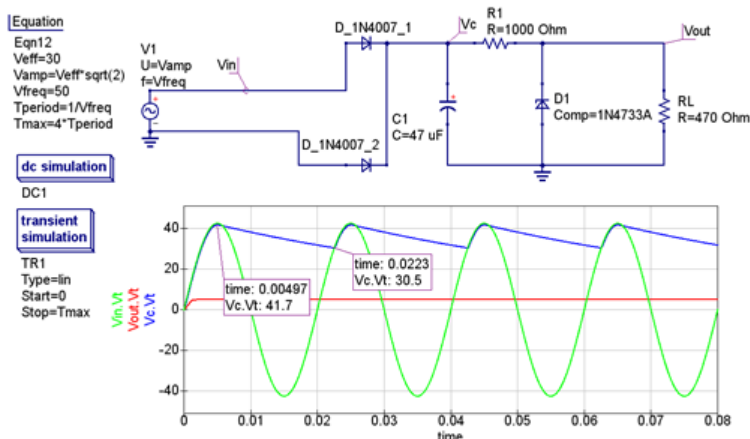
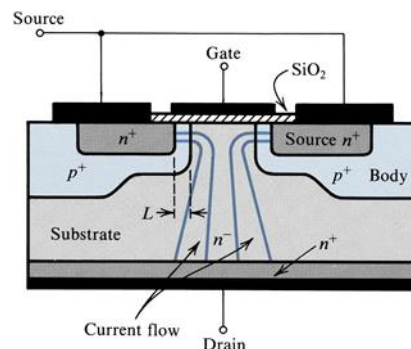
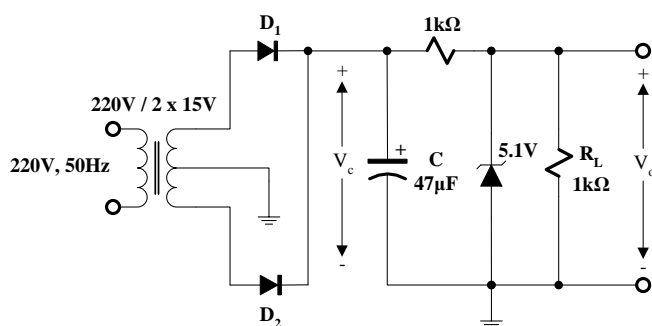


ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ & ΜΗΧ. ΥΠΟΛ.

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ & ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΥΠΟΛ.

# ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ Ι



Υπεύθυνος Εργαστηρίου:

Ε.ΔΙ.Π. Δρ. Ναθαναήλ Κορτσαλιουδάκης (nathan@electronics.tuc.gr)

Διδάσκων μαθήματος:

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

Χανιά, Απρίλιος 2020

SIMULATION VERSION

## Περιεχόμενα

<b>ΠΡΟΛΟΓΟΣ</b> .....	3
<b>ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΔΙΕΞΑΓΩΓΗΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΑΣΚΗΣΕΩΝ</b> .....	4
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 1: ΔΙΟΔΟΙ ΕΠΑΦΗΣ pn .....	5
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 2: ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΔΙΟΔΩΝ ΕΠΑΦΗΣ pn.....	7
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 3: ΔΙΠΟΛΙΚΑ ΤΡΑΝΖΙΣΤΟΡ .....	10
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 4: ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΔΙΠΟΛΙΚΩΝ ΤΡΑΝΖΙΣΤΟΡ .....	14
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 5: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΠΟΛΩΣΗ ΤΩΝ FET .....	17
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 6: ΓΡΑΜΜΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΕΛΕΣΤΙΚΩΝ ΕΝΙΣΧΥΤΩΝ .....	21
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ: ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΚΑΙ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΟΡΓΑΝΩΝ .....	25
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	31

## 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, Τελεστικοί Ενισχυτές). 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.

Στόχος των Εργαστηριακών Ασκήσεων είναι να δώσουν στον φοιτητή την ευκαιρία να υλοποιήσει πραγματικά κυκλώματα, και να αποκτήσει τη βασική εμπειρία διεξαγωγής εργαστηριακών μετρήσεων ηλεκτρονικών κυκλωμάτων. Τα αποτελέσματα των πειραματικών μετρήσεων συγκρίνονται τόσο με την θεωρητική ανάλυση των κυκλωμάτων, έτσι ώστε να παρέχεται στο φοιτητή μια ολοκληρωμένη εικόνα της σχεδίασης, ανάλυσης και υλοποίησης/μετρήσεων των ηλεκτρονικών κυκλωμάτων.

## ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΔΙΕΞΑΓΩΓΗΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΑΣΚΗΣΕΩΝ

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 δεν πετύχει προβιβάσιμο βαθμό στη εξέταση της θεωρίας του μαθήματος.

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

### 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).

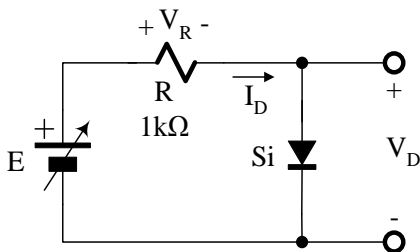
# ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 1: ΔΙΟΔΟΙ ΕΠΑΦΗΣ pn

## Simulation version

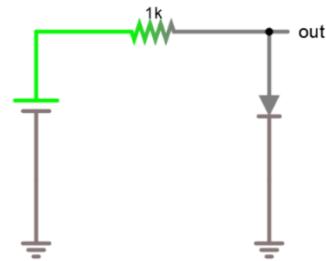
### 1.1 Χαρακτηριστική της διόδου (ορθή πόλωση)

#### 1.1.1. Χαρακτηριστική διόδου πυριτίου

Να συνδεθεί το κύκλωμα του Σχ. 1.1 χρησιμοποιώντας τη διόδο *πυριτίου* 1N4004 (general purpose). Στο Σχ. 1.2 εμφανίζεται το κύκλωμα όπως φαίνεται στο λογισμικό προσομοίωσης. 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 (Στο λογισμικό προσομοίωσης η τάση (voltage source) αλλάζει από τον κατάλληλο slider). Στη συνέχεια να υπολογιστεί το ρεύμα  $I_D (= V_R/R)$  και να καταγραφεί στον ίδιο πίνακα.



Σχ. 1.1



Σχ. 1.2

#### 1.1.2 Χαρακτηριστική διόδου γερμανίου

Να αντικατασταθεί η διόδος πυριτίου με διόδο γερμανίου (για την προσομοίωση χρησιμοποιήστε την διόδο 1N4148 (switching)) και να επαναληφθεί η διαδικασία μετρήσεων και υπολογισμών που έγιναν στο βήμα 1.1.1 και να καταγραφούν στον πίνακα 1.1.

Πίνακας 1.1.

Voltage source	1N4004 (Silicon)			1N4148 (simulated germanium)		
	$V_R$	$V_d$	$I_d$	$V_R$	$V_d$	$I_d$
0						
0,48						
0,6						
0,72						
0,96						
1,08						
1,2						
1,32						

2,64						
3,72						
5,64						
7,68						
9,72						
10,08						

**Στην τελική αναφορά:**

1. Με βάση τις τιμές του πίνακα 1.1 να σχεδιαστούν σε κοινό διάγραμμα οι χαρακτηριστικές καμπύλες  $I_D = f(V_D)$  κάθε διόδου σχολιάζοντας τις ομοιότητες και τις διαφορές τους.
2. Χρησιμοποιώντας τις χαρακτηριστικές καμπύλες του ερωτήματος 1, για τις δύο διόδους, να υπολογιστεί: α) η **στατική (dc) αντίσταση** κάθε διόδου για τα εξής ρεύματα:  $I_D \sim 0.4, 0.65, 5$  και  $10 \text{ mA}$ , β) η **δυναμική (ac) αντίσταση** κάθε διόδου για  $I_D \sim 9 \text{ mA}$  και να συγκριθούν με την αντίστοιχες θεωρητικές τιμές, και γ) η **τάση αποκοπής**  $V_\gamma$  για κάθε δίοδο και να συγκριθούν με τις αντίστοιχες θεωρητικές τιμές.

[Υποδείξεις: α) η δυναμική αντίσταση (ac) ορίζεται από τον τύπο:  $r_D \cong \frac{nV_T}{I}$  όπου  $V_T = 26 \text{ mV}$  και  $n=1$  για το γερμάνιο και  $n=2$  για το πυρίτιο, ενώ η θεωρητικές τιμές για την τάση αποκοπής  $V_\gamma$  είναι  $V_\gamma = 0,2$  για το γερμάνιο και  $V_\gamma = 0,5$  για το πυρίτιο, β) Η σύγκριση ενός θεωρητικού μεγέθους ( $\Theta$ ) με ένα πειραματικό ( $\Pi$ ) δίνεται από τη σχέση:  $\alpha(\%) = \left| \frac{(\Theta - \Pi)}{(\Theta)} \right| \times 100\%$  ]

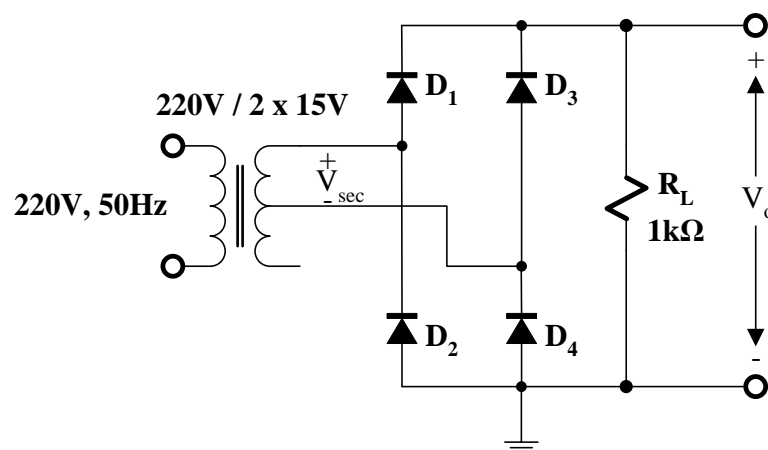
## ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 2: ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΔΙΟΔΩΝ ΕΠΑΦΗΣ pn

### Simulation version

#### 2.1 Ανορθωτής πλήρους κύματος

**2.1.1.a** Να συνδεθεί το κύκλωμα του Σχ. 2.1, χρησιμοποιώντας τις διόδους πυριτίου  $D_1=D_2=D_3=D_4=1N4007$ . [Στην προσομοίωση χρησιμοποιήστε την «default» δίοδο]

i) Να καταγραφούν οι κυματομορφές των τάσεων εισόδου  $V_{sec}$  και εξόδου,  $V_o$ , να καταχωρηθούν το πλάτος της τάσης καθώς και η συχνότητα κάθε κυματομορφής και να σχολιαστούν τα αποτελέσματα.



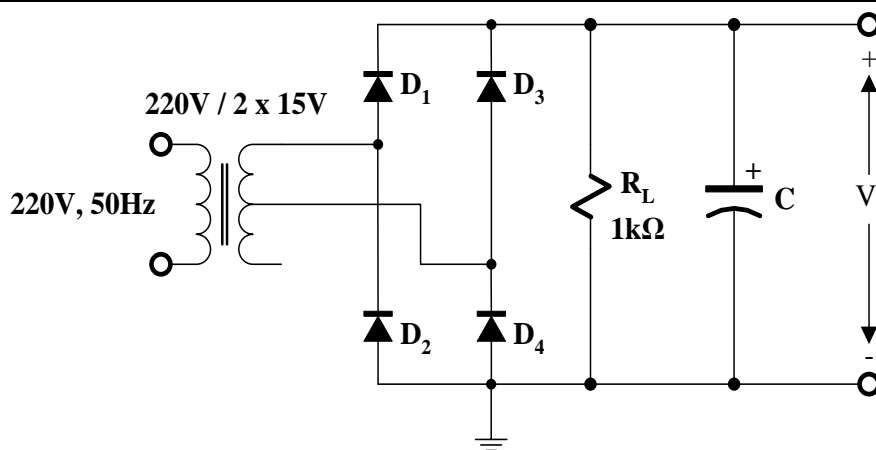
Σχ. 2.1

[Για το σπίτι]

**2.1.b** Να συνδεθεί ένας μεταβλητός ηλεκτρολυτικός πυκνωτής με εύρος χωρητικότητας από  $C=1\mu F$  έως  $C=500\mu F$  [κάνοντας χρήση του κατάλληλου slider στο πρόγραμμα προσομοίωσης] παράλληλα με την αντίσταση  $R_L$ , όπως φαίνεται στο Σχ. 2.2 να επαναληφθούν οι μετρήσεις του προηγούμενου βήματος για τις εξής τιμές χωρητικότητας:  $C=1\mu F$ ,  $51\mu F$ ,  $101\mu F$  και  $500\mu F$ .

i) Να σχολιαστούν τα αποτελέσματα.

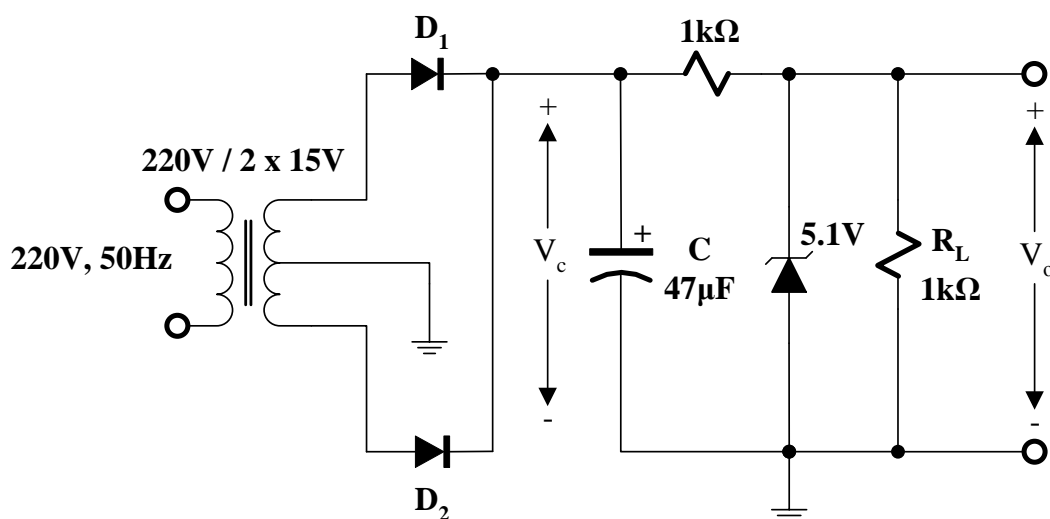
ii) Πώς επηρεάζει την τάση εξόδου,  $V_o$ , η επιλογή της τιμής του πυκνωτή εξόδου  $C$ ;



Σχ. 2.2

## 2.2 Η δίοδος Zener σε κύκλωμα ρυθμιστή τάσης

Να συνδεθεί το κύκλωμα του Σχ. 2.3 χρησιμοποιώντας μια δίοδο Zener [χρησιμοποιήστε την *default-zener* ( $5.6V$ ,  $r_z=15\Omega$ )], αντίσταση φορτίου  $R_L=1k\Omega$  και τις διόδους πυριτίου  $D_1=D_2=1N4007$  [*default diode*]. Να συνδεθεί ένας μεταβλητός ηλεκτρολυτικός πυκνωτής με εύρος χωρητικότητας από  $C=1\mu F$  έως  $C=500\mu F$  [κάνοντας χρήση του κατάλληλου *slider* στο πρόγραμμα προσομοίωσης], να καταγραφούν οι κυματομορφές των τάσεων  $V_c$  και  $V_o$  και να υπολογιστούν τα μεγέθη της τάσης και της συχνότητας καθώς και της τάσης κυμάτωσης της  $V_o$  για τις εξής τιμές χωρητικότητας:  $C=6\mu F$ ,  $51\mu F$ ,  $101\mu F$  και  $500\mu F$  και να σχολιαστούν τα αποτελέσματα.



Σχ. 2.3





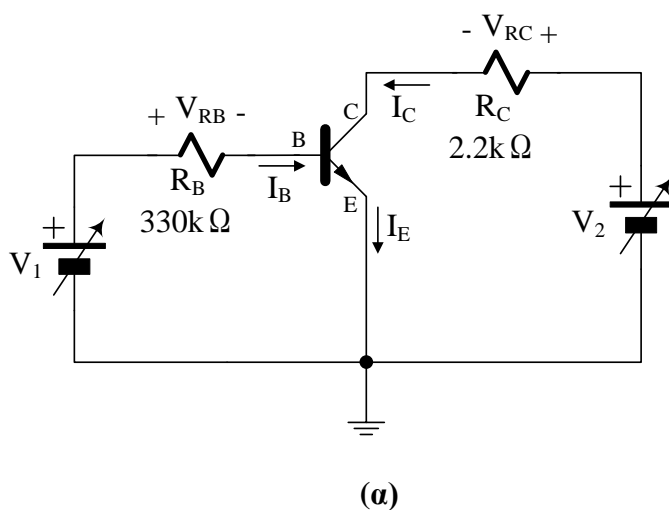
# ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 3: ΔΙΠΟΛΙΚΑ ΤΡΑΝΖΙΣΤΟΡ

## Simulation version

### 3.1 Προσδιορισμός των παραμέτρων άλφα ( $\alpha$ ) και βήτα ( $\beta$ ) ενός τρανζίστορ

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

- i. να ρυθμιστεί η πηγή  $V_1$  ώστε  $V_{RB}=3.3V$ ,
- ii. να ρυθμιστεί η πηγή  $V_2$  ώστε  $V_{CE}=2V$ ,
- iii. με το πολύμετρο στη θέση DC [Volt], να μετρηθούν οι τάσεις  $V_{RC}$  και  $V_{BE}$



Σχ. 3.1

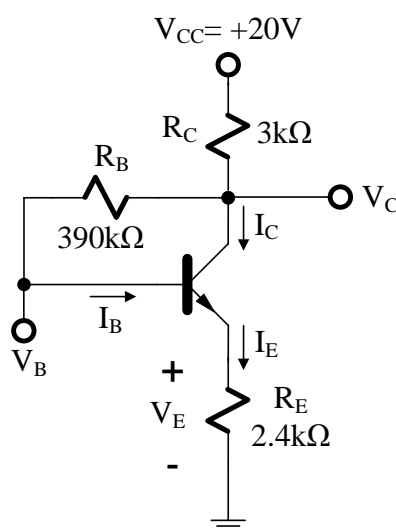
**Στην τελική αναφορά:**

Με βάση τις μετρήσεις, να υπολογιστούν οι τιμές των παραμέτρων  $I_C$ ,  $I_E$ ,  $\alpha$  και  $\beta$  και να συγκριθούν με τις θεωρητικές τιμές που προκύπτουν από την ανάλυση του κυκλώματος.

[Για το σπίτι]

### 3.2 Κύκλωμα πόλωσης με ανάδραση συλλέκτη-βάσης με $R_E$

Να συνδεθεί το κύκλωμα του Σχ. 3.2 χρησιμοποιώντας το τρανζίστορ 2N3904 [Ορίστε  $\beta=215$  στο τρανζίστορ του προσομοιωτή]. Στη συνέχεια, με το πολύμετρο στη θέση DC [Volt], να μετρηθούν οι τάσεις  $V_B$ ,  $V_C$  και  $V_E$ . [Μπορείτε να κάνετε «mouse over» στο τρανζίστορ]



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  $\beta$  του τρανζίστορ.
2. Χρησιμοποιώντας την τιμή του  $\beta$  που έχει υπολογιστεί στο παραπάνω βήμα, 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.

*[Για το σπίτι]*

### 3.3 Σχεδιασμός κυκλώματος πόλωσης με διαιρέτη τάσης και $R_E$

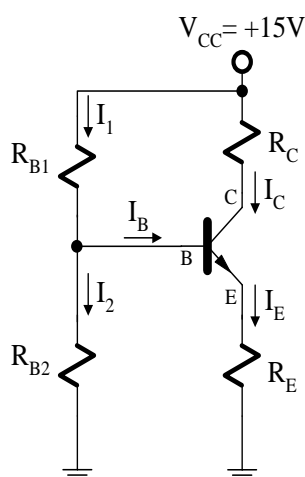
#### 3.3.1 Προεργασία

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 [ορίστε  $\beta=150$  στο τρανζίστορ του κυκλώματος] 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  $V_C$ .

**Στην τελική αναφορά:**

1. 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
2. Με βάση την τιμή του  $\beta$  του τρανζίστορ που είχατε να συγκριθεί με τη θεωρητική τιμή και να βρεθεί η % διαφορά θεωρώντας ως πειραματική την τιμή της προσομοίωσης.
3. Να υπολογιστεί θεωρητικά η % μεταβολή του  $I_C$  ( $\Delta I_C$ ) ως προς τη μεταβολή του  $\beta$  ( $\Delta \beta$ ) του τρανζίστορ.
4. Πώς επηρεάζει τη σχέση του ρεύματος συλλέκτη  $I_C$  με το  $\beta$  η επιλογή της τιμής του λόγου  $R_B/\beta R_E$ ;

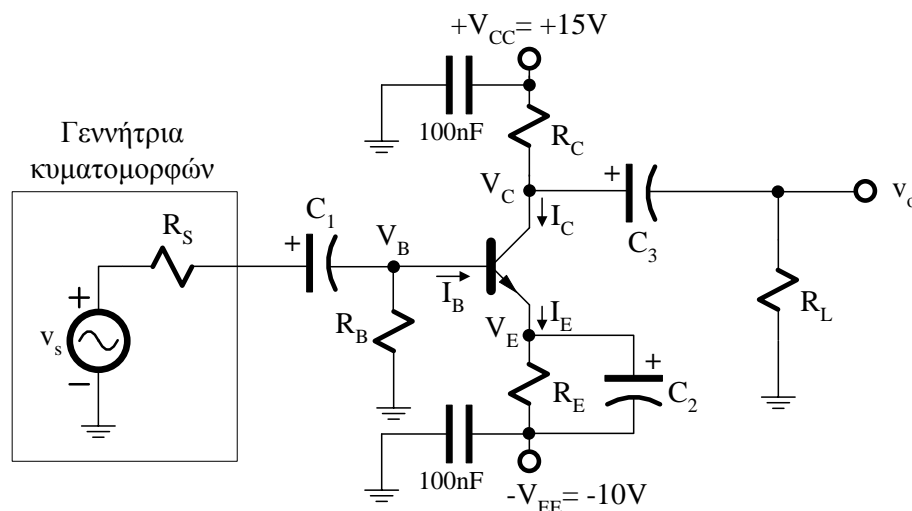
## ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 4: ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΔΙΠΟΛΙΚΩΝ ΤΡΑΝΖΙΣΤΟΡ

### Simulation version

#### 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  $R_S=50\text{ }\Omega$ .

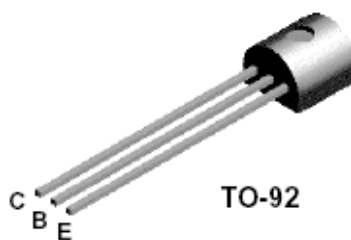
**ΠΡΟΣΟΧΗ:** Ένας ηλεκτρολυτικός πυκνωτής πρέπει να συνδέεται πάντα με τον ακροδέκτη + στη θετική τάση και τον ακροδέκτη – στην αρνητική τάση. Αντίστροφη σύνδεση μπορεί να προκαλέσει έκρηξη του πυκνωτή.



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  $R_L=10\text{ k}\Omega$  και να επαναληφθεί το προηγούμενο ερώτημα.

## 2N3904



Σχ. 4.2 Το τρανζίστορ 2N3904

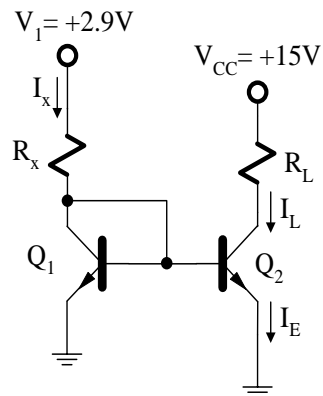
### Στην τελική αναφορά:

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  $I_E$  και να συγκριθούν με τις αντίστοιχες πειραματικές μετρήσεις και υπολογισμούς, σχολιάζοντας τυχόν διαφορές.
2. Θεωρώντας ότι το τρανζίστορ έχει  $\beta=120$  και τάση Early  $V_A=100V$ , να υπολογιστούν θεωρητικά οι παράμετροι ασθενούς σήματος  $g_m$ ,  $I_e$ ,  $r_\pi$  και  $r_o$  στο σημείο πόλωσης,
3. 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 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  $1k\Omega$ ,  $4k\Omega$ ,  $5k\Omega$ ,  $6.9k\Omega$ ,  $7.9k\Omega$ ,  $11k\Omega$ ,  $36k\Omega$ ,  $82k\Omega$  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

**Στην τελική αναφορά:**

1. Χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα της πειραματικής διαδικασίας, να υπολογιστεί το ρεύμα του φορτίου  $I_L$ , για κάθε τιμή της αντίστασης φορτίου  $R_L$ , να γίνει το πειραματικό διάγραμμα του ρεύματος φορτίου σε συνάρτηση με την αντίσταση φορτίου  $R_L$  και να σχολιαστεί η μορφή του διαγράμματος αν συμφωνεί με την θεωρία.
2. Να αναζητηθεί βιβλιογραφικά το είδος του συγκεκριμένου κυκλώματος και να περιγράψουν οι εφαρμογές του.

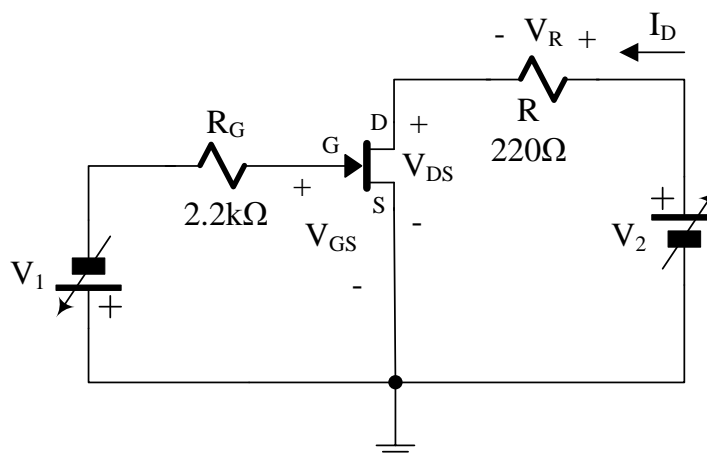


## ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 5: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΠΟΛΩΣΗ ΤΩΝ FET

### Simulation version

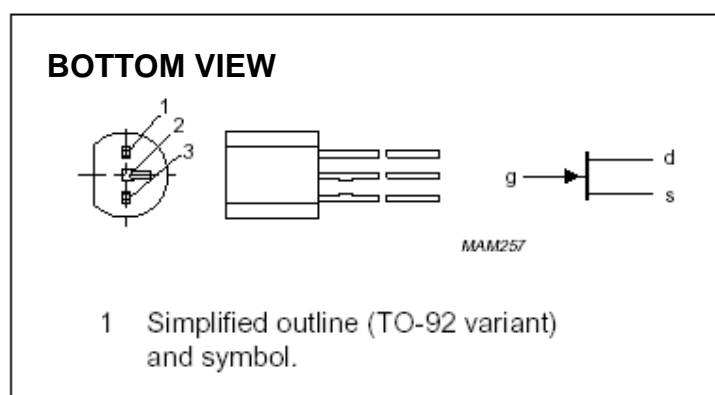
#### 5.1 Ρεύμα κορεσμού $I_{DSS}$ και τάση συμπίεσης $V_P$

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  $V_{DS}=4V$ .
- 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  $V_{DS}=4V$  (με ρύθμιση της  $V_2$ ), να ρυθμιστεί η τάση  $V_1$  ώστε  $V_R=5.5mV$ . Τότε  $I_D \sim 25\mu A$  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	-1.4	-2	-2.4	-3	-3.2
$V_{DS}$ (V)	$V_R$ (V)	$V_R$ (V)	$V_R$ (V)	$V_R$ (V)	$V_R$ (V)	$V_R$ (V)	$V_R$ (V)
0.1							
1.2							
1.6							
1.8							
2.2							
2.6							
3.1							
3.6							
3.8							
4							

- 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. 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  $V_{GS}$ .
3. 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.
4. Η διαγωγιμότητα (transconductance),  $g_m$ , ενός JFET ορίζεται ως εξής:

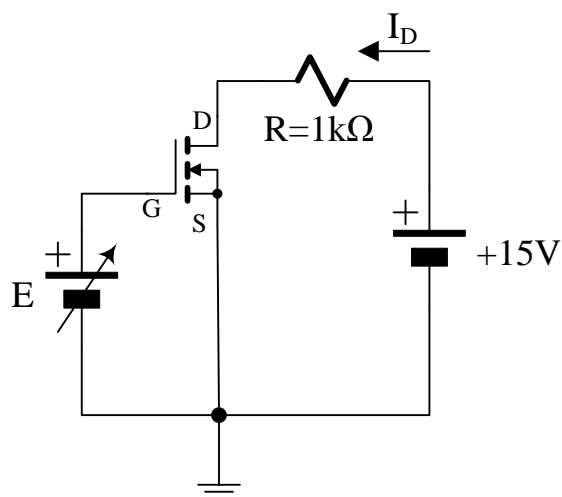
$$5. \quad g_m = \frac{dI_D}{dV_{GS}}$$

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  $V_{GS}$ .

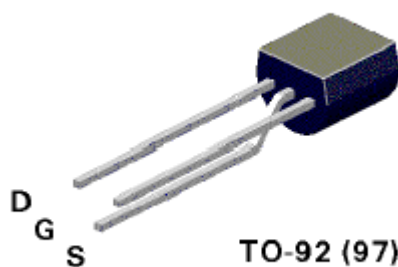
### 5.3 Η τάση κατωφλίου $V_T$ των MOSFET

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 100mV, που αντιστοιχεί σε ρεύμα υποδοχής  $I_D=100\mu A$  και να μετρηθεί η αντίστοιχη τάση  $V_{GS}$ . Η τάση αυτή είναι η τάση κατωφλίου,  $V_T$ , του MOSFET.



Σχ. 5.3



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)	100μA	0.9	2.5	4.9	8.1	12.1	14.2	14.4	14.5	14.6	14.7	14.8
$V_{GS}$ (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  $V_{GS}$ .

## ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 6: ΓΡΑΜΜΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΕΛΕΣΤΙΚΩΝ ΕΝΙΣΧΥΤΩΝ

### Simulation version

#### 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

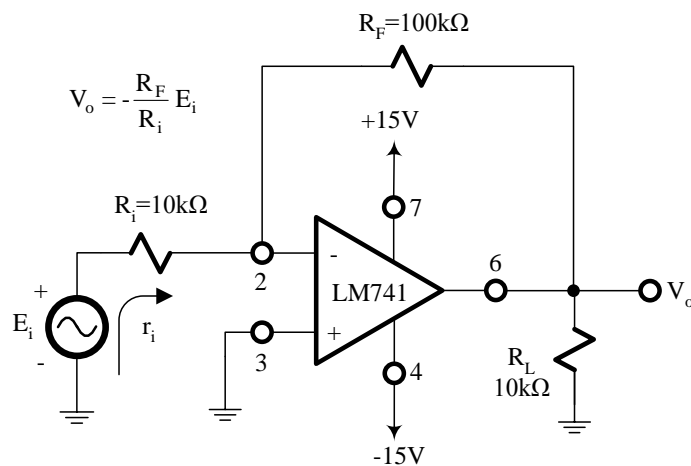
Ο T.E. χρησιμοποιείται επίσης σε πολλές άλλες γραμμικές εφαρμογές, όπως σε ενισχυτές μεγάλου εύρους ζώνης, σε ενισχυτές ακουστικών συχνοτήτων και σε όλων των ειδών τα φίλτρα.

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

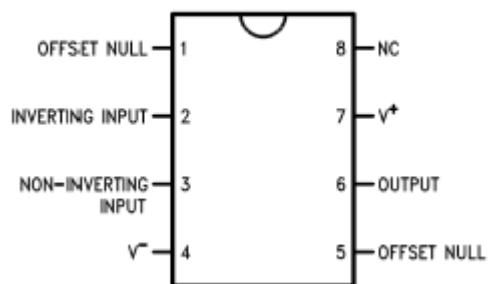
##### 6.2.1 Αναστρέφων ενισχυτής

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  $E_i=100$  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  $R=7.5$  kΩ 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:**

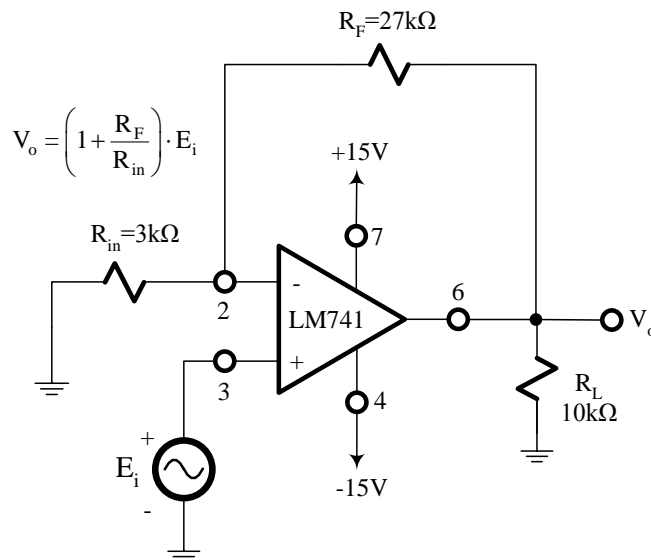
- i. Να σχεδιαστούν στο ίδιο διάγραμμα κυματομορφές εισόδου ( $E_i$ ) και εξόδου ( $V_o$ ).
- ii. Να συγκριθεί κέρδος τάσης  $A_v$  με την αντίστοιχη θεωρητική τιμή και να σχολιαστούν τυχόν διαφορές.
- iii. Να συγκριθεί η πειραματική τιμή της αντίστασης εισόδου  $r_i$  με την αντίστοιχη θεωρητική τιμή που προκύπτει θεωρώντας τον τελεστικό ενισχυτή ιδανικό και να σχολιαστούν τυχόν διαφορές.

**6.2.2 Μη-αναστρέφων 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:  $A_v = \frac{V_o(\text{peak-to-peak})}{E_i(\text{peak-to-peak})}$ .



Σχ. 6.3

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

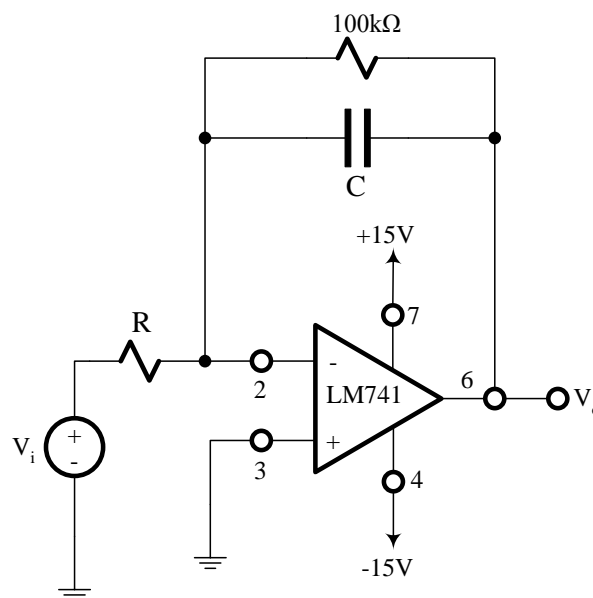
**Σημείωση:** Να χρησιμοποιηθεί η ίδια μέθοδος όπως στο μέρος 6.2.1 με τη διαφορά ότι τώρα  $R=5.1\text{ M}\Omega$  και το πλάτος της τάσης εισόδου είναι 500 mV peak.

**Στην τελική αναφορά:**

- i. Να σχεδιαστούν στο ίδιο διάγραμμα κυματομορφές εισόδου ( $E_i$ ) και εξόδου ( $V_o$ ).
- ii. Να συγκριθεί κέρδος τάσης  $A_v$  με την αντίστοιχη θεωρητική τιμή και να σχολιαστούν τυχόν διαφορές.
- iii. 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.

**Σχ. 6.4****Στην τελική αναφορά:**

Να σχεδιαστούν στο ίδιο διάγραμμα κυματομορφές εισόδου ( $E_i$ ) και εξόδου ( $V_o$ ) και να σχολιαστεί η μορφή των κυματομορφών αν συμφωνεί με την θεωρία.



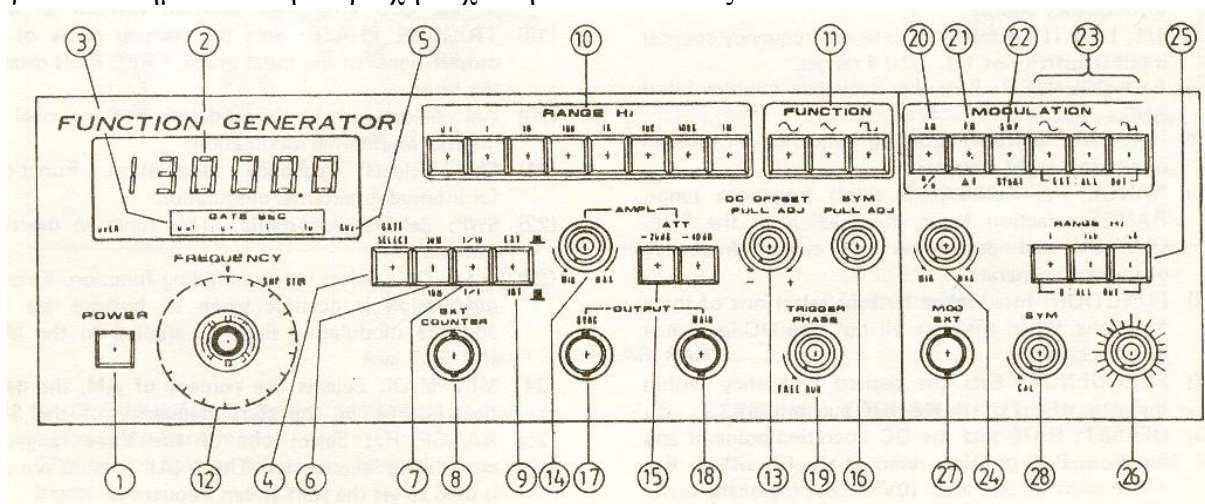
## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ: ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΚΑΙ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΟΡΓΑΝΩΝ

### 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. Π1.1) χρησιμοποιείται για την παραγωγή ημιτονοειδών, τριγωνικών και τετραγωνικών σημάτων στην περιοχή συχνοτήτων 0.1 Hz έως 13 MHz.



Σχ. Π1.1 Η γεννήτρια κυματομορφών.

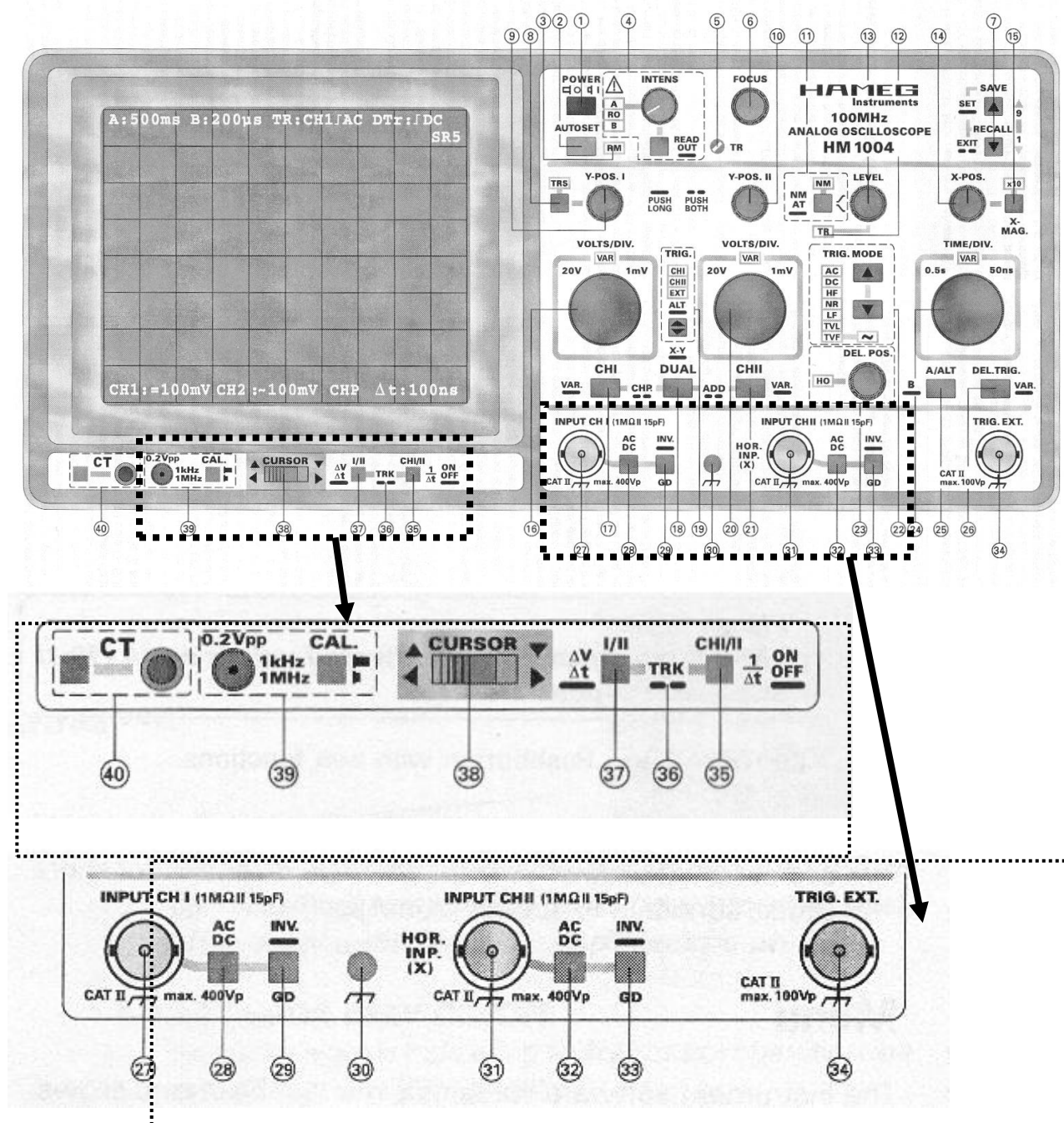
Η τάση εξόδου παράγεται στην έξοδο MAIN [18] και μπορεί να μεταβληθεί στην περιοχή 0V έως 10V peak-to-peak, με φορτίο 50 Ohm, ενώ το DC επίπεδο της εξόδου μπορεί να μεταβληθεί στην περιοχή  $\pm 10V$  χρησιμοποιώντας το ρυθμιστικό ελέγχου [13]. Η συνολική τάση εξόδου [DC offset + AC peak] δεν θα πρέπει 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. Π.1.2 Ο παλμογράφος HM1005 (Hameg).

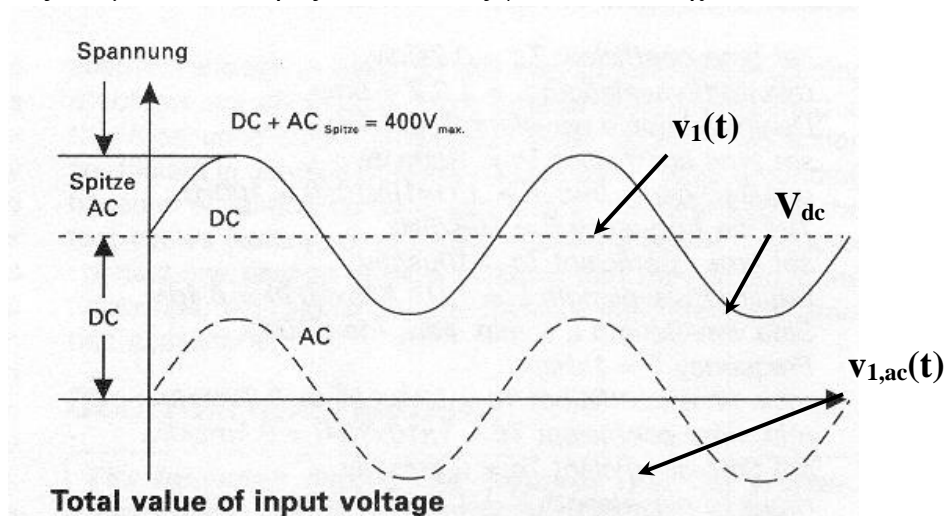
Το σήμα  $v_1(t)$  του Σχ. 1.3 περιγράφεται μαθηματικά ως εξής:

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

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

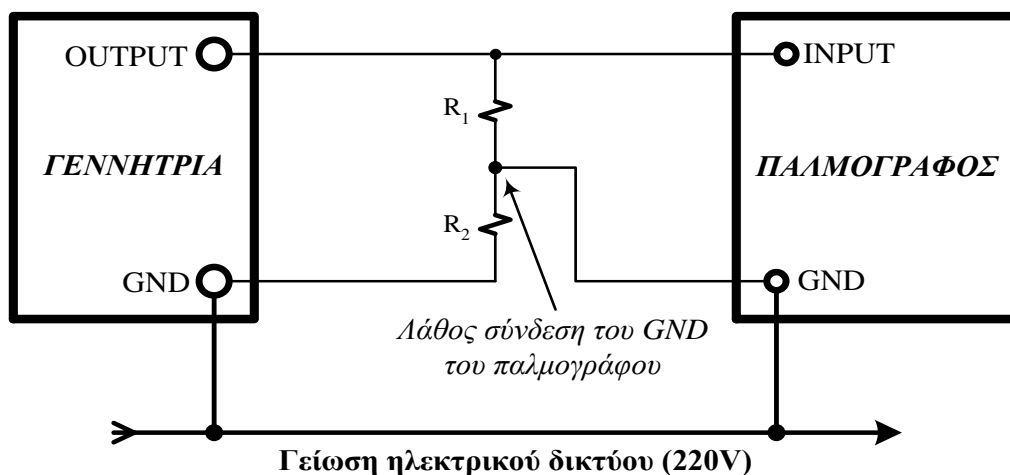
$A$ ,  $f$  είναι το πλάτος και η συχνότητα, αντίστοιχα, του ημιτονοειδούς όρου  $v_{1,ac}(t)$ .

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.Π. 1.3.



Σχ. Π.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. Π.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.

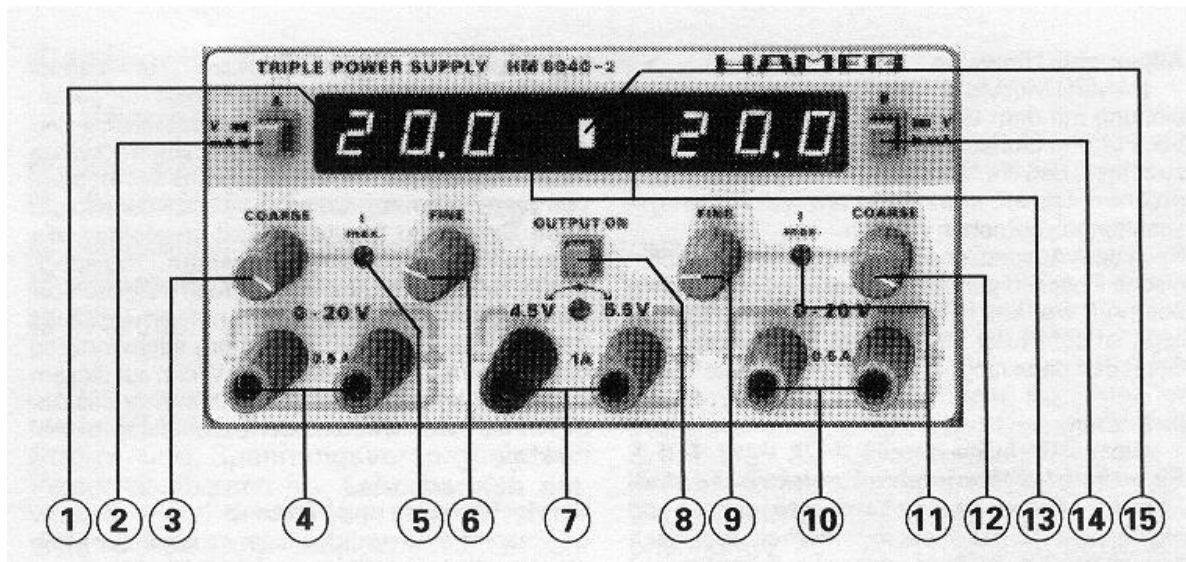


Σχ. Π.1.4 Βρόχος γείωσης εξαιτίας γειωμένων συσκευών.



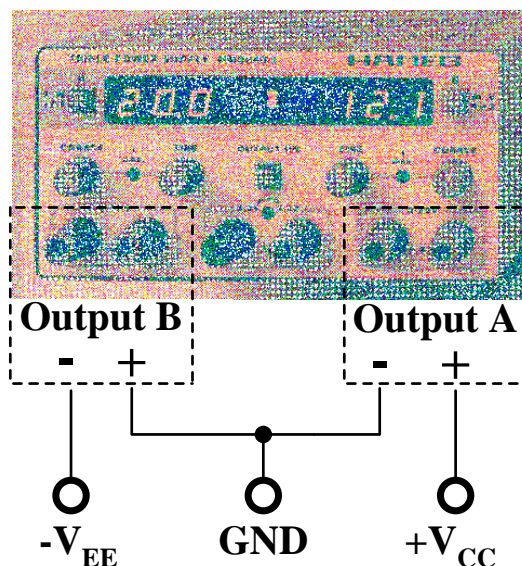
### Π.1.1.3 Το τροφοδοτικό

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

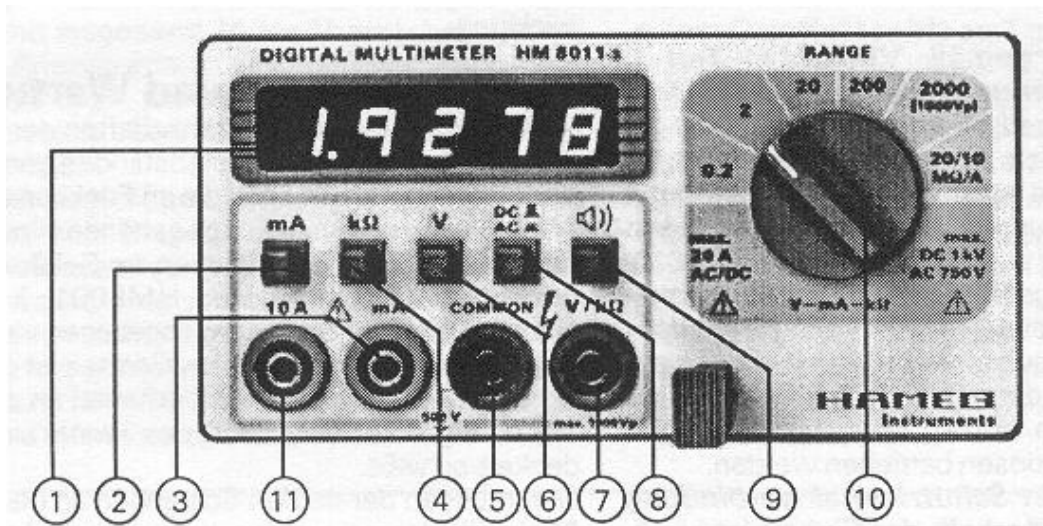
Οι 3 τάσεις εξόδου του τροφοδοτικού είναι ανεξάρτητες: δεν έχουν ηλεκτρική σύνδεση μεταξύ τους ούτε με τη γείωση του ηλεκτρικού δικτύου (floating). Για την παραγωγή δύο τάσεων τροφοδοσίας με κοινή γείωση (GND) και τιμές  $+V_{CC}$  (θετική) και  $-V_{EE}$  (αρνητική), αντίστοιχα, τότε οι δύο εξοδοί του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



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

### Π.1.1.4 Το ψηφιακό πολύμετρο

Το ψηφιακό πολύμετρο HM8011-3 (Σχ. Π.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. Π.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. Π.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

$$v_{1,ac}(t) = A \cdot \sin(2\pi ft) \text{ και θα είναι ίση με } V_{1,ac,rms} = \frac{A}{\sqrt{2}}.$$

### Π.1.1.5 Τυποποιημένες σειρές τιμών αντιστάσεων και χρωματικός κώδικας

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  $\pm 5\%$ ).

Ο χρωματικός κώδικας των αντιστάσεων δίνεται στον παρακάτω πίνακα.

ΚΩΔΙΚΑΣ ΧΡΩΜΑΤΩΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΩΝ				
	1ο	2ο	3ο	4ο
	====	0	x 1	10 % ΑΣΗΜΙ
ΚΑΦΕ	1	1	x 10	5 % ΧΡΥΣΟ
ΚΟΚΚΙΝΟ	2	2	x 100	
ΠΟΡΤΟΚΑΛΙ	3	3	x 1.000	
ΚΙΤΡΙΝΟ	4	4	x 10.000	
ΠΡΑΣΙΝΟ	5	5	x 100.000	
ΜΠΛΕ	6	6	x 1.000.000	
ΜΩΒ	7	7	: 10	
ΓΚΡΙ	8	8	ΧΡΥΣΟ	
ΑΣΠΡΟ	9	9		

2ο ΨΗΦΙΟ

1ο ΨΗΦΙΟ

3ο ΨΗΦΙΟ  
(Πολλαπλασιαστής)

4ο ΨΗΦΙΟ  
(Ανοχή)

## 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.