

**ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΕΘΝΙΚΗΣ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ  
ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ**

**Ν. Γ. ΘΕΟΦΑΝΟΥΣ      Χ. Δ. ΚΑΝΕΛΛΟΠΟΥΛΟΣ  
Σ. Α. ΠΑΚΤΙΤΗΣ**

# **ΑΝΑΛΟΓΙΚΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ**

Μέρος Β' Εργαστήριο

**ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΕΚΔΟΣΕΩΣ ΔΙΔΑΚΤΙΚΩΝ ΒΙΒΛΙΩΝ**

ΑΘΗΝΑ

#### ΟΜΑΔΑ ΣΥΓΓΡΑΦΗΣ

- **Ν. Γ. Θεοφάνους,**  
*Καθηγητής Πανεπιστημίου Αθηνών.*
- **Χ. Δ. Κανελλόπουλος,**  
*Φυσικός-Ραδιοηλεκτρολόγος, Ph. D., S. Illinois Univ. Σύμβουλος Π.Ι.*
- **Σ. Α. Πακτίτης,**  
*B. Sc. (Tech.), P. G.Dip., M. Phill., AMIEE, Επίκ. Καθηγητής ΤΕΙ Αθήνας.*

#### ΟΜΑΔΑ ΚΡΙΣΗΣ

- Αναγνώστου Σταμάτιος, Φυσικός-Ραδ/ηλεκ, Καθηγητής Δ/θμιας Εκπαίδευσης.
- Αθανάσιος Μουλάς, Ηλεκτρονικός, Καθηγητής Δ/θμιας Εκπαίδευσης.
- Γεώργιος Μουστάκας, Ηλεκτρονικός, Καθηγητής Δ/θμιας Εκπαίδευσης.

#### ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

- Δήμητρα Μηλιώνη, Δημόσιος Υπάλληλος.

#### ΓΛΩΣΣΙΚΗ ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ

- Νταραρά Μαρία, Φιλολόγος, Καθηγήτρια Δ/θμιας Εκπαίδευσης

#### ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΞΩΦΥΛΛΟΥ & ΠΡΟΕΚΤΥΠΩΣΗ ΒΙΒΛΙΟΥ

##### ΣΥΝΘΕΣΗ

ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ  
Επιστημονικός Υπεύθυνος του τομέα «ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ»,  
Δρ. ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΣ ΔΗΜ. ΚΑΝΕΛΛΟΠΟΥΛΟΣ (PH.D)  
(Σύμβουλος του Παιδαγωγικού Ινστιτούτου)

Με απόφαση της Ελληνικής Κυβερνήσεως τα διδακτικά βιβλία του Δημοτικού, του Γυμνασίου και του Λυκείου τυπώνονται από τον Οργανισμό Εκδόσεων Διδακτικών Βιβλίων και διανέμονται δωρεάν.

## — ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ —

Τεχνική Έκθεση .....	5
Σύστημα Πινακίδων Breadboard .....	6
Άσκηση 1η .....	7
ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΑΣΗΣ	
Άσκηση 2η .....	10
ΠΑΛΜΟΓΡΑΦΟΣ	
Άσκηση 3η .....	16
ΕΝΙΣΧΥΤΗΣ AC	
Άσκηση 4η .....	19
ΔΙΑΦΟΡΙΚΟΣ ΕΝΙΣΧΥΤΗΣ ΜΕ ΔΙΑΚΡΙΤΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	
Άσκηση 5η .....	22
ΕΝΙΣΧΥΤΗΣ ΜΕ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΑΝΑΣΥΖΡΥΞΗΣ $R_E$	
Άσκηση 6η .....	25
ΕΝΙΣΧΥΤΗΣ 2 ΒΑΘΜΙΔΩΝ ΑΡΝΗΤΙΚΗΣ ΑΝΑΣΥΖΕΥΞΗΣ	
Άσκηση 7η .....	27
ΑΝΑΣΤΡΕΦΩΝ ΕΝΙΣΧΥΤΗΣ AC ΜΕ ΤΕ	
Άσκηση 8η .....	29
ΜΗ ΑΝΑΣΤΡΕΦΩΝ ΕΝΙΣΧΥΤΗΣ AC ΜΕ ΤΕ	
Άσκηση 9η .....	32
ΑΘΡΟΙΣΤΗΣ ΚΑΙ ΑΦΑΙΡΕΤΗΣ ΜΕ ΤΕ	
Άσκηση 10η .....	35
ΟΛΟΚΛΗΡΩΤΗΣ	
Άσκηση 11η .....	40
ΔΙΑΦΟΡΙΣΤΗΣ	
Άσκηση 12η .....	43
ΣΥΝΤΟΝΙΖΟΜΕΝΟΣ ΕΝΙΣΧΥΤΗΣ ΜΕ ΤΕ	
Άσκηση 13η .....	46
ΦΙΛΤΡΟ ΧΣ 1ου ΒΑΘΜΟΥ	
Άσκηση 14η .....	49
ΦΙΛΤΡΟ ΥΣ 1ου ΒΑΘΜΟΥ	
Άσκηση 15η .....	52
ΦΧΣ 2ου ΒΑΘΜΟΥ Sallen-Key με ενίσχυση	
Άσκηση 16η .....	55
ΦΥΣ 2ου ΒΑΘΜΟΥ Sallen-Key με ενίσχυση	
Άσκηση 17η .....	58

ΦΙΛΤΡΟ ΣΤΕΝΗΣ ΖΩΝΗΣ ΔΙΕΛΕΥΣΗΣ	
Άσκηση 18η .....	61
ΦΙΛΤΡΟ ΣΤΕΝΗΣ ΖΩΝΗΣ ΑΠΟΚΟΠΗΣ	
Άσκηση 19η .....	64
ΤΑΛΑΝΤΩΤΗΣ COLPITTS	
Άσκηση 20η .....	67
ΤΑΛΑΝΤΩΤΗΣ CLAPP	
Άσκηση 21η .....	70
ΤΑΛΑΝΤΩΤΗΣ HARTLEY	
Άσκηση 22η .....	72
ΤΑΛΑΝΤΩΤΗΣ WIEN	
Άσκηση 23η .....	74
ΤΑΛΑΝΤΩΤΗΣ ΜΕΤΑΘΕΣΗΣ ΦΑΣΗΣ	
Άσκηση 24η .....	77
ΤΑΛΑΝΤΩΤΗΣ ΜΕ ΚΡΥΣΤΑΛΛΟ	
Άσκηση 25η .....	79
ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΩΝ ΠΑΛΜΩΝ ΜΕ ΤΟ 555	
Άσκηση 26η .....	81
ΔΙΕΓΕΡΤΗΣ SCHMITT ΜΕ ΤΟ 555	
Άσκηση 27η .....	83
ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑΣ ΤΑΣΗΣ/ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ (VCO)	
Άσκηση 28η .....	85
ΕΝΙΣΧΥΤΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΜΕ ΤΕ ΚΑΙ BJT	

## – Πρόλογος –

Στο δεύτερο Τεύχος του βιβλίου δίνονται οι εργαστηριακές ασκήσεις που θα πραγματοποιήσει ο σπουδαστής για να εμπεδώσει στην πράξη τη θεωρία του πρώτου Τεύχους.

Πριν να πραγματοποιήσει την κάθε εργαστηριακή άσκηση πρέπει να μελετήσει πάλι καλά τη θεωρία της ανατρέχοντας στο πρώτο Τεύχος του βιβλίου.

Οι συγγραφείς



## Η Τεχνική Έκθεση

Σε αυτό το σύντομο κείμενο δίνουμε μερικούς βασικούς κανόνες για το πως γράφεται και παρουσιάζεται η τεχνική έκθεση της εργαστηριακής σας άσκησης, πράγμα που είναι βασικός παράγοντας για να κάνετε σωστή εργασία στο εργαστήριο.

Ενημερωθείτε πολύ καλά για το σκοπό του πειράματος που πρόκειται να κάνετε. Αυτό σημαίνει ότι έχετε **μελετήσει πολύ καλά** το θεωρητικό μέρος της άσκησης πριν την κάνετε. Μη βασίζεστε μόνο στις περιληπτικές πληροφορίες που θα βρείτε - τις περισσότερες φορές - στο εργαστηριακό σας βιβλίο. Ανατρέξτε και στο θεωρητικό μέρος του βιβλίου σας ή σε οποιοδήποτε κατάλληλο βιβλίο που πραγματεύεται σωστά το θέμα.

Ένας καλός τρόπος για να οργανώσετε τις μετρήσεις του πειράματος είναι να έχετε δύο τετράδια σημειώσεων· ένα για να γράφετε τις μετρήσεις που θα παίρνετε στο εργαστήριο κι ένα άλλο, το **επίσημο**, που θα δίνετε στον υπεύθυνο του εργαστηρίου το οποίο βαθμολογείται και σας επιστρέφεται.

Η παράδοση της τεχνικής έκθεσης κάθε εργαστηριακής άσκησης θα γίνεται **αμέσως** κατά την προσέλευση σας για την επόμενη άσκηση.

Κάθε μαθητής οφείλει να ξέρει καλά το θέμα της άσκησης, γιατί εξετάζεται και βαθμολογείται σε κάθε άσκηση από τον υπεύθυνο του εργαστηρίου.

Σχεδιάστε με προσοχή κάθε **κύκλωμα** που χρησιμοποιείτε. Βεβαιωθείτε ότι κάνετε σωστά τη συνδεσμολογία. Σφάλματα συνδεσμολογίας έχουν περάσει απαρατήρητα και οι μαθητές έχουν πάρει “σωστές” μετρήσεις με εσφαλμένες συνδεσμολογίες και όργανα!

Οι συσκευές που χρησιμοποιείτε είναι συχνά διαφορετικές από αυτές των άλλων μαθητών και μπορεί έτσι να έχετε διαφορετικά αποτελέσματα. Π.χ. μπορείτε να ξέρετε την επίδραση που έχει ένα βολτόμετρο όταν συνδεθεί στο συλλέκτη ενός τρανζίστορ; Επίσης, ποια είναι η αντίσταση εισόδου ενός παλμογράφου που χρησιμοποιείτε. Ακόμα ποια επίδραση θα έχει η χωρητικότητα εισόδου του σε έναν ταλαντωτή του οποίου παρατηρείτε την κυματομορφή;

Όταν γράφετε την τεχνική έκθεση, αναφέρατε κατ’ αρχή το σκοπό της, τις συσκευές που χρησιμοποιήσατε, τον κατασκευαστή της, καθώς και τον αύξοντα αριθμό της συσκευής.

Μετά από μια σύντομη θεωρητική περιγραφή της άσκησης, θα πρέπει να δώσετε λεπτομερώς τις μετρήσεις σας τα αποτελέσματα και τις καμπύλες.

Τέλος, θα πρέπει να κλείσετε την τεχνική σας έκθεση με μια σύντομη σύνοψη της άσκησης με τα συμπεράσματα που βγάλατε από το πείραμα.

## Σύστημα Πινακίδων Breadboard

Όλες οι εργαστηριακές ασκήσεις γίνονται πάνω σε πινακίδες breadboard.

Ο καθηγητής σας θα σας ενημερώσει για τα χαρακτηριστικά και τη χρήση των breadboard.

Πριν αρχίσετε ένα πείραμα σας συνιστούμε να κάνετε τα εξής:

1. Σχεδιάστε εκ των προτέρων το πείραμά σας. Θα πρέπει να γνωρίζετε λίγο-πολύ τα αποτελέσματα που περιμένετε.
2. Συνδεσμολογήστε το κύκλωμά σας. Ελέξτε το για τη σωστή του συνδεσμολογία.
3. Τροφοδοτείστε το κύκλωμα με τάση παροχής.
4. Όταν τελειώσετε το πείραμα, αποσυνδέστε πρώτα την τάση παροχής πριν βγάλετε τα εξαρτήματα από το breadboard.

Τα εργαλεία που θα χρησιμοποιήσετε για τα πειράματά σας είναι τα εξής:

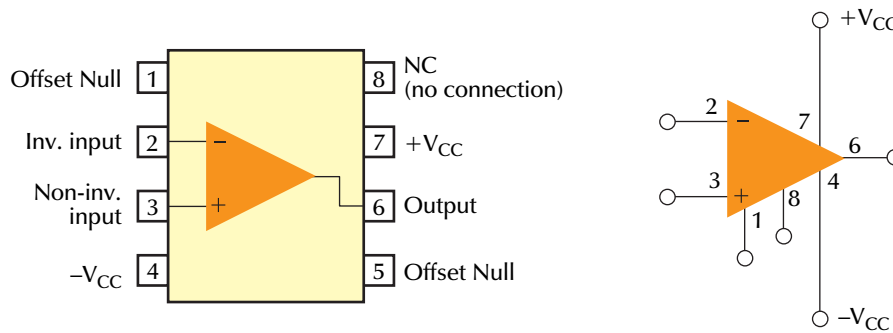
1. Μυτοτσιμπίδο.
  2. Γδάρτης καλωδίων.
  3. Μικρό κατσαβίδι.
  4. Εξολκέας ολοκληρωμένων κυκλωμάτων.
  5. Καλώδια Νο.22, 24 ή 26, μονωμένα, μονόκλινα.
  6. Μπροσέλα.
- Οι καλωδιώσεις πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο μικρές, για να μη συγκεντρώνουν θόρυβο.
  - Ποτέ να μην εισάγετε γυρισμένα καλώδια, αλλά μόνο ίσια, στις τρύπες του breadboard επειδή καταστρέφονται.



Συσκευές και Υλικά:

Για τα πειράματά σας θα χρειαστείτε έναν παλμογράφο δύο καναλιών και μια γεννήτρια ακουστικών συχνοτήτων ή γεννήτρια κυματομορφών, πολλά τρανζίστορ πολλούς TE 741, αντιστάσεις και πυκνωτές. Σε κάθε άσκηση δίνεται ότι άλλο χρειάζεται.

Το πιο κάτω σχήμα δείχνει τους ακροδέκτες του TE 741.



Ακροδέκτες του TE 741.

## Άσκηση 1η

### ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΑΣΗΣ

#### Ε1.1 Σκοπός

Σκοπός του πειράματος αυτού είναι η εκμάθηση της λήψης μετρήσεων και υπολογισμού των σφαλμάτων τάσεων με πολύμετρο (VOM), με παλμογράφο (CRO) και με ηλεκτρονικό (HB) ή ψηφιακό βολτόμετρο (ΨΒ). Να υπολογίσουμε και να κατασκευάσουμε επίσης έναν υποβιβαστή dc ενός ηλεκτρονικού οργάνου μέτρησης.

#### Ε1.2 Συσκευές

1. Διαιρέτης dc τάσης.
2. Όργανα VOM, CRO, HB ή ΨΒ.

#### Ε1.3 Θεωρητικό Υπόβαθρο

##### 1ο Μέρος

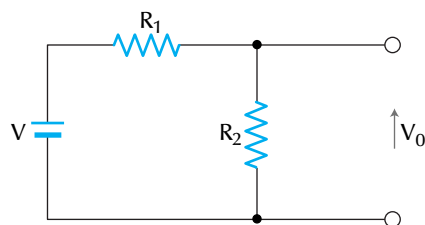
Ένα από τα βασικά σημεία που πρέπει να προσέχουμε κατά τη μέτρηση τάσεων είναι η **φόρτωση της πηγής**. Κάθε στοιχείο που τραβάει ρεύμα από μια πηγή τάσης ονομάζεται **φορτίο ή φόρτος αυτής**. Όργανα μετρήσεων όπως τα VOM, CRO, HB και ΨΒ αποτελούν σημαντικό φορτίο για την πηγή στην οποία θα κάνουμε μέτρηση. Το σφάλμα μέτρησης βρίσκεται από τη σχέση:

$$\varepsilon \% = \frac{V_{\text{πραγ}} - V_{\text{μετρ}}}{V_{\text{πραγ}}} \times 100 \quad (\text{Ε1-1})$$

όπου

$V_{\text{πραγ}}$  η πραγματική τιμή της τάση που πρόκειται να μετρήσουμε  
 $V_{\text{μετρ}}$  η τιμή της τάσης μετρούμενη από το όργανο.

Το Σχ.Ε1.1 δείχνει το διαιρέτη dc τάσης.



Σχ.Ε1.1. Υποβιβαστής dc τάσης.

Η πραγματική τιμή της υπό μέτρησης τάσης, θα είναι:

$$V_{\text{πραγ}} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V \quad (\text{E1.1})$$

Η μετρούμενη τιμή εξαρτάται από την εσωτερική αντίσταση του οργάνου. Για τα VOM, η **εσωτερική αντίσταση** του οργάνου βρίσκεται από τη σχέση:

$$r_m = S_{dc} \times V_{fs} \quad (\text{E1.2})$$

όπου

$r_m$  η εσωτερική αντίσταση του οργάνου.

$S_{dc}$  η ευαισθησία του οργάνου στο dc, η οποία αναγράφεται στην πρόσοψη του.

$V_{fs}$  Η μέγιστη τιμή της κλίμακας στην οποία εργαζόμαστε.

Για το HB, είτε αναλογικό είτε ψηφιακό, καθώς και για τον CRO, η εσωτερική του αντίσταση δίνεται από τον κατασκευαστή στην πρόσοψη του οργάνου.

Η θεωρητική τιμή της μετρούμενης τάσης είναι:

$$V_{\text{μετρ}} = \frac{R_2'}{R_1 + R_2'} V \quad (\text{E1.4})$$

με

$$R_2' = R_2 // r_m \quad (\text{E1.5})$$

όπου  $r_m$  είναι η εσωτερική αντίσταση του οργάνου μέτρησης τάσης (VOM, CRO, HB ή ΨΒ).

Από τις Εξ.(E1.4), (E1.2) και (E1.1) υπολογίζουμε θεωρητικά το σφάλμα μέτρησης.

### 2ο Μέρος

Οποιοδήποτε όργανο μέτρησης dc τάσης (VOM, CRO, HB, ΨΒ) έχει στην είσοδό του έναν **υποβιβαστή** dc (Σχ.Ε1.2) για να έχει τη δυνατότητα να μετράει σε διάφορες περιοχές τιμών. Με δεδομένη τη συνολική αντίσταση  $R_0$  ( $R_1 + R_2 + \dots + R_5$ ) και τις περιοχές του οργάνου μπορούμε να υπολογίσουμε τον κατάλληλο υποβιβαστή. Στο δεύτερο μέρος της εκτέλεσης της άσκησης θα υπολογίσουμε έναν τέτοιο υποβιβαστή.

## Ε1.4 ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ

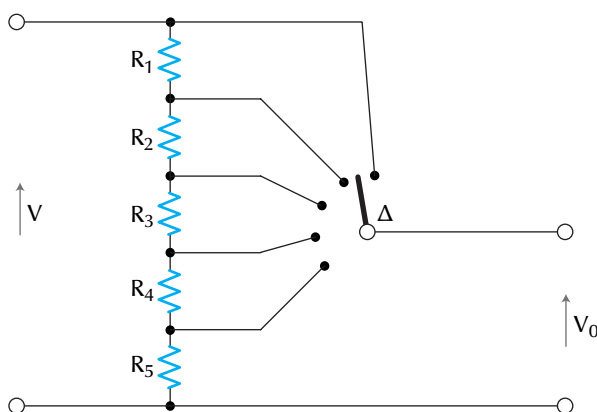
### 1ο Μέρος

1. Πραγματοποιείτε το κύκλωμα του Σχ.Ε1.1 με τις εξής τιμές:

$$V = 12V,$$

$$R_1 = 27 \text{ ΚΩ},$$

$$R_2 = 56 \text{ ΚΩ}$$



Σχ.Ε1.2. Υποβιβαστής dc του οργάνου.

2. α) Χρησιμοποιώντας VOM, μετρείστε την τάση  $V_{0\text{μετ}}$ .  
 β) Υπολογίστε το πειραματικό σφάλμα μέτρησης.  
 γ) Υπολογίστε θεωρητικά το σφάλμα μέτρησης.  
 δ) Συγκρίνετε το πειραματικό με το θεωρητικό σφάλμα μέτρησης και δικαιολογείτε το αποτέλεσμα αν υπάρχουν αποκλίσεις.
3. α) Χρησιμοποιώντας CRO, μετρείστε την τάση  $V_{0\text{μετ}}$  στην έξοδο του διαιρέτη.  
 β) Υπολογίστε το σφάλμα μέτρησης.

- γ) Υπολογίστε θεωρητικά το σφάλμα μέτρησης.
  - δ) Συγκρίνετε το σφάλμα στις δυο περιπτώσεις και δικαιολογείτε το αποτέλεσμα αν υπάρχουν αποκλίσεις.
4. α) Χρησιμοποιώντας ΗΒ, μετρείστε την τάση  $V_0$  στην έξοδο του διαιρέτη.
- β) Υπολογίστε το σφάλμα μέτρησης.
  - γ) Υπολογίστε θεωρητικά το σφάλμα μέτρησης.
  - δ) Συγκρίνετε το σφάλμα μέτρησης και στις δυο περιπτώσεις και δικαιολογείτε το αποτέλεσμα αν υπάρχουν αποκλίσεις.
5. Γράψτε τα συμπεράσματά σας.

#### 2ο Μέρος

6. Αν η είσοδος του υποβιβαστή του Σχ.Ε1.2 είναι 10 V και το άθροισμα  $R_0$  των αντιστάσεων είναι 1 ΜΩ, υπολογίστε τον υποβιβαστή για τις περιοχές 10 V, 5 V, 2 V και 1 V (θέσεις 1,2,..., 5, αντίστοιχα).
7. Υπολογίστε το σφάλμα σε κάθε περίπτωση χρησιμοποιώντας ΗΒ ή ΨΒ. Μετρείστε τις τάσεις του.
8. Γράψτε τα συμπεράσματά σας.

## Άσκηση 2η

### ΠΑΛΜΟΓΡΑΦΟΣ

#### E2.1 Σκοπός

- α) Η εκμάθηση της χρήσης του παλμογράφου (CRO).
- β) Να χαράξετε πειραματικά και θεωρητικά την καμπύλη απόκρισης και φάσης ενός απλού δικτυώματος RC.

#### E2.2 Συσκευές

- 1. Πινακίδα breadboard.
- 2. Γεννήτρια χαμηλών συχνοτήτων (Χ.Σ.).
- 3. Παλμογράφος διπλής δέσμης.

#### E2.3 Θεωρητικό Υπόβαθρο

Ο παλμογράφος είναι ίσως το πιο σημαντικό όργανο του εργαστηρίου. Το Σχ. E2.1 δείχνει το δομικό του διάγραμμα. Αποτελείται από έναν **ενισχυτή κατακόρυφων πλακιδίων** και από έναν **οριζόντιων πλακιδίων** τα οποία συνδέονται με τα κατακόρυφα και οριζόντια πλακίδια του καθοδικού σωλήνα (CRT). Επίσης περιλαμβάνει μια γεννήτρια σάρωσης, η οποία δίνει γραμμική τάση σάρωσης και ένα **τροφοδοτικό υψηλής τάσης**, το οποίο τροφοδοτεί τον CRT. Υπάρχει άλλο ένα **τροφοδοτικό χαμηλής τάσης** (δε φαίνεται στο δομικό διάγραμμα) το οποίο τροφοδοτεί όλα τα υπόλοιπα κυκλώματα.

Το υπό μέτρηση σήμα εφαρμόζεται στην είσοδο (Y) του ενισχυτή κατακόρυφης απόκλισης (οριζοντίων πλακιδίων). Ο ενισχυτής αυτός ενισχύει το πλάτος του υπό μέτρηση σήματος, ώστε να προκαλέσει απόκλιση της ηλεκτρονικής δέσμης του ηλεκτρονικού πυροβόλου του CRT. Ένα μέρος του ενισχυμένου σήματος χρησιμοποιείται για τη δημιουργία ενός παλμού που διεγείρει τη γεννήτρια σάρωσης, ώστε να συγχρονίζει τη γεννήτρια σάρωσης με την κυματομορφή εισόδου για να είναι η κυματομορφή σταθερή (να μην κινείται στην οθόνη). Η έξοδος της γεννήτριας σάρωσης ενισχύεται και εφαρμόζεται στα πλακίδια οριζόντιας απόκλισης.

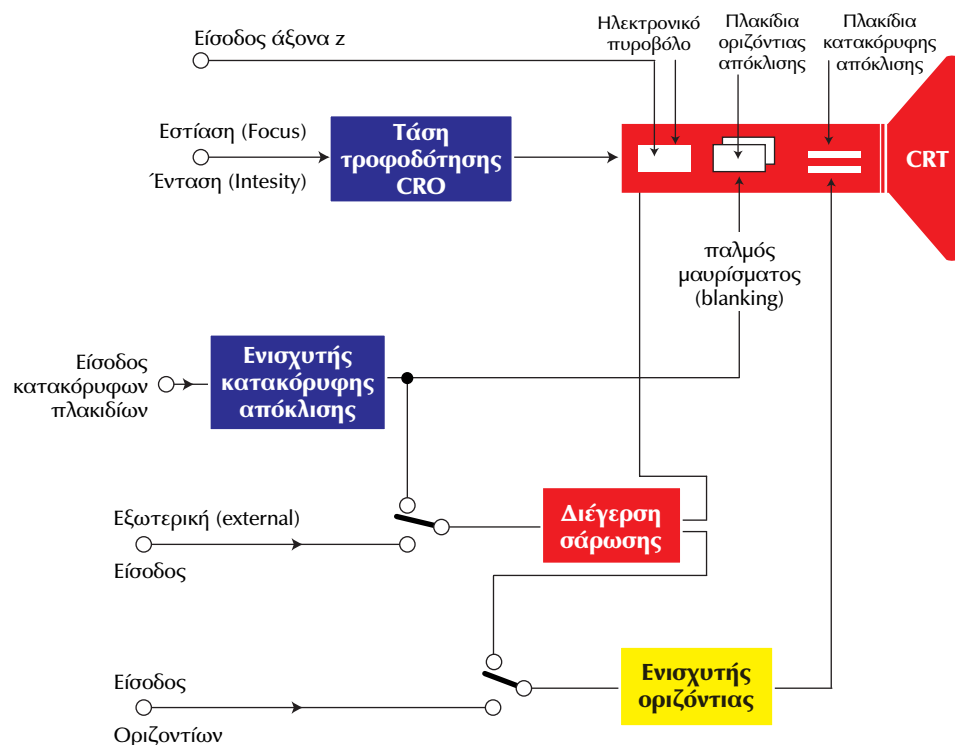
Η γεννήτρια σάρωσης δίνει επίσης στο ηλεκτρονικό πυροβόλο του CRT έναν ειδικό παλμό που “μαυρίζει” την ηλεκτρονική δέσμη κατά τη διάρκεια της επιστροφής της δέσμης στην αρχή εκκίνησής της, έτσι ώστε η κηλίδα να επιστρέφει χωρίς να αφήνει ίχνος.

Μερικές φορές είναι πρόσφορο να διεγείρουμε τη γεννήτρια σάρωσης με εξωτερικό σήμα (external trigger). Αυτό είναι απαραίτητο όταν πρέπει να αρχίσει η σάρωση πριν το πλάτος του σήματος των κατακόρυφων πλακιδίων γίνει μεγάλο.

Όταν δεν χρειαζόμαστε τη γραμμική σάρωση, όπως στην περίπτωση των σχημάτων Lissajous (βλέπε πιο κάτω), η είσοδος του ενισχυτή των οριζοντίων πλακιδίων συνδέεται στους ακροδέκτες των οριζοντίων πλακιδίων και έτσι μπορούμε να τροφοδοτήσουμε με εξωτερικές κυματομορφές τόσο τα οριζόντια όσο και τα κατακόρυφα πλακίδια.

Επίσης, είναι δυνατόν να διαμορφώνουμε την ένταση της ηλεκτρονικής δέσμης μεταβάλλοντας το δυναμικό της εισόδου του πλέγματος του ηλεκτρονικού πυροβόλου. Η είσοδος αυτή ονομάζεται είσοδος άξονα z.

Στους ενισχυτές κατακόρυφης και οριζόντιας απόκλισης υπάρχουν διαιρέτες τάσης για να ρυθμίζουμε το βαθμό της απόκλισης της κηλίδας στην οθόνη.

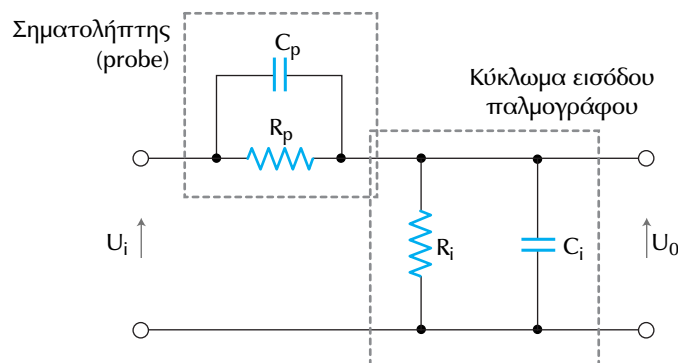


Σχ.Ε2.1. Δομικό διάγραμμα παλμογράφου.

Η τάση τροφοδοσίας του CRT σχεδιάζεται, ώστε η dc τάση τροφοδοσίας των στοιχείων του ηλεκτρονικού πυροβόλου να μπορεί να ρυθμίζεται για να επιτύχουμε άριστη εστίαση (focus) και ένταση (intensity) του ίχνους της κηλίδας. Επίσης, έχουμε τη δυνατότητα να ρυθμίζουμε τη θέση της κηλίδας του παλμογράφου αλλάζοντας τις dc τάσεις πόλωσης τόσο των οριζόντιων όσο και των κατακόρυφων πλακιδίων.

Η ικανότητα του παλμογράφου να απεικονίζει σήματα πολύ υψηλών συχνοτήτων περιορίζεται από την υψηλή συχνότητα αποκοπής (ή μισής ισχύος) του ενισχυτή κατακόρυφης απόκλισης και από την απόδοση της φωτεινότητας του CRT σε μεγάλες ταχύτητες κίνησης της κηλίδας.

Για να παρατηρήσουμε ένα σήμα με τον CRO υπάρχει ένα καλώδιο (θωρακισμένο) που συνδέεται στην είσοδο του ενισχυτή κατακόρυφων πλακιδίων και ονομάζεται σηματολήπτης (probe). Υπάρχουν σηματολήπτες χωρίς υποβιβασμό (1:1) και με υποβιβασμό 1:10 και 1:100. Το Σχ.Ε2.2 δείχνει τη μορφή ενός σηματολήπτη.



**Σχ.Ε2.2.** Βασική μορφή σηματολήπτη (probe).

Η σχετικά μεγάλη αντίσταση εισόδου (τυπικές τιμές,  $R_i=1\text{ M}\Omega$ ,  $C_i=20\text{ pF}$ ) του παλμογράφου και η πρακτικά χωρίς αδράνεια κίνηση της ηλεκτρονικής δέσμης κάνει τον παλμογράφο μια από τις πιο “έξυπνες” ηλεκτρονικές συσκευές.

Με τον παλμογράφο μπορούμε να μετρήσουμε dc και ac τάσεις, φάση, παραμόρφωση, συχνότητα, βαθμό διαμόρφωσης, κ.α.

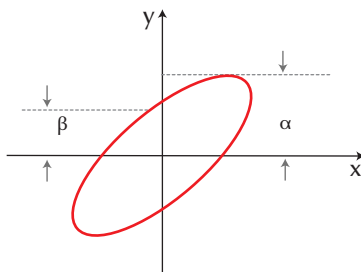
Πριν κάνουμε μετρήσεις με τον παλμογράφο, πρέπει να τον βαθμονομή-



σουμε. Η βαθμονόμηση επιτυγχάνεται συνδέοντας το σηματολήπτη (probe) στην εσωτερική γεννήτρια τετραγωνικών παλμών (οι ακροδέκτες της είναι στην πρόσοψη του παλμογράφου) και ρυθμίζοντας το αντίστοιχο κουμπί, ώστε να έχουμε σωστή τετραγωνική κυματομορφή στην οθόνη (συνήθως το σήμα βάσης είναι 1 V, 1 kHz). Επίσης θα πρέπει να προσέχουμε τα κουμπιά ελέγχου των ενισχυτών κατακόρυφης απόκλισης και σάρωσης να είναι στη θέση βαθμονόμησης (calibr.).

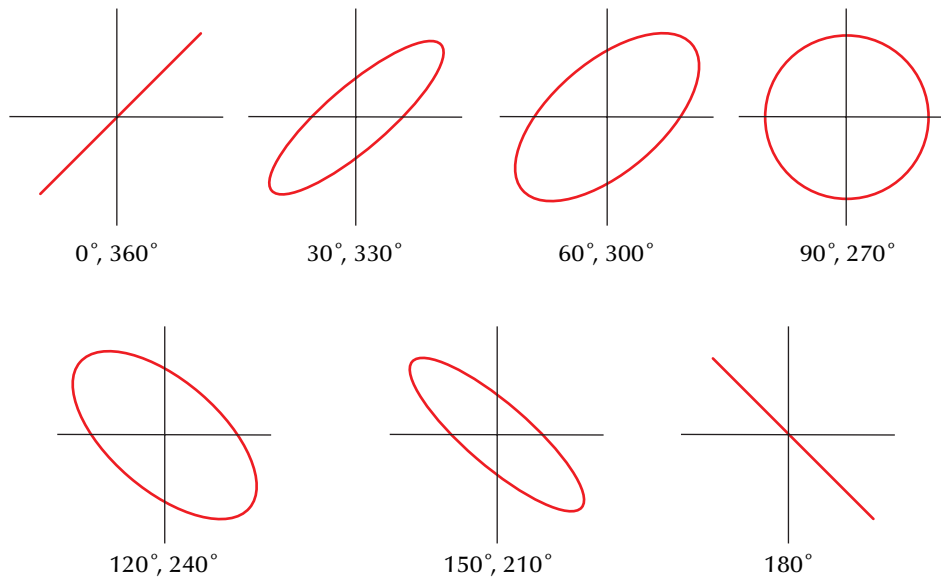
Για να μετρήσουμε τη **διαφορά φάσης  $\Phi$**  ενός ημιτονικού σήματος ως προς ένα άλλο, τα εφαρμόζουμε αντίστοιχα στις εισόδους κατακόρυφης (Y) και οριζόντιας (X) απόκλισης του παλμογράφου με τη **σάρωση εκτός**. Τότε, γενικά, σχηματίζεται η έλλειψη του Σχ.Ε2.3 (εικόνα Lissajous). Για τον προσδιορισμό της  $\Phi$  μετράμε τα μήκη  $\alpha$  και  $\beta$  επί της οθόνης και χρησιμοποιούμε τον τύπο

$$\Phi = \sin^{-1} \frac{\beta}{\alpha} \quad (\text{E2.1})$$



**Σχ.Ε2.3.** Μέτρηση φάσης με τη μέθοδο Lissajous.

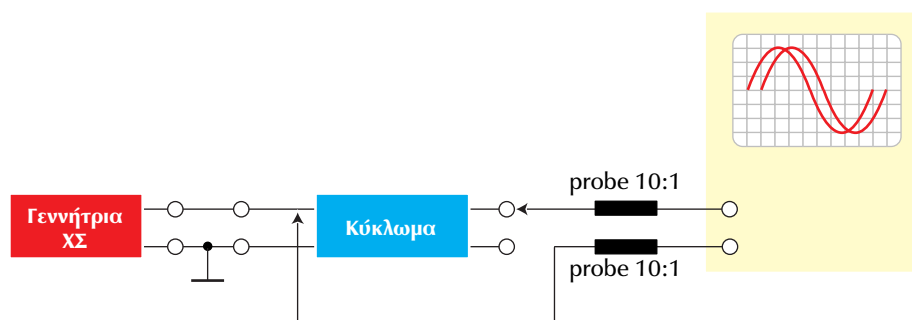
Η μέθοδος αυτή ονομάζεται μέθοδος **Lissajous**. Το Σχ. Ε2.4 δείχνει τη φάση για διάφορα σχήματα Lissajous.



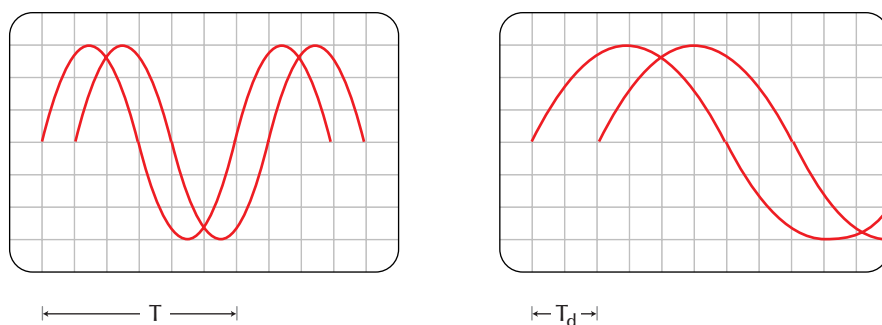
Σχ.Ε2.4. Φάσεις για διάφορα σχήματα Lissajous.

Η δεύτερη μέθοδος μέτρησης της φάσης πραγματοποιείται με τη **σάρωση εντός** στη θέση **alt** και γίνεται όπως δείχνει το Σχ.Ε2.5. Η μέτρηση γίνεται σύμφωνα με το Σχ.Ε2.6 και χρησιμοποιείται η εξίσωση

$$\Phi = \frac{\tau_d}{T} \times 360^\circ \quad (\text{E2.2})$$



Σχ.Ε2.5. Μέτρηση φάσης κυκλώματος με τη σάρωση εντός.



**Σχ.Ε2.6.** Μέτρηση φάσης με τη σάρωση εκτός.

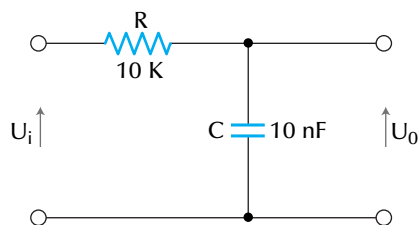
Το Σχ.Ε2.7 δείχνει το δικτύωμα RC του οποίου θα μετρήσουμε το πλάτος και τη φάση του. Αποδεικνύεται ότι το μέτρο της συνάρτησης μεταφοράς του, δηλ. ο λόγος της τάσης εξόδου  $V_o$  ως προς την τάση εισόδου  $V_i$ , δίνεται από τη σχέση:

$$|H(j\omega)| = \left| \frac{V_o}{V_i} \right| = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_1}\right)^2}} \quad (\text{E2.3})$$

άρα, σε dB

$$A = 20 \log |H(j\omega)| = 20 \log \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_1}\right)^2}} \text{ dB} \quad (\text{E2.4})$$

όπου  $f_1$  είναι η συχνότητα μισής ισχύος ή συχνότητα αποκοπής του δικτύωματος (το οποίο είναι παθητικό φίλτρο χαμηλών συχνοτήτων) και  $f$  είναι η συχνότητα της γεννήτριας χαμηλών συχνοτήτων που το διεγείρει.



**Σχ.Ε2.7.** Φίλτρο χαμηλών συχνοτήτων για τη μέτρηση του μέτρου και της φάσης του.

Η συχνότητα αποκοπής του φίλτρου δίνεται από τη σχέση:

$$f_1 = \frac{1}{2\pi RC} \quad (\text{E2.5})$$

Όταν η  $f = f_1$  η Εξ.(E2.4) γίνεται:

$$A = 20 \log \frac{1}{\sqrt{2}} = 20 \log 0.707 \approx -3 \text{ dB} \quad (\text{E2.6})$$

(Έτσι ορίζεται η συχνότητα αποκοπής του φίλτρου, δηλ. η συχνότητα εκκείνη που η τάση εξόδου πέφτει στα 0.707 της τάσης εισόδου δηλ. -3 dB κάτω από τη μέγιστη τάση εξόδου).

Η φάση δια μέσου του δικτυώματος δίνεται από τη σχέση:

$$\Phi = \tan^{-1} \left( \frac{f}{f_1} \right) \quad (\text{E2.7})$$

## E2.4 ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ

1. Μετρείστε διάφορες dc τάσεις που υπάρχουν στο εργαστήριο με τη βοήθεια του CRO (ο παλμογράφος να είναι στη θέση dc).
2. Μετρείστε διάφορες ac τάσεις που υπάρχουν στο εργαστήριο ή διάφορες τάσεις της γεννήτριας ακουστικών συχνοτήτων (ο παλμογράφος να είναι στη θέση ac).
3. Μετρείστε διάφορες συχνότητες της γεννήτριας Χ.Σ.
4. Συνδεσμολογείστε το κύκλωμα του Σχ.Ε2.7 με  $R = 10 \text{ K}\Omega$  και  $C = 10 \text{ nF}$ .
5. Στην είσοδο του κυκλώματος συνδεσμολογείστε γεννήτρια Χ.Σ. και τροφοδοτείστε το με ημιτονικό σήμα πλάτους  $v_i = 5 \text{ V p-p}$ .
6. Διατηρώντας το σήμα αυτό σταθερό σε όλη τη διάρκεια των μετρήσεων μεταβάλλετε τη συχνότητα εισόδου, μέχρις ότου το σήμα εξόδου γίνει ίσο με 0.707 του σήματος εισόδου. Σημειώστε τη συχνότητα αυτή (συχνότητα μισής ισχύος)

$$f_1 = \dots \text{ Hz}$$

7. Μεταβάλλετε τη συχνότητα εισόδου, διατηρώντας την τάση εισόδου σταθερή και συμπληρώστε τον παρακάτω πίνακα.

8. Στο ίδιο ημιλογαριθμικό χαρτί σχεδιάστε την καμπύλη απόκρισης σε dB, δηλ.

$$A(f) = 20 \log \left( \frac{V_o}{V_i} \right) \text{ dB}$$

και την καμπύλη φάσης  $\Phi(f)$ .

9. Από τις καμπύλες αυτές βρείτε τη συχνότητα  $f_1$ , καθώς και τη φάση στη συχνότητα αυτή.
10. Υπολογίστε και σχεδιάστε θεωρητικά την καμπύλη απόκρισης και την καμπύλη φάσης και σχεδιάστε τες στο ίδιο ημι-λογ χαρτί των πειραματικών μετρήσεων.
11. Υπολογίστε θεωρητικά τη συχνότητα αποκοπής.
12. Γράψτε τα συμπεράσματά σας.

$$v_i = 5 \text{ V p-p}$$

f(KHz)	$V_o/V_i$	$\Phi^\circ$
0.1		
0.3		
0.5		
0.7		
1.0		
1.4		
1.5		
1.6		
1.7		
2.0		
5.0		
7.0		
10.0		
16.0		

## Άσκηση 3η

### ΕΝΙΣΧΥΤΗΣ CE

#### Ε3.1 Σκοπός

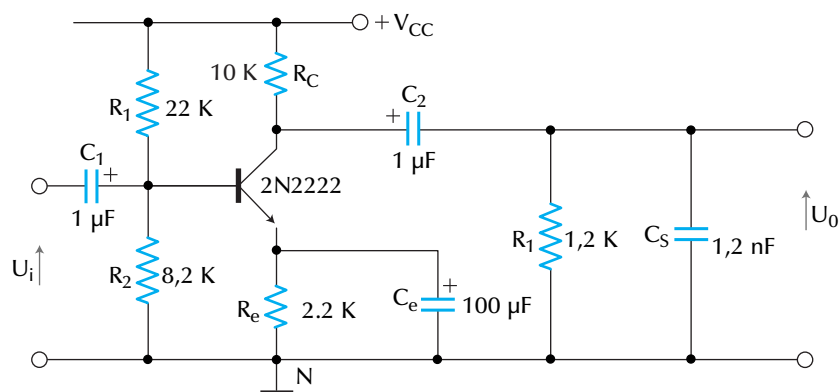
- α) Να μελετηθεί η επίδραση του πυκνωτή σύζευξης στην καμπύλη απόκρισης του ενισχυτή.
- β) Να μελετηθεί η επίδραση της ενδοχωρητικότητας της επόμενης βαθμίδας στην καμπύλη απόκρισης του ενισχυτή.
- β) Να μελετηθεί η επίδραση του πυκνωτή εκπομπού στην καμπύλη απόκρισης του ενισχυτή.

#### Ε3.2 Συσκευές

1. Breadboard
2. Γεννήτρια Χ.Σ.
3. Παλμογράφος διπλής δέσμης.

#### Ε3.3 Θεωρητικό Υπόβαθρο

Το Σχ.Ε3.1 δείχνει έναν ενισχυτή τρανζίστορ μιας βαθμίδας CE.



Σχ.Ε3.1. Ενισχυτής CE μιας βαθμίδας.

Η καμπύλη απόκρισης του ενισχυτή αυτού διακρίνεται σε τρεις περιοχές. Τη μέση περιοχή συχνοτήτων, των χαμηλών συχνοτήτων και των υψηλών συχνοτήτων. Η ενίσχυση ή η απολαβή τάσης  $A_0$  στη μέση περιοχή καθορίζεται μόνο από τις ωμικές αντιστάσεις του κυκλώματος και δίνεται από τη σχέση:

$$A_0 = \frac{V_0}{V_i} = - \frac{h_{fe} R_L}{h_{ie}} \quad (A3.1)$$

όπου,

$V_i$  και  $V_0$  είναι τα πλάτη του σήματος τάσης στην είσοδο και την έξοδο αντίστοιχα και,

$$R_L = \frac{R_c R_i}{R_c + R_i} \quad (A3.2)$$

Στην περιοχή χαμηλών συχνοτήτων η ενίσχυση  $A_1$  δίνεται από τη σχέση:

$$A_1 = \frac{A_0}{1 - j \frac{f_1}{f}} \quad (A3.3)$$

όπου,

$$f_1 = \frac{1}{2\pi (R_c + R_i) C_2} \quad (A3.3)$$

είναι η χαμηλή συχνότητα αποκοπής ή μισής ισχύος.

Στην περιοχή υψηλών συχνοτήτων η ενίσχυση  $A_2$  δίνεται από τη σχέση:

$$A_2 = \frac{A_0}{1 + j \frac{f}{f_2}} \quad (A3.4)$$

όπου,

$$f_2 = \frac{1}{2\pi R_L C_s} \quad (E3.5)$$

είναι η υψηλή συχνότητα αποκοπής ή μισής ισχύος.

*Επίδραση του πυκνωτή εκπομπού*

Η αντίσταση  $X_{CE}$  που παρουσιάζει ο πυκνωτής  $C_E$  πρέπει να είναι πολύ μικρότερη από την τιμή της αντίστασης  $R_E$  στη χαμηλότερη συχνότητα που θέλουμε να ενισχύει ο ενισχυτής μας. Μια καλή παραδοχή είναι η  $X_{CE} = R_E/10$ .

Ο υπολογισμός του πυκνωτής  $C_E$  γίνεται από τη σχέση:

$$C_E = \frac{h_{fe} + 1}{2\pi f_1 (R_B + h_{ie})} \quad (E3.6)$$

όπου  $R_B = R_1 // R_2$ .

Η τιμή του πυκνωτή αυτού επιδρά στη χαμηλή συχνότητα αποκοπής του ενισχυτή.

### E3.4 ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ

1. Συνδεσμολογείστε το κύκλωμα του Σχ. E3.1.
2. Βάλτε τον παλμογράφο στη θέση dc (ο παλμογράφος να είναι βαθμονομημένος).
3. Μετρείστε τις πιο κάτω τάσεις και καταγράψτε τις τιμές τους:

$$V_{EN} = \dots V, \quad V_{BN} = \dots V, \quad V_{CN} = \dots V$$

4. Συνδέστε στην είσοδο γεννήτρια Χ.Σ. συχνότητας 1 kHz και τιμή τάσης  $v_i = 50 \text{ mV}$ .
5. Σχεδιάστε τις κυματομορφές εισόδου και εξόδου στο ειδικό χαρτί και μετρείστε με τον παλμογράφο την τάση

$$v_o = \dots V$$

6. Υπολογίστε την ενίσχυση του ενισχυτή του βήματος 5 χρησιμοποιώντας τον τύπο

$$A = 20 \log \left( \frac{v_o}{v_i} \right) \text{ dB}$$

7. Μεταβάλλετε τη συχνότητα της γεννήτριας, διατηρώντας την τάση εισόδου σταθερή και ίση με εκείνη του βήματος 4 αριστερά και δεξιά από τη συχνότητα 1 kHz μέχρις ότου η τάση εξόδου γίνει τα 0.707 της μέγιστης τάσης του βήματος 5. Σημειώστε τις συχνότητες αυτές:

$$f_1 = \dots \text{ Hz}, \quad f_2 = \dots \text{ kHz}$$



8. Με τάση εισόδου εκείνη του βήματος 4, και διατηρώντας την σταθερή, μεταβάλλετε τη συχνότητα της γεννήτριας και συμπληρώστε τον πιο κάτω πίνακα

$f(\text{Hz})$	$v_o$ (V)	$v_o/v_i$	$A(\text{dB})$
100			
300			
500			
700			
1 K			
3 K			
5 K			
10 K			
30 K			
50 K			
100 K			
300 K			
1 M			

9. Αλλάξτε τους πυκνωτές  $C_1$  και  $C_2$  από 1  $\mu\text{F}$  σε 100 nF και επαναλάβετε το βήμα 8.
10. Συνδέστε τον πυκνωτή  $C_s$  και επαναλάβετε το βήμα 8.
11. Αποσυνδέστε τον πυκνωτή  $C_E$  και επαναλάβετε το βήμα 8.
12. Στο ίδιο ημι-λογ χαρτί σχεδιάστε και τις καμπύλες απόκρισης που πήρατε στα βήματα 8, 9, 10 και 11 με διαφορετικό σύμβολο γαι κάθε ομάδα μετρήσεων (π.χ x, ο • κτλ.).
13. Από τις καμπύλες που χαραξάτε σημειώστε την ενίσχυση  $A_o$ , και τις συχνότητες μισής ισχύος για όλες τις περιπτώσεις.

### E3.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

## Άσκηση 4η

### ΔΙΑΦΟΡΙΚΟΣ ΕΝΙΣΧΥΤΗΣ ΜΕ ΔΙΑΚΡΙΤΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

#### Ε4.1 Σκοπός

Η μελέτη της συμπεριφοράς του διαφορικού ενισχυτή, ως αντιστροφέας και ως διαφορικός ενισχυτής με μία αντίσταση φόρτου. Επίσης, θα προσδιοριστούν τα χαρακτηριστικά του ενισχυτή και θα μετρηθεί ο λόγος απόρριψης κοινού τρόπου (CMRR).

#### Ε4.2 Συσκευές

1. Γενήτρια Χ.Σ.
2. Μεταβλητή πηγή αναφοράς.
3. CRO (παλμογράφος) διπλής δέσμης.
4. Ηλεκτρονικό βολτόμετρο (ΗΒ) ή ψηφιακό βολτόμετρο (ΨΒ).

#### Ε4.3 Θεωρητικό Υπόβαθρο

Το μεγάλο πλεονέκτημα του διαφορικού ενισχυτή, Σχ.Ε4.1, είναι ότι η θερμική επίδραση υποβιβάζεται αισθητά στην έξοδό του, επειδή οι αλλαγές των αντίστοιχων παραμέτρων των δυο βαθμίδων τείνουν να αλληλοεξουδετερωθούν.

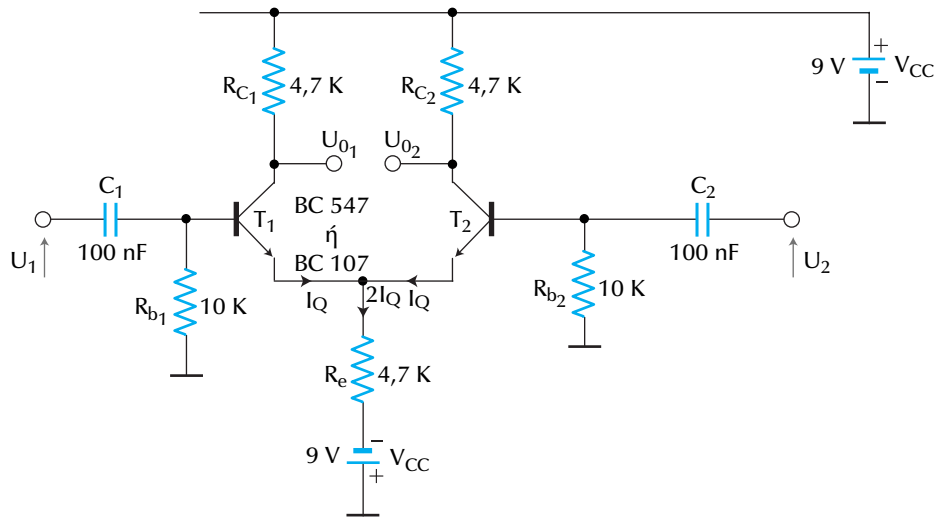
Ο ενισχυτής αυτός έχει δύο ενισχύσεις, μια που ονομάζεται ενίσχυση ή απολαβή **κοινού τρόπου** με απολαβή τάσης  $A_{cm}$ , η οποία εκδηλώνεται όταν οι δυο εισοδοί είναι συνδεδεμένες στο ίδιο σήμα  $v_1 = v_2 = v_{cm}$ , και μία ενίσχυση που ονομάζεται **διαφορική ενίσχυση**  $A_d$  η οποία εκδηλώνεται, όταν στις δύο εισόδους εφαρμόζεται διαφορετικό σήμα.

Η ενίσχυση κοινού τρόπου αποδεικνύεται ότι είναι:

$$A_{cm} = \frac{v_o}{v_{cm}} = -\frac{R_{C1}}{2R_E} \quad (E4.1)$$

Η διαφορική ενίσχυση του ενισχυτή αποδεικνύεται ότι είναι:

$$A_d = \frac{v_o}{v_1 - v_2} = \frac{g_m R_{C1}}{2} \quad (E4.2)$$



**Σχ.Ε4.1.** Διαφορικός ενισχυτής με BJT με διακριτά στοιχεία.

Για τη διαγωγιμότητα  $g_m$  έχουμε:

$$g_m = 40 I_e \quad (\text{E4.3})$$

Το  $g_m$  εκφράζεται σε mA/V και η  $R_{c1}$  σε kΩ.

Το μέγεθος που μας επιτρέπει να καθορίσουμε την “ποιότητα” του διαφορικού ενισχυτή είναι ο **λόγος κοινής απόρριψης** CMRR (Common Mode Rejection Ratio) ο οποίος ορίζεται από τη σχέση:

$$\text{CMRR} = 20 \log \left( \frac{A_d}{A_{cm}} \right) \quad (\text{E4.4})$$

Αποδεικνύεται, αν αντικαταστήσουμε τις Εξ. (E4.1) και (E4.2), ότι η παράμετρος αυτή είναι ίση με

$$\text{CMRR} = 20 \log \left( \frac{g_m R_e}{2} \right) \text{ dB} \quad (\text{E4.5})$$

#### Ε4.4 ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ

1. Κατασκευάστε στο Boardboard (BB) τον ενισχυτή του Σχ.Ε4.1, χωρίς τους πυκνωτές σύζευξης  $C_1$  και  $C_2$  και τις αντιστάσεις των βάσεων.

Συνδέστε την είσοδο  $v_2$  σε dc τάση +5 V και την είσοδο  $v_1$  σε μια μεταβλητή τάση αναφοράς. Ο ενισχυτής με τη μορφή αυτή λειτουργεί στην κατάσταση “ισορροπίας”. Η τάση εξόδου είναι μεταξύ  $v_{01}$  και  $v_{02}$ , έτσι ώστε:

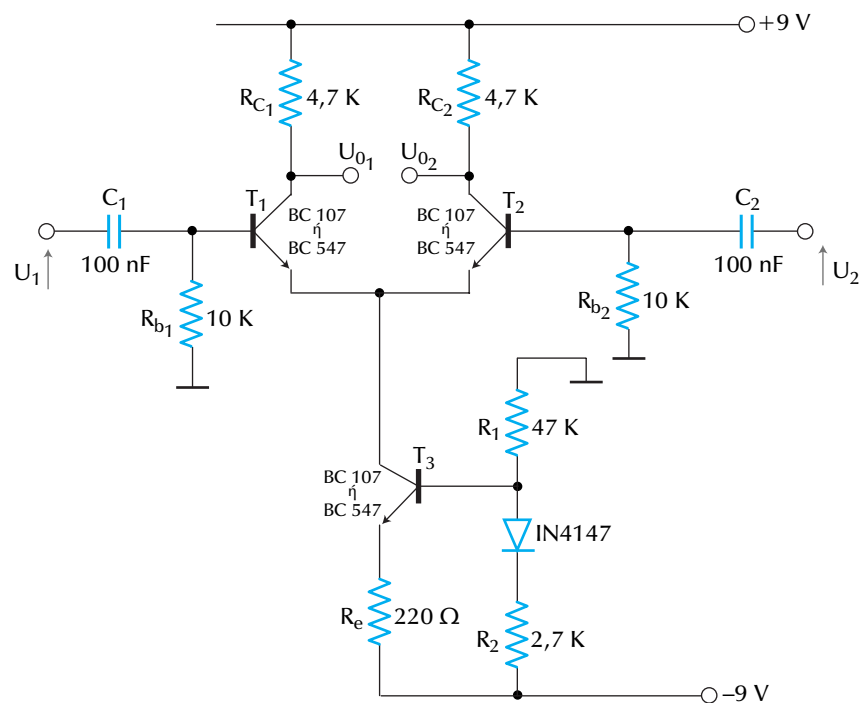
$$v_0 = v_{01} - v_{02} = A_1 v_1 - A_2 v_2$$

όπου  $A_1$  και  $A_2$  είναι οι ενισχύσεις που προκύπτουν από τα σήματα  $v_1$  και  $v_2$ , αντίστοιχα.

2. Μετρείστε τις dc τάσεις  $v_{01}$  και  $v_{02}$  ως προς τη γη.
3. Μετρείστε με CRO την τάση μεταξύ  $v_{01}$  και  $v_{02}$ . Αν τα τρανζίστορ είναι ακριβώς ίδια, ο παλμογράφος θα δείξει 0 V. Αν υπάρχει απόκλιση σημειώστε την.
4. Ρυθμίστε την τάση  $v_1$  ώστε να γίνει ίδια με την τάση  $v_2$  (+ 5 V) και μετρείστε την τάση με HB ή ΨΒ.
5. Ρυθμίστε την τάση  $v_1$  μέχρις ότου το σήμα εξόδου να γίνει 0 V. Η διαφορά μεταξύ των τάσεων  $v_1$  και  $v_2$  (+ 5 V) είναι η αρχική **τάση αντιστάθμισης** (offset) του ενισχυτή και είναι συνάρτηση της διαφοράς της ενίσχυσης και της αγωγιμότητας των επαφών βάσης-εκπομπού των δύο τρανζίστορ. Σημειώστε την αρχική τιμή της τάσης αντιστάθμισης.
6. Πλησιάστε ένα αναμμένο κολλητήριο στο ένα τρανζίστορ και παρατηρείστε τι συμβαίνει στο διαφορικό σήμα. Δικαιολογείστε τη συμπεριφορά του ενισχυτή.
7. Συνδεσμοποιήστε τους πυκνωτές  $C_1$  και  $C_2$  και τις αντιστάσεις των βάσεων. Βραχυκυκλώστε την είσοδο 2 με τη γη. Στην άλλη είσοδο συνδέστε γεννήτρια ημιτονικού σήματος συχνότητας 1 kHz και πλάτους 50 mV. Ο ενισχυτής είναι τώρα με τη συνδεσμολογία “αναστροφής τάσης”. Μετρείστε τις τάσεις  $v_{01}$  και  $v_{02}$  ως προς γη.
8. Καταγράψτε το σήμα εισόδου και τα σήματα εξόδου καθώς και τη χρονική τους σχέση (διαφορά φάσης).
9. Βραχυκυκλώστε την  $R_{c1}$ , έτσι ώστε ο ενισχυτής να γίνει διαφορικός απλής εξόδου. Με τη μια είσοδο βραχυκυκλωμένη και με την άλλη διεγερόμενη με σήμα εισόδου 1 kHz και πλάτους 40 mV, μετρείστε την ενίσχυση. Σημειώστε την τιμή της διαφορικής ενίσχυσης  $A_d$ .
10. Συνδέστε το σήμα εισόδου και στις δυο εισόδους ταυτόχρονα και σημειώστε την τιμή της ενίσχυσης κοινού τρόπου (σήματος)  $A_{cm}$ .

11. Υπολογίστε το λόγο κοινής απόρριψης CMRR.
12. Πάρτε μετρήσεις και σχεδιάστε σε ημι-λογαριθμικό χαρτί την καμπύλη απόκρισης του διαφορικού ενισχυτή της συνδεσμολογίας του βήματος 7.
13. Συνδεσμολογείστε το κύκλωμα διαφορικού ενισχυτή του Σχ.Ε4.2.
14. Επαναλάβετε τα βήματα 9 έως 11.

#### Ε4.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ



Σχ.Ε4.2. Διαφορικός ενισχυτής με BJT και γεννήτρια ρεύματος.

## Άσκηση 5η

### ΕΝΙΣΧΥΤΗΣ ΜΕ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΑΝΑΣΥΖΕΥΞΗΣ $R_E$

#### Ε5.1 Σκοπός

Η μελέτη της επίδρασης της τιμής της αντίστασης ανασύζευξης  $R_E$  με πυκνωτή και χωρίς πυκνωτή στην καμπύλη απόκρισης του τυπικού ενισχυτή με  $R_C$  και  $R_E$ .

#### Ε5.2 Συσκευές

1. Γεννήτρια Χ.Σ.
2. ΗΒ ή ΨΒ.
3. Παλμογράφος διπλής δέσμης.

#### Ε5.3 Θεωρητικό Υπόβαθρο

Αποδεικνύεται, ότι ο ενισχυτής κοινού εκπομπού (CE) χωρίς αντίσταση ανασύζευξης έχει ενίσχυση ή απολαβή τάσης που δίνεται από τη σχέση:

$$A_v = - \frac{h_{fe} R_C}{R_i} \quad (E5.1)$$

όπου

$$R_i = R_B // h_{ie} \quad (E5.2)$$

και

$$R_B = R_1 // R_2 \quad (E5.3)$$

Αποδεικνύεται επίσης, ότι για τον ενισχυτή κοινού εκπομπού με αντίσταση ανασύζευξης  $R_E$  ισχύουν οι σχέσεις:

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = - \frac{h_{fe} R_C}{R_i} \cong - \frac{R_C}{R_E} \quad (E5.4)$$

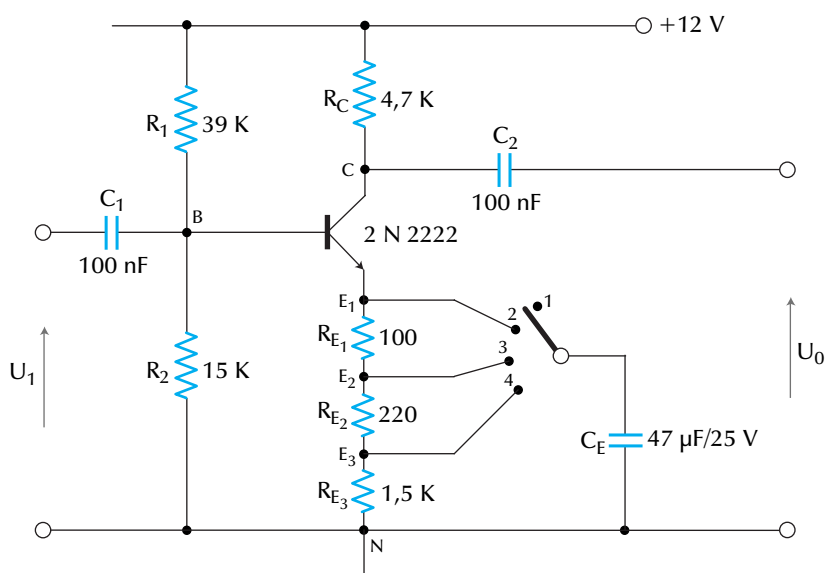
όπου

$$R_i' = R_B // R_i \quad (E5.5)$$

$$R_i = h_{ie} + (1 + h_{fe}) R_E \cong h_{fe} R_E \quad (E5.6)$$

#### E5.4 ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ

1. Συνδεσμολογήστε τον ενισχυτή του Σχ.Ε5.1.
2. Μετρείστε με τον παλμογράφο στο dc ή με ΗΒ ή με ΨΒ τις διάφορες dc τάσεις του ενισχυτή και καταγράψτε τες.



Σχ.Ε5.1. Ενισχυτής CE με αντίσταση ανασούζευξης  $R_E$

$$V_{CN} = \dots V, \quad V_{BN} = \dots V, \quad V_{EN1} = \dots V, \quad V_{EN2} = \dots V, \quad V_{EN3} = \dots V$$

3. Με το διακόπτη στη θέση 1 και με το σήμα εισόδου με πλάτος  $v_i = 1\text{ V}$  p-p (σταθερή σε όλη τη διάρκεια το πειράματος) πάρτε μετρήσεις και συμπληρώστε τον πιο κάτω πίνακα:

$$v_i = 1\text{ V p-p}$$

f(Hz)	v <sub>01</sub> (V)	v <sub>02</sub> (V)	v <sub>03</sub> (V)	v <sub>04</sub> (V)
30				
50				
100				
300				
500				
1K				
3K				
5K				
10K				
30K				
50K				
100K				
300K				
500K				
1M				
3M				
5M				
10M				
30M				

4. Με το διακόπτη διαδοχικά και στις υπόλοιπες θέσεις 2 (V<sub>02</sub>) κτλ, πάρτε μετρήσεις και συμπληρώστε τον πιο πάνω πίνακα.
5. Υπολογίστε για κάθε γραμμή του πίνακα (και συμπληρώστε τις επιπλέον στήλες) την ενίσχυση σε dB χρησιμοποιώντας τη σχέση:

$$A = 20 \log \left( \frac{v_{0i}}{v_i} \right) \text{ dB}$$

όπου

$$v_{0i} = v_{01}, \dots, v_{04}$$



6. Στο ίδιο ημι-λογ χαρτί σχεδιάστε και τις τέσσερις καμπύλες του ενισχυτή.
7. Από τις τέσσερις αυτές καμπύλες βρείτε και καταγράψτε τις συχνότητες μισής ισχύος ( $f_1 f_2$ ) για κάθε περίπτωση.

#### **E5.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

## Άσκηση 6η

### ΕΝΙΣΧΥΤΗΣ 2 ΒΑΘΜΙΔΩΝ ΑΡΝΗΤΙΚΗΣ ΑΝΑΣΥΖΕΥΞΗΣ

#### Ε6.1 Σκοπός

Η μελέτη της επίδρασης της αρνητικής ανασύζευξης στην απόκριση συχνότητας του ενισχυτή, καθώς και στην αντίσταση εισόδου και εξόδου.

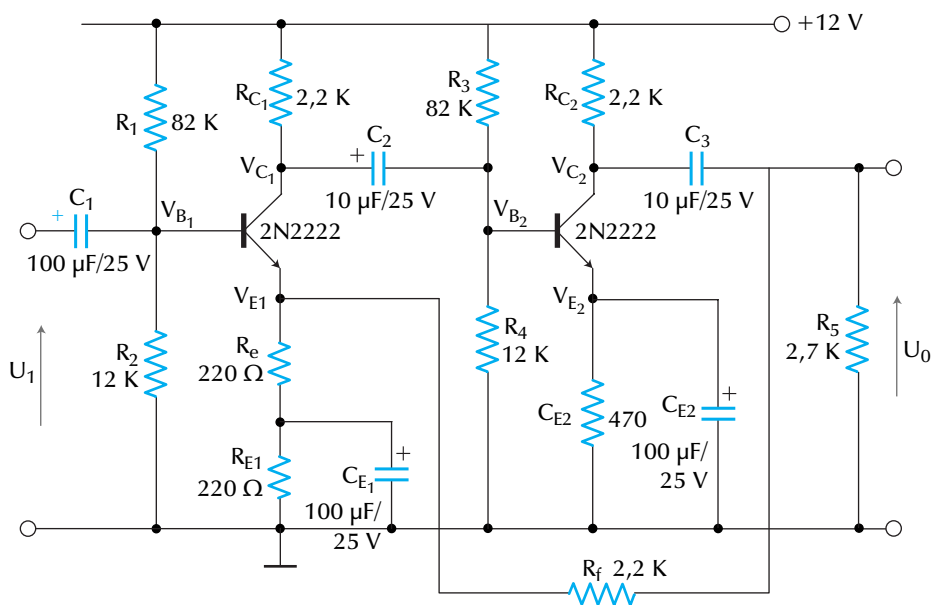
#### Ε6.2 Συσκευές

1. ΗΒ ή ΨΒ.
2. CRO διπλής δέσμης.
3. Γεννήτρια Χ.Σ.

#### Ε6.3 Θεωρητικό Υπόβαθρο

Τα ενεργά στοιχεία χαρακτηρίζονται από παραμέτρους που δεν καθορίζονται με ακρίβεια· επίσης, οι παράμετροι αυτές μεταβάλλονται συναρτήσει της θερμοκρασίας ( $h_{fe}$  του τρανζίστορ,  $g_m$  του FET, κτλ). Επομένως, οι περισσότεροι ενισχυτές, οι οποίοι χρησιμοποιούν τα στοιχεία αυτά δε θα παρουσιάζουν σταθερή και ορισμένη ενίσχυση. Βελτίωση αυτής της κατάστασης επιτυγχάνουμε αν χρησιμοποιήσουμε *αρνητική ανασύζευξη*. Ανασύζευξη έχουμε σ' ένα ενισχυτή όταν τροποποιήσουμε το σήμα εισόδου του ενισχυτή με την παρεμβολή ενός κατάλληλου δικτυώματος μεταξύ της εισόδου και της εξόδου του.

Το Σχ.Ε6.1 δείχνει έναν ενισχυτή δύο βαθμίδων με αρνητική ανασύζευξη τάσης-σειράς και αυτή χρησιμοποιείται περισσότερο στην πράξη.



**Σχ.Ε6.1.** Ενισχυτής 2 βαθμίδων με ανασύζευξη τάσης-σειράς.

Αποδεικνύεται, ότι η ενίσχυση του ενισχυτή με ανασύζευξη δίνεται από τη σχέση:

$$A_{vf} = \frac{A_v}{1 + \beta A_v} \quad (\text{E6.1})$$

Στην περίπτωση αυτή ο λόγος ανασύζευξης είναι

$$\beta = \frac{R_e}{R_e + R_f} \quad (\text{E6.2})$$

Η ενίσχυση του ενισχυτή δίνεται από τη σχέση:

$$A_v = A_1 \times A_2 \quad (\text{E6.3})$$

όπου  $A_1$  και  $A_2$  είναι οι ενισχύσεις των δύο βαθμίδων του.

Η αντίσταση εισόδου γι' αυτόν τον ενισχυτή δίνεται από τη σχέση:

$$R_{if} = (1 + \beta A_v) R_i \quad (\text{E6.4})$$

όπου  $R_i$  είναι η αντίσταση εισόδου του ενισχυτή χωρίς ανασύζευξη.  
Η αντίσταση εξόδου του δίνεται από τη σχέση:

$$R_{of} = \frac{R_o}{1 + \beta A_v} \quad (\text{E6.5})$$

όπου  $R_o$  είναι η αντίσταση εξόδου του ενισχυτή χωρίς ανασύζευξη.

Αποδεικνύονται και οι εξής σχέσεις:

$$f_{1f} = \frac{f_1}{1 + \beta A_v} \quad (\text{E6.6})$$

$$f_{2f} = (1 + \beta A_v) f_2 \quad (\text{E6.7})$$

όπου  $f_1$  και  $f_2$  είναι οι συχνότητες αποκοπής ή μισής ισχύος χωρίς ανασύζευξη.

Από τις πιο πάνω εξισώσεις προκύπτει ότι με την ανασύζευξη αυτή έχουμε:

- υποβιβασμό της ενίσχυσης ή απολαβής.
- αύξηση της αντίστασης εισόδου του ενισχυτή.
- ελάττωση της αντίστασης εξόδου του.
- αύξηση του εύρους ζώνης διέλευσής του.

Το Σχ.Ε6.2 δείχνει την καμπύλη απόκρισης του ενισχυτή χωρίς και με ανασύζευξη.



Σχ.Ε6.2. Καμπύλη απόκρισης του ενισχυτή του Σχ.Ε6.1.

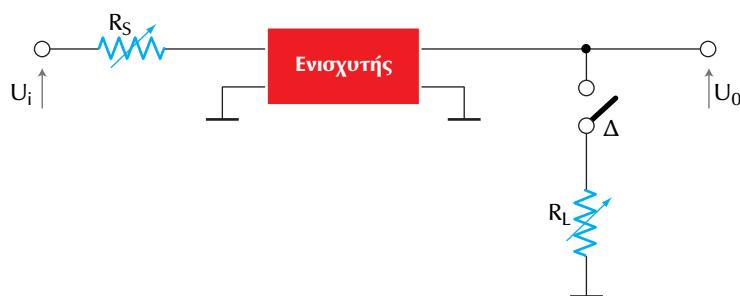
### Ε6.4 ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ

1. Συνδεσμολογήστε τον ενισχυτή του Σχ.Ε6.1 χωρίς ανασύζευξη (δηλ. χωρίς την αντίσταση  $R_f$ ).
2. Τροφοδοτήστε τον ενισχυτή με dc τάση (+ 12 V).
3. Με ΗΒ (ή ΨΒ ή CRO) μετρήστε και καταγράψτε τις διάφορες dc τάσεις του ενισχυτή, δηλ. τις τάσεις εκπομπού, βάσης, συλλέκτη και για τις δυο βαθμίδες.

$$V_{E1} = \dots V, \quad V_{B1} = \dots V, \quad V_{C1} = \dots V$$

$$V_{E2} = \dots V, \quad V_{B2} = \dots V, \quad V_{C2} = \dots V$$

4. Για να μετρήσουμε την αντίσταση εισόδου και εξόδου του ενισχυτή τη συγκρίνουμε με μια γνωστή αντίσταση  $R_s$ . Το Σχ.Ε6.3 δείχνει τη βασική δομή αυτού του συστήματος μέτρησης.



Σχ.Ε6.3. Βασική αρχή για τη μέτρηση της αντίστασης εισόδου και εξόδου.

Για να μετρήσουμε την αντίσταση εισόδου του ενισχυτή συνδέουμε σε σειρά μια μεταβλητή βαθμονομημένη αντίσταση  $R_s$ . Αρχικά η  $R_s$  τοποθετείται στη θέση μηδέν και ρυθμίζουμε το πλάτος του σήματος εισόδου που να δίνει σήμα εξόδου κατάλληλου πλάτους το οποίο το καταγράφουμε. Στη συνέχεια αυξάνουμε την  $R_s$  μέχρι την τιμή  $R_{s,0}$  για την οποία το πλάτος του σήματος εξόδου του ενισχυτή γίνεται ίσο με το μισό του αρχικού. Η αντίσταση αυτή,  $R_{s,0}$ , είναι ίση με την αντίσταση εισόδου του ενισχυτή.

Το ίδιο κύκλωμα χρησιμοποιείται και να μετρήσουμε την αντίσταση εξόδου του ενισχυτή. Καταγράφουμε την τάση εξόδου με το διακόπτη Δ ανοικτό. Στη συνέχεια κλείνουμε το διακόπτη και ρυθμίζουμε την  $R_L$

μέχρις ότου το πλάτος της τάση εξόδου γίνει το μισό του αρχικού. Η τελική αυτή τιμή,  $R_{L0}$ , της  $R_L$  είναι η τιμή της αντίστασης εξόδου του ενισχυτή. Με βάση τα πιο πάνω μετρείστε και καταγράψτε την αντίσταση εισόδου και εξόδου του ενισχυτή.

$$R_i = \dots \Omega, \quad R_o = \dots \Omega$$

5. Συνδέστε στην είσοδο του ενισχυτή γεννήτρια Χ.Σ. σε συχνότητα 1 kHz και αυξήστε το σήμα εισόδου, μέχρις ότου στην έξοδο να πάρουμε το σήμα όσο γίνεται πιο ενισχυμένο και χωρίς παραμόρφωση (να μην είναι ψαλιδισμένο). Σημειώστε τις τελικές τάσεις εισόδου και εξόδου (σε τιμές p-p):

$$v_i = \dots V, \quad v_o = \dots V$$

Υπολογίστε την ενίσχυση (απολαβή τάσης) και καταγράψτε την.

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} =$$

Επίσης, εκφράστε τη σε dB.

6. Με το σήμα εισόδου σταθερό μεταβάλλετε τη συχνότητα της γεννήτριας Χ.Σ κάτω και πάνω από το 1 kHz μέχρις ότου η τάση εξόδου γίνει  $0.707A_v$  και σημειώστε τις συχνότητες αυτές, δηλ.

$$f_1 = \dots \text{ Hz}, \quad f_2 = \dots \text{ kHz}$$

7. Με το σήμα εισόδου του βήματος 5 πάρτε μετρήσεις και καταγράψτε τις στον πιο κάτω πίνακα.

f(Hz)	v <sub>o</sub> (V)	v <sub>o</sub> /v <sub>i</sub>	v <sub>o</sub> /v <sub>i</sub> (dB)	v <sub>of</sub> (V)	v <sub>of</sub> /v <sub>i</sub>	v <sub>of</sub> /v <sub>i</sub> (dB)
30						
50						
100						
300						
500						
1K						
3K						
5K						
10K						
30K						
50K						
100K						
300K						
500K						
1M						
3M						
5M						
10M						
30M						

8. Επαναλάβετε το βήμα 4 για να μετρήσετε την αντίσταση εισόδου του ενισχυτή με ανασύζευξη και καταγράψτε τα αποτελέσματά σας.

$$R_{if} = \dots \text{ k}\Omega, \quad R_{of} = \dots \Omega$$

9. Βάλτε μια τάση ac στην είσοδο του ενισχυτή στη συχνότητα του 1 kHz ώστε να μην έχετε παραμορφωμένο σήμα στην έξοδο και επαναλάβετε το βήμα 6. Καταγράψτε τις συχνότητες μισής ισχύος.

$$f_{1f} = \dots \text{ Hz}, \quad f_{2f} = \dots \text{ kHz}$$

10. Επαναλάβετε το βήμα 7 για τον ενισχυτή με ανασύζευξη.

- 11.** Στο ίδιο ημι-λογ χαρτί σχεδιάστε τις καμπύλες απόκρισης του ενισχυτή χωρίς και με ανασύζευξη.
- 12.** Από τις δύο αυτές καμπύλες καταγράψτε τα χαρακτηριστικά τους (ενίσχυση και συχνότητες μισής ισχύος).

#### **E6.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**



## Άσκηση 7η

### ΑΝΑΣΤΡΕΦΩΝ ΕΝΙΣΧΥΤΗΣ AC ΜΕ ΤΕ

#### Ε7.1 Σκοπός

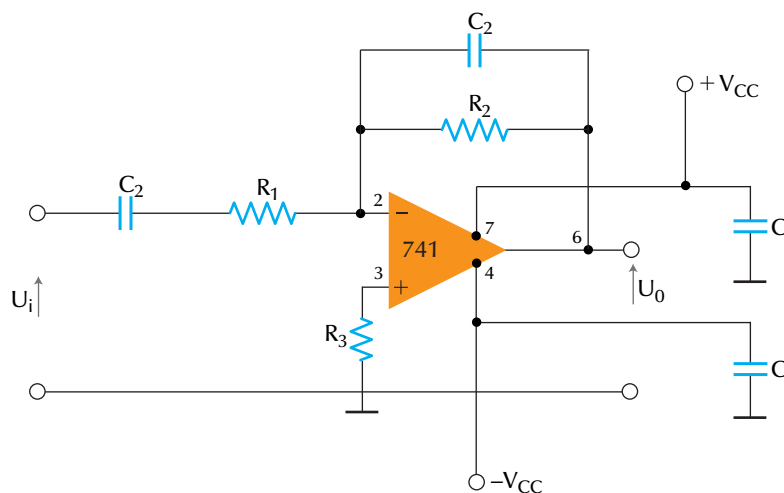
- Η μελέτη του αναστρέφοντος ενισχυτή για διάφορες αντιστάσεις ανασύζευξης  $R_f$ .
- Η μέτρηση της αντίστασης εισόδου του ενισχυτή.
- Ο προσδιορισμός του εύρους διέλευσής του.
- Ο υπολογισμός του ενισχυτή για καθορισμένες προδιαγραφές.

#### Ε7.2 Συσκευές

1. Γεννήτρια Χ.Σ.
2. CRO.

#### Ε7.3 Θεωρητικό Υπόβαθρο

Το Σχ.Ε7.1 δείχνει τον ΤΕ συνδεσμολογημένο ώστε να δημιουργεί διαφορά φάσης (αναστροφή) μεταξύ εισόδου και εξόδου. Η ενίσχυση του αναστρέφοντος ενισχυτή δίνεται από τη σχέση:



Σχ.Ε7.1. ΤΕ ενισχυτής με αναστροφή.

$$A = \frac{v_o}{v_i} = - \frac{R_2}{R_1} \quad (E7.1)$$

όπου

$$R_3 = R_2 // R_1 \quad (E7.2)$$

Ο υπολογισμός του πυκνωτή σύζευξης  $C_1$  γίνεται με βάση τη σχέση:

$$C_1 = \frac{1}{2\pi f_1(R_s + R_1)} \quad (E7.3)$$

όπου  $f_1$  είναι η πιο χαμηλή συχνότητα που θέλουμε να ενισχύσουμε. Η αντίσταση  $R_s$  είναι η αντίσταση εξόδου της γεννήτριας σήματος Χ.Σ. Ο πυκνωτής σύζευξης είναι απαραίτητος αν η γεννήτρια Χ.Σ έχει dc συνιστώσα.

Ο πυκνωτής  $C_2$  μπορεί να χρειάζεται, όταν έχουμε μικρά σήματα εισόδου για να απομακρύνει το σήμα του θορύβου εισόδου και η τιμή του είναι μερικές 10δες pF (100 pF).

#### E7.4 ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ

1. Συμπληρώστε τον πιο κάτω πίνακα για τον υπολογισμό της  $R_3$ .

$R_1$ (kΩ)	$R_2$ (kΩ)	$R_3$ (kΩ)
1	1000	
10	1000	
10	100	
10	10	

2. Συνδεσμολογήστε τον ενισχυτή του Σχ.Ε7.1, χρησιμοποιώντας  $C_1=10$  μF,  $R_1=10$  kΩ και την  $R_2=10$  kΩ.
3. Κρατώντας σταθερό το πλάτος της τάσης εισόδου της γεννήτρια Χ.Σ  $v_i=1$  V p-p, μεταβάλλετε τη συχνότητα εισόδου και πάρτε μετρήσεις και συμπληρώστε τον πιο κάτω πίνακα.

f(Hz)	v <sub>o</sub> (V)	v <sub>o</sub> /v <sub>i</sub>	A (dB)
0.1			
0.3			
0.5			
1			
3			
5			
10			
30			
50			
100			
300			
500			
1K			
3 K			
5 K			
10 K			
30 K			
50 K			
100 K			
300 K			
500 K			
1 M			

όπου,

$$A = 20 \log \frac{v_o}{v_i} \text{ dB}$$

4. Αλλάξτε την  $R_2 = 100 \text{ k}\Omega$ , και επαναλάβετε το βήμα 3, δίνοντας τάση από τη γεννήτρια, αλλά χωρίς παραμόρφωση ώστε να έχετε στην έξοδο το μέγιστο δυνατό σήμα.

5. Αλλάξτε τον πυκνωτή  $C_1=1\ \mu\text{F}$  και επαναλάβετε το βήμα 3. (Συνδέστε τη σωστή  $R_3$ ).
6. Αλλάξτε τον πυκνωτή  $C_1=0.1\ \mu\text{F}$  και επαναλάβετε το βήμα 3. (Συνδέστε τη σωστή  $R_3$ ).
7. Αλλάξτε την  $R_2=1000\ \text{k}\Omega$  και, αφού συνδέστε τη σωστή  $R_3$ , επαναλάβετε το βήμα 3.
8. Αλλάξτε την  $R_1=1\ \text{k}\Omega$ , και επαναλάβετε το βήμα 3,
9. Συνδέστε μια αντίσταση  $R_{in}$  σε σειρά με την  $R_1$ , ώστε να έχετε ενίσχυση 100, και μεταβάλετε την αντίσταση αυτή (μεταβλητή ή κιβώτιο αντιστάσεων) μέχρις ότου η τάση εξόδου να γίνει μισή από όση αρχικά. Καταγράψτε την αντίσταση αυτή. (Βλέπε προηγούμενη άσκηση)
10. Στο ίδιο ημι-λογ χαρτί, σχεδιάστε όλες τις καμπύλες απόκρισης κατά συχνότητα και βρείτε τις συχνότητες μισής ισχύος και το εύρος ζώνης διέλευσης σε κάθε περίπτωση.

## E7.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

### Σημείωση

- Όταν χρησιμοποιούμε TE, αφού συνδεσμολογήσουμε το κύκλωμα τον τροφοδοτούμε με τις αναγκαίες dc τάσεις ( $\pm 12\ \text{V}$ , ακροδέκτες 7 και 4).
- Συνδέουμε τη γεννήτρια Χ.Σ χωρίς να είναι on και με ένα HB ή CRO στο dc μετράμε τις τάσεις στους ακροδέκτες 7 και 4 να δούμε αν πράγματι “έρχονται” οι προβλεπόμενες dc τάσεις. Για να είναι σωστά πολωμένος ο TE θα πρέπει ο ακροδέκτης εξόδου (ακροδέκτης 6) να έχει dc τάση μηδέν.
- Θα πρέπει, επίσης, σε κάθε TE να συνδέσουμε στους ακροδέκτες 7 και 4 και στη γη με πυκνωτές  $100\ \text{nF}$ , για να αποφύγουμε το θόρυβο (θόρυβο από το δίκτυο και παρασιτικούς θορύβους).

## Άσκηση 8η

### ΜΗ ΑΝΑΣΤΡΕΦΩΝ ΕΝΙΣΧΥΤΗΣ AC ΜΕ ΤΕ

#### Ε8.1 Σκοπός

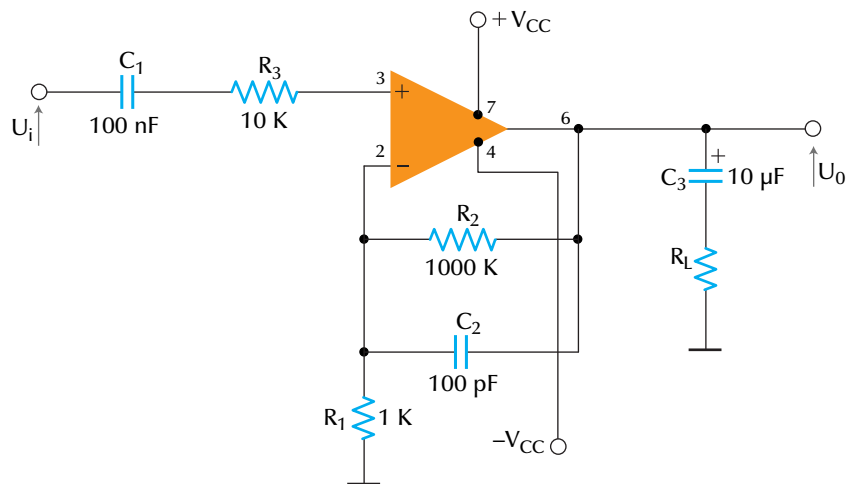
- Η μελέτη του μη αναστρέφοντος ενισχυτή με διάφορες αντιστάσεις ανασύζευξης.
- Η μέτρηση της αντίστασης εξόδου του ενισχυτή.
- Ο προσδιορισμός του εύρους ζώνης διέλευσης συχνοτήτων.
- Ο υπολογισμός της ενίσχυσης του ενισχυτή για καθορισμένη ενίσχυση.

#### Ε8.2 Συσκευές

1. Γεννήτρια Χ.Σ.
2. ΗΒ ή ΨΒ.
3. CRO διπλής δέσμης.

#### Ε8.3 Θεωρητικό Υπόβαθρο

Το Σχ.Ε8.1 δείχνει τον ΤΕ συνδεσμολογημένο χωρίς να κάνει αναστροφή του σήματος εισόδου.



Σχ.Ε8.1. Μη αναστρέφων ενισχυτής.

Η ενίσχυση του ενισχυτή αυτού είναι:

$$A_f = \frac{v_o}{v_i} = 1 + \frac{R_2}{R_1} \quad (\text{E8.1})$$

#### E8.4 ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ

1. Συνδεσμολογήστε το κύκλωμα του Σχ.Ε8.1 χωρίς τον  $C_3$  και την  $R_L$ , με τα εξής στοιχεία:  $C_1=100$  nF,  $R_3=10$  kΩ,  $R_1=1$  kΩ,  $R_2=1000$  kΩ και  $C_2=100$  pF.
2. Συνδέστε στην είσοδο του ενισχυτή γεννήτρια Χ.Σ και δώστε σήμα τάσης στη συχνότητα 100 Hz, ώστε να είναι το μέγιστο δυνατό χωρίς να είναι παραμορφωμένο στην έξοδο και σημειώστε την τάση αυτή  $v_i$ . Σε χιλιοστομετρικό (mm) χαρτί σχεδιάστε το σήμα εισόδου και εξόδου.

$$v_i = \dots \text{ V}$$

Τι διαπιστώνετε;

1. Από τη μέτρηση των τάσεων εισόδου και εξόδου του βήματος 2, υπολογίστε την ενίσχυση και εκφράστε την σε dB.
2. Διατηρώντας το σήμα εισόδου σταθερό κατά πλάτος, μεταβάλλετε τη συχνότητα της γεννήτριας εισόδου μέχρις ότου να πάρετε στην έξοδο τα 0.707 της μέγιστης τάσης εξόδου, δηλ. της τάσης στα 100 Hz. Σημειώστε την αντίστοιχη συχνότητα.

$$f_2 = \dots \text{ Hz}$$

Ποιο είναι το εύρος ζώνης διέλευσης του ενισχυτή; Σημειώστε το.

$$\text{BW} = \dots \text{ Hz}$$

3. Διατηρώντας την τάση εισόδου σταθερή και ίση με εκείνη του βήματος 2, μεταβάλλετε τη συχνότητα της γεννήτριας και πάρτε μετρήσεις με τον CRO (συνδεδεμένος στην έξοδο του ενισχυτή), ώστε να συμπληρώσετε τον πιο κάτω πίνακα.

<b>f(Hz)</b>	<b><math>v_o</math> (V)</b>	<b><math>v_o/v_i</math></b>	<b>A(dB)</b>
0.1			
0.3			
0.5			
1			
3			
5			
10			
30			
50			
100			
300			
500			
1 k			
3 k			
5 k			
10 k			
50 k			
100 k			

6. Αποσυνδέστε τον  $C_2$  και αλλάξτε την  $R_1$  σε τιμή  $R_1=10\text{ k}\Omega$ .
7. Επαναλάβετε το βήμα 5.
8. Συνδέστε τον  $C_2=10\text{ pF}$ .
9. Επαναλάβετε το βήμα 5.
10. Αλλάξτε τον  $C_2$  σε τιμή  $C_2=100\text{ pF}$ .
11. Επαναλάβετε το βήμα 5.
12. Αλλάξτε τον  $C_2$  σε τιμή  $C_2=1000\text{ pF}$ .
13. Επαναλάβετε το βήμα 5.
14. Συνδέστε το κύκλωμα με τις τιμές του βήματος 1. Στην έξοδο του ενισχυτή συνδέστε τον  $C_3=10\text{ }\mu\text{F}$  σε σειρά με μεταβλητή αντίσταση ή κιβώτιο αντιστάσεων  $R_L$ . Μεταβάλετε την τιμή της  $R_L$  μέχρις ότου το σήμα εξόδου γίνει το μισό αυτού που είχατε πριν συνδέσετε το φορ-

τίο. Η γεννήτρια να έχει συχνότητα 100 Hz και η ενίσχυση να είναι 100.

15. Μετρείστε και σημειώστε την προηγούμενη τελική αντίσταση.

$$R_0 = \dots \Omega$$

16. Στο ίδιο ημι-λογ χαρτί, σχεδιάστε όλες τις καμπύλες για τις οποίες πήρατε μετρήσεις.

17. Βρείτε το εύρος διέλευσης συχνοτήτων σε κάθε περίπτωση.

### **E8.5 Συμπεράσματα**



## Άσκηση 9η

### ΑΘΡΟΙΣΤΗΣ ΚΑΙ ΑΦΑΙΡΕΤΗΣ ΜΕ ΤΕ

#### Ε9.1 Σκοπός

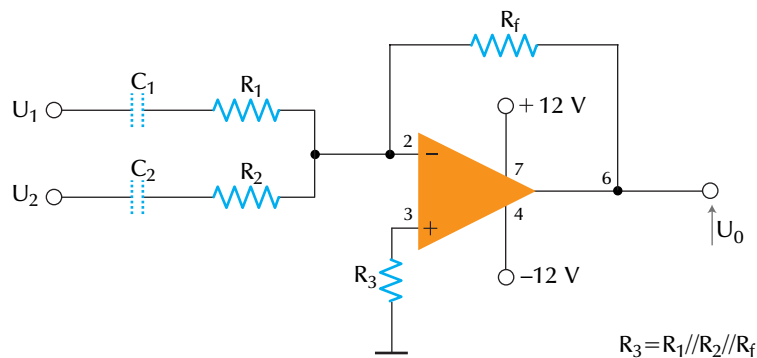
- Να μελετηθεί ο ενισχυτής αθροιστής.
- Να μελετηθεί ο ενισχυτής διαφοράς ή αφαιρετής.

#### Ε9.2 Συσκευές

1. ΗΒ ή ΨΒ ή CRO.
2. Δύο πηγές dc τάσης.

#### Ε9.3 Θεωρητικό Υπόβαθρο

Το Σχ.Ε9.1 δείχνει τον ΤΕ συνδεσμοποιημένο σαν **αθροιστή** dc ή ac (με πυκνωτές στην είσοδό του) με δύο εισόδους άθροισης.



**Σχ.Ε9.1.** Ενισχυτής αθροιστής dc ή ac δύο εισόδων.

Αποδεικνύεται, ότι η έξοδος του κυκλώματος δίνεται από τη σχέση:

$$v_0 = -R_f \left( \frac{v_1}{R_1} + \frac{v_2}{R_2} \right) \quad (\text{E9.1})$$

όπου τα  $v_1$ ,  $v_2$ ,  $v_0$  παριστάνουν στιγμιαίες τιμές των αντίστοιχων τάσεων.  
Άρα, αν  $R_1 = R_2 = R$ , έχουμε:

$$v_0 = -\frac{R_f}{R} (v_1 + v_2) \quad (\text{E9.2})$$

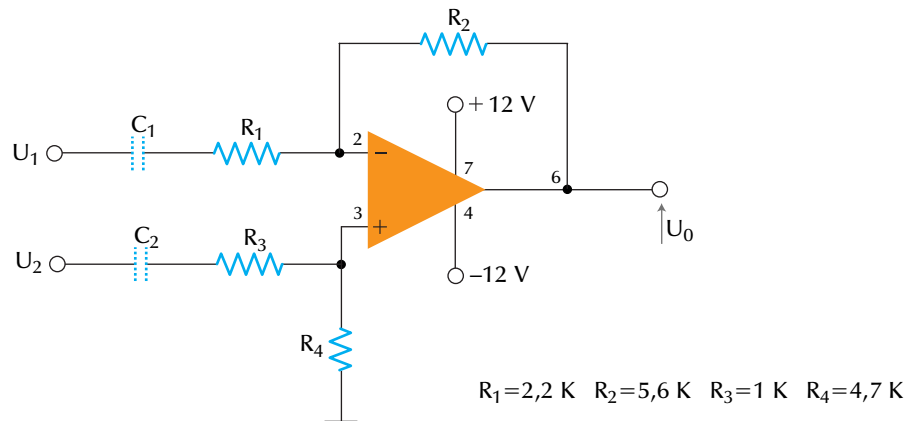
Αν  $R_f = R$  έχουμε:

$$v_0 = -(v_1 + v_2) \quad (\text{E9.3})$$

Το (-) σημαίνει διαφορά φάσης  $180^\circ$  μεταξύ εισόδου και εξόδου (αναστροφή σήματος).

Το Σχ.Ε9.2 δείχνει τον **ενισχυτή διαφοράς** ή **αφαιρέτη** dc ή ac.

Αποδεικνύεται, ότι η τάση εξόδου του δίνεται από τη σχέση:



**Σχ.Ε9.2.** Ενισχυτής διαφοράς ή αφαιρέτης dc ή ac.

$$v_0 = \frac{R_4}{R_3} v_2 - \frac{R_2}{R_1} v_1 \quad (\text{E9.2})$$

Άρα, αν  $R_1 = R_3 = R$  και  $R_2 = R_4 = R_f$ , έχουμε:

$$v_0 = -\frac{R_f}{R} (v_2 - v_1) \quad (\text{E9.3})$$

Αν  $R_f = R$ , προκύπτει:

$$v_0 = v_2 - v_1 \quad (E9.4)$$

#### E9.4 ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ

1. Κατασκευάστε το κύκλωμα του Σχ.Ε9.1 με τις εξής τιμές:

$$R_1 = 4.7 \text{ k}\Omega, \quad R_2 = 2.2 \text{ k}\Omega, \quad R_{\Pi} = 22 \text{ k}\Omega$$

2. Συνδέστε τάσεις  $v_1 = 0.5 \text{ V}$  και  $v_2 = 1 \text{ V}$ .
3. Μετρείστε την τάση εξόδου, είτε με ΗΒ είτε με CRO (να είναι στη θέση dc), και καταγράψτε το αποτέλεσμα.

$$v_0 = \dots \text{ V.}$$

4. Υπολογίστε θεωρητικά την τάση αυτή και συγκρίνατέ την με τη μετρηθείσα. Δικαιολογίστε τυχόν απόκλιση.
5. Συνδέστε στην  $v_1 = 0.5 \text{ V}$ ,  $v_2 = -1 \text{ V}$ .
6. Μετρείστε την τάση εξόδου και καταγράψτε το αποτέλεσμα.

$$v_0 = \dots \text{ V.}$$

7. Υπολογίστε θεωρητικά την τάση αυτή και συγκρίνατέ την με τη μετρηθείσα. Δικαιολογίστε τυχόν απόκλιση.
8. Συνδέστε τάσεις  $v_1 = -0.5 \text{ V}$ , και  $v_2 = 1 \text{ V}$ .
9. Μετρείστε την αντίστοιχη τάση εξόδου και καταγράψτε το αποτέλεσμα.

$$v_0 = \dots \text{ V.}$$

10. Υπολογίστε θεωρητικά την τάση εξόδου και συγκρίνατέ την με τη μετρηθείσα. Δικαιολογίστε τυχόν απόκλιση.
11. Συνδεσμολογήστε το κύκλωμα του Σχ.Ε9.2 με τις εξής τιμές

$$R_1 = 2.2 \text{ k}\Omega, \quad R_2 = 5.6 \text{ k}\Omega, \quad R_3 = 1 \text{ k}\Omega, \quad R_4 = 4.7 \text{ k}\Omega$$

12. Στην είσοδο συνδέστε τις τάσεις  $v_1 = 0.5 \text{ V}$ , και  $v_2 = 1 \text{ V}$ .
13. Μετρείστε την τάση εξόδου και καταγράψτε το αποτέλεσμα.

$$v_0 = \dots \text{ V.}$$

14. Υπολογίστε θεωρητικά την τάση αυτή και συγκρίνατέ την με τη μετρηθείσα.

**15.** Στην είσοδο βάλτε τις τάσεις  $v_1 = 1\text{ V}$  και  $v_2 = 0.5\text{ V}$ .

**16.** Μετρείστε και καταγράψτε την τάση εξόδου.

$$v_0 = \dots \text{ V.}$$

**17.** Υπολογίστε θεωρητικά την τάση εξόδου και συγκρίνατέ την με τη μετρηθείσα.

**18.** Υπολογίστε ενισχυτή διαφοράς που να έχει την εξής έξοδο:  $v_0 = 5\text{ V}$ .

**19.** Για τάσεις εισόδων  $v_2 = v_1 = 1\text{ V}$ . μετρείστε την τάση εξόδου και καταγράψτε την τιμή της.

$$v_0 = \dots \text{ V.}$$

**20.** Υπολογίστε θεωρητικά την τάση εξόδου και συγκρίνατέ την με τη μετρηθείσα.

### E9.5 Συμπεράσματα

#### Σημείωση

Αν δεν έχετε στο εργαστήριο τις παραπάνω dc τάσεις χρησιμοποιείστε μια μπαταρία 1.5 V και για την άλλη τάση χρησιμοποιείστε δίοδο πολωμένη με την ορθή φορά, δηλ. θα συνδέσετε μια αντίσταση R σε σειρά με μια δίοδο. (θα σας εξηγήσει ο καθηγητής σας) που δίνει τάση περίπου 0.7 V). Μετρείστε την με ακρίβεια.

## Άσκηση 10η

### ΟΛΟΚΛΗΡΩΤΗΣ

#### E10.1 Σκοπός

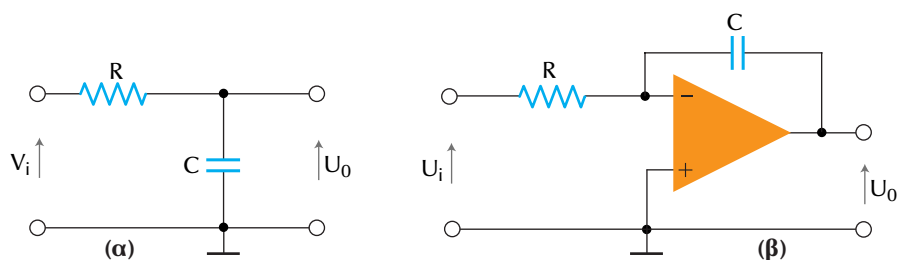
Η μελέτη της ολοκλήρωσης με δικτύωμα RC και με TE.

#### E10.2 Συσκευές

1. Γεννήτρια παλμών.
2. CRO διπλής δέσμης.

#### E10.3 Θεωρητικό Υπόβαθρο

Το Σχ.Ε10.1(α) δείχνει το δικτύωμα RC (φίλτρο Χ.Σ) που κάνει **ολοκλήρωση**. Το δε Σχ.Ε10.1(β) δείχνει το ίδιο κύκλωμα με TE.



Σχ.Ε10.1. Ολοκληρωτής με δικτύωμα RC(α) και με TE (β).

Αποδεικνύεται, ότι η τάση εξόδου για το δικτύωμα RC, δίνεται από τη σχέση:

$$v_0 = \frac{1}{\tau} \int v_i(t) dt \quad (\text{E10.1})$$

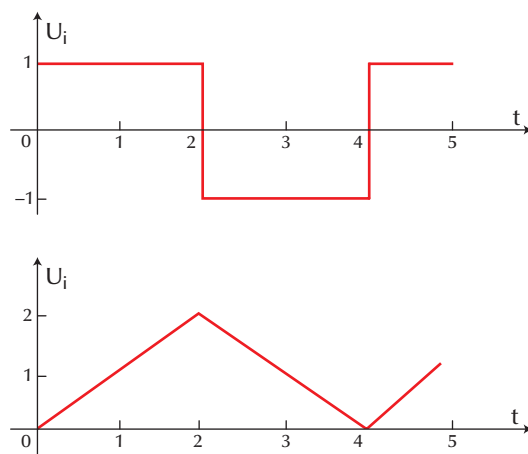
για τον ολοκληρωτή με TE από,

$$v_0 = -\frac{1}{\tau} \int v_i(t) dt = -\frac{v_i}{\tau} \Delta t = -\frac{I}{C} \Delta t \quad (\text{E10.2})$$

όπου τα  $v_i$  και  $v_0$  παριστάνουν στιγμιαίες τιμές τάσεων εισόδου και εξόδου αντίστοιχα. Και

$$\tau = RC \quad (\text{E10.3})$$

είναι η σταθερά χρόνου του κυκλώματος.



Σχ.Ε10.2.

Για να συμπεριφέρεται το κύκλωμα σα σωστός ολοκληρωτής πρέπει η διάρκεια του παλμού εισόδου,  $t_p$ , να ικανοποιεί τη συνθήκη:

$$t_p \ll \tau \quad (\text{Ε10.4})$$

Στην πράξη, δεχόμαστε ως επαρκή συνθήκη την ισότητα:

$$t_p = \frac{\tau}{10} \quad (\text{Ε10.5})$$

Στον ολοκληρωτή η τάση εξόδου είναι το ολοκλήρωμα της τάσης εισόδου. Η συνήθης πρακτική σκοπιμότητα του γεγονότος αυτού είναι, ότι αν η είσοδος είναι *τετραγωνική κυματομορφή* στην έξοδο θα πάρουμε *τριγωνική*, Σχ.Ε10.2.

#### Ε10.4 ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ

1. Συνδεσμολογήστε το κύκλωμα του Σχ.Ε10.1(α) με τις εξής τιμές:

$$R = 10 \text{ k}\Omega, \quad C = 0.47 \text{ }\mu\text{F}$$

2. Διεγείρετε το κύκλωμα με γεννήτρια παλμών συχνότητας 1.5 kHz και διάρκειας παλμού 0.5 ms και πλάτους 5 V.
3. Στο ειδικό χαρτί (ή σε χαρτί mm) σχεδιάστε τις κυματομορφές εισόδου και εξόδου, τοποθετώντας τη μία κάτω από την άλλη.

4. Αλλάξτε την  $R$  σε  $1\text{ k}\Omega$  και επαναλάβετε το βήμα 3.
5. Αλλάξτε την  $R$  σε  $10\text{ k}\Omega$  και επαναλάβετε το βήμα 3.
6. Αλλάξτε την  $R$  σε  $100\text{ k}\Omega$  και επαναλάβετε το βήμα 3.
7. Αλλάξτε την  $R$  σε  $1\text{ M}\Omega$  και επαναλάβετε το βήμα 3.
8. Συνδεσμολογήστε το κύκλωμα του Σχ.Ε10.1 (β) με τις εξής τιμές:

$$R = 10\text{ k}\Omega, \quad C = 0.47\text{ }\mu\text{F}$$

9. Επαναλάβετε τα βήματα 2 και 3.
10. Αλλάξτε την αντίσταση  $R$  σε τιμή  $R=1\text{ k}\Omega$  και επαναλάβετε το βήμα 3.
11. Αλλάξτε την  $R$  σε τιμή  $R=100\text{ k}\Omega$  και επαναλάβετε το βήμα 3.

### **E10.5 Συμπεράσματα**