

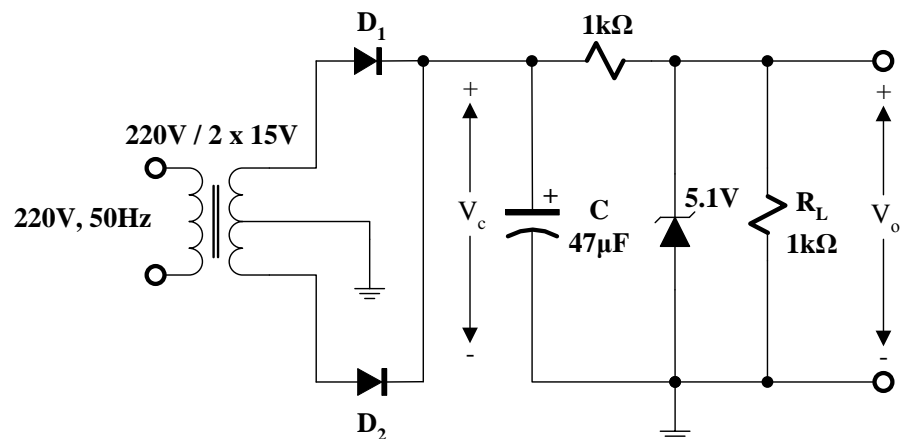
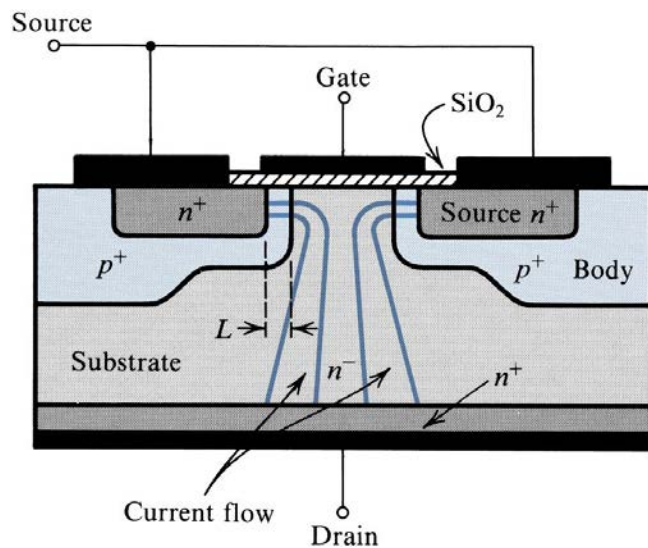


ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ & ΜΗΧ. ΥΠΟΛ.
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ & ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΥΠΟΛ.**

ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ Ι



Διδάσκων μαθήματος:

Καθηγητής Κων/νος Μπάλας (balas@electronics.tuc.gr)

Χανιά, Φεβρουάριος 2018



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ & ΜΗΧ. ΥΠΟΛ.
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ & ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΥΠΟΛ.**

ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ Ι

Χανιά, Φεβρουάριος 2018

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Οι εργαστηριακές ασκήσεις που περιλαμβάνονται σε αυτό το εγχειρίδιο έχουν στόχο να παρέχουν στον φοιτητή την απαιτούμενη εμπειρία πάνω στη θεωρητική και πειραματική ανάλυση των βασικών διατάξεων με ημιαγωγούς (δίοδοι, τρανζίστορ, FET κ.λ.π.). Για την επιτυχή διεξαγωγή των εργαστηριακών ασκήσεων είναι απαραίτητη η πλήρης κατανόηση του γνωστικού αντικειμένου των αντίστοιχων εργαστηριακών ασκήσεων των προαπαιτούμενων μαθημάτων προηγούμενων εξαμήνων όπως είναι η Φυσική, η Βασική Θεωρία Κυκλωμάτων και η Ανάλυση Ηλεκτρικών Κυκλωμάτων.

Η διεξαγωγή των εργαστηριακών ασκήσεων πραγματοποιείται σε ομάδες των τριών (3) φοιτητών σύμφωνα με το πρόγραμμα που ανακοινώνεται στην έναρξη του εξαμήνου. Κάθε εργαστηριακή άσκηση έχει μέγιστη χρονική διάρκεια δύο (2) ωρών και θα πρέπει να έχει περατωθεί στο τέλος αυτού του χρονικού διαστήματος. Στο τέλος του εξαμήνου, μετά την περάτωση όλων των εργαστηριακών ασκήσεων πραγματοποιείται η τελική εξέταση του εργαστηρίου. Ο βαθμός του εργαστηρίου υπολογίζεται από **το βαθμό των τελικών αναφορών (35%) και το βαθμό της τελικής εξέτασης του εργαστηρίου (65%)**. Για την επιτυχή παρακολούθηση του εργαστηρίου απαιτείται βαθμός μεγαλύτερος ή ίσος του 5 στην τελική εξέταση του εργαστηρίου. **Μέχρι μία (1) δικαιολογημένη απουσία από το εργαστήριο είναι επιτρεπτή**. Διαφορετικά η παρακολούθηση του εργαστηρίου δεν θεωρείται επαρκής. Όποιος φοιτητής περάσει το εργαστήριο, δεν απαιτείται να το ξαναπαρακολουθήσει σε περίπτωση που αποτύχει στο μάθημα.

Η τελική αναφορά είναι **ομαδική** και παραδίδεται σε χρόνο που καθορίζεται από τους διδάσκοντες του εργαστηρίου και πρέπει να περιλαμβάνει την προεργασία, τις μετρήσεις και την επεξεργασία των αποτελεσμάτων σύμφωνα με τις ερωτήσεις που περιλαμβάνονται σε κάθε άσκηση.

ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΥ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ

Κατοχύρωση Εργαστηριακής Εκπαίδευσης

Οι φοιτητές/τριες που ολοκληρώνουν επιτυχώς την Εργαστηριακή Εκπαίδευση (επαρκής φυσική παρουσία + προβιβάσιμος ΜΟ αναφορών), την κατοχυρώνουν για πάντα ανεξαρτήτως από το αν πήραν προβιβάσιμο βαθμό στην τελική εξατομικευμένη εξέταση των εργαστηριακών ασκήσεων. Οι φοιτητές/τριες αυτοί/αυτές δεν εγγράφονται να παρακολουθήσουν ξανά το Εργαστήριο σε επόμενο ακαδημαϊκό έτος.

Εξέταση εργαστηρίου

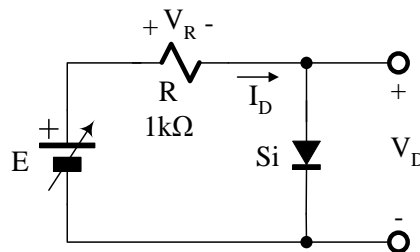
Δικαίωμα συμμετοχής στην εξατομικευμένη εξέταση του εργαστηρίου έχουν όσοι φοιτητές έχουν κατοχυρώσει την Εργαστηριακή Εκπαίδευση με την προαναφερθείσα έννοια. Στην συνέχεια θα εξετάζεται ξεχωριστά από την θεωρία σε κάθε προβλεπόμενη εξεταστική. Ο τελικός βαθμός του Εργαστηρίου θα εξάγεται κατά τα μέχρι τώρα ισχύοντα (ΜΟ αναφορών/τελική εξέταση).

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 1

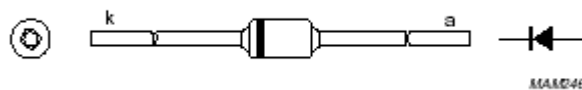
ΔΙΟΔΟΙ ΕΠΑΦΗΣ pn

1.1 Χαρακτηριστική της διόδου (ορθή πόλωση)

1. Να συνδεθεί το κύκλωμα του Σχ. 1.10 χρησιμοποιώντας τη δίοδο *πυριτίου* 1N4148 (Σχ. 1.11). Ρυθμίζοντας κατάλληλα την τάση τροφοδοσίας, E , να μετρηθεί η τάση V_D για όλες τις τιμές της τάσης V_R που φαίνονται στον Πίνακα 1.1.



Σχ. 1.10



Σχ. 1.11

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.1										
V_R	0.1V	0.3V	0.5V	0.7V	0.9V	2V	3V	5V	7V	10V
V_D										

2. Να αντικατασταθεί η δίοδος πυριτίου με δίοδο γερμανίου. Ρυθμίζοντας κατάλληλα την τάση τροφοδοσίας, E , να μετρηθεί η τάση V_D για όλες τις τιμές της τάσης V_R που φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.2										
V_R	0.1V	0.3V	0.5V	0.7V	0.9V	2V	3V	5V	7V	10V
V_D										

1.2 Έλεγχος διόδων με πολύμετρο

Η κατάσταση μιας διόδου μπορεί να ελεγχθεί με το πολύμετρο χρησιμοποιώντας το τμήμα του ωμομέτρου. Συνδέστε τον θετικό (κόκκινο) ακροδέκτη στην άνοδο και τον αρνητικό (μαύρο) στην κάθοδο της διόδου. Η δίοδος τότε πολώνεται ορθά. Καταγράψτε τα αποτελέσματα. Επαναλάβετε με τη δίοδο ανάστροφα πολωμένη. Σημειώστε τις μετρήσεις σας στον Πίνακα 1.3 για δίοδο πυριτίου και γερμανίου, αντίστοιχα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.3		
	Πυριτίου	Γερμανίου
Τάση ορθής πόλωσης		
Αντίσταση ανάστροφης πόλωσης		

Στην τελική αναφορά:

1. Για τη δίοδο πυριτίου, να υπολογιστεί το ρεύμα της διόδου, I_D , για κάθε τιμή της τάσης V_D του Πίνακα 1.1 και να σχεδιαστεί το διάγραμμα του ρεύματος της διόδου, I_D , σε σχέση με την τάση της διόδου, V_D .
2. Για τη δίοδο πυριτίου, να γίνει προσομοίωση του κυκλώματος, να σχεδιαστεί το διάγραμμα I_D , σε σχέση με την τάση της διόδου, V_D που προκύπτει από την προσομοίωση και να σχολιαστούν τυχόν διαφορές με το διάγραμμα που προκύπτει από το ερώτημα 1.
3. Για τη δίοδο γερμανίου να υπολογιστεί το ρεύμα της διόδου, I_D , για κάθε τιμή της τάσης V_D του Πίνακα 1.2 και να σχεδιαστεί το διάγραμμα του ρεύματος της διόδου, I_D , σε σχέση με την τάση της διόδου, V_D .

4. Για τη δίοδο γερμανίου, να γίνει προσομοίωση του κυκλώματος, να σχεδιαστεί το διάγραμμα I_D , σε σχέση με την τάση της διόδου, V_D που προκύπτει από την προσομοίωση και να σχολιαστούν τυχόν διαφορές από το διάγραμμα που προκύπτει από το ερώτημα 3.
5. Με βάση τα παραπάνω διαγράμματα, σχολιάστε τις ομοιότητες και τις διαφορές των δύο διόδων.
6. Χρησιμοποιώντας τις χαρακτηριστικές καμπύλες των ερωτημάτων 1 και 3 που σχεδιάσατε παραπάνω, για τις διόδους πυριτίου και γερμανίου, αντίστοιχα, σε ορθή πόλωση, να υπολογιστεί: α) η **στατική (dc) αντίσταση** για τα εξής ρεύματα: $I_D=0.3, 0.9, 5$ και 10 mA, β) η **δυναμική (ac) αντίσταση** κάθε διόδου για $I_D=10$ mA και να συγκριθεί με την αντίστοιχη θεωρητική τιμή, και γ) η **τάση αποκοπής V_γ** για κάθε δίοδο.

1.3 Απαιτούμενα Υλικά

ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΙΣ

1 x 1k Ω

ΔΙΟΔΟΙ

1 x 1N4148, 1 x δίοδος γερμανίου

Σημειώσεις

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 2

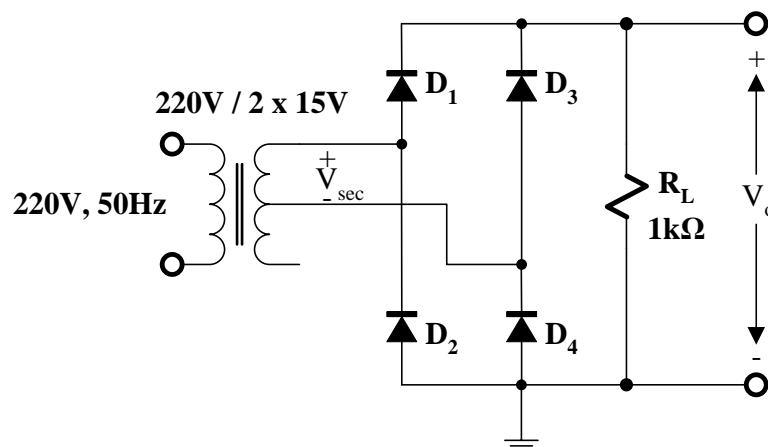
ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΔΙΟΔΩΝ

2.1 Εφαρμογές των διόδων

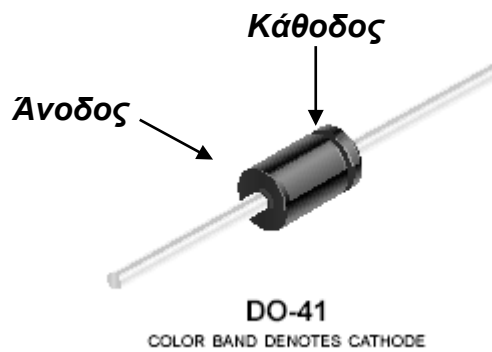
2.1.1 Ανορθωτής πλήρους κύματος

Να συνδεθεί το κύκλωμα του Σχ. 2.1, χρησιμοποιώντας τις διόδους πυριτίου $D_1=D_2=D_3=D_4=1N4001$ (Σχ. 2.2) ή ισοδύναμες, π.χ. 1N4007.

- με το πολύμετρο στη θέση AC [Volt], να μετρηθεί η ενεργός (rms) τιμή της τάσης στο δευτερεύον του μετασχηματιστή, V_{sec} ,
- με το κανάλι του παλμογράφου σε σύζευξη DC, να καταγραφεί η κυματομορφή της τάσης εξόδου, V_o ,



Σχ. 2.1

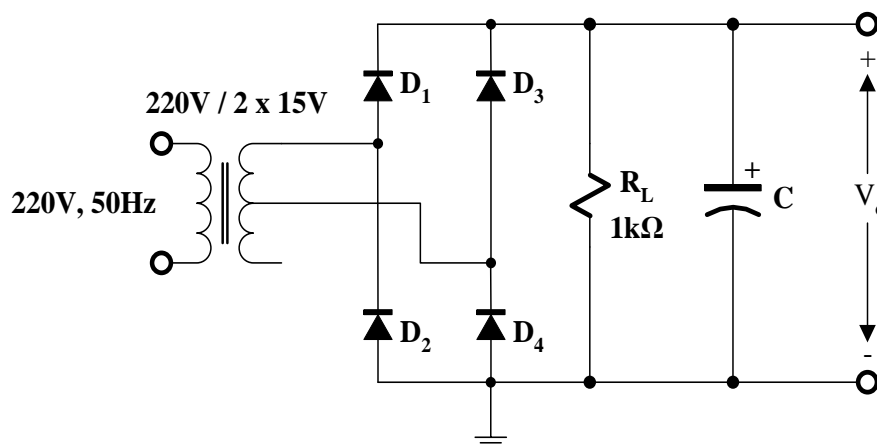


Σχ. 2.2

- iii. με τον παλμογράφο να μετρηθούν η τάση κορυφής της V_o και η συχνότητα της κυμάτωσης της V_o και με το πολύμετρο στη θέση DC [Volt] να μετρηθεί η dc τιμή της V_o ,
- iv. να συνδεθεί ηλεκτρολυτικός πυκνωτής $C=47\mu\text{F}/50\text{V}$ παράλληλα με την αντίσταση R_L , όπως φαίνεται στο Σχ. 2.3, και να επαναληφθούν τα μέρη (i)-(iii).

ΠΡΟΣΟΧΗ: Ένας ηλεκτρολυτικός πυκνωτής πρέπει να συνδέεται πάντα με τον ακροδέκτη + στη θετική τάση και τον ακροδέκτη – στην αρνητική τάση. Αντίστροφη σύνδεση μπορεί να προκαλέσει έκρηξη του πυκνωτή.

- v. να συνδεθεί ηλεκτρολυτικός πυκνωτής $C=470\mu\text{F}/63\text{V}$ παράλληλα με την αντίσταση R_L , όπως φαίνεται στο Σχ. 2.3, και να επαναληφθούν τα μέρη (i)-(iii).



Σχ. 2.3

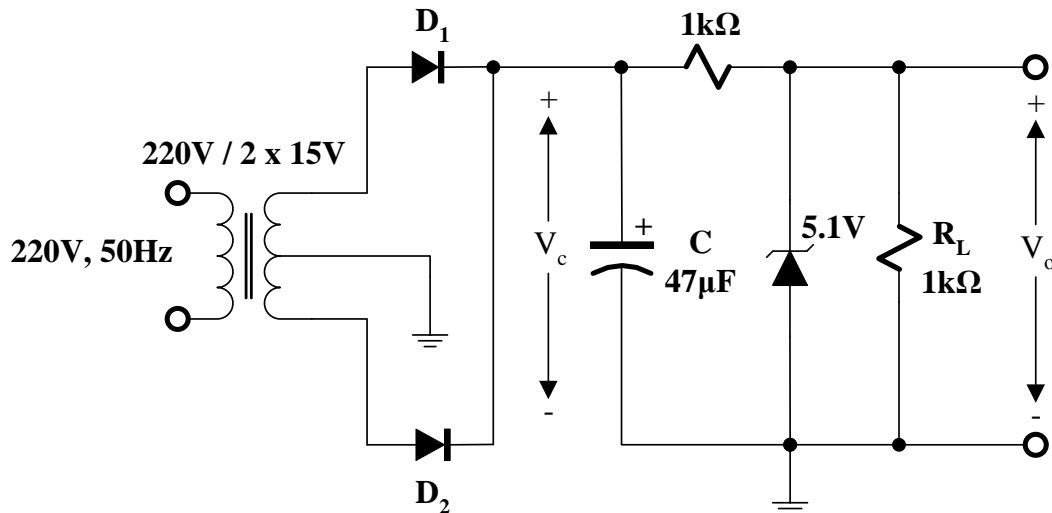
Στην τελική αναφορά:

1. Θεωρώντας τις διόδους ιδανικές, να υπολογιστούν θεωρητικά όλα τα μεγέθη που έχουν μετρηθεί παραπάνω, να συγκριθούν με τις αντίστοιχες πειραματικές τιμές και να σχολιαστούν τυχόν διαφορές
2. Να γίνει προσομοίωση του κυκλώματος για όλα τα βήματα και υπολογιστούν όλα τα στοιχεία που ζητούνται πειραματικά.
3. Να γίνει σύγκριση των πειραματικών τιμών με τα στοιχεία της προσομοίωσης και να σχολιαστούν τυχόν διαφορές.
4. Πώς επηρεάζει την τάση εξόδου, V_o , η επιλογή της τιμής του πυκνωτή εξόδου C ;

2.1.2 Η δίοδος Zener σε κύκλωμα ρυθμιστή τάσης

Να συνδεθεί το κύκλωμα του Σχ. 2.4 χρησιμοποιώντας τη δίοδο Zener BZX55C 5V1 ($V_{zo}=5.1V$, $r_z=15\Omega$), αντίσταση φορτίου $R_L=1k\Omega$ και τις διόδους πυριτίου $D_1=D_2=1N4001$ (ή ισοδύναμες):

- i. με τα κανάλια του παλμογράφου σε σύζευξη DC, να καταγραφούν σε χρονική αντιστοιχία οι κυματομορφές των τάσεων V_c και V_o ,
- ii. με τα κανάλια του παλμογράφου σε σύζευξη AC, να καταγραφούν σε χρονική αντιστοιχία οι κυματώσεις των τάσεων V_c και V_o .
- iii. με το πολύμετρο στη θέση DC [Volt], να μετρηθούν οι DC τιμές των τάσεων του πυκνωτή, $V_{c,dc}$ και εξόδου, $V_{o,dc}$.
- iv. αντικαταστήστε την αντίσταση R_L με αντίσταση 470Ω και επαναλάβετε τα μέρη (i)-(iii).



Σχ. 2.4

Στην τελική αναφορά:

1. Θεωρώντας τις διόδους D_1 και D_2 ιδανικές, να υπολογιστούν θεωρητικά όλα τα μεγέθη που έχουν μετρηθεί παραπάνω, να συγκριθούν με τις αντίστοιχες πειραματικές τιμές και να σχολιαστούν τυχόν διαφορές
2. Να γίνει προσομοίωση του κυκλώματος και με υπολογιστούν όλα τα μεγέθη που μετρήθηκαν.
3. Να υπολογιστούν θεωρητικά η ρύθμιση γραμμής και η ρύθμιση φορτίου του ρυθμιστή τάσης,
4. Θεωρώντας αμελητέα την κυμάτωση του ρεύματος του φορτίου R_L , να υπολογιστούν πειραματικά η ρύθμιση γραμμής και η ρύθμιση φορτίου του ρυθμιστή τάσης, να συγκριθούν με τις αντίστοιχες θεωρητικές τιμές και να σχολιαστούν τυχόν διαφορές,
5. Πώς μπορεί να μειωθεί η κυμάτωση της τάσης εξόδου του ρυθμιστή;

2.2 Απαιτούμενα Υλικά

ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΙΣ

2 x 1kΩ, 1 x 470Ω

ΠΥΚΝΩΤΕΣ

1 x 47μF/63V, 1 x 470μF/63V (ηλεκτρολυτικοί)

ΔΙΟΔΟΙ

4 x 1N4001, 1 x BZX55C 5.1V (Zener)

ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ: 1 x 220V / 2x 15V

Σημειώσεις

Σημειώσεις

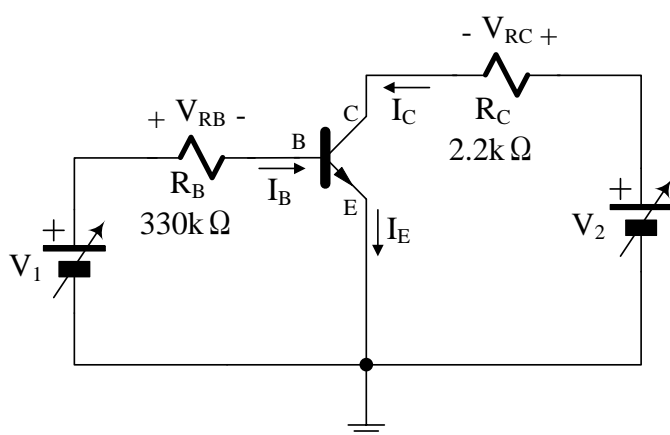
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 3

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΠΟΛΩΣΗ ΤΩΝ ΔΙΠΟΛΙΚΩΝ ΤΡΑΝΖΙΣΤΟΡ

3.1 Προσδιορισμός των χαρακτηριστικών συλλέκτη και των παραμέτρων άλφα (α) και βήτα (β) ενός τρανζίστορ

Να συνδεθεί το κύκλωμα του Σχ. 3.1(α) χρησιμοποιώντας το **τρανζίστορ npn 2N3904** [Σχ. 3.1(β)]:

- να ρυθμιστεί η πηγή V_1 ώστε $V_{RB}=3.3V$,
- να ρυθμιστεί η πηγή V_2 ώστε $V_{CE}=2V$,
- με το πολύμετρο στη θέση DC [Volt], να μετρηθούν οι τάσεις V_{RC} και V_{BE} και να καταχωρηθούν οι τιμές στον Πίνακα 3.1,
- να επαναληφθούν τα βήματα (i)-(iii) για όλες τις τιμές των τάσεων V_{CE} και V_{RB} που φαίνονται στον Πίνακα 3.1.



(α)



(β)

Σχ. 3.1

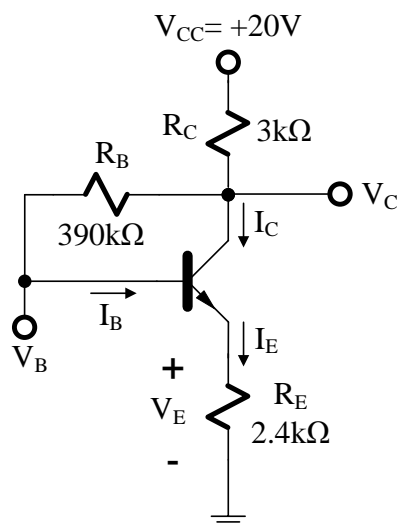
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.1								
Πειραματικές μετρήσεις					Θεωρητικοί υπολογισμοί			
V_{RB} (V)	I_B (μA)	V_{CE} (V)	V_{RC} (V)	V_{BE} (V)	I_C	I_E	α	β
3.3	10	2						
3.3	10	4						
3.3	10	6						
3.3	10	8						
3.3	10	10						
3.3	10	12						
3.3	10	14						
3.3	10	16						
6.6	20	2						
6.6	20	4						
6.6	20	6						
6.6	20	8						
6.6	20	10						
6.6	20	12						
6.6	20	14						
9.9	30	2						
9.9	30	4						
9.9	30	6						
9.9	30	8						
9.9	30	10						
13.2	40	2						
13.2	40	4						
13.2	40	6						
13.2	40	8						
16.5	50	2						
16.5	50	4						
16.5	50	6						

Στην τελική αναφορά:

1. Με βάση τις μετρήσεις που έχουν καταχωρηθεί στον Πίνακα 3.1, να υπολογιστούν οι τιμές των παραμέτρων I_C , I_E , α και β .
2. Χρησιμοποιώντας τις τιμές των παραμέτρων που έχουν μετρηθεί και υπολογιστεί, να σχεδιαστούν οι χαρακτηριστικές I_C - V_{CE} του τρανζίστορ για κάθε τιμή του ρεύματος I_B .
3. Να γίνει προσομοίωση του κυκλώματος και να σχεδιαστούν οι χαρακτηριστικές I_C - V_{CE} του τρανζίστορ για κάθε τιμή του ρεύματος I_B . Να συγκριθούν με τις χαρακτηριστικές του ερωτήματος 2.
4. Να σχεδιαστεί το β ως συνάρτηση του I_C για $V_{CE}=2V$ και $V_{CE}=8V$ και να εξηγηθεί η μεταβολή του β .
5. Να εξηγηθεί πως θα ήταν οι χαρακτηριστικές I_C - V_{CE} του τρανζίστορ, αν το β ήταν σταθερό με το I_C και το V_{CE} .

3.2 Κύκλωμα πόλωσης με ανάδραση συλλέκτη-βάσης με R_E

Να συνδεθεί το κύκλωμα του Σχ. 3.2 χρησιμοποιώντας το τρανζίστορ 2N3904. Στη συνέχεια, με το πολύμετρο στη θέση DC [Volt], να μετρηθούν οι τάσεις V_B , V_C και V_E .

**Σχ. 3.2****Στην τελική αναφορά:**

1. Με βάση τις μετρήσεις, να υπολογιστούν οι τάσεις V_{BE} και V_{CE} και τα ρεύματα I_B , I_E και I_C καθώς και το β του τρανζίστορ.

- Χρησιμοποιώντας την τιμή του β που έχει υπολογιστεί παραπάνω, να υπολογιστούν θεωρητικά οι τάσεις V_B , V_C , V_E και V_{CE} καθώς και τα ρεύματα I_B , I_E και I_C . Να σχολιαστούν τυχόν αποκλίσεις από τις αντίστοιχες πειραματικές τιμές.
- Να υπολογιστεί θεωρητικά η % μεταβολή του I_C (ΔI_C) ως προς τη μεταβολή του β ($\Delta \beta$) του τρανζίστορ. Πως επηρεάζει η τιμή αυτή τη λειτουργία του κυκλώματος;

3.3 Σχεδιασμός κυκλώματος πόλωσης με διαιρέτη τάσης και R_E

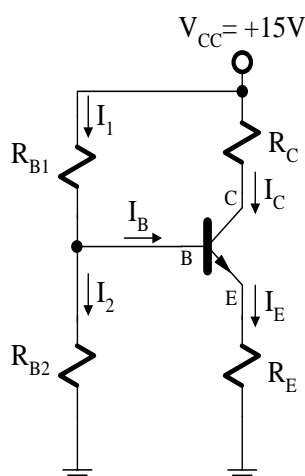
3.3.1 Προεργασία

Στο κύκλωμα του Σχ. 3.3, θεωρώντας ότι για το τρανζίστορ είναι $\beta=150$ και στο σημείο λειτουργίας Q του τρανζίστορ πρέπει να είναι:

$$V_{CEQ}=7.5V \quad I_{CQ}=5mA \quad V_E=0.1V_{CC}$$

να υπολογιστούν οι απαιτούμενες αντιστάσεις R_C και R_E και να επιλεγθούν οι πλησιέστερες τιμές της σειράς E24.

Στη συνέχεια, να εκφραστεί το ρεύμα του συλλέκτη I_C ως συνάρτηση του πηλίκου $R_B/\beta R_E$ όπου $R_B=R_{B1}/R_{B2}$. Θεωρώντας ότι $R_B/\beta R_E=1/5$, να υπολογιστούν οι απαιτούμενες αντιστάσεις R_{B1} και R_{B2} και να επιλεγθούν οι πλησιέστερες τιμές της σειράς E24.



Σχ. 3.3

3.3.2 Πειραματική διαδικασία

Να συνδεθεί το κύκλωμα του Σχ. 3.3, χρησιμοποιώντας το τρανζίστορ 2N3904 και τις τιμές των αντιστάσεων που έχουν υπολογιστεί παραπάνω. Με το πολύμετρο στη θέση DC [Volt], να μετρηθούν οι τιμές των τάσεων V_B , V_E και V_C .

3.3.3 Επεξεργασία των αποτελεσμάτων

1. Με βάση τις τιμές των τάσεων V_B , V_E και V_C που έχουν μετρηθεί, να υπολογιστούν οι τιμές των V_{CE} , I_1 , I_2 , I_B , I_C και I_E
2. Να γίνει προσομοίωση του κυκλώματος και να υπολογιστούν όλες οι τιμές του ερωτήματος 1
3. Να υπολογιστούν οι τιμές των V_B , V_E , V_C , V_{CE} , I_1 , I_2 , I_B , I_C και I_E θεωρητικά, να συγκριθούν με τις αντίστοιχες τιμές που έχουν προκύψει πειραματικά
4. Με βάση τις μετρήσεις, να υπολογιστεί η τιμή του β του τρανζίστορ και να συγκριθεί με τη θεωρητική τιμή,
5. Να υπολογιστεί θεωρητικά η % μεταβολή του I_C (ΔI_C) ως προς τη μεταβολή του β ($\Delta \beta$) του τρανζίστορ,
6. Πώς επηρεάζει τη σχέση του ρεύματος συλλέκτη I_C με το β η επιλογή της τιμής του λόγου $R_B/\beta R_E$;

3.4 Απαιτούμενα Υλικά

ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΙΣ

1 x 330k Ω , 1 x 2.2k Ω , 1 x 390k Ω , 1 x 3k Ω , 1 x 2.4k Ω , 1 x 1.2k Ω , 1 x 300 Ω , 1 x 11k Ω , 1 x 56k Ω

ΤΡΑΝΖΙΣΤΟΡ

1 x 2N3904

Σημειώσεις

Σημειώσεις

Σημειώσεις

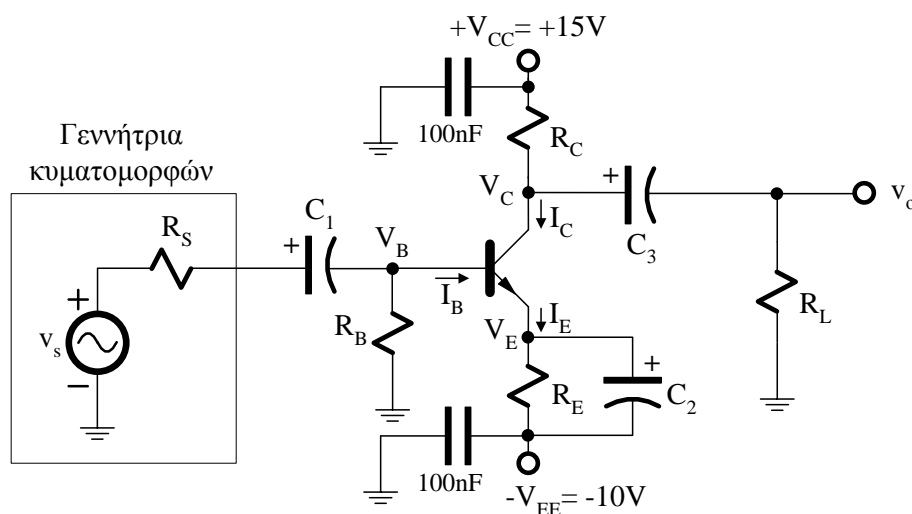
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 4

ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ ΜΕ ΤΡΑΝΖΙΣΤΟΡ

4.1 Ενισχυτής κοινού εκπομπού

Να συνδεθεί το κύκλωμα του Σχ. 4.1, χρησιμοποιώντας το τρανζίστορ 2N3904 (Σχ. 4.2) και $R_B=100\text{ k}\Omega$, $R_C=10\text{ k}\Omega$, $R_E=10\text{ k}\Omega$, $C_1=47\text{ }\mu\text{F}/63\text{V}$ και $C_2=C_3=470\text{ }\mu\text{F}/63\text{V}$ (ηλεκτρολυτικοί) και $R_L=\infty$ (ανοικτοκύκλωμα, open-circuit). Η είσοδος προέρχεται από τη γεννήτρια κυματομορφών, η οποία έχει εσωτερική αντίσταση $R_S=50\text{ }\Omega$.

ΠΡΟΣΟΧΗ: Ένας ηλεκτρολυτικός πυκνωτής πρέπει να συνδέεται πάντα με τον ακροδέκτη + στη θετική τάση και τον ακροδέκτη – στην αρνητική τάση. Αντίστροφη σύνδεση μπορεί να προκαλέσει έκρηξη του πυκνωτή.



Σχ. 4.1

- i. Με $v_s=0$ και με το πολύμετρο στη θέση DC [Volt], να μετρηθούν τα V_B , V_C και V_E .

- ii. Ρυθμίστε τη γεννήτρια κυματομορφών ώστε να παράγει ημιτονοειδή έξοδο, πλάτους 20mV peak-to-peak και συχνότητας 1kHz. Με τα κανάλια του παλμογράφου σε σύζευξη DC, καταγράψτε **καθαρά και σε χρονική αντιστοιχία** τις κυματομορφές εισόδου (v_s) και εξόδου (v_o). Με το πολύμετρο στη θέση AC [Volt] να μετρηθεί η ενεργός τιμή της τάσης εισόδου και της τάσης εξόδου.
- iii. Να συνδεθεί αντίσταση $R_L=10k\Omega$ και να επαναληφθεί το προηγούμενο ερώτημα.



Σχ. 4.2 Το τρανζίστορ 2N3904

Στην τελική αναφορά:

1. Θεωρώντας ότι το τρανζίστορ έχει $\beta=120$, να γίνει θεωρητική DC ανάλυση του κυκλώματος ώστε να υπολογιστούν οι τάσεις V_B , V_C , V_E και V_{CE} καθώς και τα ρεύματα I_B , I_C και I_E .
2. Να γίνει προσομοίωση του κυκλώματος και να γίνει η DC ανάλυση του κυκλώματος, υπολογίζοντας όλες τις τιμές των τάσεων και των εντάσεων του ερωτήματος 1.
3. Με βάση τις πειραματικές μετρήσεις των V_B , V_C και V_E , να υπολογιστούν οι τιμές των V_{CE} , I_B , I_C και I_E , να συγκριθούν τα αποτελέσματα, τόσο με τα αντίστοιχα θεωρητικά αποτελέσματα του ερωτήματος 1 και να σχολιαστούν τυχόν διαφορές.
4. Θεωρώντας ότι το τρανζίστορ έχει $\beta=120$ και τάση Early $V_A=100V$, να υπολογιστούν θεωρητικά οι παράμετροι ασθενούς σήματος g_m , r_e , r_π και r_o στο σημείο πόλωσης,
5. Χρησιμοποιώντας το υβριδικό-Π ισοδύναμο του τρανζίστορ να υπολογιστούν θεωρητικά η αντίσταση εισόδου (R_i), η αντίσταση εξόδου (R_o), το ολικό κέρδος τάσης ανοικτού κυκλώματος, το ολικό κέρδος τάσης όταν $R_L=10k\Omega$, το κέρδος ρεύματος βραχυκυκλώματος, και το κέρδος ρεύματος με $R_L=10k\Omega$.
6. Με βάση τις πειραματικές μετρήσεις, να υπολογιστεί το ολικό κέρδος τάσης ανοικτού κυκλώματος και το ολικό κέρδος τάσης όταν $R_L=10k\Omega$, να συγκριθούν με τα αντίστοιχα θεωρητικά αποτελέσματα και να σχολιαστούν τυχόν αποκλίσεις.

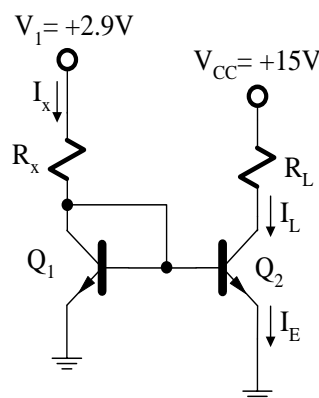
4.2 Πηγή ρεύματος με τρανζίστορ

4.2.1 Προεργασία

Να θεωρηθεί το κύκλωμα του Σχ. 4.3 όπου R_L είναι η αντίσταση του φορτίου. Θεωρώντας ότι τα δύο τρανζίστορ είναι όμοια με $\beta=140$, να εκφραστεί το ρεύμα του φορτίου, I_L , ως συνάρτηση της αντίστασης R_x , του ρεύματος I_x και της τάσης τροφοδοσίας V_1 . Στη συνέχεια να γίνει το διάγραμμα του ρεύματος φορτίου, I_L , ως συνάρτηση της αντίστασης φορτίου R_L . Στο διάγραμμα να φαίνονται όλες οι κρίσιμες τιμές της R_L .

4.2.2 Πειραματική διαδικασία

Να συνδεθεί το κύκλωμα του Σχ. 4.3 με $Q_1=Q_2=2N3904$. Στη θέση της R_x να τοποθετηθεί αντίσταση $1k\Omega$ με ανοχή $\pm 1\%$. Στη θέση του φορτίου R_L να τοποθετηθούν διαδοχικά αντιστάσεις με τιμές $1.2k\Omega$, $4.3k\Omega$, $5.6k\Omega$, $7.5k\Omega$, $8.2k\Omega$, $10k\Omega$, $36k\Omega$, $82k\Omega$ και $100k\Omega$ και **για κάθε αντίσταση** χρησιμοποιώντας το πολύμετρο στη θέση DC [Volt], να μετρηθεί η τάση στα άκρα της R_x , η τάση στα άκρα της R_L , και οι τάσεις στους συλλέκτες των Q_1 και Q_2 .



Σχ. 4.3

4.2.3 Επεξεργασία των αποτελεσμάτων

1. Χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα της πειραματικής διαδικασίας, να υπολογιστεί το ρεύμα του φορτίου I_L , για κάθε τιμή της αντίστασης φορτίου R_L .
2. Να γίνει το πειραματικό διάγραμμα του ρεύματος φορτίου, I_L , ως συνάρτηση της αντίστασης φορτίου R_L και να συγκριθεί με το αντίστοιχο θεωρητικό.

3. Να αναφερθούν εφαρμογές του κυκλώματος.

4.3 Απαιτούμενα Υλικά

ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΙΣ

1 x 51Ω, 1 x 1.2kΩ, 1 x 2.2kΩ, 1 x 100kΩ, 3 x 10kΩ, 1 x 1kΩ ±1%, 1 x 4.3kΩ, 1 x 5.6kΩ,
1 x 7.5kΩ, 1 x 8.2kΩ, 1 x 36kΩ, 1 x 82kΩ

ΠΥΚΝΩΤΕΣ

1 x 47μF/63V, 2 x 470μF/63V (ηλεκτρολυτικοί), 2 x 100nF (Ceramic)

ΤΡΑΝΖΙΣΤΟΡ

2 x 2N3904

Σημειώσεις

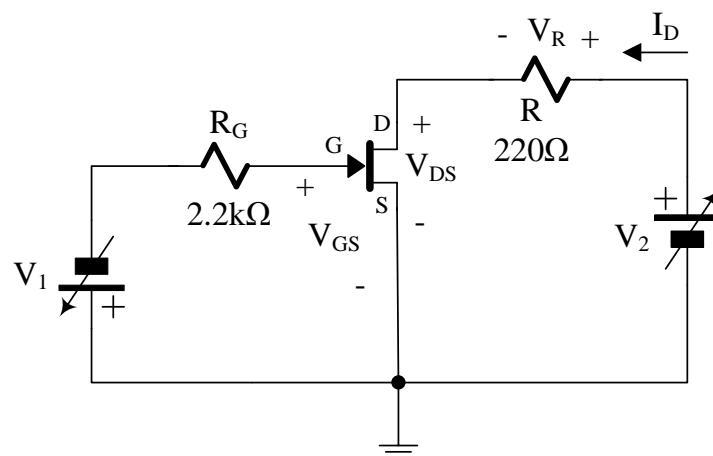
Σημειώσεις

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 5

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΠΟΛΩΣΗ ΤΩΝ FET

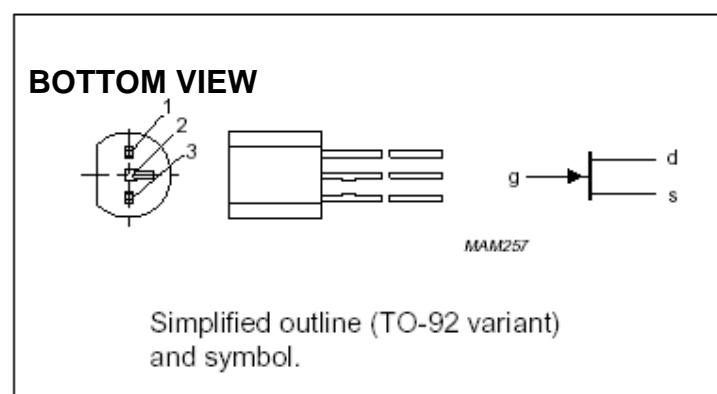
5.1 Ρεύμα κορεσμού I_{DSS} και τάση συμπίεσης V_P

Να συνδεθεί το κύκλωμα του Σχ. 5.1, χρησιμοποιώντας το **JFET καναλιού-N** BF245 (Σχ. 5.2).



Σχ. 5.1

PIN	SYMBOL	DESCRIPTION
1	d	drain
2	s	source
3	g	gate



Σχ. 5.2 Το JFET καναλιού-N BF245.

- i. Να μηδενιστεί η πηγή V_1 και να βραχυκυκλωθεί η πύλη (G) με τη γείωση ($V_{GS}=0$). Στη συνέχεια να ρυθμιστεί η πηγή V_2 ώστε $V_{DS}=10V$.
- ii. Με το πολύμετρο στη θέση DC [Volt], να μετρηθεί η τάση V_R και να υπολογιστεί το ρεύμα $I_{DSS}=V_R/0.22k\Omega$. **Στη συνέχεια να αφαιρεθεί το βραχυκύκλωμα μεταξύ πύλης και γείωσης.**
- iii. Διατηρώντας την τάση $V_{DS}=10V$ (με ρύθμιση της V_2), να ρυθμιστεί η τάση V_1 ώστε $V_R=2.2mV$. Τότε $I_D=10\mu A$ και η τιμή της V_{GS} αντιστοιχεί στην τάση V_P . Να μετρηθεί η τάση V_{GS} .

5.2 Χαρακτηριστικές εξόδου

- i. Χρησιμοποιώντας το κύκλωμα του Σχ. 5.1, να ρυθμιστεί η τάση V_1 ώστε $V_{GS}=0$ και να μεταβληθεί η τάση V_2 ώστε η τάση V_{DS} να λάβει τις τιμές που φαίνονται στον Πίνακα 5.1. Για κάθε τιμή της V_{DS} , με το πολύμετρο στη θέση DC [Volt], να μετρηθεί η αντίστοιχη τιμή της V_R και να καταχωρηθεί στον Πίνακα 5.1.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.1							
V_{GS} (V)	0	-1	-1.5	-2	-2.5	-3	-3.5
V_{DS} (V)	V_R (V)	V_R (V)	V_R (V)	V_R (V)	V_R (V)	V_R (V)	V_R (V)
0							
1							
2							
4							
6							
8							
10							
12							
14							
16							

- ii. Να επαναληφθεί το προηγούμενο μέρος για όλες τις τιμές της τάσης V_{GS} του Πίνακα 5.1.

Στην τελική αναφορά:

1. Με βάση τις μετρήσεις της τάσης V_R του μέρους 5.2(i), να υπολογιστούν οι αντίστοιχες τιμές του ρεύματος I_D και να σχεδιαστούν οι χαρακτηριστικές εξόδου I_D - V_{DS} για όλες τις τιμές της τάσης V_{GS} .
2. Να γίνει προσομοίωση του κυκλώματος και να εξαχθούν οι χαρακτηριστικές εξόδου I_D - V_{DS} για όλες τις τιμές της τάσης V_{GS} του ερωτήματος 1.
3. Χρησιμοποιώντας τις μετρήσεις που έχουν καταχωρηθεί στον Πίνακα 5.1, για κάθε τιμή της V_{DS} για την οποία το JFET βρίσκεται σε κορεσμό να σχεδιαστεί το διάγραμμα του I_D ως συνάρτηση της V_{GS} .
4. Χρησιμοποιώντας τις τιμές του I_{DSS} και της V_P που έχουν μετρηθεί στο μέρος 5.1, και τη σχέση του Shockley, να σχεδιαστεί η χαρακτηριστική μεταφοράς I_D ως συνάρτηση της V_{GS} . Να συγκριθεί με τις αντίστοιχες χαρακτηριστικές του προηγούμενου ερωτήματος.
5. Η διαγωγιμότητα (transconductance), g_m , ενός JFET ορίζεται ως εξής:

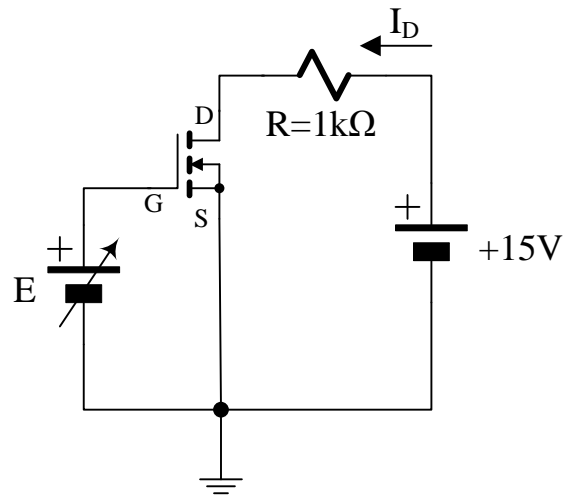
$$g_m = \frac{dI_D}{dV_{GS}}$$

Χρησιμοποιώντας τη σχέση του Shockley και την παραπάνω σχέση να εκφραστεί η διαγωγιμότητα σε σχέση με τα I_{DSS} , V_P και V_{GS} . Στη συνέχεια, χρησιμοποιώντας τις τιμές του I_{DSS} και της V_P που έχουν μετρηθεί στο μέρος 5.1, να σχεδιαστεί η g_m ως συνάρτηση της V_{GS} .

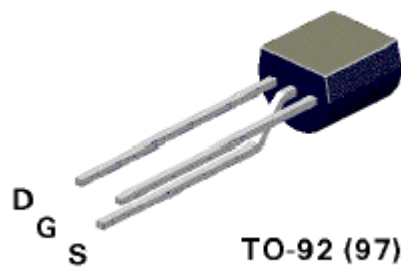
5.3 Η τάση κατωφλίου V_T των MOSFET

Να συνδεθεί το κύκλωμα του Σχ. 5.3, χρησιμοποιώντας το **MOSFET ενίσχυσης καναλιού-N** BS170 (Σχ. 5.4).

- i. Να ρυθμιστεί η τάση E ώστε η πτώση τάσης στην αντίσταση $R=1k\Omega$ να είναι 10mV, που αντιστοιχεί σε ρεύμα υποδοχής $I_D=10\mu A$ και να μετρηθεί η αντίστοιχη τάση V_{GS} . Η τάση αυτή είναι η τάση κατωφλίου, V_T , του MOSFET.



Σχ. 5.3



TO-92 (97)

Σχ. 5.4 Το MOSFET ενίσχυσης καναλιού-N BS170.

- ii. Να ρυθμιστεί η τάση τροφοδοσίας E ώστε να προκύψουν οι αντίστοιχες τιμές του ρεύματος I_D που φαίνονται στον Πίνακα 5.2. Η τιμή του ρεύματος I_D να υπολογίζεται μετρώντας την τάση στα άκρα της αντίστασης $R=1k\Omega$. Να μετρηθεί και να καταχωρηθεί στον Πίνακα 5.2 η τιμή της τάσης V_{GS} που αντιστοιχεί σε κάθε τιμή του ρεύματος I_D .

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.2												
I_D (mA)	10μA	0.5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V_{GS} (V)												

Στην τελική αναφορά:

Χρησιμοποιώντας τις μετρήσεις του Πίνακα 5.2, να σχεδιαστεί η χαρακτηριστική μεταφοράς του ρεύματος υποδοχής I_D ως συνάρτηση της τάσης V_{GS} .

5.4 Απαιτούμενα Υλικά

ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΙΣ

1 x 2.2kΩ, 1 x 220Ω, 1 x 1kΩ

JFET

1 x BF245

MOSFET

1 x BS170

Σημειώσεις

Σημειώσεις

Σημειώσεις

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 6

ΓΡΑΜΜΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΕΛΕΣΤΙΚΩΝ ΕΝΙΣΧΥΤΩΝ

6.1 Εισαγωγή

Ο Τελεστικός Ενισχυτής, (T.E., Operational Amplifier), είναι ένας ενισχυτής με πολύ μεγάλο κέρδος τάσης κατασκευασμένος σε ολοκληρωμένο κύκλωμα. Επειδή συνήθως χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με αρνητική ανάδραση, τα χαρακτηριστικά λειτουργίας του ενισχυτή που προκύπτει καθορίζονται από τα εξωτερικά στοιχεία. Οι γραμμικές εφαρμογές που θα μελετηθούν σε αυτή την άσκηση είναι:

- (α) ο αναστρέφων ενισχυτής,
- (β) ο μη-αναστρέφων ενισχυτής,
- (γ) ο ολοκληρωτής και

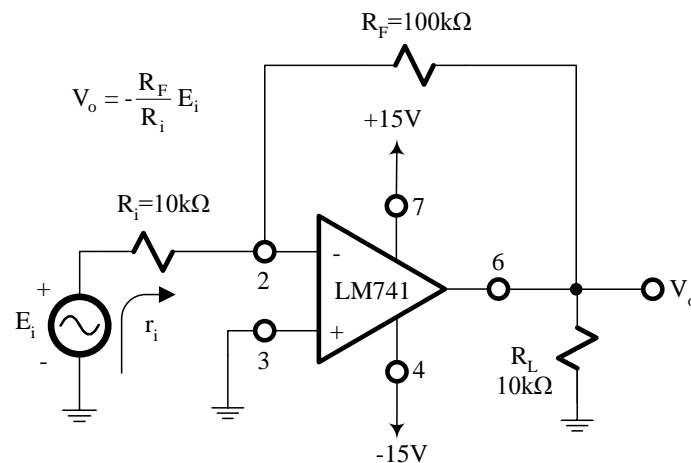
Ο T.E. χρησιμοποιείται επίσης σε πολλές άλλες γραμμικές εφαρμογές, όπως σε ενισχυτές μεγάλου εύρους ζώνης, σε ενισχυτές ακουστικών συχνοτήτων και σε όλων των ειδών τα φίλτρα.

Επειδή χρησιμοποιείται συνήθως σε κυκλώματα με αρνητική ανάδραση, ο T.E. πρέπει να έχει τέτοια αντιστάθμιση, ώστε να εξασφαλίζεται η ευστάθεια του. Η αντιστάθμιση είναι ενός πόλου και μετατρέπει τη συνάρτηση κέρδους-συχνότητας σε παρόμοια με αυτή ενός βαθυπερατού φίλτρου πρώτου βαθμού. Πολλοί από τους ολοκληρωμένους T.E. περιλαμβάνουν την αντιστάθμιση αυτή εσωτερικά (π.χ. LM307, LM741 κ.λ.π.), ενώ σε άλλους, παλαιότερης τεχνολογίας, πρέπει να προστεθεί εξωτερικά (π.χ. LM301 κ.λ.π.).

6.2 Πειραματική διαδικασία

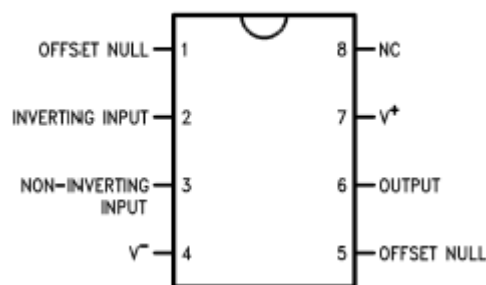
6.2.1 Αναστρέφων ενισχυτής

Να συνδεθεί το κύκλωμα του Σχ. 6.1 με $R_F=100\text{k}\Omega$ και $R_i=10\text{ k}\Omega$. Η αρίθμηση των ακροδεκτών του ολοκληρωμένου κυκλώματος (IC) LM741 και η λειτουργία κάθε ακροδέκτη φαίνονται στο Σχ. 6.2.



Σχ. 6.1

Dual-In-Line or S.O. Package



Σχ. 6.2 Οι ακροδέκτες του ολοκληρωμένου κυκλώματος LM741.

(α) Να εφαρμοστεί ημιτονοειδές σήμα στην είσοδο 500 mV peak και συχνότητας 100 Hz. Να συγχρονιστεί η σάρωση για τις δύο δέσμες (chop mode) και με τα κανάλια του παλμογράφου σε σύζευξη AC, να παρατηρηθούν και να καταγραφούν σε χρονική αντιστοιχία οι κυματομορφές εισόδου (E_i) και εξόδου (V_o). Να μετρηθεί και να καταγραφεί η διαφορά φάσης μεταξύ των κυματομορφών εισόδου και εξόδου.

(β) Να μετρηθεί το κέρδος τάσης: $A_v = \frac{V_o(\text{peak-to-peak})}{E_i(\text{peak-to-peak})}$.

(γ) Να **μετρηθεί** η αντίσταση εισόδου, r_i , που "βλέπει" η πηγή τάσης E_i (Σχήμα 6.1). Η μέθοδος που θα χρησιμοποιηθεί είναι η εξής:

- Να ρυθμιστεί το ημιτονοειδές σήμα εισόδου $E_i=100\text{ mV peak}$, 100 Hz και με το κανάλι του παλμογράφου σε σύζευξη AC να μετρηθεί το πλάτος της τάσης εξόδου, V_o , του ενισχυτή.
- Στη συνέχεια, να συνδεθεί σε σειρά με τη γεννήτρια μια αντίσταση $R=7.5\text{ k}\Omega$ και να μετρηθεί το πλάτος της τάσης εξόδου V'_o .
- Η αντίσταση εισόδου, r_i , υπολογίζεται σύμφωνα με τη σχέση: $r_i = \frac{R \cdot V'_o}{V_o - V'_o}$.

Στην τελική αναφορά:

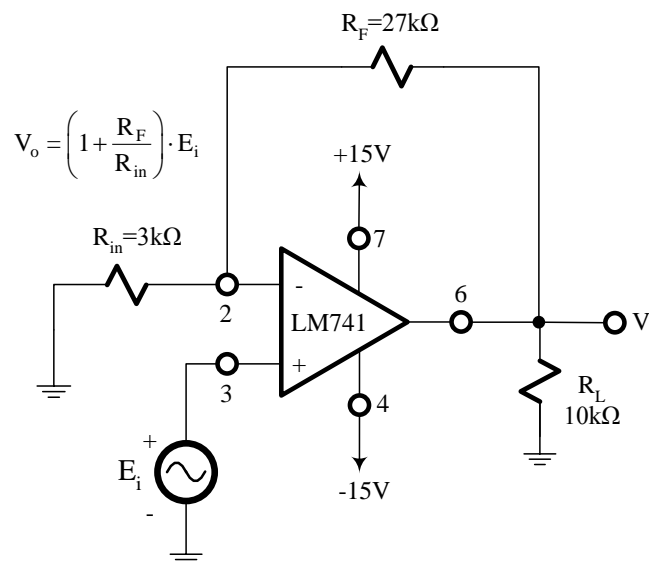
- i. Να σχεδιαστούν στο ίδιο διάγραμμα κυματομορφές εισόδου (E_i) και εξόδου (V_o).
- ii. Να γίνει προσομοίωση του κυκλώματος του Σχ.6.1, και να καταγραφούν οι κυματομορφές εισόδου (E_i) και εξόδου (V_o) που προκύπτουν από την προσομοίωση.
- iii. Να συγκριθούν να σχολιαστούν οι κυματομορφές των ερωτημάτων i και ii.
- iv. Να συγκριθεί κέρδος τάσης A_v με την αντίστοιχη θεωρητική τιμή και να σχολιαστούν τυχόν διαφορές.
- v. Να συγκριθεί η πειραματική τιμή της αντίστασης εισόδου r_i με την αντίστοιχη θεωρητική τιμή που προκύπτει θεωρώντας τον τελεστικό ενισχυτή ιδανικό και να σχολιαστούν τυχόν διαφορές.

6.2.2 Μη-αναστρέφον ενισχυτής

Να συνδεθεί το κύκλωμα του Σχ. 6.3 με $R_F=27\text{ k}\Omega$ και $R_{in}=3\text{ k}\Omega$.

(α) Να εφαρμοστεί ημιτονοειδές σήμα στην είσοδο 500 mV peak και συχνότητας 100 Hz. Να συγχρονιστεί η σάρωση για τις δύο δέσμες (chop mode) και με τα κανάλια του παλμογράφου σε σύζευξη AC να παρατηρηθούν και να καταγραφούν σε χρονική αντιστοιχία οι κυματομορφές εισόδου και εξόδου.

(β) Να μετρηθεί το κέρδος τάσης: $A_v = \frac{V_o(peak-to-peak)}{E_i(peak-to-peak)}$.



Σχ. 6.3

(γ) Να μετρηθεί η αντίσταση εισόδου, r_i , που "βλέπει" η πηγή τάσης E_i .

Σημείωση: Να χρησιμοποιηθεί η ίδια μέθοδος όπως στο μέρος 6.2.1 με τη διαφορά ότι τώρα $R=5.1\text{ M}\Omega$ και το πλάτος της τάσης εισόδου είναι 500 mV peak.

Στην τελική αναφορά:

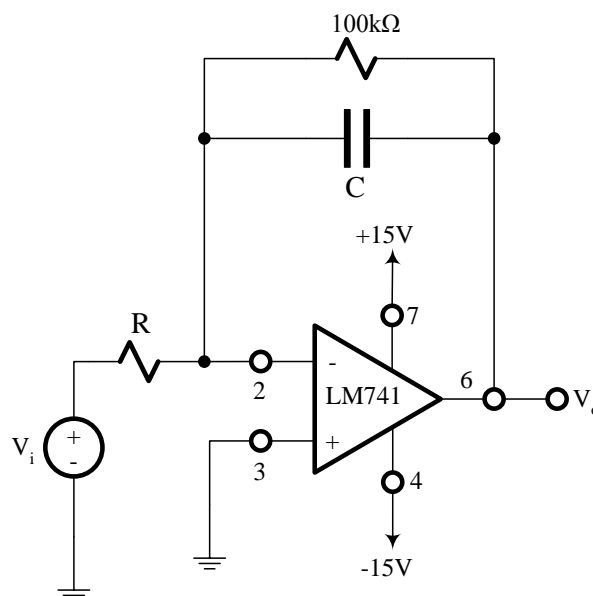
- i. Να σχεδιαστούν στο ίδιο διάγραμμα κυματομορφές εισόδου (E_i) και εξόδου (V_o).
- ii. Να γίνει προσομοίωση του κυκλώματος του Σχ.6.3, και να καταγραφούν οι κυματομορφές εισόδου (E_i) και εξόδου (V_o) που προκύπτουν από την προσομοίωση.
- iii. Να συγκριθούν να σχολιαστούν οι κυματομορφές των ερωτημάτων i και ii.
- iv. Να συγκριθεί κέρδος τάσης A_v με την αντίστοιχη θεωρητική τιμή και να σχολιαστούν τυχόν διαφορές.
- v. Να συγκριθεί η πειραματική τιμή της αντίστασης εισόδου r_i με την αντίστοιχη θεωρητική τιμή που προκύπτει θεωρώντας τον τελεστικό ενισχυτή ιδανικό και να σχολιαστούν τυχόν διαφορές. Γιατί απαιτείται μεγαλύτερη αντίσταση σε αυτή την περίπτωση;

6.2.3 Ολοκληρωτής

Να συνδεθεί το κύκλωμα του Σχ. 6.4 με $R=10\text{k}\Omega$ και $C=0.1\text{ }\mu\text{F}$. Να εφαρμοστεί στην είσοδο μια συμμετρική τετραγωνική παλμοσειρά πλάτους 5V και συχνότητας 1kHz. Με τα κανάλια του παλμογράφου σε σύζευξη AC, να παρατηρηθούν και να καταγραφούν σε χρονική αντιστοιχία οι κυματομορφές των σημάτων εισόδου και εξόδου.

Στην τελική αναφορά:

- i. Να σχεδιαστούν στο ίδιο διάγραμμα κυματομορφές εισόδου (E_i) και εξόδου (V_o).
- ii. Να γίνει προσομοίωση του κυκλώματος του Σχ.6.3, και να καταγραφούν οι κυματομορφές εισόδου (E_i) και εξόδου (V_o) που προκύπτουν από την προσομοίωση.
- iii. Να συγκριθούν να σχολιαστούν οι κυματομορφές των ερωτημάτων i και ii.



Σχ. 6.4

6.3 Απαιτούμενα Υλικά

ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΙΣ

4 x 10kΩ, 2 x 100kΩ, 1 x 3kΩ, 1 x 27kΩ

ΠΥΚΝΩΤΕΣ

1 x 0.1nF

ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΑ

1 x LM741

Σημειώσεις

Σημειώσεις

Σημειώσεις

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

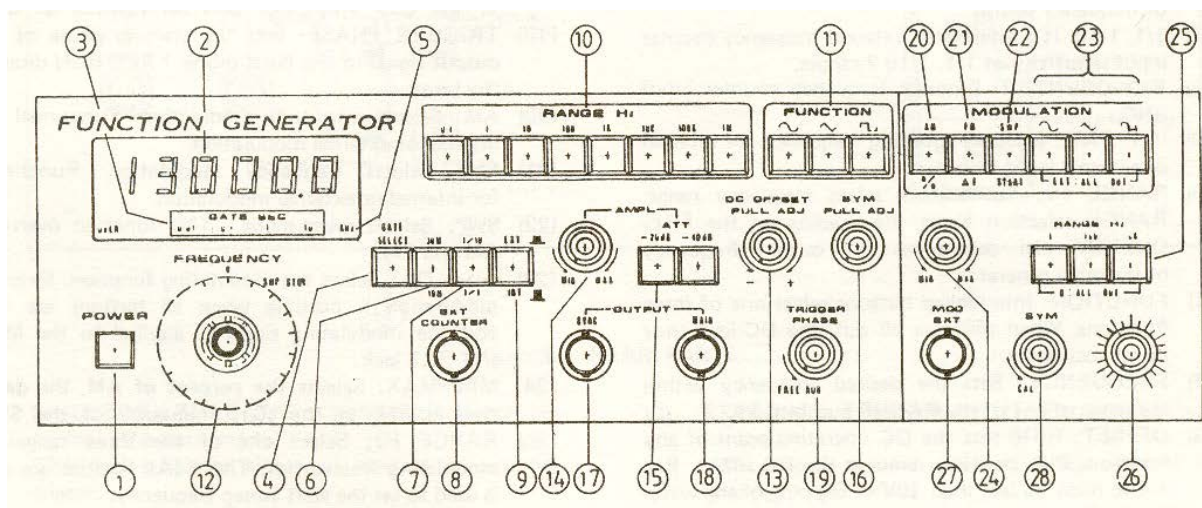
ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΚΑΙ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΟΡΓΑΝΩΝ

Π.1 Εισαγωγή

Στην ενότητα αυτή γίνεται μια σύντομη περιγραφή ειδικών λειτουργιών των οργάνων του εργαστηρίου, η γνώση των οποίων είναι απαραίτητη για την επιτυχή διεξαγωγή των εργαστηριακών ασκήσεων.

Π.1.1.1 Η γεννήτρια κυματομορφών

Η γεννήτρια κυματομορφών (Σχ. 1.1) χρησιμοποιείται για την παραγωγή ημιτονοειδών, τριγωνικών και τετραγωνικών σημάτων στην περιοχή συχνοτήτων 0.1 Hz έως 13 MHz.



Σχ. 1.1 Η γεννήτρια κυματομορφών.

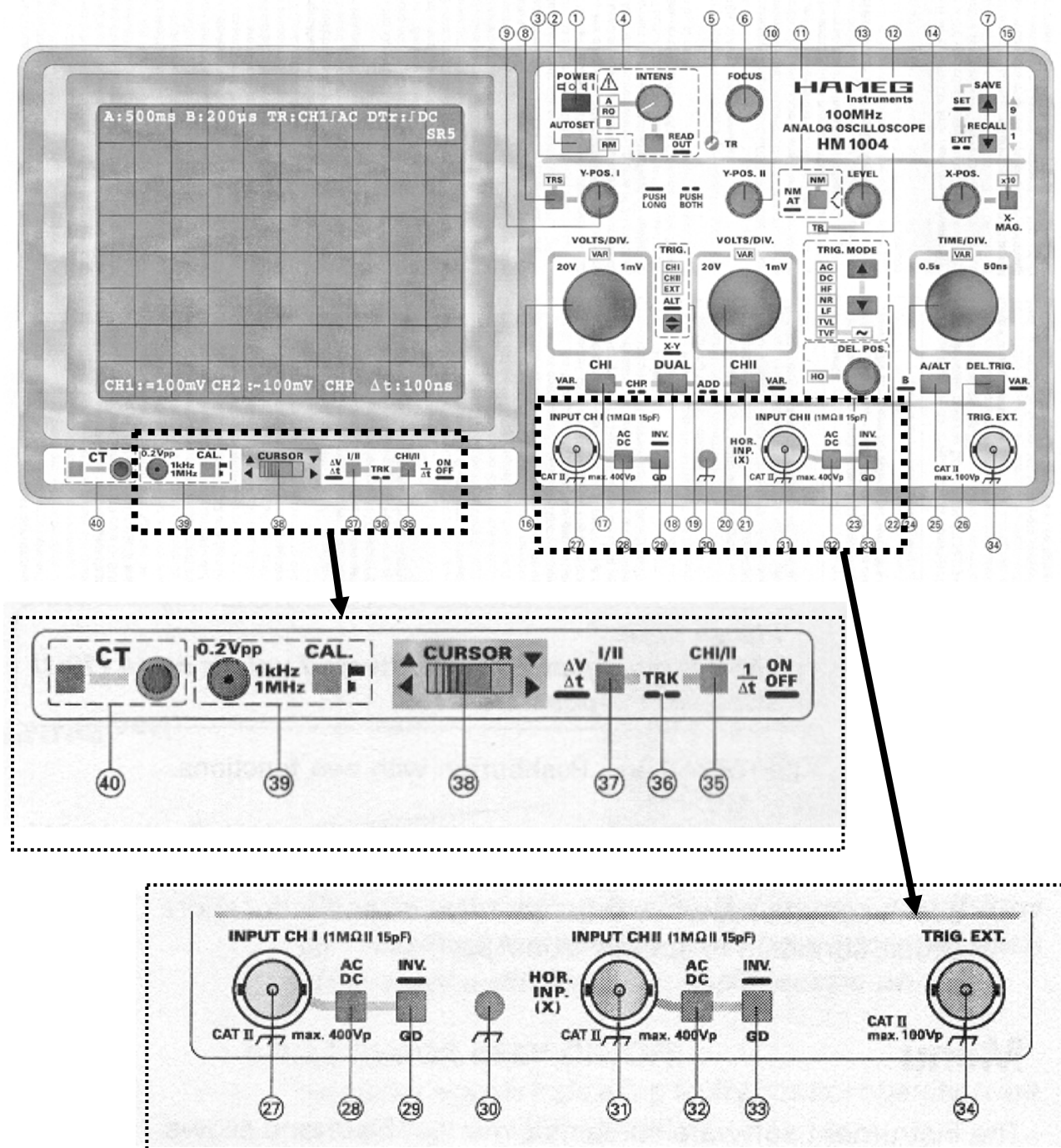
Η τάση εξόδου παράγεται στην έξοδο **MAIN** [18] και μπορεί να μεταβληθεί στην περιοχή 0V έως 10V peak-to-peak, με φορτίο 50 Ohm, ενώ το DC επίπεδο της εξόδου μπορεί να μεταβληθεί στην περιοχή $\pm 10V$ χρησιμοποιώντας το ρυθμιστικό ελέγχου [13]. Η συνολική τάση εξόδου [DC offset + AC peak] δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τα $\pm 10V$ (με φορτίο 50 Ohm), διαφορετικά το σήμα εξόδου ψαλιδίζεται.

Για τη μέτρηση της συχνότητας εξωτερικών σημάτων, το εξωτερικό σήμα με μέγιστο πλάτος $\pm 10V$ συνδέεται στο BNC βύσμα [8] και επιλέγεται το [9] (external counter), η περιοχή συχνοτήτων [6] και η ευαισθησία του πλάτους του σήματος εισόδου 1/1 ή 1/10 [7].

Όταν το ρυθμιστικό ελέγχου του πλάτους της γεννήτριας [14] είναι στραμμένο τελείως αριστερά (στη θέση MIN), οπότε η έξοδος δε μειώνεται περισσότερο, τότε περαιτέρω μείωση του πλάτους εξόδου της γεννήτριας μπορεί να επιτευχθεί πατώντας διαδοχικά τα κουμπιά εξασθένησης (attenuation) της εξόδου [15] με αποτέλεσμα το πλάτος της εξόδου να μειώνεται κατά 20, 40 ή 60db, αντίστοιχα.

Π.1.1.2 Ο παλμογράφος

Ο παλμογράφος παράγει εσωτερικά ένα τετραγωνικό σήμα πλάτους 0.2V peak-to-peak [39] το οποίο χρησιμοποιείται συνήθως για τη βαθμονόμηση των σηματοληπτών (probes). Η συχνότητα του σήματος αυτού ρυθμίζεται στο 1 kHz ή 1 MHz χρησιμοποιώντας το κουμπί ελέγχου [39].



Σχ. 1.2 Ο παλμογράφος HM1005 (Hameg).

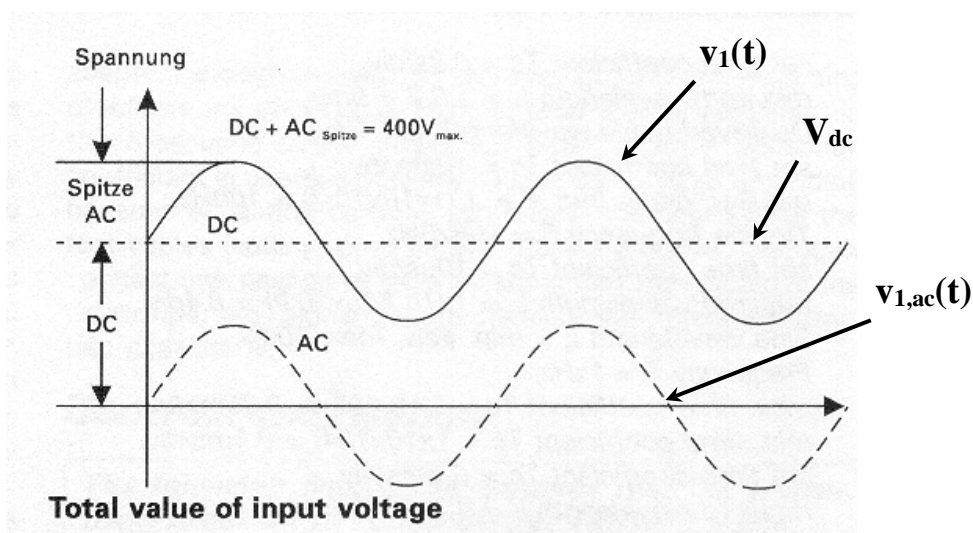
Το σήμα $v_1(t)$ του Σχ. 1.3 περιγράφεται μαθηματικά ως εξής:

$$v_1(t) = V_{dc} + A \cdot \sin(2\pi ft) = V_{dc} + v_{1,ac}(t)$$

όπου V_{dc} είναι το dc offset του σήματος και

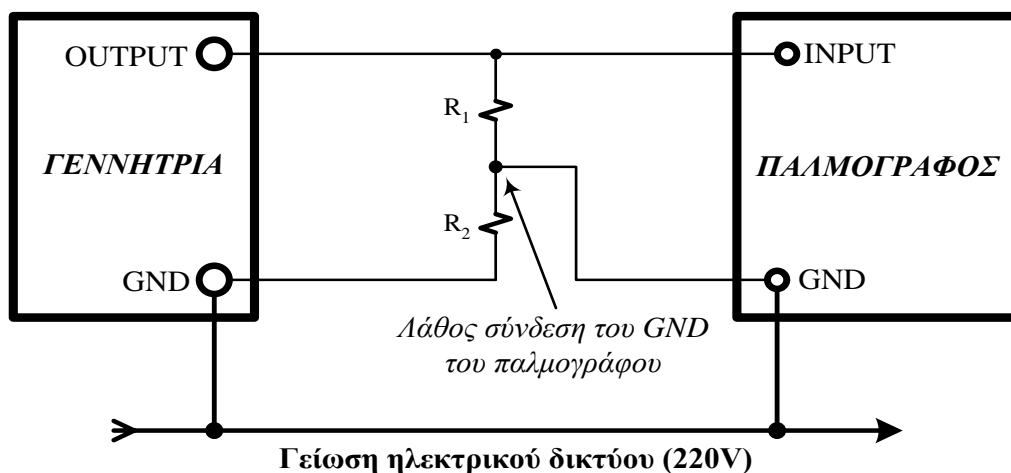
A, f είναι το πλάτος και η συχνότητα, αντίστοιχα, του ημιτονοειδούς όρου $v_{1,ac}(t)$.

Όπως φαίνεται από την παραπάνω σχέση, το σήμα $v_1(t)$ αποτελείται από έναν σταθερό όρο (V_{dc}), που αντιστοιχεί στη μέση τιμή του σήματος και έναν AC όρο [$v_{1,ac}(t)$]. Για την απεικόνιση του συνολικού σήματος $v_1(t)$ στον παλμογράφο, όπως φαίνεται στο Σχ. 1.3, θα πρέπει το ρυθμιστικό ελέγχου [28] (Σχ. 1.2) να είναι στη θέση **DC**. Αντίθετα, όταν το ρυθμιστικό ελέγχου [28] είναι στη θέση **AC** τότε στον παλμογράφο απεικονίζεται μόνο ο AC όρος $v_{1,ac}(t)$, όπως φαίνεται στο Σχ. 1.3.



Σχ. 1.3 Ανάλυση των συνιστωσών AC και DC ενός σήματος.

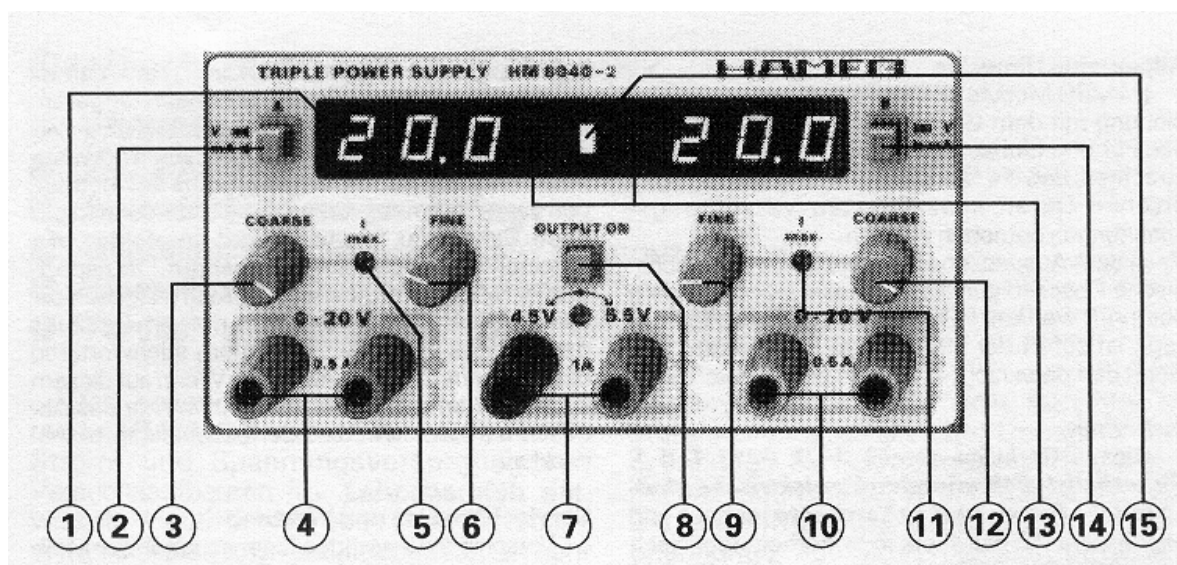
Τόσο η γεννήτρια κυματομορφών όσο και ο παλμογράφος έχουν το μεταλλικό τους περίβλημα συνδεδεμένο με τη γείωση του ηλεκτρικού δικτύου (220V) με σκοπό την προστασία από ηλεκτροπληξία των ατόμων που χειρίζονται αυτά τα όργανα. Επίσης, ο αρνητικός ακροδέκτης (ground) αυτών των οργάνων είναι συνδεδεμένος στο μεταλλικό τους περίβλημα και κατά συνέπεια σύμφωνα με τα παραπάνω, συνδέεται και στη γείωση του ηλεκτρικού δικτύου. Στο Σχ. 1.4 φαίνεται ότι η λανθασμένη σύνδεση του αρνητικού ακροδέκτη του παλμογράφου προκαλεί βραχυκύκλωμα του αντιστάτη R_2 , μέσω του ηλεκτρικού δικτύου. Τέτοιου είδους σφάλματα έχουν σαν αποτέλεσμα την έλλειψη ακρίβειας στις μετρήσεις ενώ ταυτόχρονα υπάρχει κίνδυνος καταστροφής των οργάνων.



Σχ. 1.4 Βρόχος γείωσης εξαιτίας γειωμένων συσκευών.

Π.1.1.3 Το τροφοδοτικό

Το τροφοδοτικό HM8040-2 (Σχ. 1.5) αποτελείται από 2 εξόδους, [4] και [10], με ρυθμιζόμενη τάση 0-20V και μέγιστο ρεύμα 0.5A καθώς και μία έξοδο [7] με σταθερή τάση +5V και μέγιστο ρεύμα 1A. Η ρύθμιση των εξόδων [4] και [10] γίνεται με τα ρυθμιστικά ελέγχου [3] και [12] αντίστοιχα για χονδρική (Coarse) ρύθμιση και με τα [6] και [9] για ακριβή (Fine) ρύθμιση. Η απεικόνιση του ρεύματος εξόδου των [4] και [10], στην οθόνη [1] του οργάνου, γίνεται πατώντας τα κουμπιά [2] και [14] αντίστοιχα. Η σύνδεση των παραγόμενων DC τάσεων στο τροφοδοτούμενο (εξωτερικό) κύκλωμα γίνεται πατώντας το κουμπί [8] (OUTPUT ON).



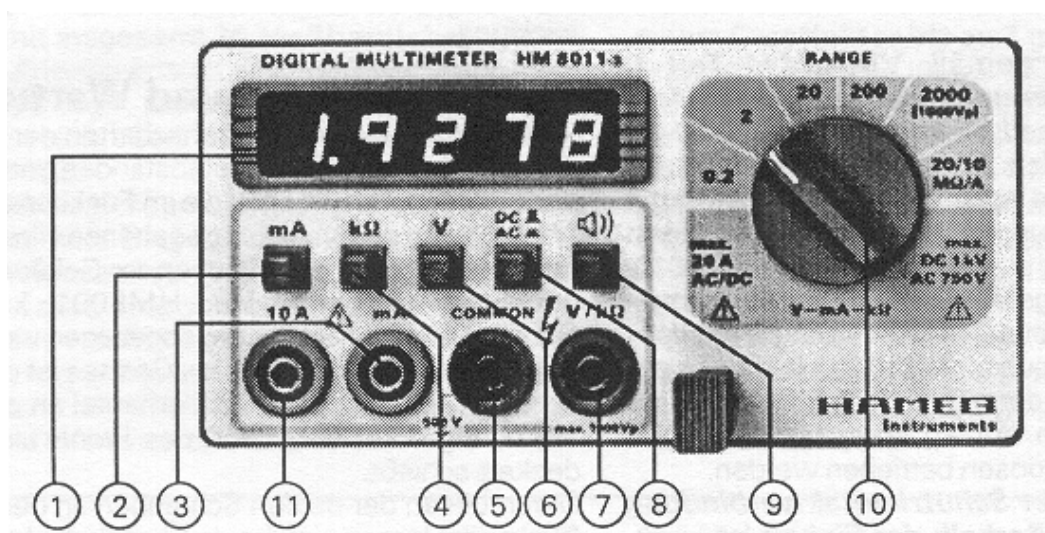
Σχ. 1.5 Το τροφοδοτικό HM8040-2 (Hameg).

Οι 3 τάσεις εξόδου του τροφοδοτικού είναι **ανεξάρτητες**: δεν έχουν ηλεκτρική σύνδεση μεταξύ τους ούτε με τη γείωση του ηλεκτρικού δικτύου (floating). Για την παραγωγή δύο τάσεων τροφοδοσίας με κοινή γείωση (GND) και τιμές $+V_{CC}$ (θετική) και $-V_{EE}$ (αρνητική), αντίστοιχα, τότε οι δύο έξοδοι του τροφοδοτικού πρέπει να συνδεθούν όπως φαίνεται στο Σχ. 1.6.

Σχ. 1.6 Παραγωγή θετικής και αρνητικής τάσης εξόδου με κοινή γείωση.

Π.1.1.4 Το ψηφιακό πολύμετρο

Το ψηφιακό πολύμετρο HM8011-3 (Σχ. 1.7) χρησιμοποιείται για τη μέτρηση DC τάσεων και ρευμάτων, για τη μέτρηση της ενεργούς τιμής (rms) AC τάσεων και ρευμάτων καθώς και για τη μέτρηση αντιστάσεων με τιμή έως 20 MΩ.



Σχ. 1.7 Το ψηφιακό πολύμετρο HM8011-3.

Η επιλογή για μέτρηση ρεύματος, τάσης ή αντίστασης γίνεται πατώντας αντίστοιχα τα κουμπιά [2], [4] ή [6], ενώ η επιλογή για DC ή AC μέτρηση τάσης ή ρεύματος γίνεται με το κουμπί ελέγχου [8].

Κατά τη μέτρηση της τιμής μιας τάσης (ή ρεύματος) με τη μορφή του σήματος $v_1(t)$ του Σχ. 1.3, αν επιλεγεί μέτρηση DC (με το [8]) τότε η ένδειξη του πολύμετρου θα αντιστοιχεί στον όρο V_{dc} , ενώ αν επιλεγεί μέτρηση AC τότε η ένδειξη του πολύμετρου θα αντιστοιχεί στην ενεργό (rms) τιμή του όρου $v_{l,ac}(t) = A \cdot \sin(2\pi ft)$ και θα είναι ίση με $V_{l,ac,rms} = \frac{A}{\sqrt{2}}$.

Π.1.1.5 Τυποποιημένες σειρές τιμών αντιστάσεων

Οι πιο κοινές σειρές τιμών αντιστάσεων είναι η **E12** και η **E24**. Η σειρά E12 περιλαμβάνει 12 διαφορετικές τιμές σε κάθε δεκάδα ενώ η σειρά E24 περιλαμβάνει 24 διαφορετικές τιμές σε κάθε δεκάδα:

E12: 10, 12, 15, 18, 22, 27, 33, 39, 47, 56, 68, 82

E24: 10, 11, 12, 13, 15, 16, 18, 20, 22, 24, 27, 30, 33, 36, 39, 43, 47, 51, 56, 62, 68, 75, 82, 91

Στη σειρά E12 κάθε τιμή απέχει κατά 20% από την προηγούμενη, ενώ στη σειρά E24 οι τιμές απέχουν κατά 10%. Επομένως, η αντίστοιχη ανοχή για κάθε σειρά αντιστάσεων είναι $\pm 10\%$ για τη σειρά E12 και $\pm 5\%$ για τη σειρά E24. Σε πρακτικές εφαρμογές, επιλέγεται η πλησιέστερη τιμή που υπάρχει διαθέσιμη στη σειρά με την επιθυμητή ανοχή.

Παράδειγμα

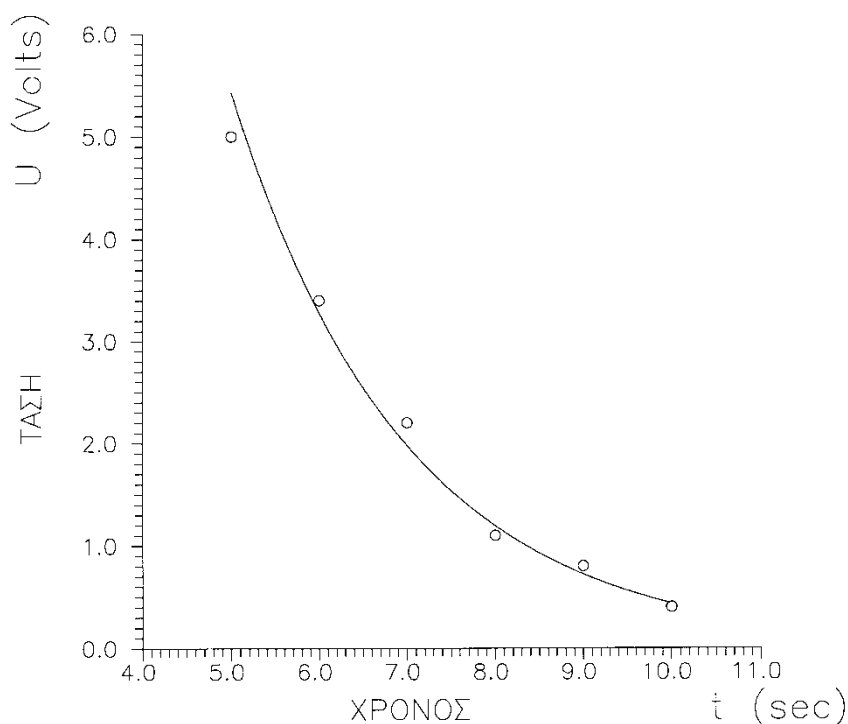
Αν από τους υπολογισμούς προκύψει ότι μια αντίσταση πρέπει να έχει τιμή 4420 Ω τότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε αντίσταση 4.7 kΩ από τη σειρά E12 (ανοχή $\pm 10\%$), είτε αντίσταση 4.3 kΩ από τη σειρά E24 (ανοχή $\pm 5\%$).

Π.1.1.6 Κατασκευή διαγραμμάτων

Για την κατασκευή διαγραμμάτων θα πρέπει να ακολουθούνται οι παρακάτω κανόνες:

- i. σε κάθε άξονα πρέπει να αναγράφεται η κλίμακα του αντίστοιχου μεγέθους που απεικονίζεται (π.χ. 100, 200, 300 κλπ.),
- ii. σε κάθε άξονα πρέπει να αναγράφεται το σύμβολο του μεγέθους το οποίο απεικονίζεται καθώς και η μονάδα μέτρησης του: π.χ. $v(t)$ (V),
- iii. σε περίπτωση μικρού εύρους τιμών των μετρήσεων, τότε ως αρχή των αξόνων μπορεί να θεωρείται το κάτω άκρο της περιοχής ώστε το διάγραμμα να είναι περισσότερο ευανάγνωστο: π.χ. αν οι μετρήσεις της τάσης κυμαίνονται στην περιοχή 4V...8V, η αρχή του αντίστοιχου άξονα μπορεί να τοποθετηθεί στα 4V,
- iv. κάθε μέτρηση πρέπει να σημειώνεται με κατάλληλο σύμβολο, π.χ. τετράγωνο κ.λ.π. και
- v. *όλα τα σημεία μέτρησης πρέπει να ενώνονται με ομαλή γραμμή και όχι με τεθλασμένη.* Σε περίπτωση που αυτό δεν είναι εφικτό, τότε πρέπει να χαράσσεται γραμμή που αφήνει τα σημεία συμμετρικά από τις δύο πλευρές της.

Η παραπάνω διαδικασία θα πρέπει να εφαρμόζεται και κατά την καταγραφή πειραματικών κυματομορφών που απεικονίζονται στον παλμογράφο. Στο Σχήμα 1.8 φαίνεται ένα παράδειγμα κατασκευής διαγράμματος χρησιμοποιώντας τις μετρήσεις της τάσης σε συνάρτηση με τον χρόνο.



Σχ. 1.8 Παράδειγμα κατασκευής διαγράμματος.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Κ. Μπάλας, “*Ηλεκτρονική Ι*”, Πολυτεχνείο Κρήτης, 2002.
- [2] Ν. Βούλγαρης, “*Εργαστηριακές Ασκήσεις Ηλεκτρονικής Ι*”, Πολυτεχνείο Κρήτης, 1995.
- [3] Κ. Καλαϊτζάκης, “*Πανεπιστημιακές Παραδόσεις Εργαστηρίου Ηλεκτρικών Κυκλωμάτων*”, Πολυτεχνείο Κρήτης, 2000.
- [4] A. Sedra, K. Smith, “*Μικροηλεκτρονικά Κυκλώματα*”, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, 1994.
- [5] Sidney Soclof, “*Design and Applications of Analog Integrated Circuits*”, Prentice Hall, 1991.
- [6] Donald Schilling, “*Electronic Circuits: Discrete and Integrated*”, McGraw-Hill, 1989.
- [7] Jacob Millman, Arvin Grabel, “*Μικροηλεκτρονική*”, Εκδόσεις Τζιόλα, 1996.
- [8] A. Malvino, “*Ηλεκτρονική*”, Εκδόσεις Τζιόλα, 2003.

