμενο με πολύ μικρότερο ρεύμα από τα κοινά SCR.



Σχ. 44 (α) GTO (β) Amplifying Gate SCR (γ) σύμβολο (δ) Ισοθ. κυκλ.

Σχ. 45 Χαρακτηριστική καμπύλη του SCR. (Motorola Sem.)

Πρακτικό μέρος

Στην άσκηση αυτή θα ληφθούν μετρήσεις για τη χάραξη της χαρακτηριστικής καμπύλης ενός SCR (του 2N2322) για διάφορα ρεύματα πύλης I_G και στη συνέχεια με τη βοήθεια των χαρακτηριστικών θα υπολογιστούν γραφικά ορισμένα μεγέθη που σχετίζονται με τη λειτουργία του SCR, και ο ορισμός τους φαίνεται στο εικ.11.7. Τέτοια μεγέθη είναι τα:

I_{GT} : (Gate trigger current) ρεύμα σκανδαλισμού πύλης.

I_B : (Continuous holding current) Συνεχές ρεύμα συγκράτησης.

V_{DRM}/I_{DRM} : τάση ρεύμα επαναλαμβανόμενα ορθής φοράς.

V_{RRM}/I_{RRM} : τάση ρεύμα επαναλαμβανόμενα ανάστροφης φοράς.

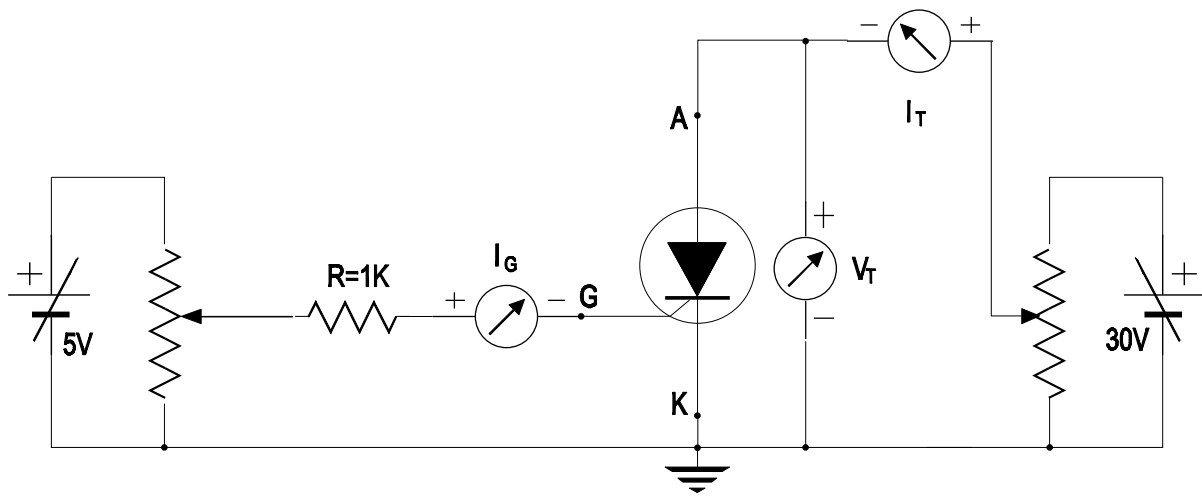
V_{BO} : (Breakover voltage) τάση εκσπασής.

I_T : RMS ρεύμα ορθής φοράς.

V_T : Στιγμιαία τάση ορθής φοράς.

V_{GT} : (Gate trigger voltage) τάση σκανδαλισμού πύλης.

I_{TSM} : (Peak surge On-State current) Μέγιστο ρεύμα για ένα κύκλο.



Σχ. 46 Το κύκλωμα της άσκησης.

Τεχνικά στοιχεία για το χρησιμοποιούμενο θυρίστορ δίνονται στο παράρτημα Α ενώ στο Σχ. 46 φαίνεται το κύκλωμα της άσκησης.

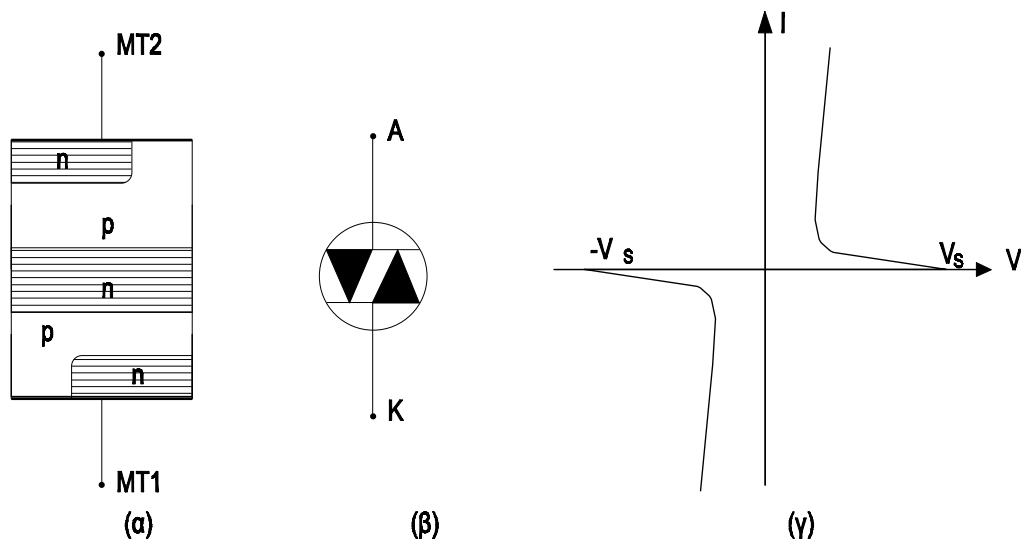
ΑΣΚΗΣΗ 12η ΤΟ TRIAC

Θεωρητικό μέρος

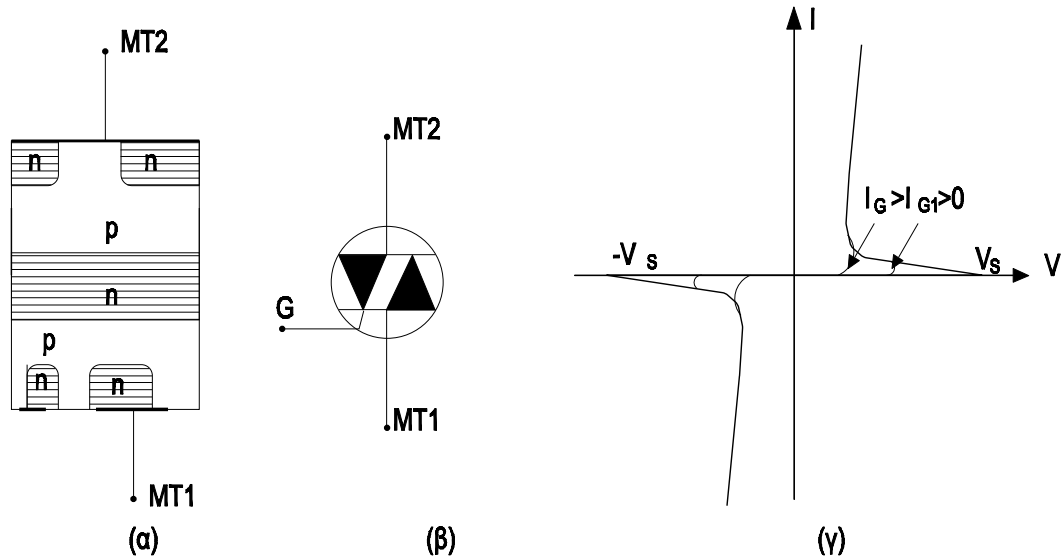
Το triac είναι και αυτό ένα μέλος της μεγάλης οικογένειας των θυρίστορ. Τα μέλη της οικογένειας αυτής που εξετάστηκαν στην άσκηση 11, εμφανίζουν συγκεκριμένο προσανατολισμό στους ακροδέκτες και αποκρίνονται σωστά μόνο σε συγκεκριμένη πόλωση. Τα επόμενα μέλη της οικογένειας αυτής εμφανίζουν μια συμμετρική συμπεριφορά, με αποτέλεσμα να μπορούν να λειτουργήσουν σε εναλλασσόμενες τάσεις.

Το Diac είναι ημιαγωγός που μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελείται από δυο διόδους τεσσάρων στρωμάτων συνδεμένες αντιπαράλληλα (Σχ. 47). Η χαρακτηριστική καμπύλη φαίνεται στην εικ. 11.1(γ). Παρουσιάζει συμμετρία για θετικές και αρνητικές τάσεις. Χαρακτηριστικό γνώρισμα των Diac είναι η σχετικά μεγάλη τάση συγκράτησης. Η συμπεριφορά τους είναι παρόμοια με την συμπεριφορά των λαμπτήρων Neon γι' αυτό και τους αντικαθιστούν σε κυκλώματα αυτοματισμών κλπ.

Το Triac είναι ημιαγωγός που μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελείται από δυο SCR συνδεμένα αντιπαράλληλα. Η εξήγηση της λειτουργίας είναι ίδια με του SCR με τη διάφορα ότι εδώ το ίδιο φαινόμενο επαναλαμβάνεται κατά την ορθή και ανάστροφη πόλωση, κατά τον ίδιο τρόπο.



Σχ. 47 Diac (α)δομή (β)σύμβολο (γ)χαρακτηριστική.

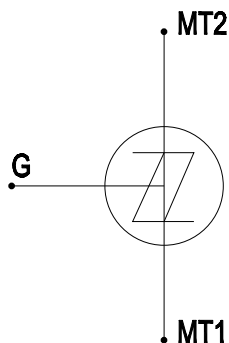


Σχ. 48 Triac (α) δομή (β) σύμβολο (γ) χαρακτηριστική.

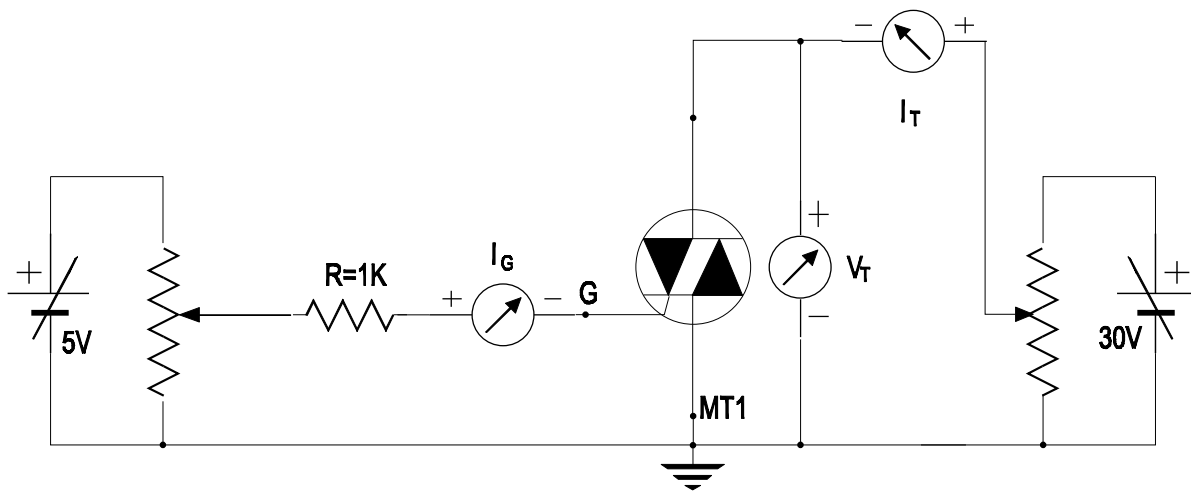
Το Silicon Bilateral Switch (SBS) αποτελείται από δυο SUS συνδεδεμένα αντιπαράλληλα, και έχουν ίδιας μορφής χαρακτηριστική καμπύλη με το Triac. Συνήθως τα SBS λειτουργούν σε χαμηλότερες τάσεις και ρεύματα. Στο Σχ. 49 φαίνεται το σύμβολο του SBS.

Πρακτικό μέρος

Στην άσκηση αυτή θα ληφθεί η χαρακτηριστική καμπύλη ενός Triac (του 2N6069A), για διάφορα ρεύματα πύλης I_G , και στη συνέχεια, θα υπολογιστούν γραφικά ορισμένα χαρακτηριστικά μεγέθη του Triac. Τα μεγέθη αυτά είναι τα V_s , I_s , V_{s1} , I_{s1} , και υπολογίζονται γραφικά Όπως και στο SCR. τεχνικά στοιχεία δίνονται στο παράρτημα Α και το κύκλωμα της άσκησης δίνεται στο Σχ. 50.



Σχ. 49 (α) Το σύμβολο του SBS (β) Χαρακτηριστικές καμπύλες Triac.



Σχ. 50 Το κύκλωμα της άσκησης.

ΑΣΚΗΣΗ 13η ΦΩΤΟΔΙΟΔΟΣ - ΦΩΤΟΤΡΑΝΖΙΣΤΟΡ

Θεωρητικό μέρος

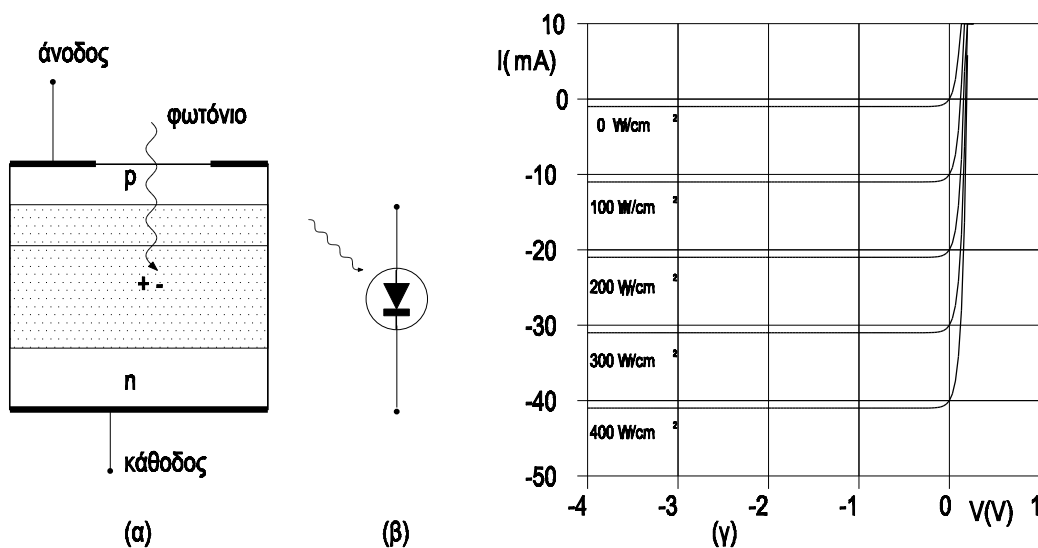
Η **φωτοδιόδος** είναι ισοδύναμη κατασκευαστικά με μια διόδο επαφής πολωμένη ανάστροφα, ενώ μέσα από ένα "παράθυρο", παρέχει τη δυνατότητα στο εξωτερικό φως να περάσει μέσα στην περιοχική απογύμνωση (Σχ. 51α). Κάθε φωτόνιο που περνάει στην περιοχική απογύμνωση, με ενέργεια μεγαλύτερη του ενεργειακού χάσματος του ημιαγωγού, ελευθερώνει και ένα ζευγάρι ηλεκτρονίου-οπής, με αποτέλεσμα την αύξηση των ελευθέρων φορέων του ηλεκτρισμού στην περιοχική αυτή και συνεπώς την αύξηση του ανάστροφου ρεύματος της διόδου. Το ανάστροφο ρεύμα της διόδου θα εξαρτάται από τη συγκέντρωση των ελευθέρων φορέων στην περιοχική απογύμνωση και κατά συνέπεια από τον αριθμό των φωτονίων που εισέρχονται στην περιοχική αυτή στη μονάδα του χρόνου, Δηλαδή από την ένταση της ακτινοβολίας. Το συνολικό ρεύμα που διέρχεται από τη φωτοδιόδο θα εξαρτάται από την τάση V_D και τον φωτισμό, όπως φαίνεται και από τον τύπο:

$$I_D = I_0 \cdot \left(e^{\frac{q_e V_D}{kT}} - 1 \right) - I_V$$

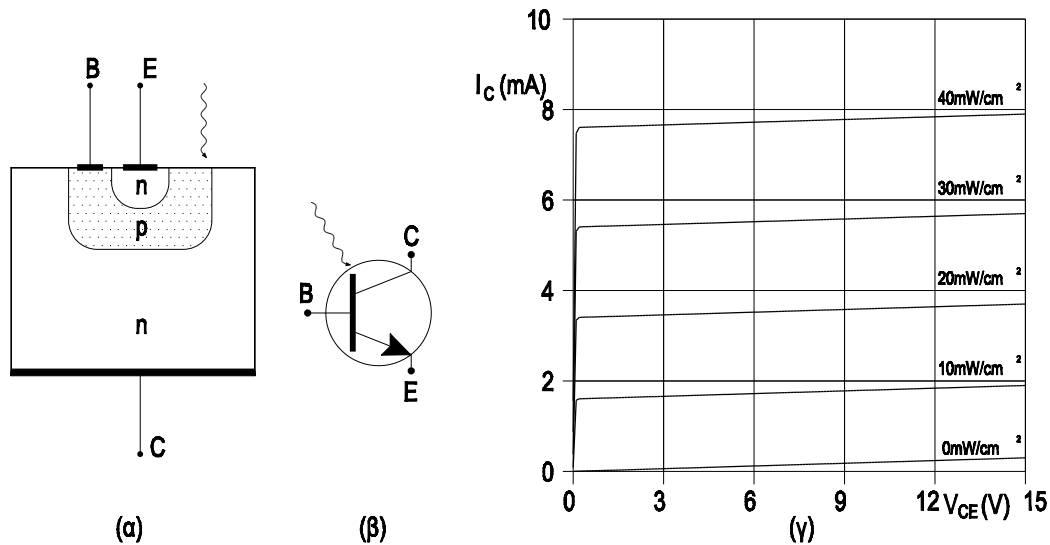
όπου:

I_0 :ανάστροφο ρεύμα κόρου,

I_V :φωτόρευμα.



Σχ. 51 Φωτοδιόδος (α) δομή (β) σύμβολο (γ) χαρακτηριστική.



Σχ. 52 Φωτοτρανζίστορ (α) δομή (β) σύμβολο (γ) χαρακτηριστική.

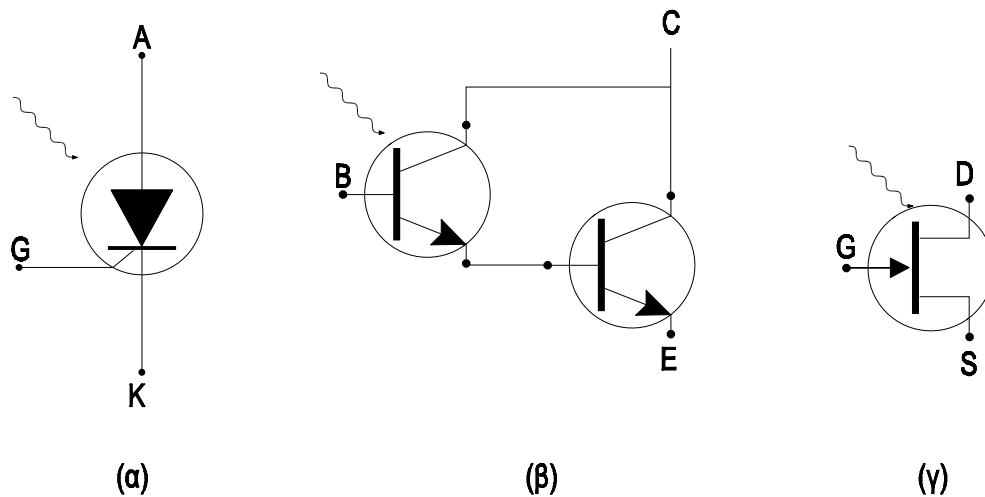
Το **φωτοτρανζίστορ** είναι ίδιο κατασκευαστικά με ένα τρανζίστορ επαφής που έχει την επαφή του συλλέκτη ανάστροφα πολωμένη (Σχ. 52) ενώ η περιοχή αυτή μπορεί να εκτίθεται στο εξωτερικό φως μέσα από ένα διαφανές παράθυρο. όταν το φωτοτρανζίστορ φωτίζεται, τα εισερχόμενα φωτόνια στην περιοχή απογύμνωσης της επαφής του συλλέκτη δημιουργούν ισάριθμα ζευγάρια οπών- ηλεκτρονίων, που ωθούνται από το ηλεκτροστατικό πεδίο προς τη βάση και το συλλέκτη αντίστοιχα (σε τρανζίστορ npn). Η ορθή πόλωση της επαφής του εκπομπού ωθούν τις οπές προς τον εκπομπό και τα ηλεκτρόνια από τον εκπομπό προς τη βάση. Ενώ στα συμβατικά τρανζίστορ το ρεύμα ηλεκτρονίων από τον εκπομπό διαπερνά τη στενή περιοχή της βάσης και φτάνει στο συλλέκτη, στα φωτοτρανζίστορ το μικρό ρεύμα βάσης που οφείλεται στις επανασυνδέσεις των φορέων, ενισχύεται από το ρεύμα των φωτογενών φορέων. Έτσι το ρεύμα συλλέκτη δίνεται από τον τύπο:

$$I_B = \beta \cdot (I_B + I_V) + (\beta + 1) \cdot I_{C0}$$

και με ανοιχτό το κύκλωμα της βάσης έχουμε:

$$I_C = \beta \cdot I_V$$

Η τελευταία αυτή σχέση δίνει και την αυξημένη ευαισθησία του φωτοτρανζίστορ απέναντι στη φωτοδιόδο. Αξίζει να σημειώσουμε την αυξημένη γραμμικότητα απόκρισης, τόσο των φωτοδιόδων όσο και των φωτοτρανζίστορ στις φωτοδιεγέρσεις, φυσικά για ρεύματα $I_V \gg I_0$ ή $I_V \gg (\beta + 1) \cdot I_{C0}$



Σχ. 53 (α) Φωτοθυρίστορ (β) ΦωτοDarlington (γ) ΦωτοFET

Το **φωτοθυρίστορ** είναι ηλεκτρονική διάταξη αντίστοιχη με το κοινό θυρίστορ (SCR) όπου το ρεύμα πύλης ενισχύεται από το φωτόρευμα I_v . Αν το κύκλωμα πύλης είναι ανοικτό, τότε ο έλεγχος μέσα από το ρεύμα πύλης γίνεται με τη βοήθεια του φωτός που προσπίπτει.

Το **φωτοντάρλινγκτον** είναι διάταξη από δυο τρανζίστορ ευαίσθητη στο φως που προσπίπτει με πολύ μεγάλη ευαισθησία όπως φαίνεται από τον τύπο:

$$I_C = \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot I_v$$

Το **φωτοFET** είναι διάταξη αντίστοιχη του FET επαφής, όπου το ρεύμα εκροής είναι ανάλογο της έντασης του προσπίπτοντος φωτός.

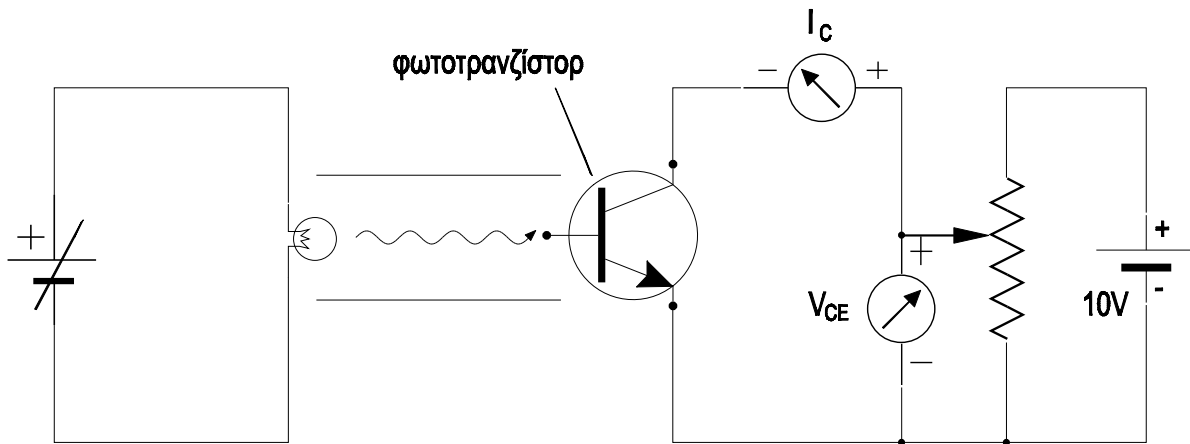
Πρακτικό μέρος

Στην άσκηση αυτή θα ληφθούν μετρήσεις για τη χάραξη των χαρακτηριστικών καμπυλών ενός φωτοτρανζίστορ και η εύρεση ορισμένων χαρακτηριστικών μεγεθών όπως τα:

I_D : (Dark current) ρεύμα σκότους

$$h_{FE} = \frac{I_C}{I_B}$$

Τεχνικά στοιχεία δίνονται στο παράρτημα Α , και στο Σχ. 54 φαίνεται το κύκλωμα της άσκησης.



Σχ. 54 Το κύκλωμα της άσκησης.

Άσκηση 1η Προκαταρκτική

Όνοματεπώνυμο:.....

1. Ρυθμίστε το τροφοδοτικό σταθεροποιημένης συνεχούς τάσης, ώστε να δίνει τάση περίπου 10 V. Μετρήστε την τάση αυτή με το ψηφιακό πολύμετρο και με όσο το δυνατό μεγαλύτερη ακρίβεια, και επαναλάβετε το ίδιο για τάση περίπου 20 V.

$$V_1 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V} \qquad V_2 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$$

2. Πραγματοποιήστε το παρακάτω κύκλωμα και δίνοντας από το τροφοδοτικό τάση 10 V και 20 V διαδοχικά, μετρήστε τα δυο αντίστοιχα ρεύματα με το πολύμετρο.

$$I_1 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ mA} \qquad I_2 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ mA}$$

3. Μετρήστε με το πολύμετρο τις αντιστάσεις που υπάρχουν και σημειώστε την ονομαστική και τη μετρημένη τιμή καθώς και την απόκλιση της ονομαστικής τιμής:

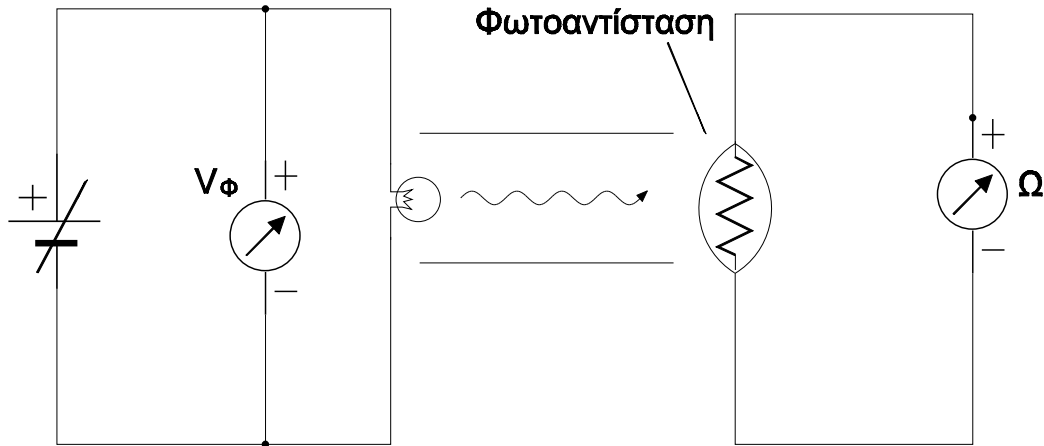
$$\text{απόκλιση} = \frac{(\text{μετρημένη} - \text{ονομαστική}) \cdot 100}{\text{μετρημένη}} \%$$

Όνομαστική	Μετρημένη	Απόκλιση (%)

Άσκηση 2η Φωτοαντίσταση

Όνοματεπώνυμο:.....

1. Αναγνωρίστε τη φωτοαντίσταση και πραγματοποιήστε το κύκλωμα της άσκησης.



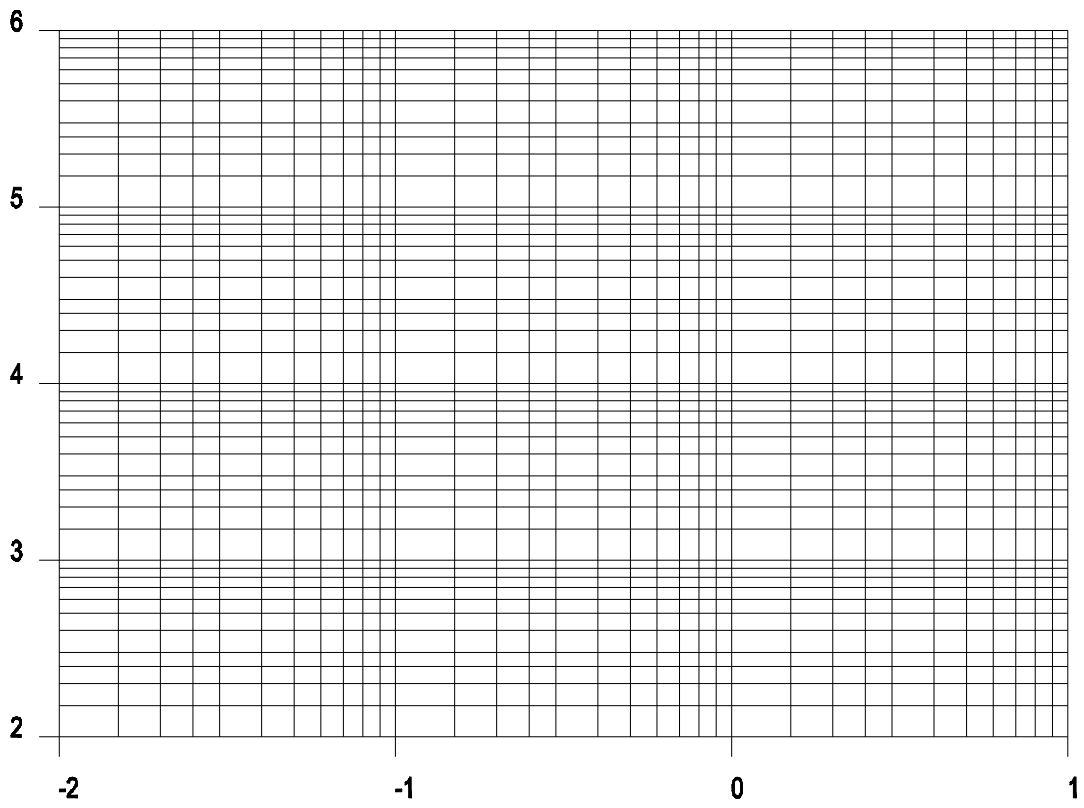
2. Για τάσεις V που προκαθορίζετε από 1 μέχρι 12 V, μετρήστε την αντίσταση της φωτοαντίστασης, και καταχωρίστε τις μετρήσεις σας στον παρακάτω πίνακα.

V (V)	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	8	9	10	11	12
R (Ω)														
B (L)														

3. Με τη βοήθεια του διαγράμματος $B = f(V)$ από το πρακτικό μέρος της ίδιας άσκησης συμπληρώστε την τρίτη γραμμή του παραπάνω πίνακα.

4. Σχεδιάστε στη άλλη σελίδα το διάγραμμα $R_{\text{φωτοαντίστασης}} = f(B)$ από τα στοιχεία του παραπάνω πίνακα.

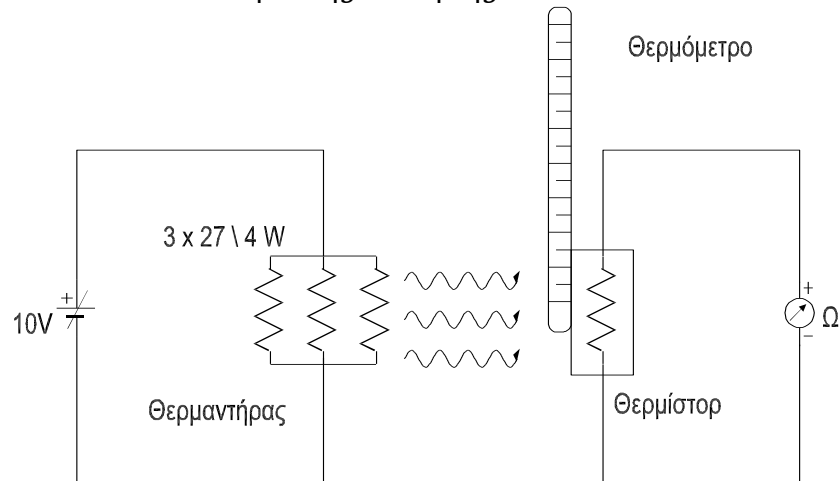
5. Εξηγήστε θεωρητικά τη μορφή της καμπύλης που σχεδιάσατε.



Άσκηση 3η Θερμίστορ

Όνοματεπώνυμο:.....

1. Πραγματοποιείτε το κύκλωμα της άσκησης.



2. Πάρτε μετρήσεις της θερμοκρασίας και της αντίστασης του θερμίστορ, καθώς η θερμοκρασία θα ανέρχεται από 30°C μέχρι 100°C, και συνοψίστε τις στον παρακάτω πίνακα.

Προσοχή: Η θερμοκρασία θα αρχίσει να ανέρχεται γρήγορα από τη στιγμή που θα κλείσει το κύκλωμα του θερμαντήρα, γι' αυτό χρειάζεται ετοιμότητα, ιδίως στην αρχή των μετρήσεων.

T (°C)	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
R ₁ (Ω)														
R ₂ (Ω)														
\bar{R} (Ω)														

3. Αποσυνδέστε τον θερμαντήρα από την τάση και καθώς το θερμίστορ θα ψύχεται, μετρήστε πάλι την αντίστασή του για τις ίδιες τιμές της θερμοκρασίας (R₂).

4. Για κάθε θερμοκρασία, υπολογίστε τη μέση τιμή της μετρούμενης

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2}{2}$$

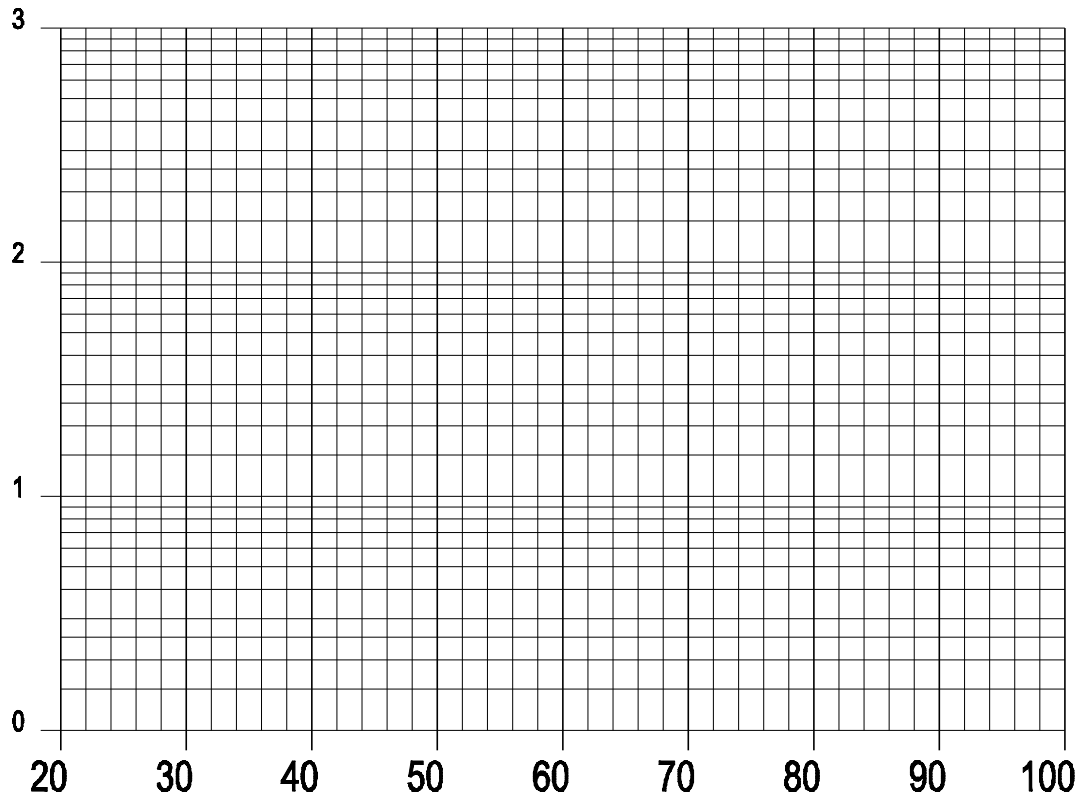
και καταχωρίστε τα αποτελέσματα στον παραπάνω πίνακα.

5. επαναλάβετε τη διαδικασία 2,3,4 και για ένα δεύτερο θερμίστορ.

T (°C)	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
--------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

$R_1 (\Omega)$														
$R_2 (\Omega)$														
$\bar{R} (\Omega)$														

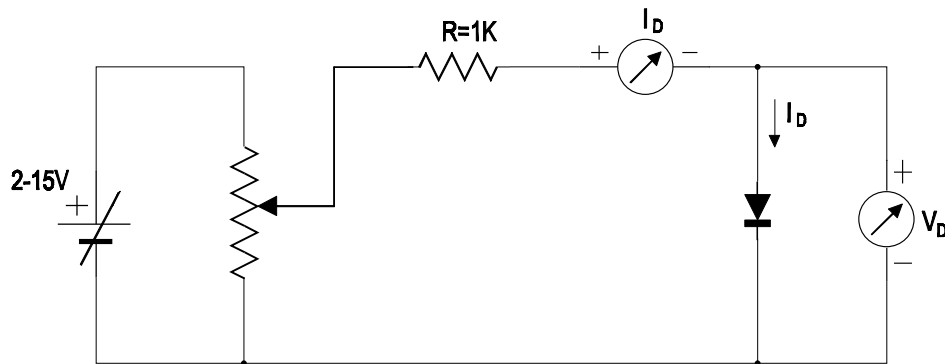
6. Από τα δεδομένα των δυο πινάκων, να σχεδιαστούν στο ίδιο ημιλογαριθμικό χαρτί τα δυο διαγράμματα $\bar{R} = f(T)$
(Η R στη λογαριθμική κλίμακα)



Άσκηση 4η Δίοδος

Όνοματεπώνυμο:.....

1. Πραγματοποιήστε το κύκλωμα της άσκησης που φαίνεται παρακάτω, με δίοδο πυριτίου.



2. Πάρτε μετρήσεις της τάσης V_D και του ρεύματος I_D και συνοψίστε τις στον παρακάτω πίνακα.

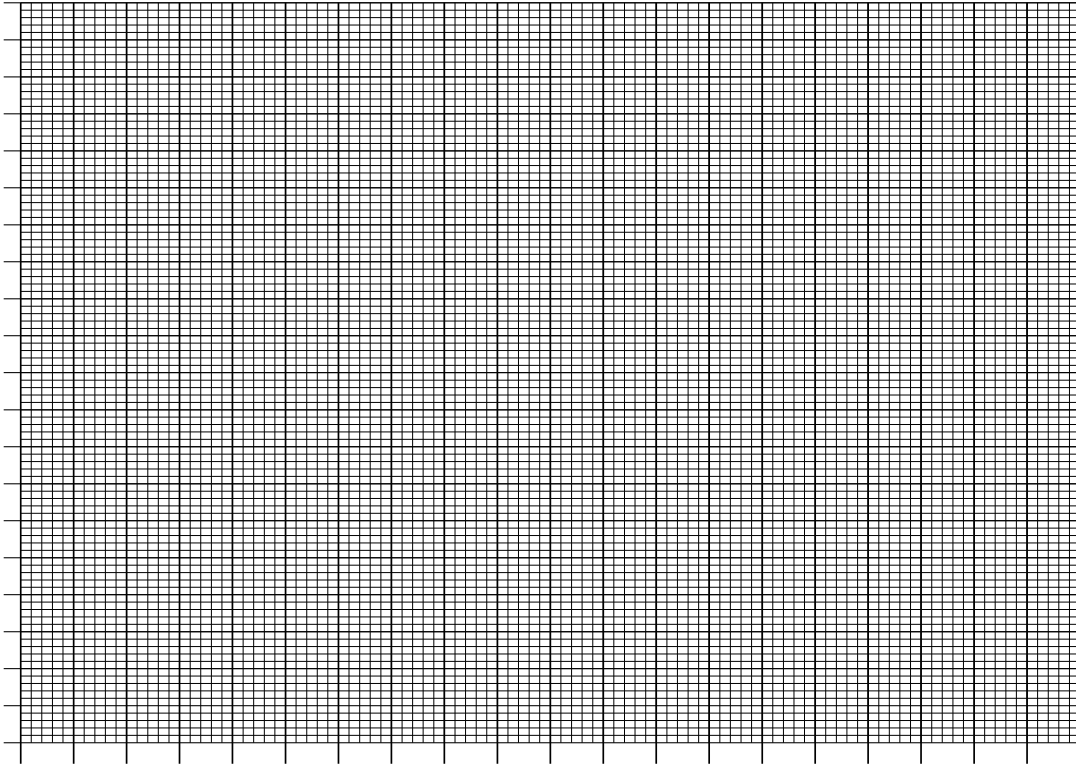
V_D (V)	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5					
I_D (mA)							2	4	6	8	10

3. Αντιστρέψτε τη φορά της διόδου και των οργάνων.

4. Πάρτε μετρήσεις της τάσης V_D και του ρεύματος I_D και συνοψίστε τις στον παρακάτω πίνακα.

V_D (V)	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
I_D (mA)										

5. Από τα δεδομένα των δυο πινάκων, σχεδιάστε τη χαρακτηριστική καμπύλη $I_D = f(V_D)$ της διόδου.



6. Σχεδιάστε την ευθεία φόρτου στο παραπάνω διάγραμμα που αντιστοιχεί σε τάση τροφοδοσίας $1V$ και $R = 100\Omega$ και προσδιορίστε γραφικά τα σημεία λειτουργίας της διόδου.

7. Σχεδιάστε τη δυναμική χαρακτηριστική της διόδου πάνω στο ίδιο διάγραμμα.

8. προσδιορίστε γραφικά την τάση κατωφλιού της διόδου και τη δυναμική της αντίσταση.

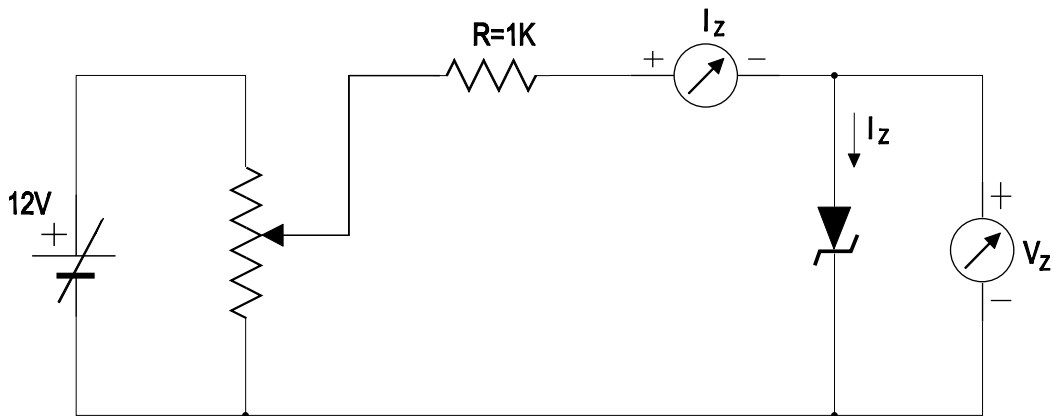
$$V_{\text{κατωφλιού}} = \text{_____} V$$

$$r_{\text{δυναμική}} = \text{_____} \Omega$$

Άσκηση 5η Zener

Όνοματεπώνυμο:.....

1. Πραγματοποιήστε το κύκλωμα της άσκησης.



2. Πάρτε μετρήσεις της τάσης V_Z και του ρεύματος I_Z και συνοψίστε τις στον πίνακα.

V_D (V)	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5					
I_D (mA)							2	4	6	8	10

3. Αλλάξτε την πολικότητα της zener και πάρτε μετρήσεις πάλι των V_Z και I_Z συνοψίζοντας σε πίνακα.

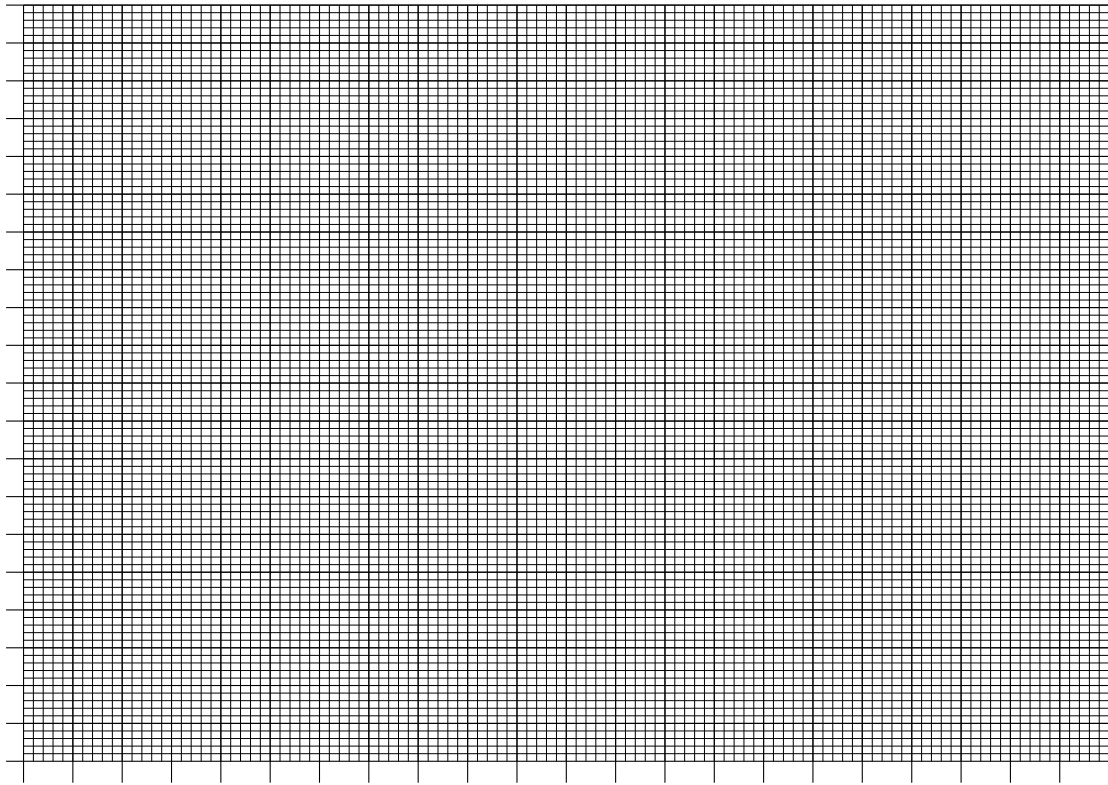
V_D (V)	1	2	3	4	5	6					
I_D (mA)							2	4	6	8	10

4. Από τα δεδομένα των παραπάνω πινάκων, σχεδιάστε τη χαρακτηριστική καμπύλη της zener (στην επόμενη σελίδα).

5. Για τάση τροφοδοσίας 10V και $R = 1K\Omega$, σχεδιάστε την ευθεία φόρτου και σημειώστε το σημείο λειτουργίας της zener.

6. Προσδιορίστε γραφικά τη δυναμική αντίσταση της zener στο σημείο λειτουργίας της.

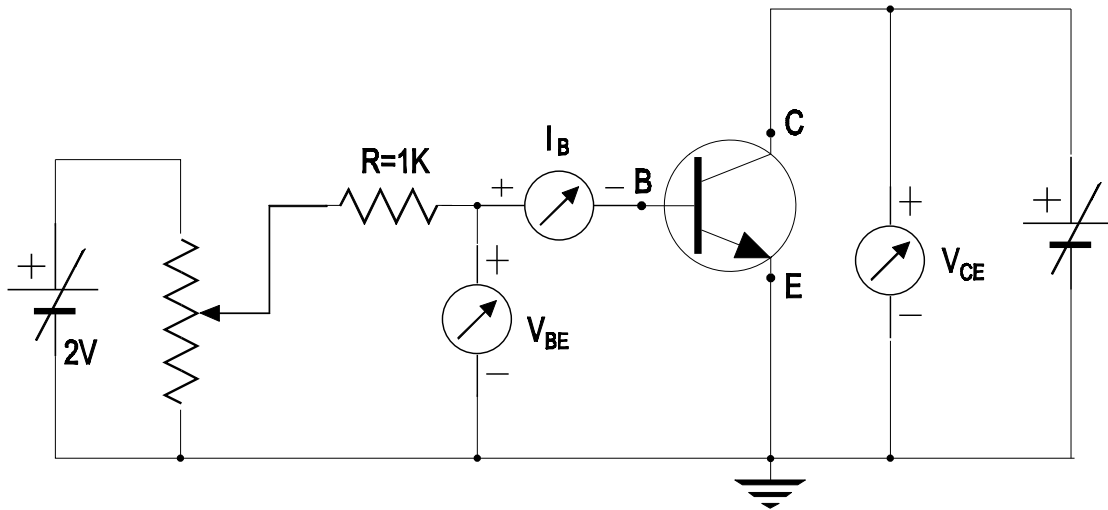
$$r_{\text{δυναμική}} = \text{_____} \Omega$$



Άσκηση 6η Χαρακτηριστικές Εισόδου

Όνοματεπώνυμο:.....

1. Πραγματοποιήστε το κύκλωμα της άσκησης.



2. Για $V = 0, 0,1, 1, 10 \text{ V}$ παίρνετε μετρήσεις των V_{BE} και I_B και τις συνοψίζετε σε πίνακα.

0	$V_{BE} \text{ (V)}$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6				
	$I_B \text{ (}\mu\text{A)}$								10	20	30	40
0,1	$V_{BE} \text{ (V)}$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6				
	$I_B \text{ (}\mu\text{A)}$								10	20	30	40
1	$V_{BE} \text{ (V)}$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6				
	$I_B \text{ (}\mu\text{A)}$								10	20	30	40
10	$V_{BE} \text{ (V)}$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6				
	$I_B \text{ (}\mu\text{A)}$								10	20	30	40

3. Από τις παραπάνω μετρήσεις, σχεδιάστε στο ίδιο διάγραμμα της επόμενης σελίδας τις καμπύλες $V_{BE} = f(I_B)$.

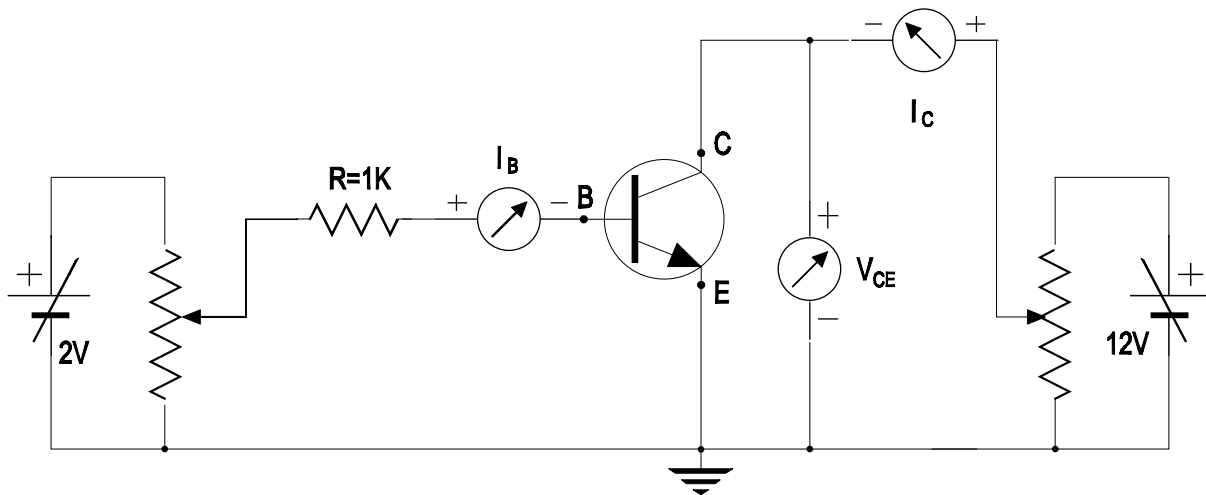
4. Προσδιορίστε την παράμετρο h_{ie} του τρανζίστορ στο σημείο λειτουργίας $V_{CE} = 10 \text{ V}$, $I_B = 20 \mu\text{A}$.

5. Δώστε μια θεωρητική εξήγηση της μορφής των καμπυλών αυτών.

Άσκηση 7η Χαρακτηριστικές Εξόδου

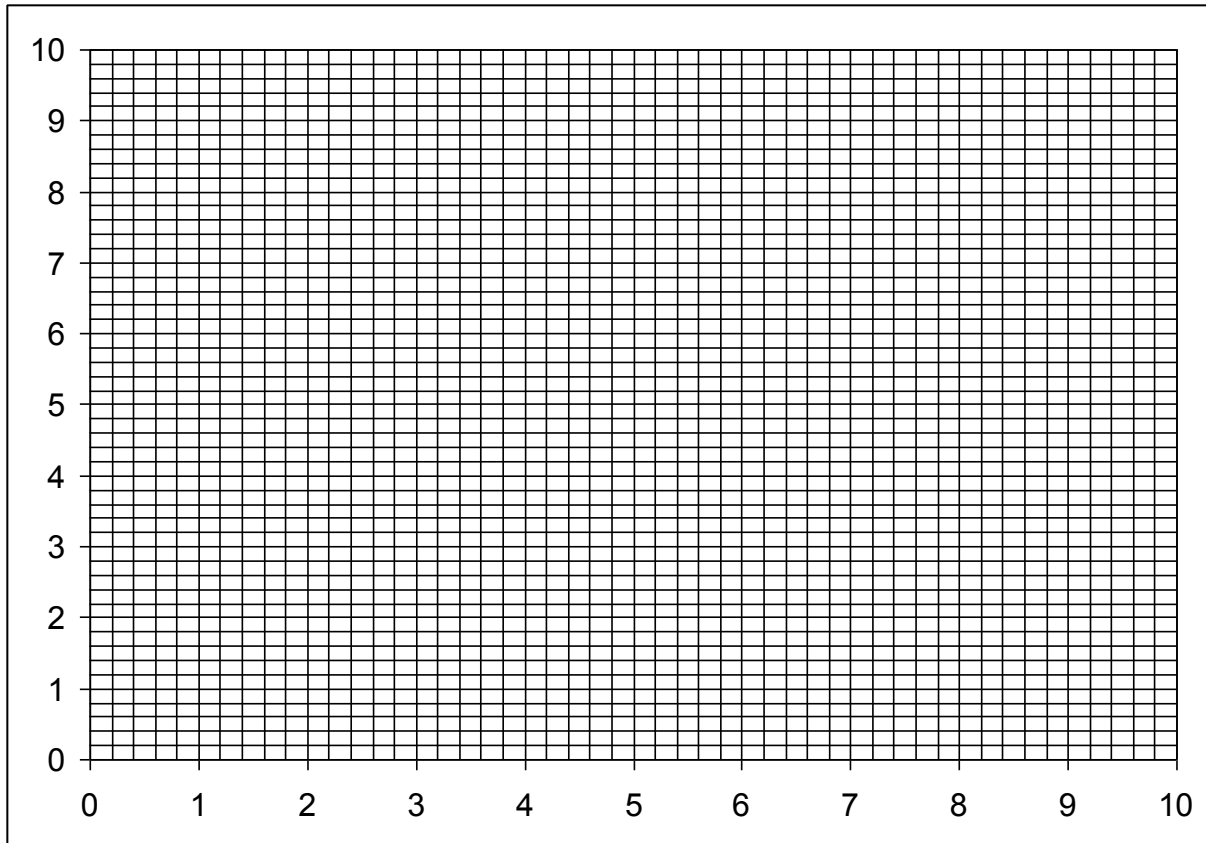
Όνοματεπώνυμο:.....

1. Πραγματοποιήστε το κύκλωμα της άσκησης.



2. Για $I = 0, 10\mu\text{A}, 20\mu\text{A}, 30\mu\text{A}, 40\mu\text{A}, 50\mu\text{A}$ που κάθε φορά διατηρείται σταθερό, πάρτε μετρήσεις των I και V και τις συνοψίζετε σε πίνακα.

3. Από τις παραπάνω μετρήσεις, σχεδιάστε στο ίδιο διάγραμμα τις καμπύλες $I = f(V)$ με παράμετρο το I .



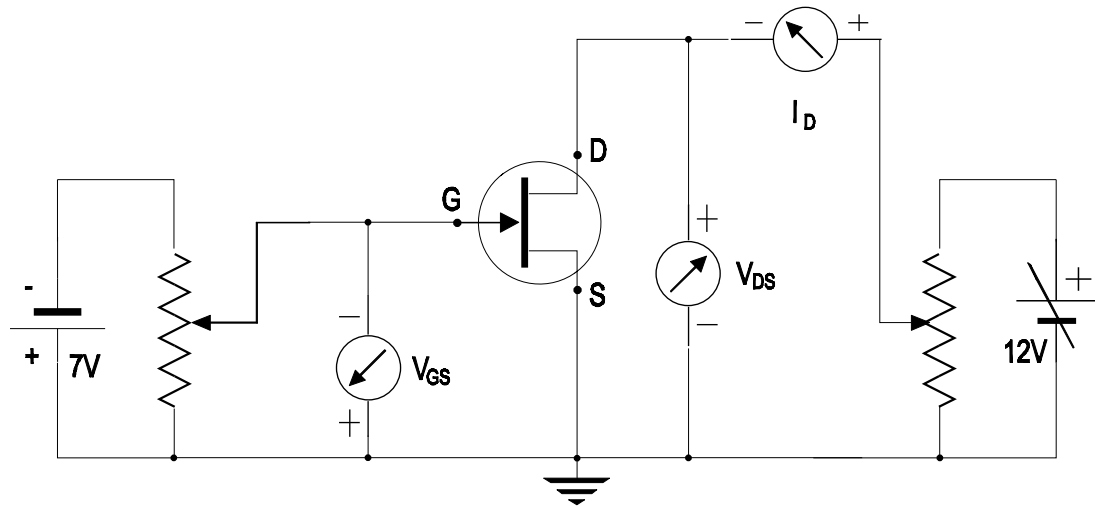
4. Προσδιορίστε τις παραμέτρους h και h του τρανζίστορ στο σημείο λειτουργίας $V = 10 \text{ V}$, $I = 20 \mu\text{A}$ καθώς και τα a , b του τρανζίστορ

5. Δώστε μια θεωρητική εξήγηση της μορφής των καμπυλών αυτών.

Άσκηση 8η Χαρακτηριστικές FET

Όνοματεπώνυμο:.....

1. Πραγματοποιήστε το κύκλωμα της άσκησης.



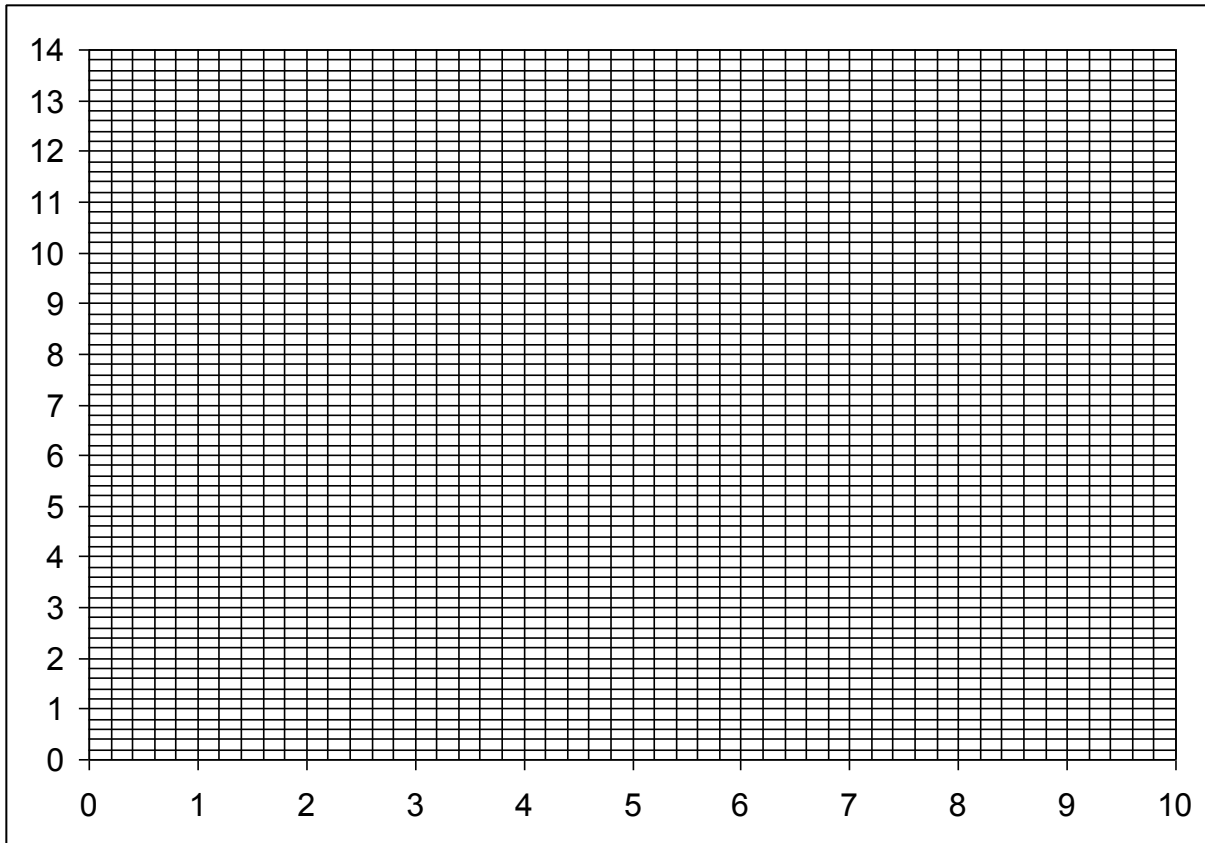
2. Για $V_{GS} = 0, -0,5 \text{ V}, -1 \text{ V}, -1,5 \text{ V}, -2 \text{ V}$, που κάθε φορά διατηρείται σταθερό, πάρτε μετρήσεις των I_D και V_{DS} και τις συνοψίστε τις σε πίνακα.

	V_{DS} (V)	0,0	0,1	0,3	0,5	0,7	1	2	3	4	5	6	8	10
0	I_D (mA)													
-0,5	I_D (mA)													
-1,0	I_D (mA)													
-1,5	I_D (mA)													
-2,0	I_D (mA)													

3. Από τις παραπάνω μετρήσεις, σχεδιάστε στο ίδιο διάγραμμα τις καμπύλες $I_D = f(V_{DS})$ με παράμετρο το V_{GS} . (Στην επόμενη σελίδα).

4. Από τις καμπύλες αυτές υπολογίστε γραφικά την αντίσταση εξόδου r_d για το σημείο λειτουργίας $V_{DS} = 5 \text{ V}$, $V_{GS} = -1 \text{ V}$.

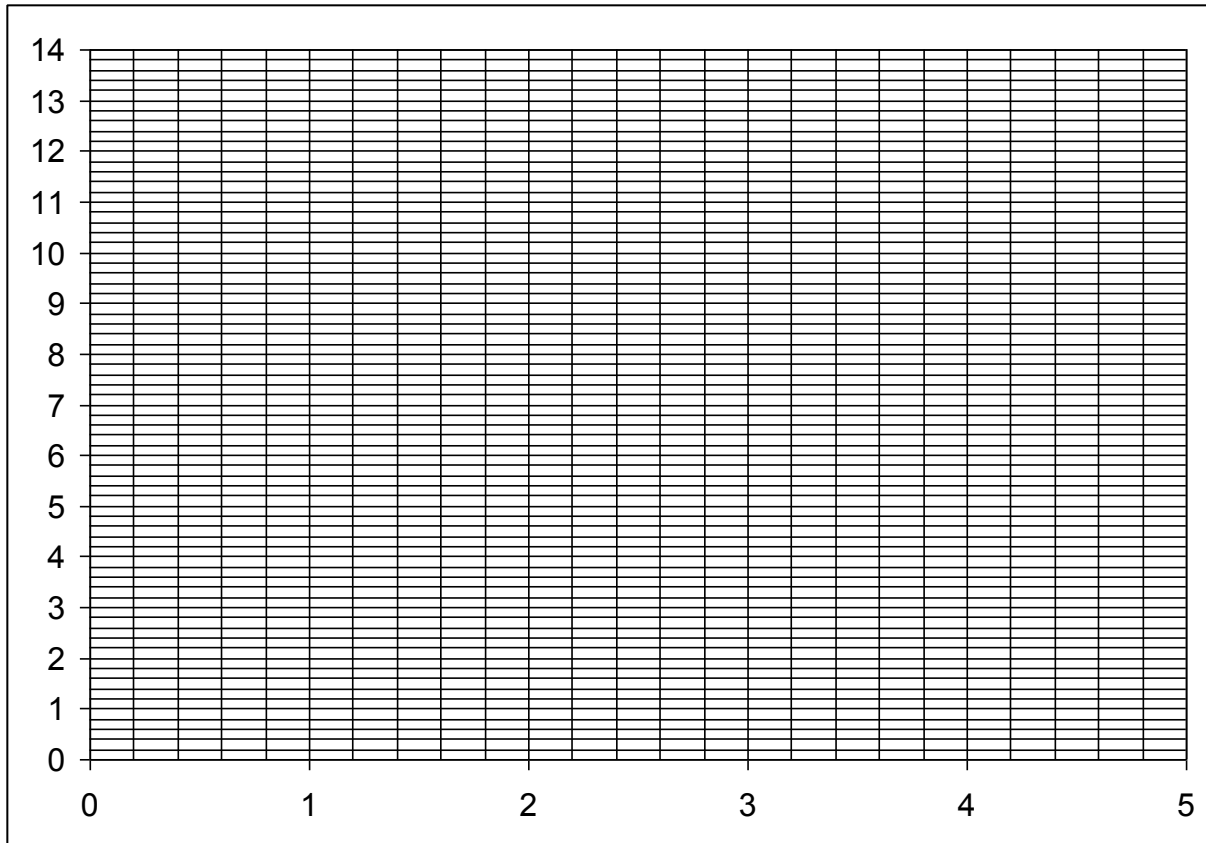
$$r_d = \frac{\Delta V_{DS}}{\Delta I_D} = \text{-----} = \text{-----} \text{ K}\Omega$$



5. Με $V_{DS} = 5 \text{ V}$ που διατηρείται πάντοτε σταθερό, μεταβάλετε την V_{GS} προς αρνητικές τιμές κατά $0,5 \text{ V}$ κάθε φορά, και παρακολουθείστε τη μεταβολή του I_D . Συμπληρώστε τον πίνακα.

$V_{DS}=5\text{V}$	$V_{GS} \text{ (V)}$	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
	$I_D \text{ (mA)}$								

6. Με βάση τις τιμές του παραπάνω πίνακα χαράξτε τη χαρακτηριστική μεταφοράς $I_D = f(V_{GS})$ για $V_{DS} = 5 \text{ V}$. (επόμενη σελίδα).



7. Προσδιορίστε τα μεγέθη:

$$I_{DSS} = \text{_____ mA}$$

$$V_P = \text{_____ V}$$

$$g_{mo} = -\frac{2I_{DSS}}{V_P} = \text{_____ mA/V}$$

$$g_m = g_{mo} \cdot \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right) = \text{_____ mA/V} \quad \text{για } V_{GS} = -1 \text{ V}$$

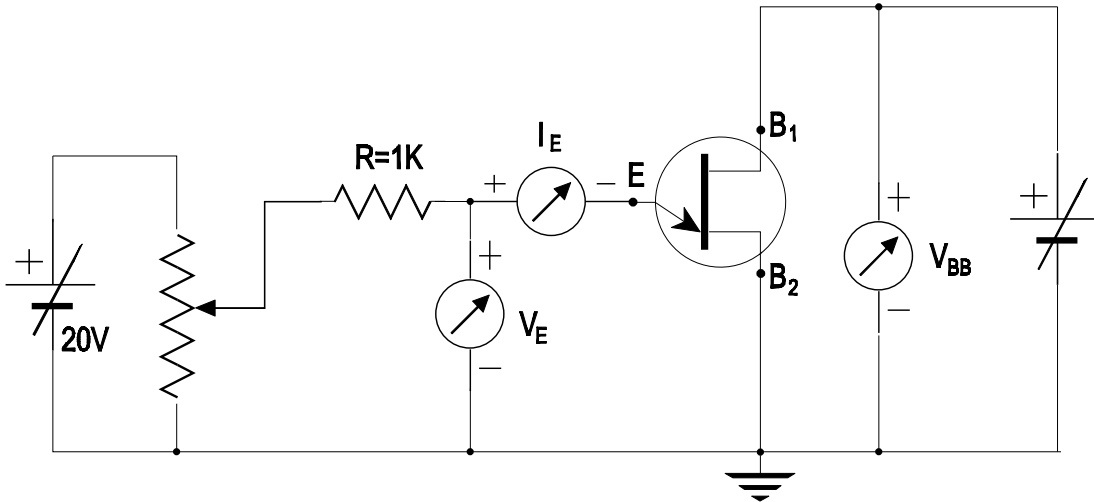
8. Προσδιορίστε την $g_m = \frac{\Delta I_D}{\Delta V_{GS}} = \text{_____} = \text{_____ mA/V}$

γραφικά και συγκρίνετε με την τιμή που βρήκατε στην προηγούμενη ερώτηση.

Άσκηση 9η Χαρακτηριστικές UJT

Όνοματεπώνυμο:.....

1. Πραγματοποιήστε το κύκλωμα της άσκησης.



2. Για $V_{BB} = 15, 10, 5, 0 \text{ V}$ πάρτε μετρήσεις των I_E, V_E και συνοψίστε τις σε πίνακα.

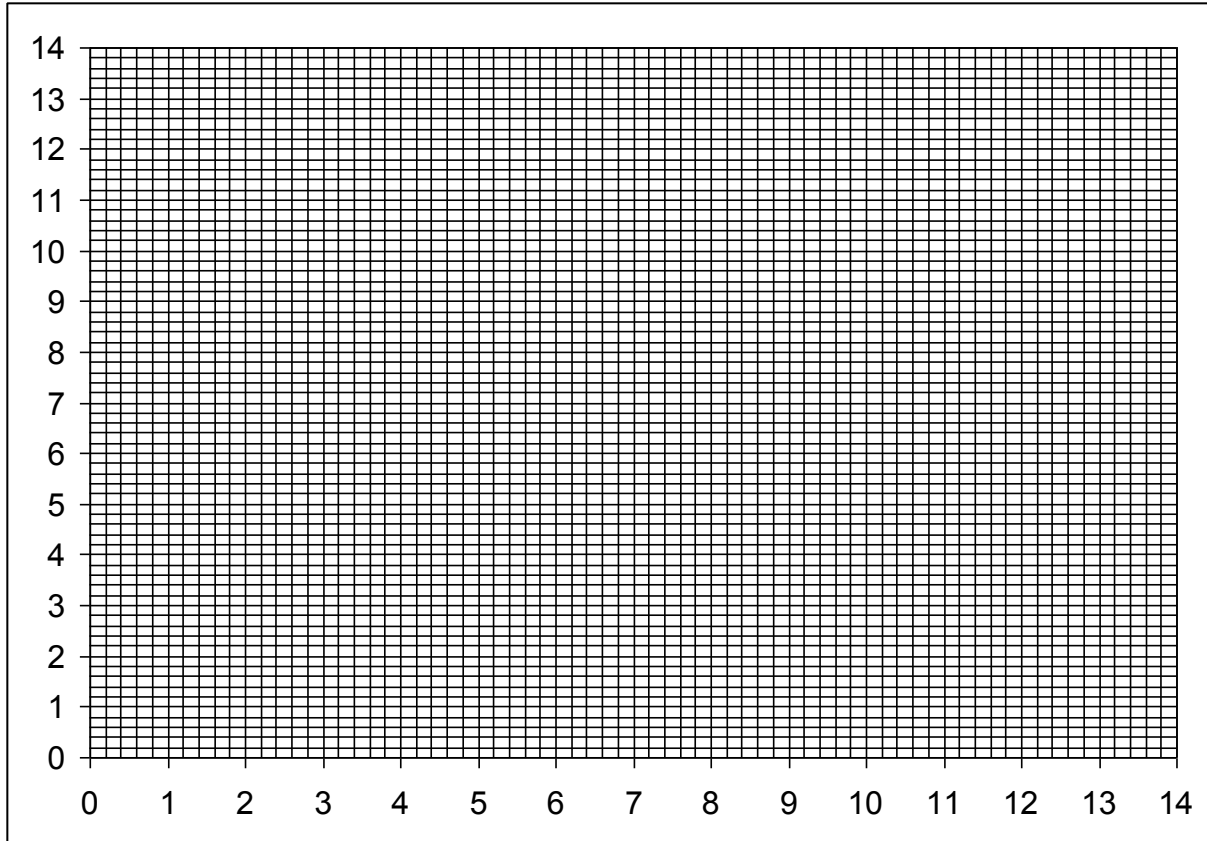
15V	V_E (V)	0	3	4	6	8	*							
	I_E (mA)							1	3	5	7	9	11	13
10V	V_E (V)	0	2	4	*									
	I_E (mA)					1	2	3	4	5	7	9	11	13
5V	V_E (V)	0	2	*										
	I_E (mA)				1	2	3	4	5	6	7	9	11	13
0V	V_E (V)	0												
	I_E (mA)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	13

* : Τίθεται η τιμή της μέγιστης τάσης V_E .

3. Αποσυνδέστε το κύκλωμα και μετρήστε την r_{BB} με πολύμετρο, για $I_E = 0$.

$$r_{BB} = \text{_____} \text{ K}\Omega$$

4. Με τα δεδομένα του παραπάνω πίνακα σχεδιάστε στο ίδιο διάγραμμα τις καμπύλες $V_E = f(I_E)$ με παράμετρο το V_{BB} .



5. Για $V_{BB} = 10 \text{ V}$ προσδιορίστε γραφικά τα μεγέθη:

$$V_P = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$$

$$V_V = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$$

$$I_P = \underline{\hspace{2cm}} \text{ mA}$$

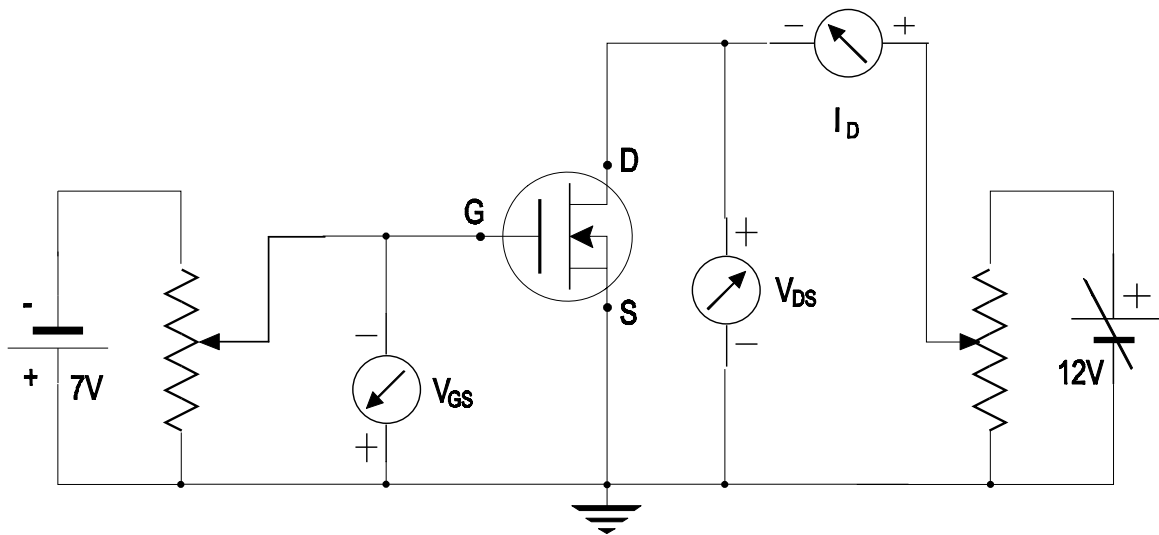
$$I_V = \underline{\hspace{2cm}} \text{ mA}$$

$$\eta = \frac{V_P - 0,7}{V_{BB}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

Άσκηση 10η Χαρακτηριστικές MOSFET

Όνοματεπώνυμο:.....

1. Πραγματοποιείστε το κύκλωμα της άσκησης.



2. Για $V_{GS} = 0, -1, -2, -3, +1, +2, +3$ V πάρτε μετρήσεις των V_{GS}, I_D σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα.

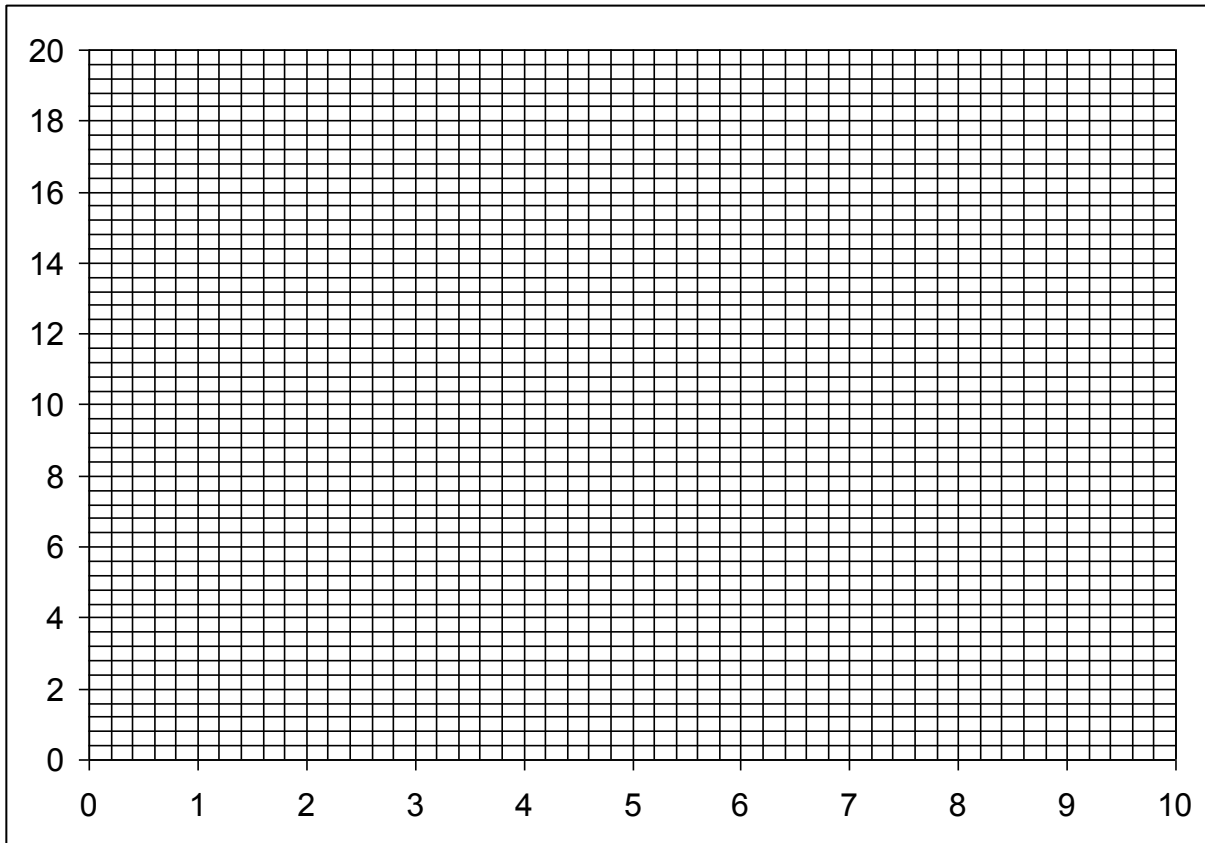
	V_{DS} (V)	0,0	0,1	0,3	0,5	0,7	1	2	3	4	5	6	8	10
0	I_D (mA)													
-1	I_D (mA)													
-2	I_D (mA)													
-3	I_D (mA)													
+1	I_D (mA)													
+2	I_D (mA)													
+3	I_D (mA)													

3. από τις παραπάνω μετρήσεις, σχεδιάστε στο ίδιο διάγραμμα τις καμπύλες $I_D = f(V_{DS})$ με παράμετρο το V_{GS} . (Στην επόμενη σελίδα).

4. Από τις καμπύλες αυτές υπολογίστε γραφικά την αντίσταση εξόδου r_d για το

σημείο λειτουργίας $V_{DS} = 5 \text{ V}$, $V_{GS} = 0$.

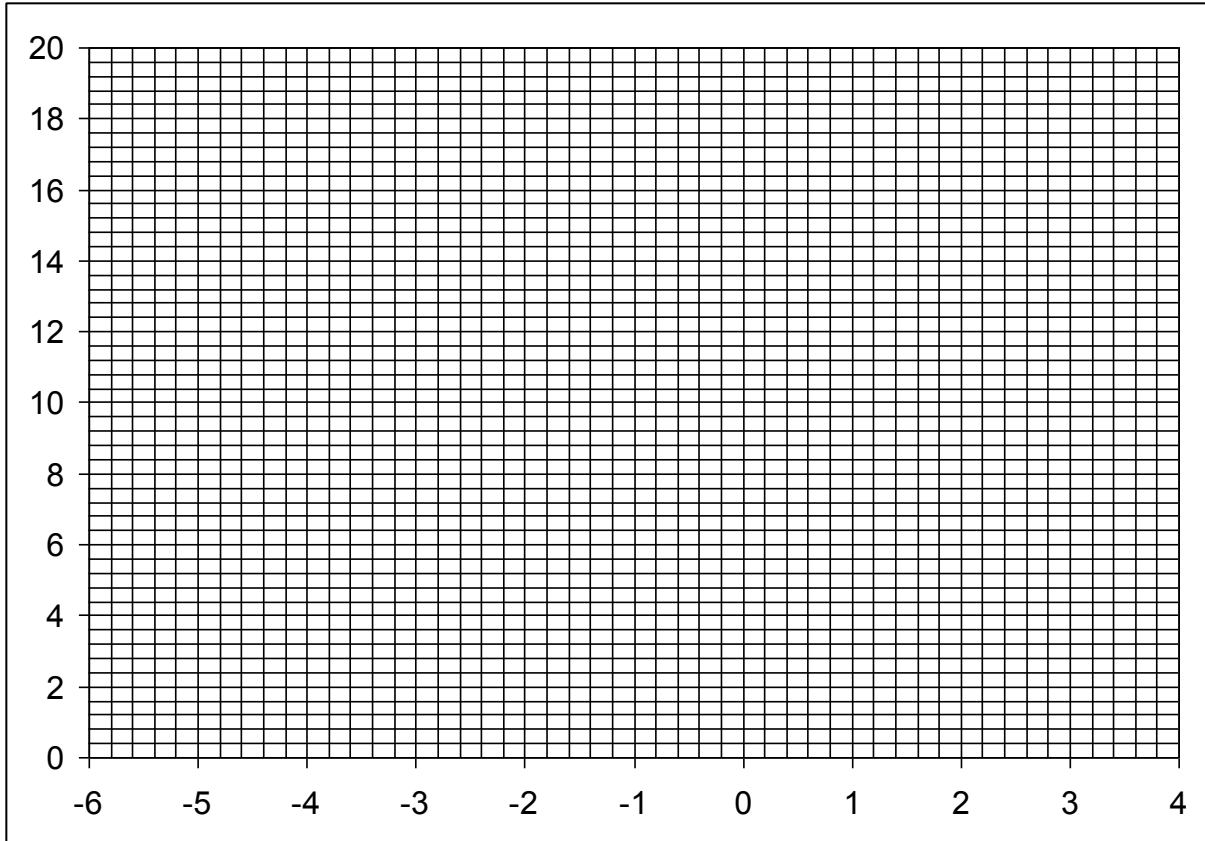
$$r_d = \frac{\Delta V_{DS}}{\Delta I_D} = \frac{\quad}{\quad} = \quad \text{K}\Omega$$



5. Με $V_{DS} = 5 \text{ V}$ που διατηρείται πάντοτε σταθερό, μεταβάλετε την V_{GS} και παρακολουθείστε τη μεταβολή του I_D . Συμπληρώστε τον πίνακα.

$V_{DS}=5\text{V}$	$V_{GS} \text{ (V)}$	+3	+2	+1	0	-1	-2	-3	-4
	$I_D \text{ (mA)}$								

6. Με βάση τις τιμές του παραπάνω πίνακα χαράξτε τη χαρακτηριστική μεταφοράς $I_D = f(V_{GS})$ για $V_{DS} = 5 \text{ V}$. (επόμενη σελίδα).



7. Προσδιορίστε τα μεγέθη:

$$I_{DSS} = \text{_____ mA}$$

$$V_P = \text{_____ V}$$

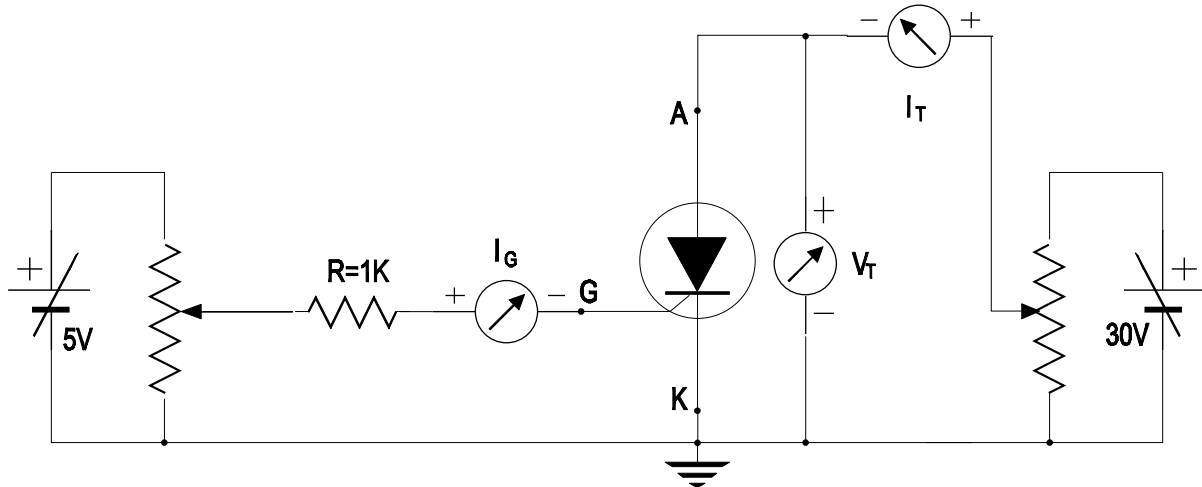
$$g_{mo} = -\frac{2I_{DSS}}{V_P} = \text{_____ mA/V}$$

$$g_m = g_{mo} \cdot \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right) = \text{_____ mA/V} \quad \text{για } V_{GS} = -1 \text{ V}$$

Άσκηση 11η SCR

Όνοματεπώνυμο:.....

1. Πραγματοποιήστε το κύκλωμα της άσκησης.



2. Για $I_G = 0, 100, 200 \mu\text{A}$ πάρτε μετρήσεις των V_T, I_T και συνοψίστε τις τιμές στον παρακάτω πίνακα.

0	V_T (V)	0	5	10	15	20	*				
	I_V (mA)							5	10	15	20
100 μA	V_T (V)	0	5	10	*						
	I_V (mA)					3	6	9	12	15	18
200 μA	V_T (V)	0									
	I_V (mA)		2	4	6	8	10	12	14	16	18

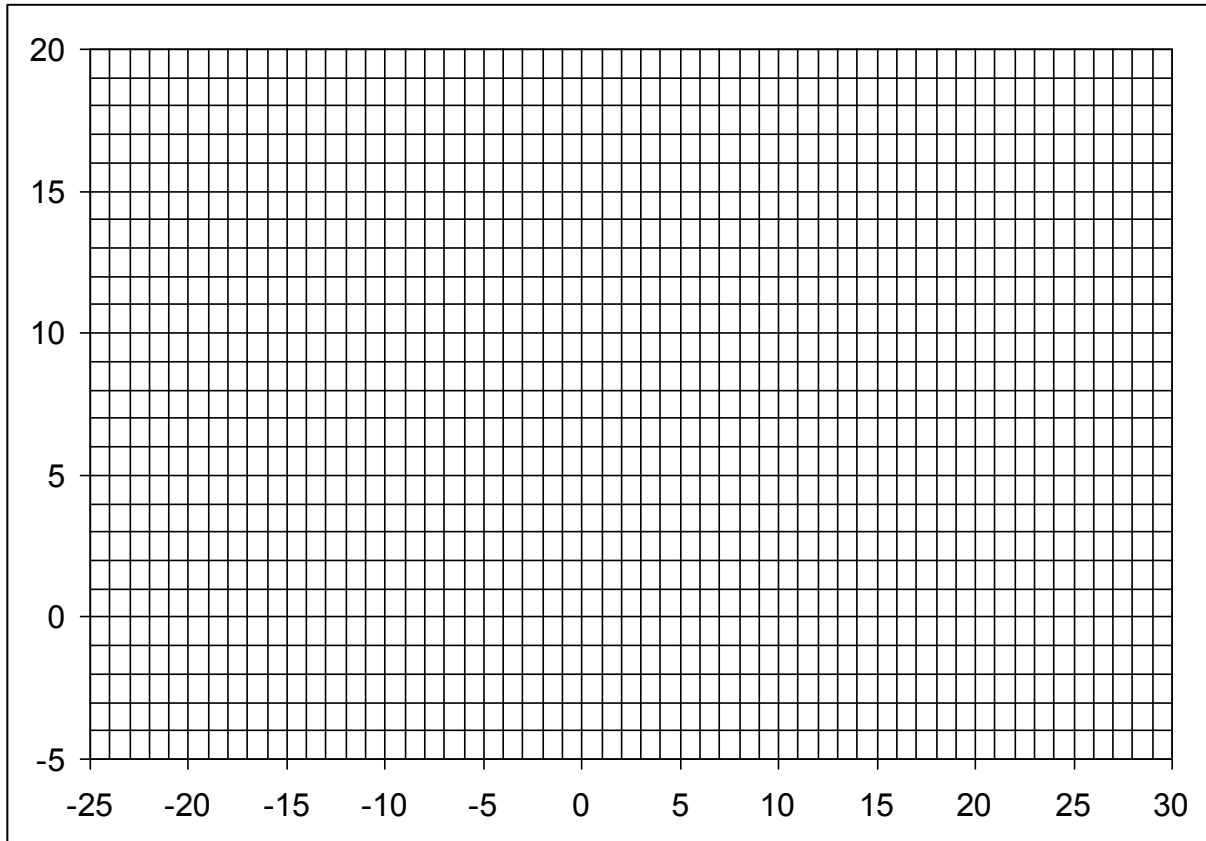
* : Μέγιστη τιμή της τάσης V_T

3. Αντιστρέψτε την πολικότητα της πηγής (30V) και των οργάνων στο κύκλωμα εξόδου και πάρτε μετρήσεις του I_T συναρτήσει του V_T για $I_G = 0, 100\mu\text{A}, 200\mu\text{A}$ συνοψίζοντας τα αποτελέσματα στον παρακάτω πίνακα.

	V_T (V)	5	10	15	20	25
--	-----------	---	----	----	----	----

0	I_T (μA)					
100 μA	I_T (μA)					
200 μA	I_T (μA)					

4. από τα δεδομένα των δυο πινάκων σχεδιάστε τις χαρακτηριστικές καμπύλες του SCR $I_T = f(V_T)$ για τις τρεις τιμές του I_G .



5. από το παραπάνω διάγραμμα υπολογίστε γραφικά τα μεγέθη:

$$V_{BO} = \text{_____ V}$$

$$I_H = \text{_____ mA}$$

$$V_T = \text{_____ V}$$

$$I_T = \text{_____ mA}$$

$$V_{DRM} = \text{_____ V}$$

$$I_{DRM} = \text{_____ mA}$$

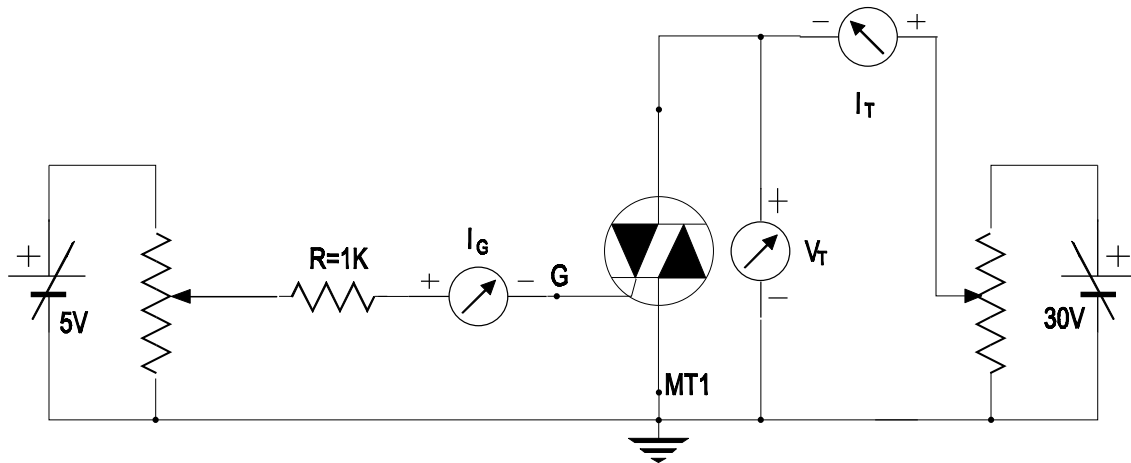
$$V_{RRM} = \text{_____ V}$$

$$I_{RRMT} = \text{_____ mA}$$

Άσκηση 12η Triac

Όνοματεπώνυμο:.....

1. Πραγματοποιήστε το κύκλωμα της άσκησης.



2. Για $I_G = 0, 2, 5 \text{ mA}$ πάρτε μετρήσεις των V_T, I_T και συνοψίστε τις τιμές στον παρακάτω πίνακα.

0	V_T (V)	0	5	10	15	20	*				
	I_V (mA)							5	10	15	20
2mA	V_T (V)	0	5	10	*						
	I_V (mA)					3	6	9	12	15	18
5mA	V_T (V)	0									
	I_V (mA)		2	4	6	8	10	12	14	16	18

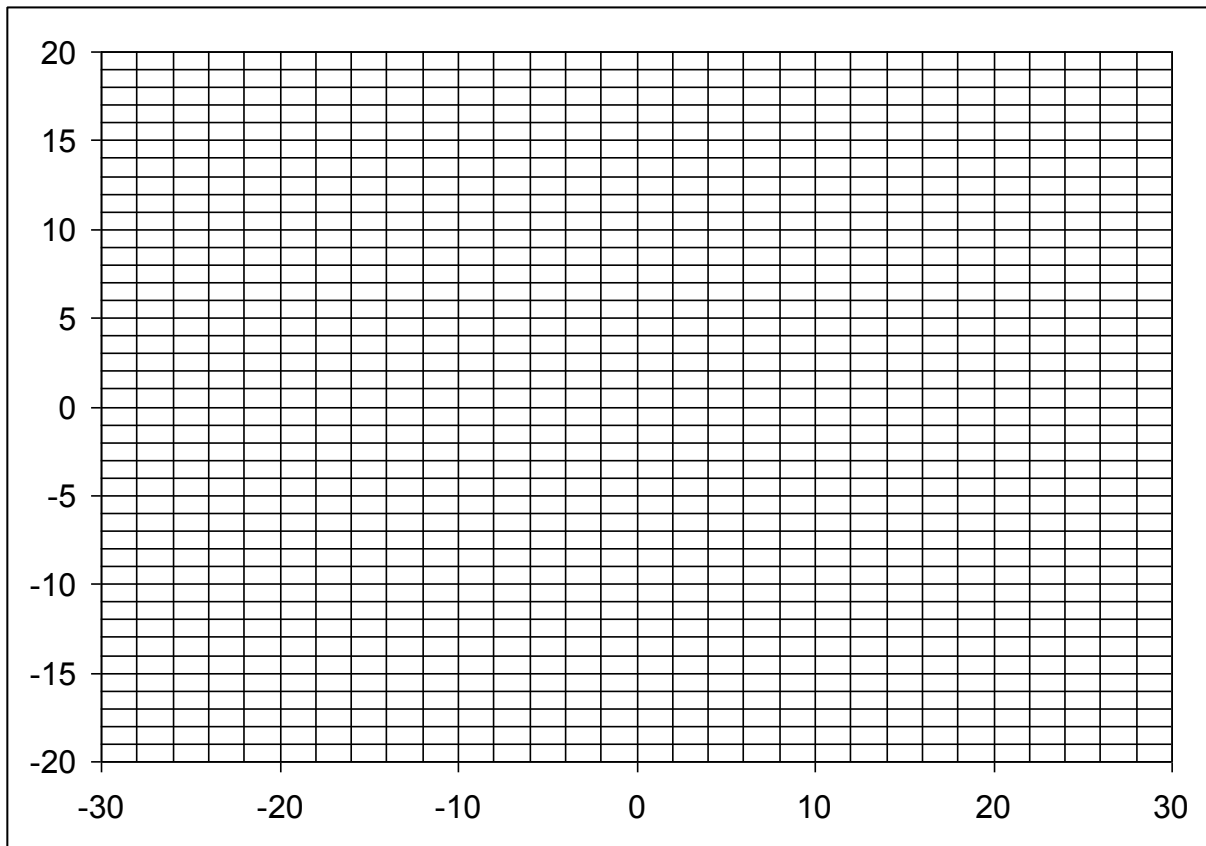
* : Μέγιστη τιμή της τάσης V_T .

3. Αντιστρέψτε την πολικότητα της πηγής (50V) και των οργάνων στο κύκλωμα ε-ξόδου και επαναλάβετε τις μετρήσεις της ερώτησης 2. Συμπληρώστε τον πίνακα της επόμενης σελίδας.

0	V_T (V)	0	5	10	15	20	*				
	I_V (mA)							5	10	15	20

2mA	V_T (V)	0	5	10	*						
	I_V (mA)					3	6	9	12	15	18
5mA	V_T (V)	0									
	I_V (mA)		2	4	6	8	10	12	14	16	18

4. από τα δεδομένα των δυο προηγούμενων πινάκων σχεδιάστε τις χαρακτηριστικές καμπύλες του Triac $I_T = f(V_T)$ για τις τρεις τιμές του I_G .



5. Από το παραπάνω διάγραμμα υπολογίστε γραφικά τα μεγέθη:

$$V_{BO} = \text{_____ V} \quad |_{I=0}$$

$$I_H = \text{_____ mA}$$

$$V_T = \text{_____ V}$$

$$I_T = \text{_____ mA}$$

$$V_{DRM} = \text{_____ V}$$

$$I_{DRM} = \text{_____ mA}$$

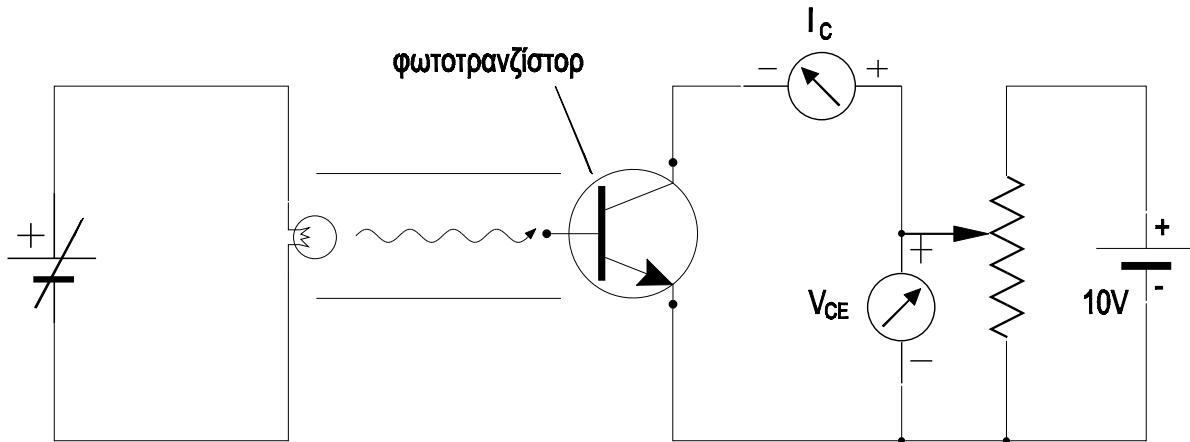
$$V_{RRM} = \text{_____ V}$$

$$I_{RRMT} = \text{_____ mA}$$

Άσκηση 13η Φωτοτρανζίστορ

Όνοματεπώνυμο:.....

1. Πραγματοποιήστε το κύκλωμα της άσκησης.



2. Ρυθμίστε την τάση V ώστε στη θέση του φωτοτρανζίστορ ο φωτισμός να είναι 0 Lux (σκοτάδι). τότε για τάσεις $V = [0..10V]$ σημειώνετε το ρεύμα I . Επαναλαμβάνετε την ίδια διαδικασία για φωτισμό 200, 400, 600, 800, 1000 Lux και συνοψίστε τα αποτελέσματα στον παρακάτω πίνακα.

3. Με τα δεδομένα του προηγούμενου πίνακα σχεδιάστε τις χαρακτηριστικές καμπύλες του φωτοτρανζίστορ $I = f(V)$ για όλες τις τιμές του φωτισμού.

-- :Δεν λαμβάνονται μετρήσεις σ' αυτές τις θέσεις.

4. Για τάση 10V και αντίσταση 1KΩ σχεδιάστε την ευθεία φόρτου και για τις έξι τιμές φωτισμού βρέστε γραφικά το αντίστοιχο ρεύμα I και συνοψίστε τις μετρήσεις στον παρακάτω πίνακα.

5. από τα δεδομένα του παραπάνω πίνακα σχεδιάστε το διάγραμμα $I = f(B)$.

6. Πόσο είναι το ρεύμα σκότους;
 $I =$

7. Αν υποθέσουμε ότι $I = SWB$ (B:φωτισμός, I :ρεύμα συλλέκτη), πόσος είναι ο συντελεστής S ;
 $S =$

