

Εργαστήριο Ηλεκτρονικής

Αναφορά 3^{ης} Εργαστηριακής Άσκησης

Ακαδημαϊκό έτος 2024 – 2025

(Χειμερινό Εξάμηνο 2024)

Ονοματεπώνυμο: Κλαϊντι Τσάμη

Εισαγωγή:

Στην παρακάτω εργασία ασχοληθήκαμε με την ανάλυση και την μελέτη διαφόρων ηλεκτρονικών κυκλωμάτων. Συγκεκριμένα, εξετάσαμε κυκλώματα όπως το κύκλωμα ενισχυτή τάσης κοινού εκπομπού, το κύκλωμα ενισχυτή τάσης με πυκνωτή στον εκπομπό, το κύκλωμα ενισχυτή τάσης με φορτίο καθώς και το πλήρες κύκλωμα ενισχυτή δυο βαθμίδων με φορτίο, μελετήσαμε τα αποτελέσματα που προέκυψαν και αποδείξαμε βασικές θεωρητικές αρχές. Μέσα από τη διαδικασία αυτή, αποκομίσαμε σημαντικές γνώσεις για τη λειτουργία και τις εφαρμογές των ηλεκτρονικών κυκλωμάτων στην πράξη.

Θεωρία:

Για την μαθηματική μελέτη της εργαστηριακής άσκησης αυτής χρειάζονται κάποιες βασικές θεωρίες και εξισώσεις η οποίες αναγράφονται και αριθμούνται παρακάτω.

Καταρχάς, επειδή πρόκειται να συγκριθούν πειραματικές τιμές με θεωρητικές (ονομαστικές), απαιτείται η χρήση μιας σχέσης για την απόκλιση των τιμών αυτών. Αυτή η σχέση δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$\% \text{ απόκλιση} = \frac{\text{θεωρητική τιμή} - \text{πειραματική τιμή}}{\text{θεωρητική τιμή}} \cdot 100 \quad (1)$$

Θεωρία κυκλωμάτων ενίσχυσης τάσης κοινού εκπέμπου:

Στο κύκλωμα αυτό η ενίσχυση που προκαλεί το κύκλωμα στην τάση εισόδου ισούται με :

$$A_u = -\frac{U_o}{U_i} \quad (1.1)$$

Εάν θέλουμε να μετατρέψουμε σε **Decibel** την ενίσχυση τάσης τότε η τιμή της θα δίνεται από την παρακάτω σχέση σύμφωνα με την θεωρεία:

$$A_u(\text{Db}) = 20 \cdot \log\left(\frac{U_o}{U_i}\right) \quad (1.2)$$

Εκτός των τάσεων εισόδου και εξόδου μπορεί να αποδειχθεί θεωρικά ότι η ενίσχυση τάσης για ένα απλό κύκλωμα ενισχυτή τάσης κοινού εκπομπού ισούται συνάρτηση των αντιστάσεων του κυκλώματος με:

$$A_u = -\frac{R_C}{R_E} \quad (1.3), \text{ όπου } R_C \text{ η αντίσταση που έχει τοποθετηθεί στον συλλέκτη του τρανζίστορ του κυκλώματος ενώ } R_E \text{ η αντίσταση που έχει τοποθετηθεί στον εκπομπό του τρανζίστορ.}$$

Εάν παράλληλα με την αντίσταση στον εκπομπή προστεθεί μια άλλη αντίσταση R_L τότε η σχέση της ενίσχυσης τάσης παίρνει την εξής μορφή:

$$A_u = -\frac{R_C // R_L}{r_{BE}} \quad (1.4)$$

Όπου:

$$r_{BE} = \frac{26}{I_E} \quad (1.5)$$

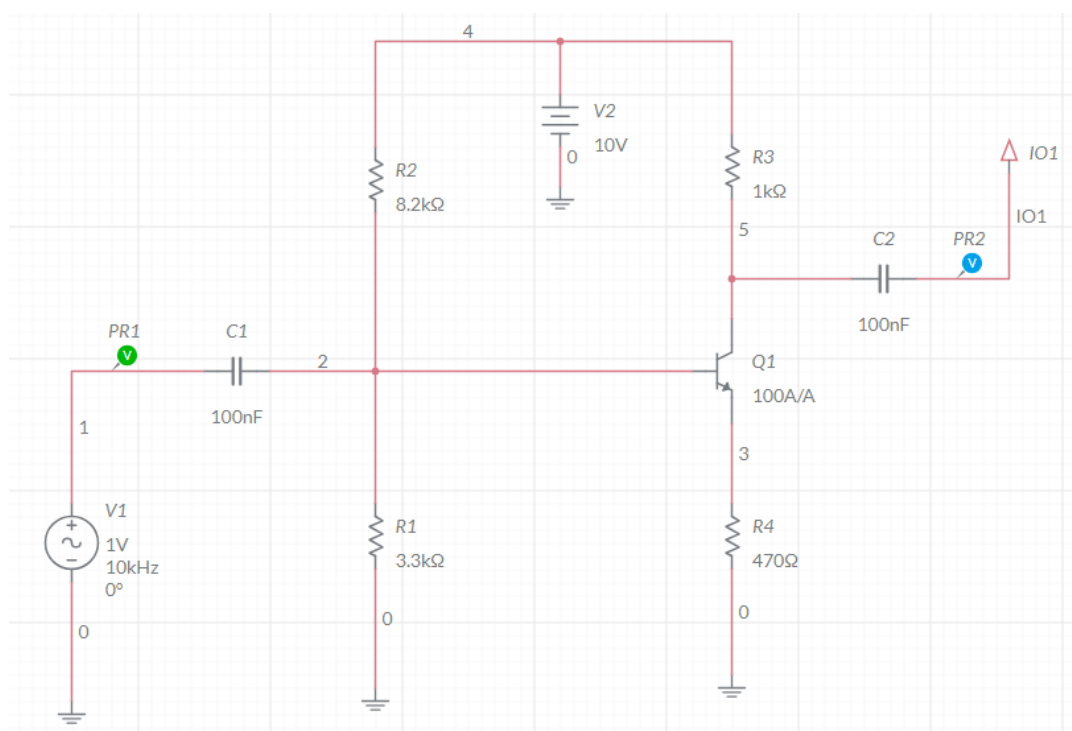
Πειραματικό μέρος:

Κύκλωμα 1: Κύκλωμα ενισχυτή τάσης κοινού εκπομπού

Στο πρώτο μέρος του πειραματικού τμήματος της εργασίας, θα μελετήσουμε τη λειτουργία ενός κυκλώματος ενισχυτή τάσης σε κοινό εκπομπού παρέχοντας κατάλληλες εισόδους και αναλύοντας τις εξόδους του. Μέσα από την παρατήρηση των αποτελεσμάτων στην έξοδο, θα κατανοήσουμε τη συμπεριφορά και τη λειτουργία του κυκλώματος. Για τον σχηματισμό του κυκλώματος αυτού απαιτούνται τα εξής ηλεκτρονικά στοιχεία:

- AC τάση $V_{pp} = 2\text{ V}$ και $f = 10\text{ kHz}$
- 4 αντιστάσεις ($8.2\text{ k}\Omega$, $3.3\text{ k}\Omega$, $1\text{ k}\Omega$ και $470\text{ }\Omega$)
- 1 transistor NPN
- Πηγή συνεχούς τάσης 10 V
- 2 πυκνωτές χωρητικότητας 100 nF
- Παλμογράφο

Η συνδεσμολογία του κυκλώματος αποτυπώνεται χαρακτηριστικά στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 1):



Εικόνα 1: Συνδεσμολογία
κυκλώματος ενισχυτή τάσης
κοινού εκπομπού.

Καταρχάς, για να γίνει κατάλληλα η μελέτη του κυκλώματος θα χρειαστεί να τοποθετήσουμε στα άκρα της εναλλασσόμενης τάσης εισόδου το πρώτο κανάλι του παλμογράφου (Pr1, Εικόνα 1), ενώ το δεύτερο κανάλι θα χρειαστεί να τοποθετηθεί στην έξοδο του κυκλώματος (Pr2, Εικόνα 1). Για να ελεγχθεί αν το κύκλωμα λειτουργεί σωστά ή όχι χρειάζεται να γίνει σύγκριση μέσω του παλμογράφου

της κυματομορφής της τάσης εξόδου με την κυματομορφή της τάσης εισόδου. Εάν η τάση εξόδου είναι αντεστραμμένη και ενισχυμένη, τότε το κύκλωμα λειτουργεί σωστά. Εφόσον το κύκλωμα λειτουργεί σωστά, αφαιρούμε το κανάλι 2 και το τοποθετούμε στους ακροδέκτες του τρανζίστορ και υπολογίζουμε μέσω του παλμογράφου τα DC δυναμικά, τα οποία πειραματικά υπολογίστηκαν ως εξής:

Στον συλλέκτη: $V_{DC} \approx 6 \text{ V}$

Στην βάση: $V_{DC} \approx 3 \text{ V}$

Στον εκπομπό: $V_{DC} \approx 2 \text{ V}$

Θεωρητικά η τιμές αυτές μπορούν να υπολογιστούν μέσω το online software Multisim, συγκεκριμένα το Multisim έβγαλε της εξής τιμές:

Στον συλλέκτη: $V_{DC-\theta} \approx 5.9 \text{ V}$

Στην βάση: $V_{DC-\theta} \approx 2.8 \text{ V}$

Στον εκπομπό: $V_{DC-\theta} \approx 2 \text{ V}$

Η απόκλιση των πειραματικών τιμών από της θεωρητικές θα βρεθεί χρησιμοποιώντας της σχέση (1):

$$\varepsilon_{VDC-\text{συλλ.}} = \frac{5.9 - 6}{5.9} \cdot 100 = -\frac{0.1}{5.9} \cdot 100 = -1.7 \%$$

$$\varepsilon_{VDC-\text{βάση.}} = \frac{2.8 - 3}{2.8} \cdot 100 = -\frac{0.2}{2.8} \cdot 100 = -7.1 \%$$

$$\varepsilon_{VDC-\text{εκπ.}} = \frac{2 - 2}{2} \cdot 100 = -\frac{0}{2} \cdot 100 = 0 \%$$

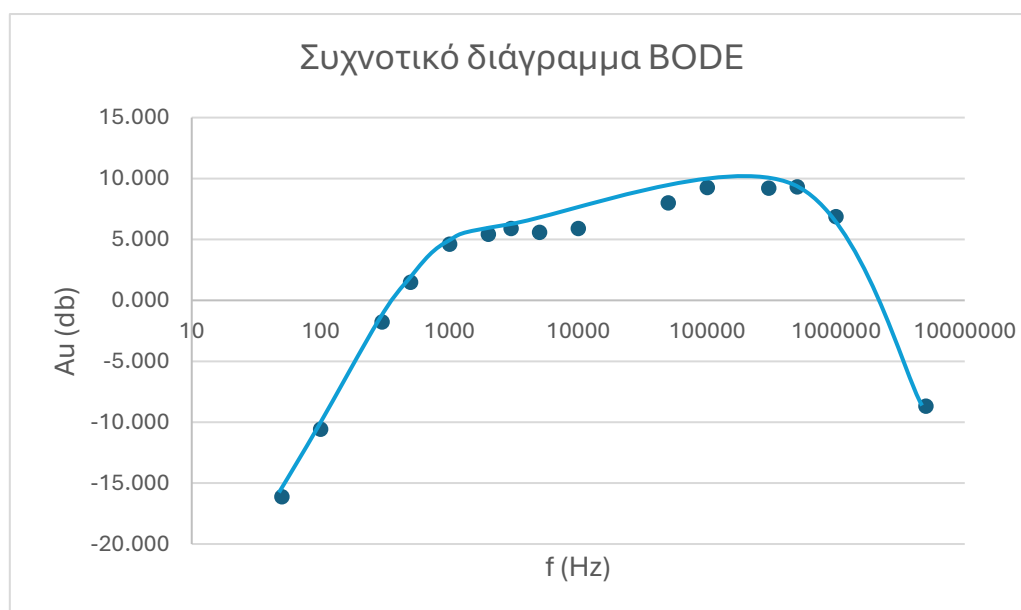
Όπως παρατηρούμε, οι τιμές απόκλισης είναι σχετικά μικρές, γι' αυτό και μπορούμε να θεωρήσουμε ότι πειραματικά λάβαμε σωστές τιμές από τον παλμογράφο.

Έπειτα, θα εξετάσουμε την επίδραση της συχνότητας της εναλλασσόμενης τάσης εισόδου στην τιμή της ενίσχυσης τάσης του κυκλώματος. Αυτό θα το κάνουμε δίνοντας κάποιες τιμές συχνότητας στην πηγή εισόδου και καταγράφοντας την τάση εξόδου για τις τιμές αυτές, και έπειτα μέσω της σχέσης (1.2) υπολογίζουμε και την τιμή της ενίσχυσης. Όλα τα δεδομένα αυτά παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 1):

f (Hz)	Vi (p-p)	Vo (p-p)	Av (db)
50	1.92	0.3	-16.124
100	1.96	0.58	-10.577
300	1.94	1.58	-1.783
500	1.94	2.3	1.479
1000	1.92	3.26	4.598
2000	1.94	3.62	5.418
3000	1.9	3.74	5.882
5000	2	3.8	5.575
10000	2	3.94	5.889
50000	2.04	5.12	7.993
100000	2	5.8	9.248
300000	2.04	5.88	9.195
500000	1.96	5.73	9.318
1000000	1.96	4.32	6.865
5000000	1.96	0.72	-8.698

Πίνακας 1: Δεδομένα συχνότητας, τάσης εισόδου, τάσης εξόδου και ενίσχυσης κυκλώματος ενισχυτή τάσης κοινού εκπομπού.

Για να μπορέσουμε να κάνουμε την καλύτερη δυνατή μελέτη των δεδομένων του πίνακα, θα χρειαστεί να δημιουργήσουμε ένα συχνотικό ημιλογαριθμικό διάγραμμα BODE με τα δεδομένα συχνότητας και ενίσχυσης του Πίνακα 1. Το διάγραμμα αυτό αποτυπώνεται χαρακτηριστικά στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 2):



Εικόνα 2: Διάγραμμα A-f μέσω των πειραματικών δεδομένων του πίνακα 1.

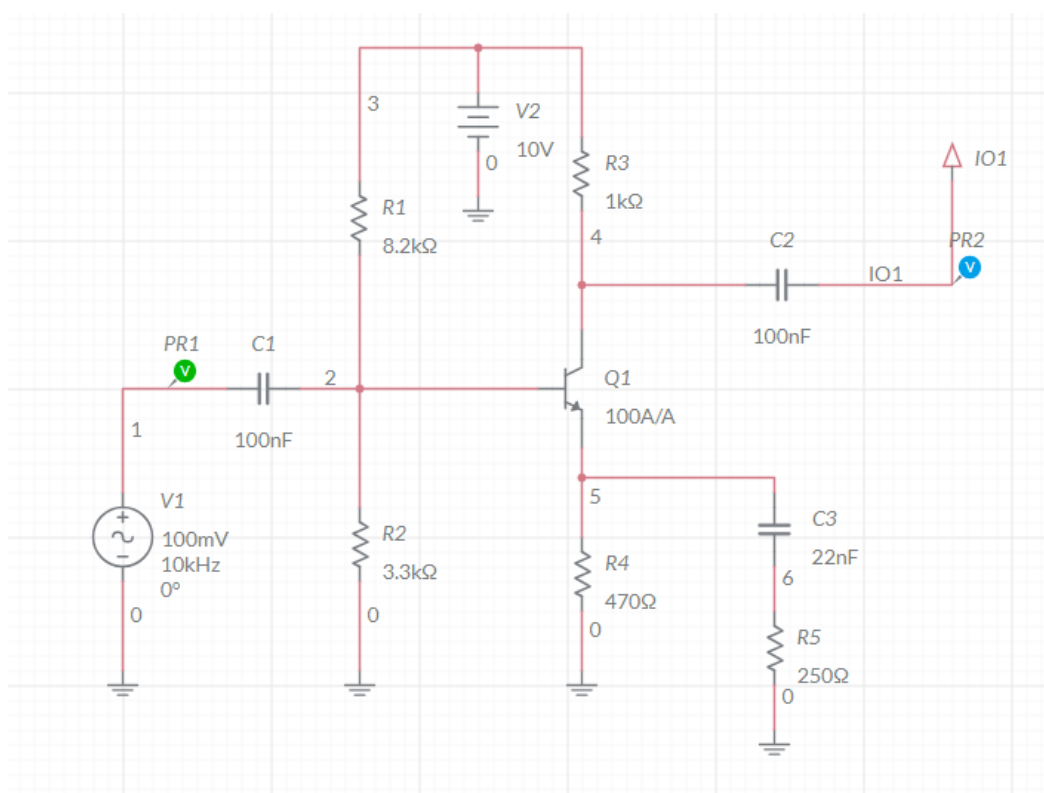
Στο παραπάνω διάγραμμα, παρατηρούμε πτώση της ενίσχυσης τάσης για πολύ μικρές και πολύ μεγάλες τιμές συχνότητας και αυτό συμβαίνει λόγω των χωρητικών αντιστάσεων των πυκνωτών του κυκλώματος που είναι άμεσα εξαρτημένες από την συχνότητα της πηγής.

Κύκλωμα 2: Κύκλωμα ενισχυτή τάσης με πυκνωτή στον εκπομπό

Στο δεύτερο μέρος του πειραματικού τμήματος της εργασίας, θα μελετήσουμε τη λειτουργία ενός κυκλώματος ενισχυτή τάσης με πυκνωτή στον εκπομπό παρέχοντας κατάλληλες εισόδους και αναλύοντας τις εξόδους του. Για τον σχηματισμό του κυκλώματος αυτού απαιτούνται τα εξής ηλεκτρονικά στοιχεία:

- AC τάση $V_{pp} = 100 \text{ mV}$ και $f = 10 \text{ kHz}$
- 4 αντιστάσεις ($8.2 \text{ k}\Omega$, $3.3 \text{ k}\Omega$, $1 \text{ k}\Omega$ και 470Ω)
- 1 transistor 100 A/A
- Πηγή συνεχούς τάσης 10 V
- 3 πυκνωτές χωρητικότητας ($2 \cdot 100 \text{ nF}$ και $1 \cdot 22 \text{ nF}$)
- Παλμογράφο
- Κιβώτιο αντιστάσεων

Η συνδεσμολογία του κυκλώματος αποτυπώνεται χαρακτηριστικά στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 3):



Εικόνα 3: Συνδεσμολογία κυκλώματος ενισχυτή τάσης με πυκνωτή στον εκπομπό.

Το κύκλωμα αυτό είναι το ίδιο κύκλωμα του 1^{ου} μέρους, με τη μόνη διαφορά ότι έχει προστεθεί παράλληλα στην αντίσταση R4 ένας πυκνωτής και ένα κιβώτιο αντιστάσεων R_A. Στόχος του κυκλώματος αυτού είναι η μέτρηση της ενίσχυσης τάσης για διαφορετικές τιμές αντίστασης R_A. Οπότε με τον ίδιο τρόπο τοποθετούμε στην είσοδο και την έξοδο τα δύο κανάλια του παλμογράφου (Pr1 και Pr2 αντίστοιχα, Εικόνα 3). Ξεκινώντας από την τιμή αντίστασης R_A = 250 Ω και με βήμα τα -50 Ω έως τα 0 Ω, καταγράφουμε τις τιμές τάσης εισόδου και εξόδου του κυκλώματος. Έπειτα, χρησιμοποιώντας τη σχέση:

$A_u = -\frac{R_C}{R_E // R_A}$ υπολογίζουμε την ενίσχυση τάσης. Τα δεδομένα αυτά αποτυπώνονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 2).

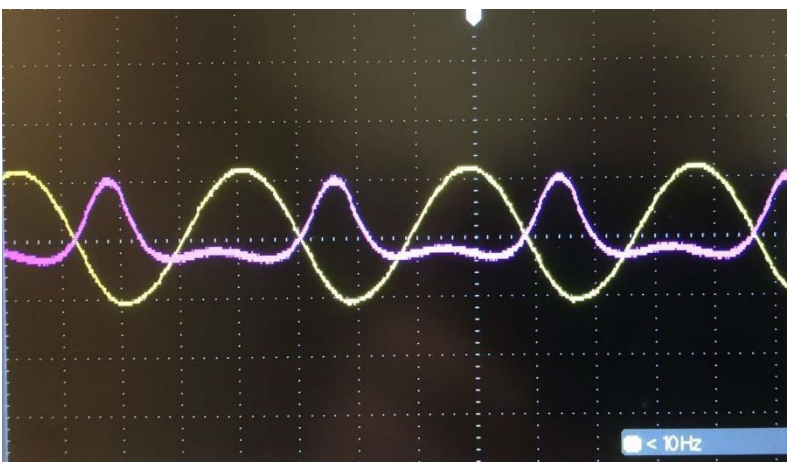
RA	Ui (mV)	Uo (mv)	Av
250	118	250	2.12
200	96	300	3.13
150	110	400	3.64
100	104	680	6.54
50	104	800	7.69
0	104	1000	9.62

Πίνακας 2: Δεδομένα αντίστασης R_A, τάσης εισόδου, τάσης εξόδου και ενίσχυσης.

Όπως παρατηρούμε από της παραπάνω τιμές του πίνακα 2 μεγαλύτερη τιμή ενίσχυσης τάσης έχουμε όταν η αντίσταση μηδενίζει ενώ όσο αυτή αυξάνει η τιμή της ενίσχυσης πέφτει, αυτό συμβαίνει διότι στην περίπτωση αυτή η ενίσχυση τάσης του κυκλώματος δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$A_u = -\frac{R_C}{R_E // R_A}$$

Τέλος εάν η τιμή της αντίστασης R_A αυξηθεί ακόμη παραπάνω θα παρατηρήσουμε την κυματομορφή της τάσης εξόδου να παραμορφώνετε, συγκεκριμένα η παραμόρφωση αυτή πειραματικά ξεκινούσε από την τιμή των R_A = 300 Ω. Συγκεκριμένα η κυματομορφή της τάσης εξόδου για την τιμή αυτή εμφανιζόταν στον παλμογράφο ως εξής (Εικόνα 3.1 μοβ κυματομορφή):



Εικόνα 3.1: Κυματομορφές τάσης εισόδου (Κίτρινη) και τάσης εξόδου (μοβ) για R_A = 300 Ω.

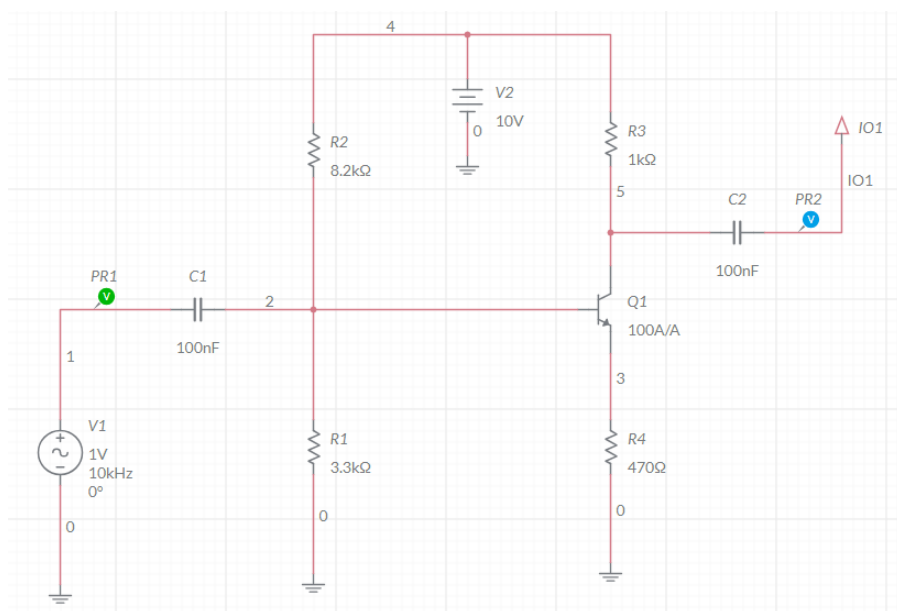
Κύκλωμα 3: Κύκλωμα ενισχυτή τάσης με φορτίο

Στο τρίτο μέρος του πειραματικού τμήματος της εργασίας, θα μελετήσουμε τη λειτουργία ενός κυκλώματος ενισχυτή τάσης με αντίσταση φορτίου στην έξοδο παρέχοντας κατάλληλες εισόδους και αναλύοντας τις εξόδους του. Για τον σχηματισμό του κυκλώματος αυτού απαιτούνται τα εξής ηλεκτρονικά στοιχεία:

- AC τάση $V_{pp} = 2\text{ V}$ και $f = 10\text{ kHz}$
- 5 αντιστάσεις ($8.2\text{ k}\Omega$, $3.3\text{ k}\Omega$, $2 \cdot 1\text{ k}\Omega$, $470\text{ }\Omega$)
- 1 transistor 100 A/A
- Πηγή συνεχούς τάσης 10 V
- 2 πυκνωτές χωρητικότητας 100 nF
- Παλμογράφο

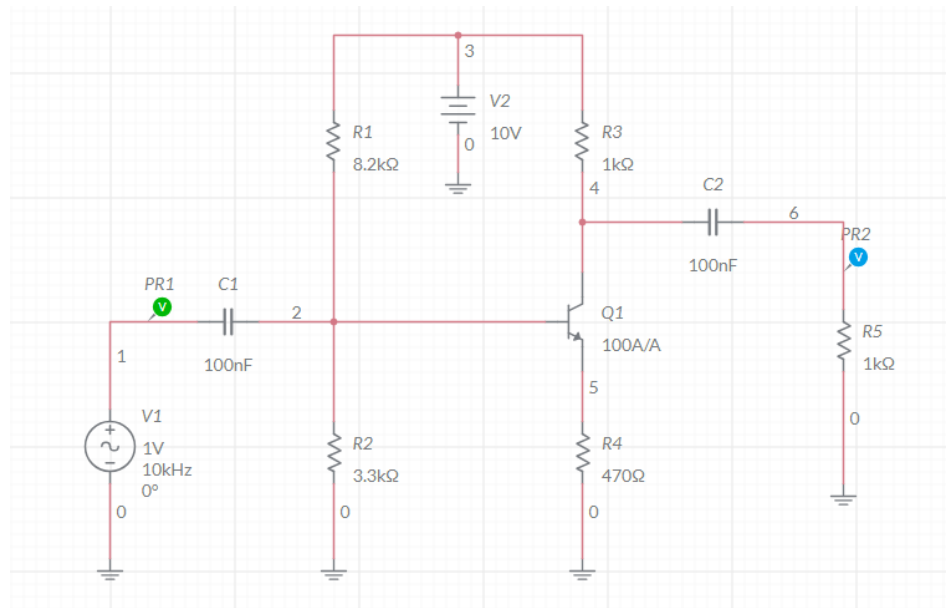
Συγκεκριμένα πρώτα θα χρειαστεί να κατασκευάσουμε το κύκλωμα ενισχυτή τάσης χωρίς αντίσταση φορτίου στην έξοδο (Εικόνα 3^α) και έπειτα το ίδιο κύκλωμα με αντίσταση φορτίου στην έξοδο (Εικόνα 3^β) ώστε να συγκρίνουμε τα δυο αυτά κυκλώματα και να καταλήξουμε σε καταλληλά συμπεράσματα για την λειτουργία τους.

Η συνδεσμολογία των κυκλωμάτων αποτυπώνεται χαρακτηριστικά στις παρακάτω εικόνες (Εικόνα 4α και 4β):



Εικόνα 4α: Συνδεσμολογία κυκλώματος ενισχυτή τάσης χωρίς αντίσταση φορτίου.

Εικόνα 4β: Συνδεσμολογία κυκλώματος ενισχυτή τάσης με αντίσταση φορτίου.



Έχοντας φτιάξει το πρώτο κύκλωμα (Εικόνα 4α), συνδέουμε τα κανάλια του παλμογράφου στην τάση εισόδου και στην έξοδο του κυκλώματος. Αρχικά, ελέγχουμε αν το κύκλωμα λειτουργεί σωστά, δηλαδή αν η κυματομορφή της τάσης εξόδου είναι αντεστραμμένη και ενισχυμένη σε σχέση με την τάση εισόδου. Στη συνέχεια, καταγράφουμε τις τιμές τάσης εισόδου και τάσης εξόδου που εμφάνισε ο παλμογράφος. Συγκεκριμένα, οι τιμές αυτές είναι οι εξής:

$$V_{i\text{p-p}} = 2.24 \text{ V} \text{ και } V_{o\text{p-p}} = 4.32 \text{ V}$$

Όπως παρατηρούμε από της παραπάνω τιμές το κύκλωμα έχει σχεδόν διπλασιάσει την τάση εισόδου. Αν υπολογίσουμε και την τιμή της ενίσχυσης τάσης αυτή θα ισούται σύμφωνα με την σχέση (1.3) με:

$$A_u = -\frac{R_C}{R_E} = -\frac{1000}{470} = -2.12$$

Έπειτα, σχεδιάζουμε το δεύτερο κύκλωμα (Εικόνα 4β), δηλαδή απλώς συνδέουμε την αντίσταση φορτίου στην έξοδο ($R_5 = 1\text{k}\Omega$). Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία, καταγράφουμε την τάση εισόδου και εξόδου του κυκλώματος αυτού μέσω του παλμογράφου, οι οποίες πειραματικά ήταν οι εξής:

$$V_{i\text{p-p}} = 2.24 \text{ V} \text{ και } V_{o\text{p-p}} = 2.20 \text{ V}$$

Είναι εμφανές ότι η τάση εξόδου έχει πέσει κατά πολύ σε σχέση με το προηγούμενο κύκλωμα, συγκεκριμένα η ενίσχυση τάσης η οποία δίνετε από την σχέση (1.4):

$$A_u = -\frac{R_C // R_L}{r_{BE}}$$

και ισούται με:

$$A_u = -\frac{2.2}{2.24} = -0.98$$

Ενίσχυση τάσης μικρότερη από 1 υποδηλώνει ότι το κύκλωμα, αντί να ενισχύει, μειώνει την τάση εισόδου. Αυτό θα αποτελούσε σοβαρό πρόβλημα στην πρακτική λειτουργία του κυκλώματος εκτός

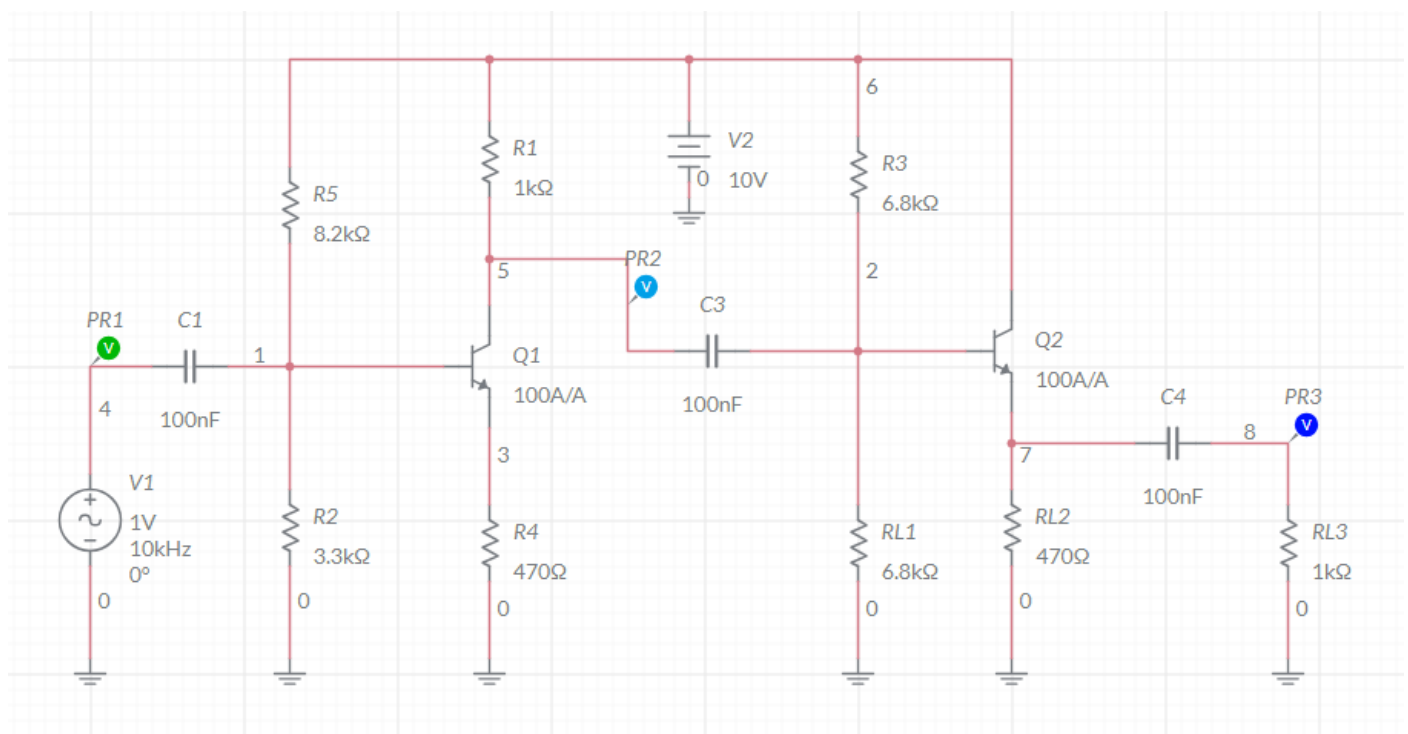
εργαστηρίου, καθώς ο συνήθης ρόλος του είναι η ενίσχυση ενός ηχητικού σήματος, με την έξοδο να συνδέεται σε ένα μεγάφωνο. Σε αυτή την περίπτωση, στόχος είναι να παρέχουμε ενισχυμένη τάση στο μεγάφωνο ώστε ο ήχος να είναι πιο δυνατός. Επομένως, το κύκλωμα αυτό, όπως είναι τώρα, δεν πληροί τις απαιτήσεις και χρειάζεται τροποποίηση, ώστε να μπορεί να προσφέρει αυξημένη τάση εξόδου όταν συνδέεται με κάποια συσκευή, όπως ένα μεγάφωνο.

Κύκλωμα 4: Πλήρες κύκλωμα ενισχυτή δυο βαθμίδων με φορτίο

Στο τελευταίο μέρος του πειραματικού τμήματος της εργασίας, θα μελετήσουμε τη λειτουργία ενός πλήρους κυκλώματος ενισχυτή δυο βαθμίδων με φορτίο παρέχοντας κατάλληλες εισόδους και αναλύοντας τις εξόδους του. Για τον σχηματισμό του κυκλώματος αυτού απαιτούνται τα εξής ηλεκτρονικά στοιχεία:

- AC τάση $V_{pp} = 2\text{ V}$ και $f = 10\text{ kHz}$
- 8 αντιστάσεις ($8.2\text{ k}\Omega$, $3.3\text{ k}\Omega$, $2 \cdot 1\text{ k}\Omega$, $2 \cdot 470\text{ }\Omega$, $2 \cdot 6.8\text{ k}\Omega$)
- 2 transistor 100 A/A
- Πηγή συνεχούς τάσης 10 V
- 3 πυκνωτές χωρητικότητας 100 nF
- Παλμογράφο

Η συνδεσμολογία του κυκλώματος αποτυπώνεται χαρακτηριστικά στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 5):



Εικόνα 5: Συνδεσμολογία πλήρους κυκλώματος ενισχυτή δυο βαθμίδων με φορτίο.

Το συγκεκριμένο κύκλωμα (Εικόνα 5) είναι η εξελεγμένη έκδοση του 1ου κυκλώματος, όπου, ακόμα και αν προσθέσουμε μια αντίσταση φορτίου στην έξοδο, το κύκλωμα θα συνεχίσει να ενισχύει την τάση εισόδου, κάτι που το 1ο κύκλωμα δεν κατάφερνε, όπως είδαμε στο 3ο μέρος της εργαστηριακής αυτής άσκησης. Αυτό θα το ελέγξουμε τοποθετώντας τα κανάλια του παλμογράφου ως εξής: το πρώτο κανάλι στην τάση εισόδου (PR1, Εικόνα 5) και το δεύτερο κανάλι, μία φορά στην έξοδο του ενισχυτή κοινού εκπομπού (PR2, Εικόνα 5) και την άλλη φορά στην έξοδο του κυκλώματος, δηλαδή στην αντίσταση φορτίου RL3 (PR3, Εικόνα 6). Σε κάθε μία από αυτές τις περιπτώσεις καταγράφουμε την τάση που δείχνει ο παλμογράφος. Συγκεκριμένα, οι πειραματικές τιμές ήταν οι εξής:

$$V_{i(p-p)} = 2.04 \text{ V στην τάση εισόδου.}$$

$$V_{o(p-p)} = 3.12 \text{ V στην έξοδο του ενισχυτή κοινού εκπομπού.}$$

$$V_{i(p-p)} = 2.98 \text{ V στην αντίσταση φορτίου.}$$

Στην έξοδο του ενισχυτή κοινού εκπομπού η ενίσχυση τάσης ισούται με:

$$A_u = -\frac{3.12}{2.04} = -1.52$$

ενώ στην αντίσταση φορτίου (έξοδο του κυκλώματος) αυτή ισούται με:

$$A_u = -\frac{2.98}{2.04} = -1.46$$

Στο κύκλωμα αυτό όντως παρατηρούμε την ενίσχυση της τάσης εισόδου ακόμη και αν προσθέσουμε αντίσταση φορτίου στην έξοδο (δηλαδή ένα μεγάφωνο). Αν και η τιμή της ενίσχυσης είναι σχετικά μειωμένη το κύκλωμα αυτό μπορεί να θεωρηθεί ότι μπορεί να λειτουργήσει και εκτός εργαστηρίου σε πραγματικές λειτουργίες.