

Εργαστήριο Ηλεκτρονικής

Αναφορά 4^{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 αντιστροφής με τελεστικό ενισχυτή, το κύκλωμα ενισχυτή χωρίς αντιστροφή με τελεστικό ενισχυτή, το κύκλωμα διαιρέτη τάσης με και χωρίς ακολουθητή τάσης και το κύκλωμα ολοκλήρωσης με τελεστικό ενισχυτή, 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:

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

Επιπλέον η συντομογραφία "TE" χρησιμοποιείται για να αναφέρεται στον όρο "Τελεστικός Ενισχυτής". Επομένως, σε κάθε σημείο της ανάλυσης όπου εμφανίζεται το "TE", αναφέρεται στον Τελεστικό Ενισχυτή.

Θεωρία κυκλωμάτων:

Για να υπολογίσουμε θεωρητικά την τιμή ενίσχυσης ενός κυκλώματος θα χρειαστεί να διαιρέσουμε την τιμή της τάσης εξόδου με την τιμή της τάσης εισόδου:

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

Επιπλέον, στα κυκλώματα με τελεστικό ενισχυτή με και χωρίς αντιστροφή, ο υπολογισμός των τάσεων κορεσμού της εξόδου γίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$V_{\text{out-κορο}} = \pm U_i \cdot \frac{R_2}{R_1} \quad (1.2)$$

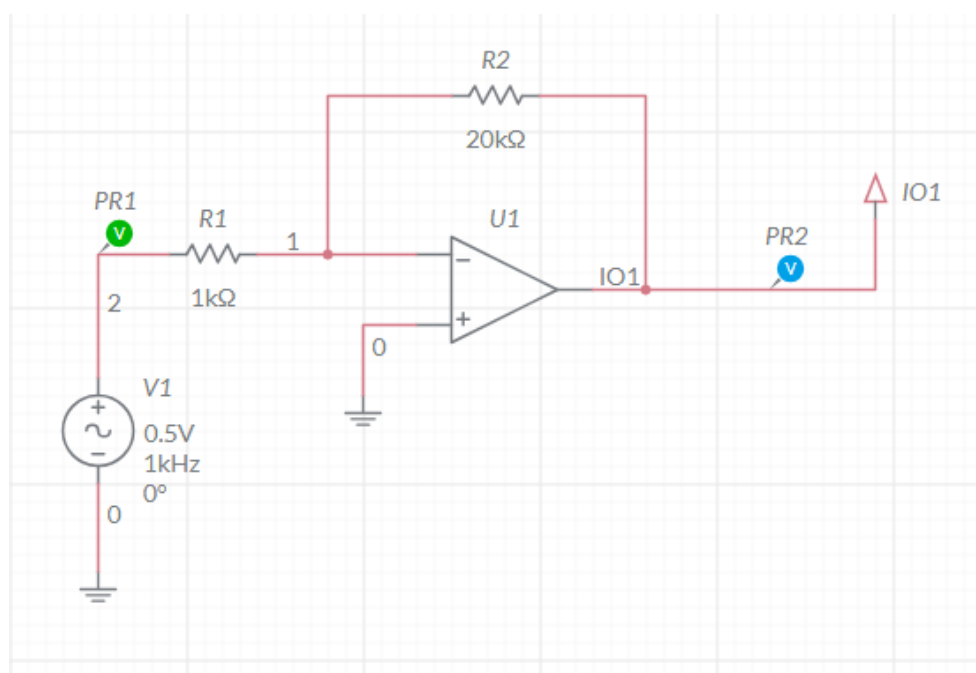
Πειραματικό μέρος:

Κύκλωμα 1: Κύκλωμα ενισχυτή αντιστροφής με τελεστικό ενισχυτή

Στο πρώτο μέρος του πειραματικού τμήματος της εργασίας, θα μελετήσουμε τη λειτουργία ενός κυκλώματος ενισχυτή αντιστροφής με τελεστικό ενισχυτή 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 ημιτονική τάση $V_{pp} = 1\text{ V}$ και $f = 1\text{ kHz}$
- 2 αντιστάσεις ($1\text{ k}\Omega$ και $20\text{ k}\Omega$)
- 1 τελεστικό ενισχυτή (TE)
- Πηγή συνεχούς τάσης ($\pm 12\text{ V}$)
- Παλμογράφο

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

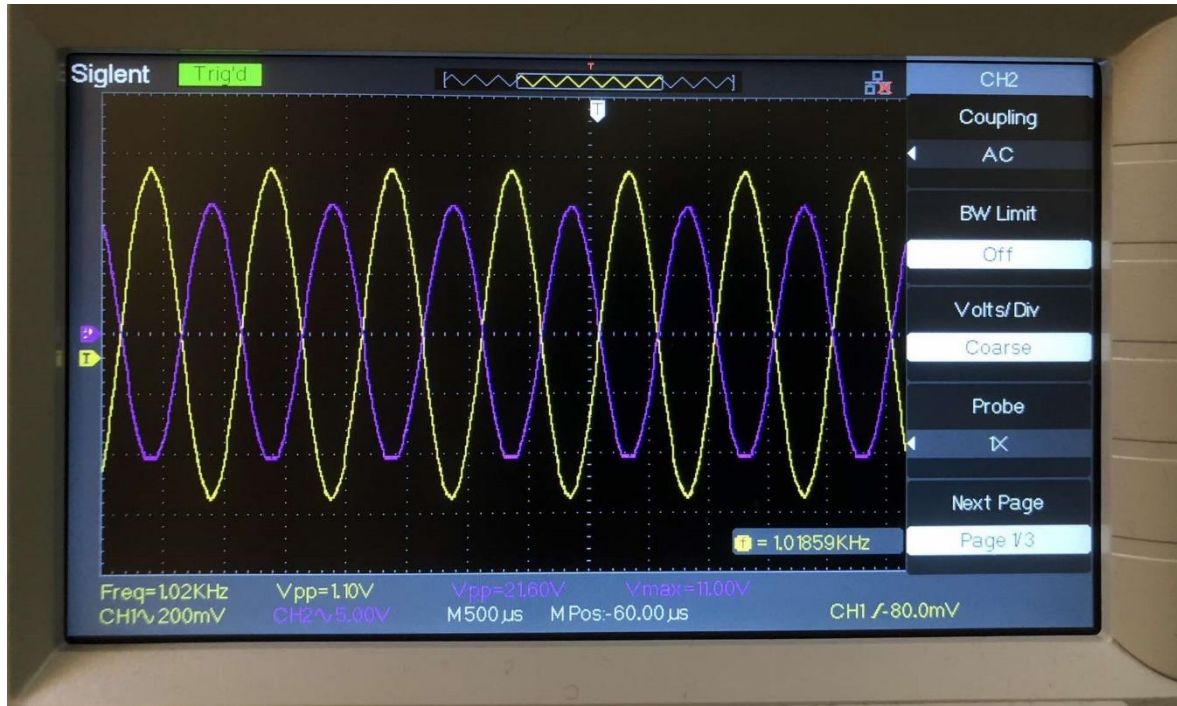


Εικόνα 1: Συνδεσμολογία κυκλώματος ενισχυτή αντιστροφής με TE.

Καταρχάς, θα πρέπει να σημειωθεί ότι στο παραπάνω κύκλωμα (Εικόνα 1) αλλά και στα κυκλώματα που ακολουθούν παρακάτω στην εργαστηριακή άσκηση αυτή, δεν φαίνεται η σύνδεση της πηγής συνεχούς τάσης με τον τελεστικό ενισχυτή. Σε ένα πραγματικό κύκλωμα, όμως, θα χρειαστεί να γίνει η σύνδεση της θετικής και αρνητικής τάσης της πηγής αυτής με τον TE. Συγκεκριμένα, θα χρειαστεί να συνδεθεί η θετική τάση στην είσοδο 7 (V_{cc+}) και η αρνητική τάση στην είσοδο 4 (V_{cc-}) του TE. Τέλος, θα χρειαστεί να συνδεθεί και η είσοδος 3 του TE στη γείωση. Πέρα από τον TE, η συνδεσμολογία του κυκλώματος αποτυπώνεται χαρακτηριστικά στην παραπάνω εικόνα (Εικόνα 1).

Έχοντας σχεδιάσει το κύκλωμα, τοποθετούμε τα κανάλια του παλμογράφου πάνω στο κύκλωμα, ώστε να μπορέσει να γίνει κατάλληλα η μελέτη του. Συγκεκριμένα, θα χρειαστεί να τοποθετηθεί το κανάλι 1

στα άκρα της τάσης εισόδου (PR1, Εικόνα 1), ενώ το κανάλι 2 στα άκρα της τάσης εξόδου (PR2, Εικόνα 1). Οι κυματομορφές που εμφανίζει ο παλμογράφος αποτυπώνονται χαρακτηριστικά στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 2).



Εικόνα 2: Κυματομορφές τάσης εισόδου (κίτρινη) και τάσης εξόδου (μωβ) κυκλώματος ενισχυτή αντιστροφής με τελεστικό ενισχυτή.

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε καταρχάς ότι η τάση εξόδου του κυκλώματος είναι αναστραμμένη, έχει φάση $\varphi = 180^\circ$ σε σχέση με την τάση εισόδου και ισούται με $V_{out\ p-p} = 21.6\text{ V}$ ενώ η AC τάση εισόδου που δώσαμε ισούται με $V_{in\ p-p} = 1.1\text{ V}$. Σύμφωνα λοιπόν με την σχέση (1.1) η ενίσχυση του κυκλώματος αυτού θα ισούται με:

$$A_v = -\frac{V_{out}}{V_{in}} = -\frac{21.6}{1.1} = -19.6 \Rightarrow A_v = -19.6$$

Σύμφωνα με την θεωρία η τιμή της ενίσχυσης του κυκλώματος αυτού ισούται με:

$$A_{u-θεωρ} = -\frac{R_2}{R_1} = -\frac{20\text{ k}\Omega}{1\text{ k}\Omega} = -20 \Rightarrow A_{u-θεωρ} = -20$$

Όπως εύκολα μπορεί να παρατηρήσει κανείς οι δυο παραπάνω τιμές είναι πολύ κοντά η μια με την άλλη, συγκεκριμένα σύμφωνα με την σχέση 1 η απόκλιση των τιμών αυτών ισούται με:

$$\% \text{ απόκλιση} = \frac{-20 - (-19.6)}{-20} \cdot 100 = \frac{0.4}{20} \cdot 100 = 2\%$$

Οπότε, μπορεί να θεωρηθεί ότι επαληθεύεται θεωρητικά η αναμενόμενη τιμή ενίσχυσης. Επιπλέον, σύμφωνα με τη σχέση (1.2), μπορούν να υπολογιστούν και οι τιμές των τάσεων κορεσμού της εξόδου:

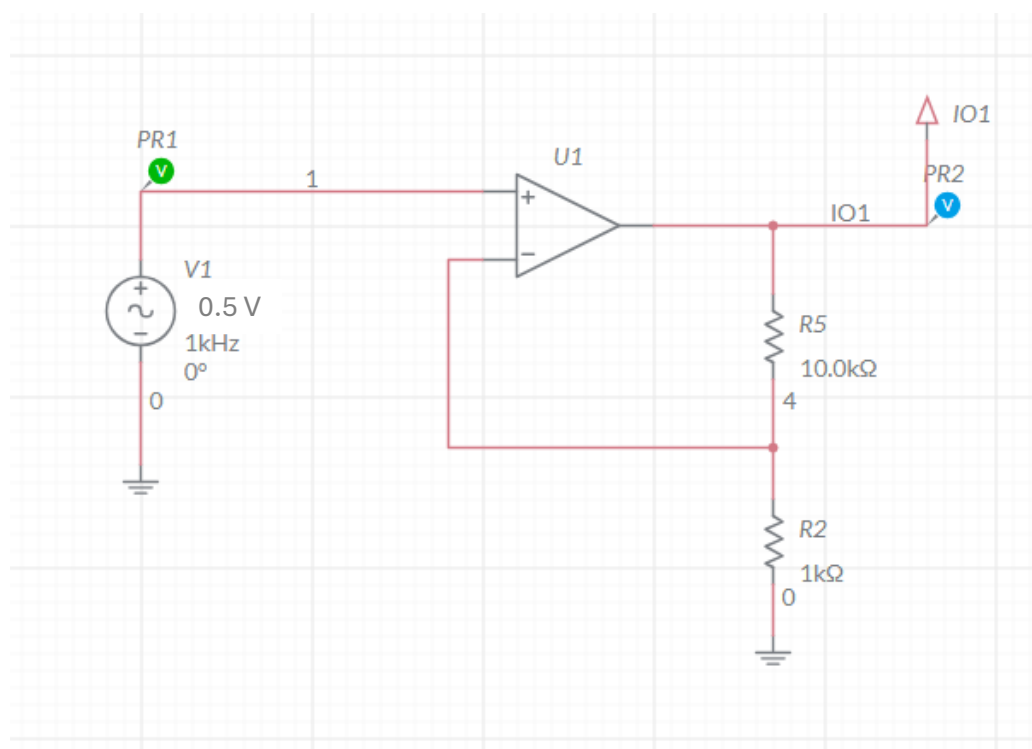
$$V_{\text{out-κορο}} = \pm U_i \cdot \frac{R_2}{R_1} = \pm \frac{1.1}{2} \cdot \frac{20 \text{ k}\Omega}{1 \text{ k}\Omega} = \pm 0.55 \cdot 20 = \pm 11$$

Κύκλωμα 2: Κύκλωμα ενισχυτή **χωρίς** αντιστροφή με τελεστικό ενισχυτή

Στο δεύτερο μέρος του πειραματικού τμήματος της εργασίας, θα μελετήσουμε τη λειτουργία ενός κυκλώματος ενισχυτή χωρίς αντιστροφή με τελεστικό ενισχυτή 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:

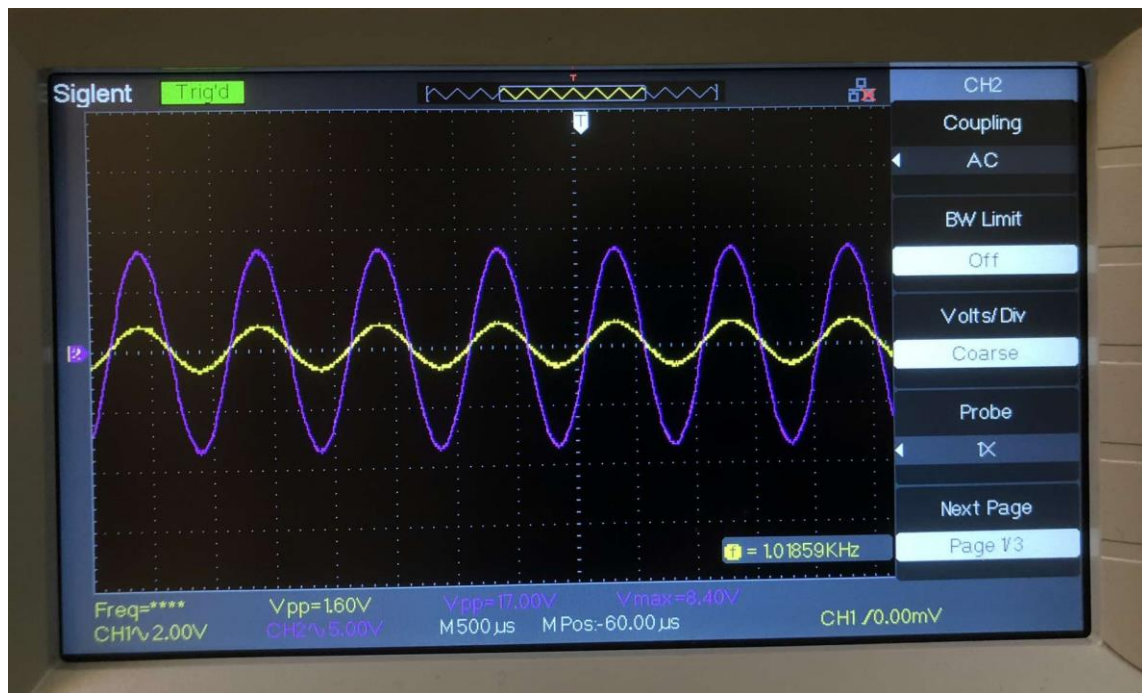
- AC ημιτονική τάση $V_{pp} = 1 \text{ V}$ και $f = 1 \text{ kHz}$
- 2 αντιστάσεις ($10 \text{ k}\Omega$ και $1 \text{ k}\Omega$)
- 1 τελεστικό ενισχυτή (TE)
- Πηγή συνεχούς τάσης ($\pm 12 \text{ V}$)
- Παλμογράφο

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



Εικόνα 3: Συνδεσμολογία
κυκλώματος ενισχυτή χωρίς
αντιστροφή με TE.

Με τον ίδιο τρόπο, συνδέουμε τα κανάλια του παλμογράφου στην τάση εισόδου και στην τάση εξόδου του κυκλώματος (PR1 και PR2, αντίστοιχα, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3). Οι κυματομορφές που εμφανίζονται στον παλμογράφο είναι οι εξής:



Εικόνα 4: Κυματομορφές τάσης εισόδου (κίτρινη) και τάσης εξόδου (μοβ) κυκλώματος ενισχυτή αντιστροφής με τελεστικό ενισχυτή.

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε καταρχάς ότι η τάση εξόδου του κυκλώματος στην περίπτωση αυτή δεν είναι αναστραμμένη, ούτε έχει κάποια φάση με την τάση εισόδου και ισούται με $V_{out\ p-p} = 17\text{ V}$ ενώ η AC τάση εισόδου που δώσαμε ισούται με $V_{in\ p-p} = 1.6\text{ V}$. Σύμφωνα λοιπόν με την σχέση (1.1) η ενίσχυση του κυκλώματος αυτού θα ισούται με:

$$A_u = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{17}{1.6} = 10.6 \Rightarrow A_u = 10.6$$

Σύμφωνα με την θεωρία η τιμή της ενίσχυσης του κυκλώματος αυτού ισούται με:

$$A_{u-\theta\epsilon\omega\rho} = 1 + \frac{R_5}{R_2} = 1 + \frac{10\text{ k}\Omega}{1\text{ k}\Omega} = 1 + 10 = 11 \Rightarrow A_{u-\theta\epsilon\omega\rho} = 11$$

Όπως εύκολα μπορεί να παρατηρήσει κανείς οι δυο παραπάνω τιμές είναι πολύ κοντά η μια με την άλλη, συγκεκριμένα σύμφωνα με την σχέση (1) η απόκλιση των τιμών αυτών ισούται με:

$$\% \text{ απόκλιση} = \frac{11 - 10.6}{11} \cdot 100 = \frac{0.4}{11} \cdot 100 = 3.6\%$$

Ομοίως η τιμές τάσεων κόρου της εξόδου θα ισούνται με:

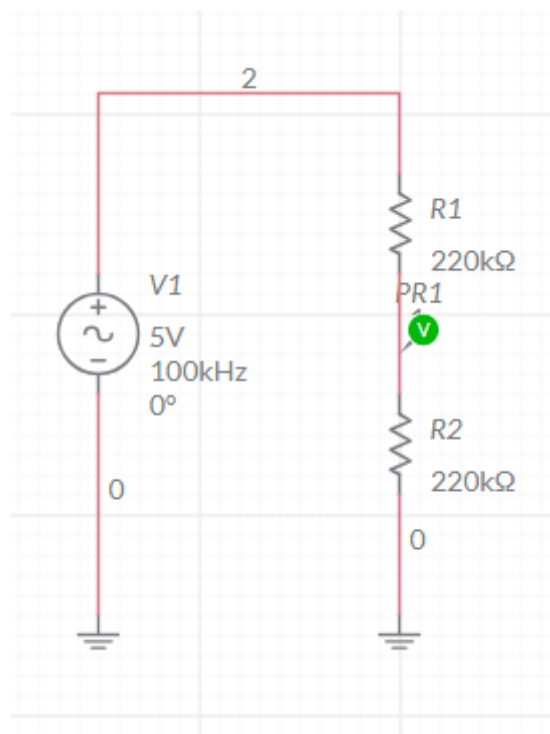
$$V_{out-\kappa\omicron\rho\omicron} = \pm U_i \cdot \left(1 + \frac{R_5}{R_2}\right) = \pm \frac{1.6}{2} \cdot \left(1 + \frac{10\text{ k}\Omega}{1\text{ k}\Omega}\right) = \pm 0.8 \cdot 11 = \pm 8.8\text{ V}$$

Κύκλωμα 3α και 3β : Κύκλωμα διαιρέτη τάσης και κύκλωμα διαιρέτη τάσης με ακολουθητή τάσης

Στο τρίτο μέρος του πειραματικού τμήματος της εργασίας, θα μελετήσουμε αρχικά τη λειτουργία ενός κυκλώματος διαιρέτη τάσης και έπειτα το ίδιο κύκλωμα με προσθήκη ακολουθητή τάσης. Μέσα από την παρατήρηση των αποτελεσμάτων στην έξοδο, θα κατανοήσουμε τη συμπεριφορά και τη λειτουργία των δυο κυκλωμάτων. Για τον σχηματισμό και των δυο κυκλωμάτων θα χρειαστούμε τα παρακάτω ηλεκτρονικά στοιχεία:

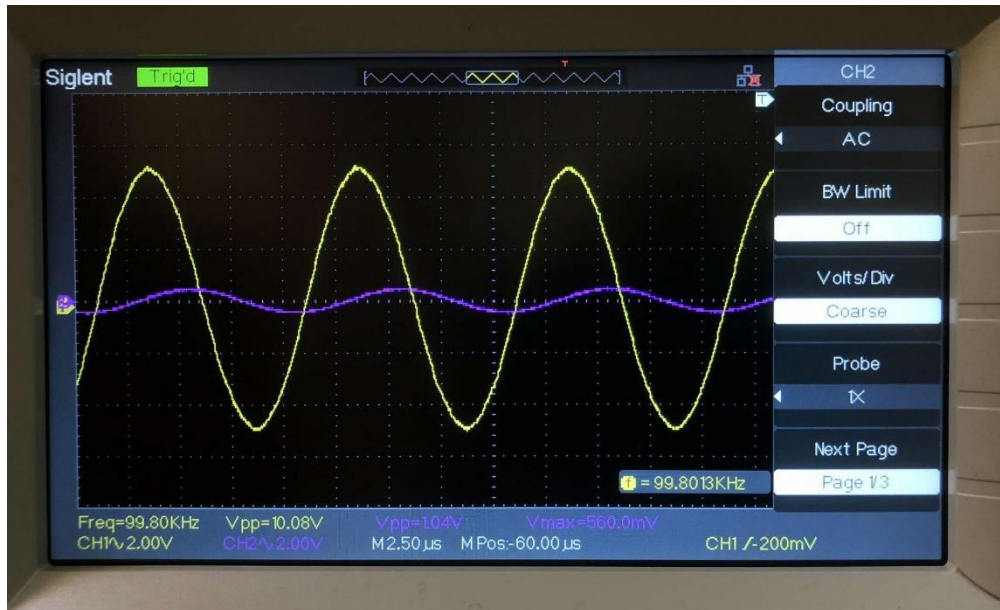
- AC ημιτονική τάση $V_{pp} = 10\text{ V}$ και $f = 100\text{ kHz}$
- 2 αντιστάσεις ($2 \times 220\text{ k}\Omega$)
- 1 τελεστικό ενισχυτή (TE)
- Πηγή συνεχούς τάσης ($\pm 12\text{ V}$)
- Παλμογράφο

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



Εικόνα 5: Συνδεσμολογία κυκλώματος διαιρέτη τάσης.

Το παραπάνω κύκλωμα (Εικόνα 5) είναι ένα απλό κύκλωμα διαιρέτη τάσης. Για να γίνει η μελέτη του κυκλώματος αυτού, θα χρειαστεί να τοποθετήσουμε ένα κανάλι του παλμογράφου στην είσοδο του κυκλώματος και ένα ανάμεσα στις δύο αντιστάσεις, ώστε να συγκρίνουμε τις δύο τιμές τάσης στα σημεία αυτά. Συγκεκριμένα, ο παλμογράφος εμφάνισε τις εξής κυματομορφές (Εικόνα 6):



Εικόνα 6: Κυματομορφές τάσης εισόδου (κίτρινη) και τάσης εξόδου (μωβ) κυκλώματος διαιρέτη τάσης.

Σύμφωνα με την παραπάνω εικόνα, ισχύει για το κύκλωμα αυτό ότι: $V_{in} = 10.8 \text{ V}$ και $V_{out} = 1.04 \text{ V}$, επιπλέον, σύμφωνα με τη θεωρία, θα έπρεπε η τιμή της τάσης εξόδου να ήταν η μισή:

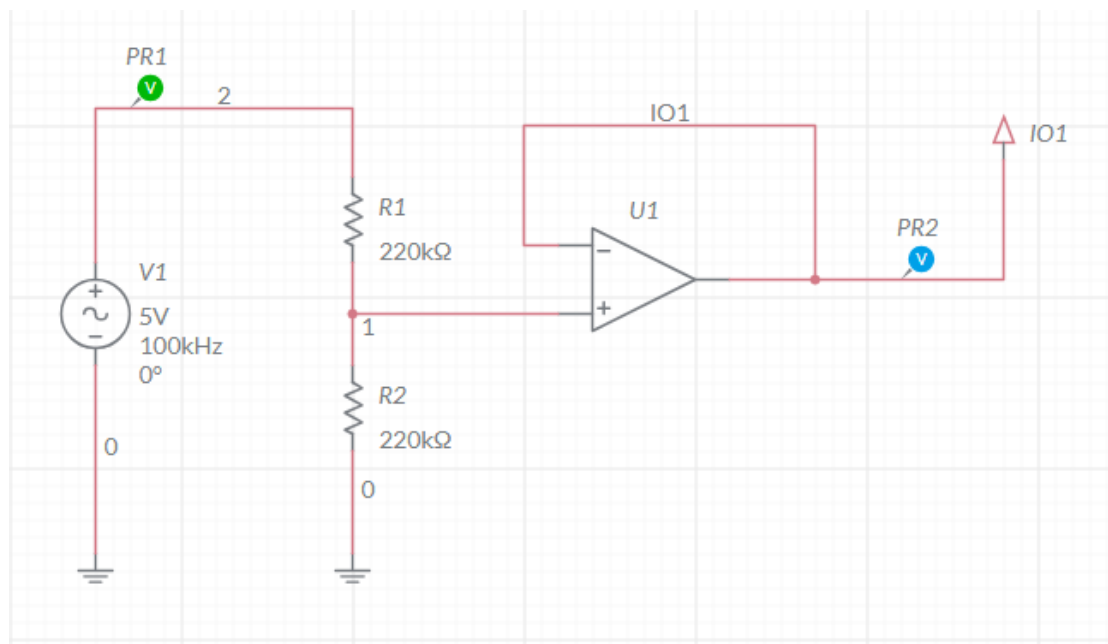
$$V_{out-θεωρ} = \frac{10.08}{2} = 5.04 \text{ V}$$

Όπως παρατηρούμε, υπάρχει μεγάλη απόκλιση, η οποία μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση (1), συγκεκριμένα:

$$\% \text{ απόκλιση} = \frac{5.04 - 1.04}{5.04} \cdot 100 = \frac{4}{5.04} \cdot 100 = 79 \%$$

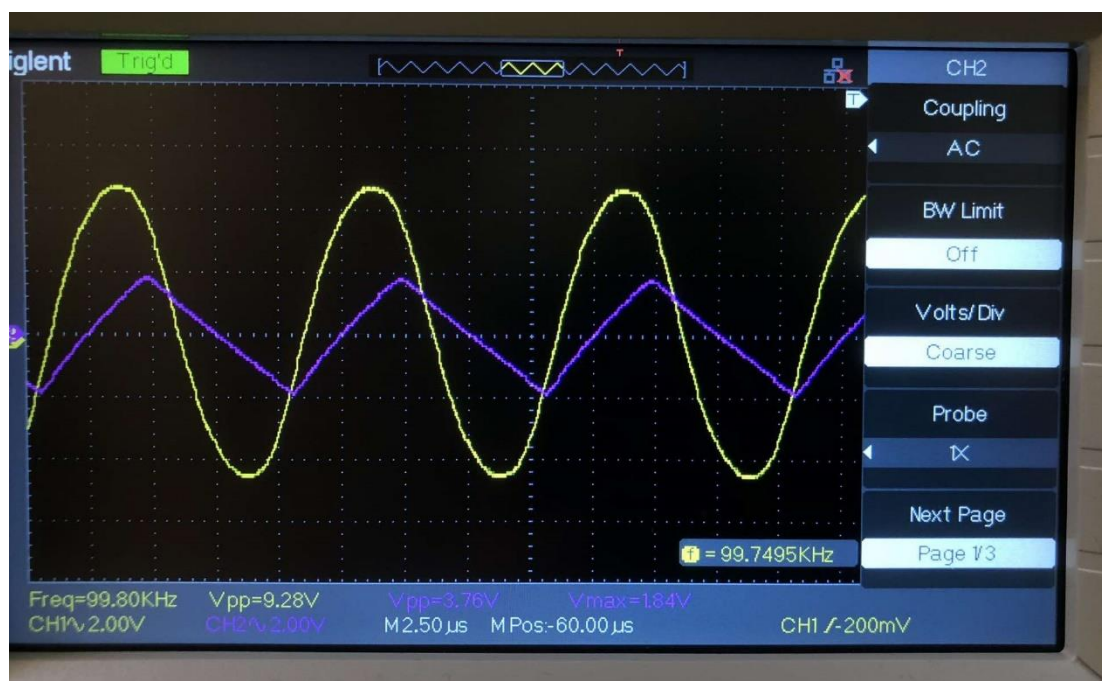
Αυτό οφείλεται κυρίως στην χωρητική αντίσταση του παλμογράφου, όπου για μεγάλες τιμές συχνότητας στην τάση εισόδου (στην περίπτωσή μας 10 kHz), η τιμή αυτής της αντίστασης είναι παραπλήσια με την ισοδύναμη αντίσταση του διαιρέτη τάσης. Για να λυθεί αυτό το πρόβλημα, το παραπάνω κύκλωμα θα πρέπει να τροποποιηθεί (Εικόνα 7). Συγκεκριμένα, θα πρέπει να προστεθεί ένας ακολουθητής τάσης.

Η συνδεσμολογία του κυκλώματος διαιρέτη τάσης με ακολουθητή τάσης αποτυπώνεται χαρακτηριστικά στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 7):



Εικόνα 7: Συνδεσμολογία κυκλώματος διαιρέτη τάσης με ακολουθητή τάσης.

Συνδέοντας πάλι ένα κανάλι στην είσοδο και ένα κανάλι στην έξοδο, οι κυματομορφές που εμφάνισε ο παλμογράφος αποτυπώνονται χαρακτηριστικά στο παρακάτω διάγραμμα (Εικόνα 8):



Εικόνα 8: Κυματομορφές τάσης εισόδου (κίτρινη) και τάσης εξόδου (μωβ) κυκλώματος διαιρέτη τάσης με ακολουθητή τάσης.

Σύμφωνα με την παραπάνω εικόνα λοιπόν ισχύει ότι: $V_{in} = 9.28 \text{ V}$ και $V_{out} = 3.76 \text{ V}$

Καταρχάς, παρατηρούμε ότι υπάρχει μια σχετική βελτίωση στην τιμή της τάσης εξόδου, η οποία έχει αυξηθεί σημαντικά σε σχέση με το απλό κύκλωμα του διαιρέτη τάσης. Σύμφωνα όμως με τη θεωρία, η τιμή της θα έπρεπε να ισούται με:

$$V_{out-θεωρ} = \frac{9.28}{2} = 4.64 \text{ V}$$

Όπως παρατηρούμε, υπάρχει μια μικρή απόκλιση, η οποία μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση (1), συγκεκριμένα:

$$\% \text{ απόκλιση} = \frac{4.64 - 3.76}{4.64} \cdot 100 = \frac{0.88}{4.64} \cdot 100 = 18.9 \%$$

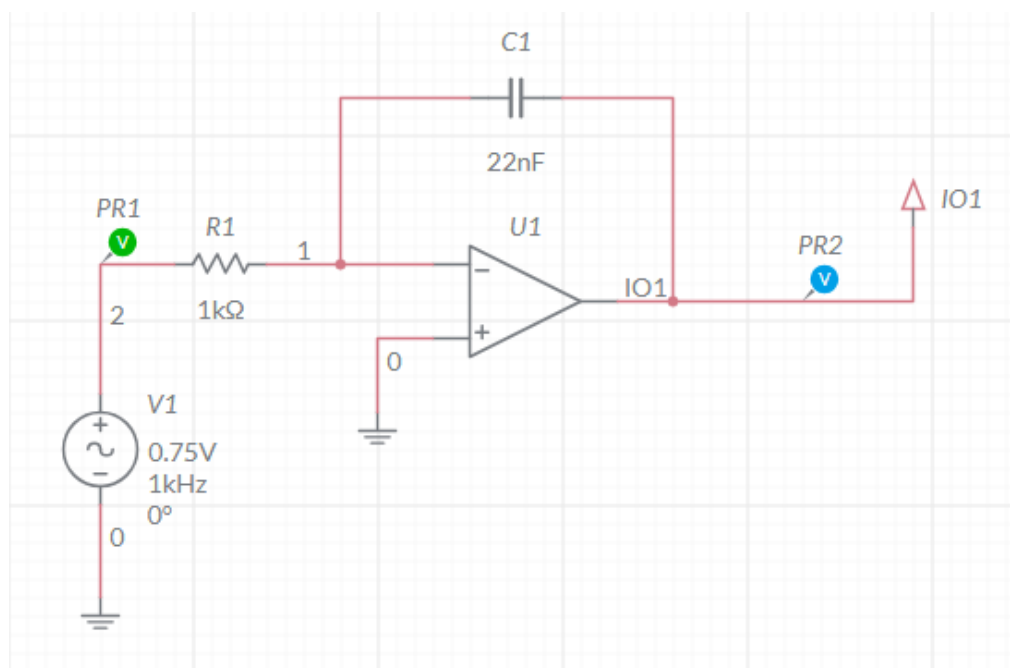
Η απόκλιση αυτή είναι πολύ μικρότερη σε σχέση με την απόκλιση του απλού κυκλώματος διαιρέτη τάσης, όμως ακόμη μπορεί να θεωρηθεί σχετικά μεγάλη. Παρ' όλα αυτά, για τις ανάγκες της συγκεκριμένης εργαστηριακής άσκησης, μπορεί να θεωρηθεί ικανοποιητική.

Κύκλωμα 4: Κύκλωμα ολοκλήρωσης με τελεστικό ενισχυτή

Στο τελευταίο μέρος του πειραματικού τμήματος της εργασίας, θα μελετήσουμε τη λειτουργία ενός κυκλώματος ολοκλήρωσης με τελεστικό ενισχυτή 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:

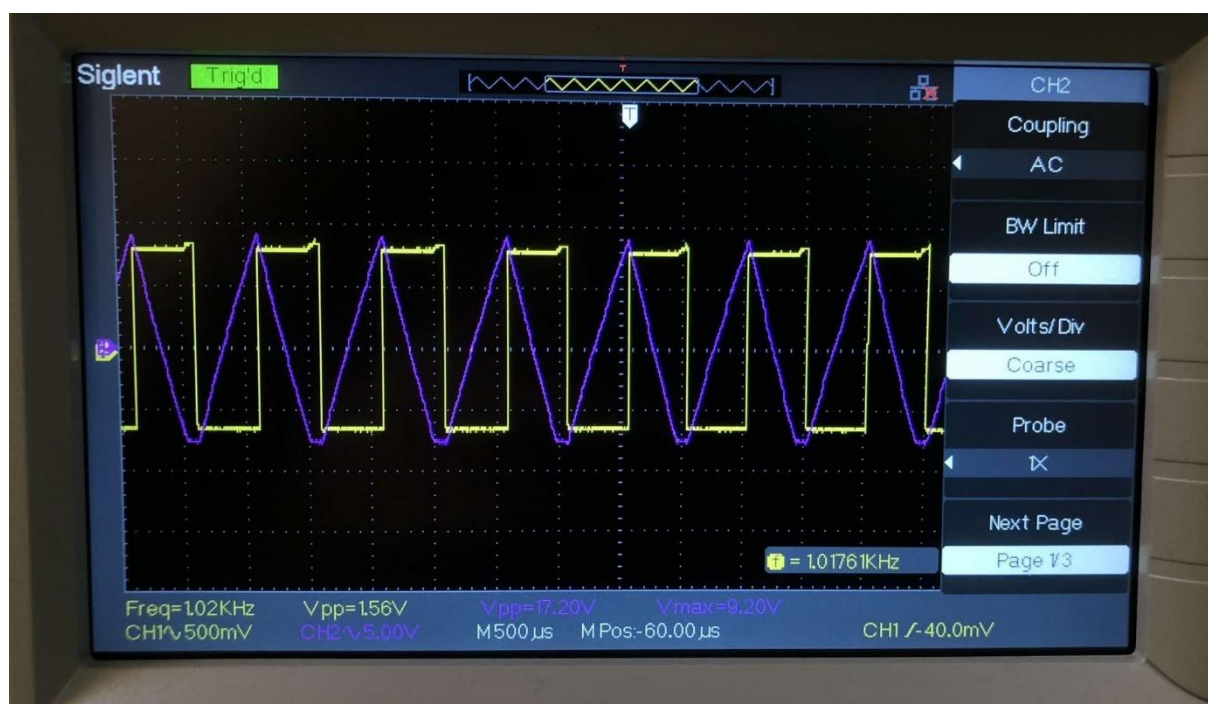
- AC τετραγωνική τάση $V_{pp} = 1.5 \text{ V}$ και $f = 1 \text{ kHz}$
- 2 αντιστάσεις ($1 \text{ k}\Omega$ και $100 \text{ k}\Omega$)
- 1 τελεστικό ενισχυτή (TE)
- Πηγή συνεχούς τάσης ($\pm 12 \text{ V}$)
- Πυκνωτής χωρητικότητας 22 nF
- Παλμογράφο

Η συνδεσμολογία του κυκλώματος αποτυπώνεται χαρακτηριστικά στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 9):



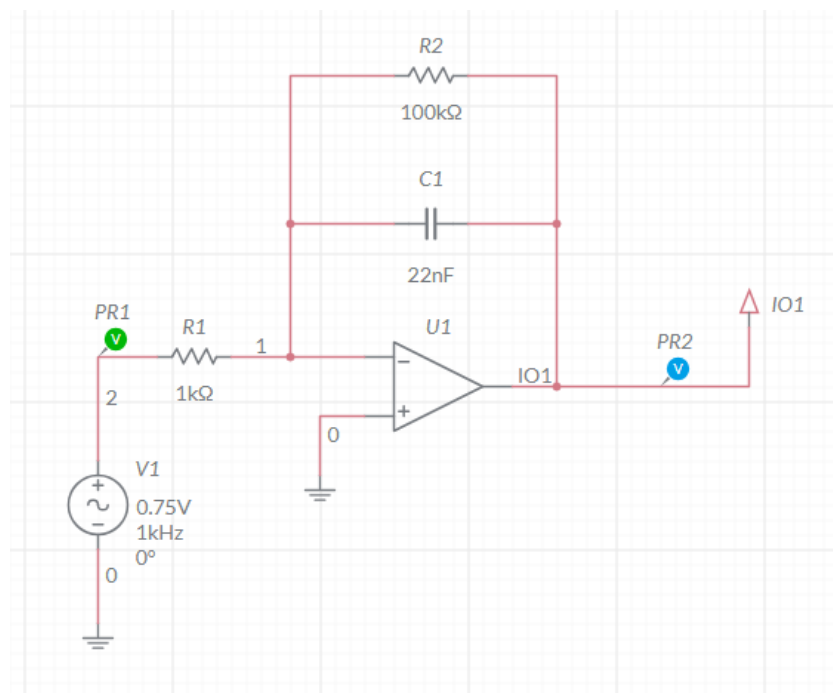
Εικόνα 9: Συνδεσμολογία κυκλώματος ολοκλήρωσης με τελεστικό ενισχυτή.

Για την σωστή μελέτη του παραπάνω κυκλώματος, θα χρειαστεί να τοποθετήσουμε ένα κανάλι στην τάση εισόδου του κυκλώματος (PR1, Εικόνα 7) και ένα στην έξοδο (PR2, Εικόνα 7). Οι κυματομορφές που εμφάνισε ο παλμογράφος αποτυπώνονται στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 10):



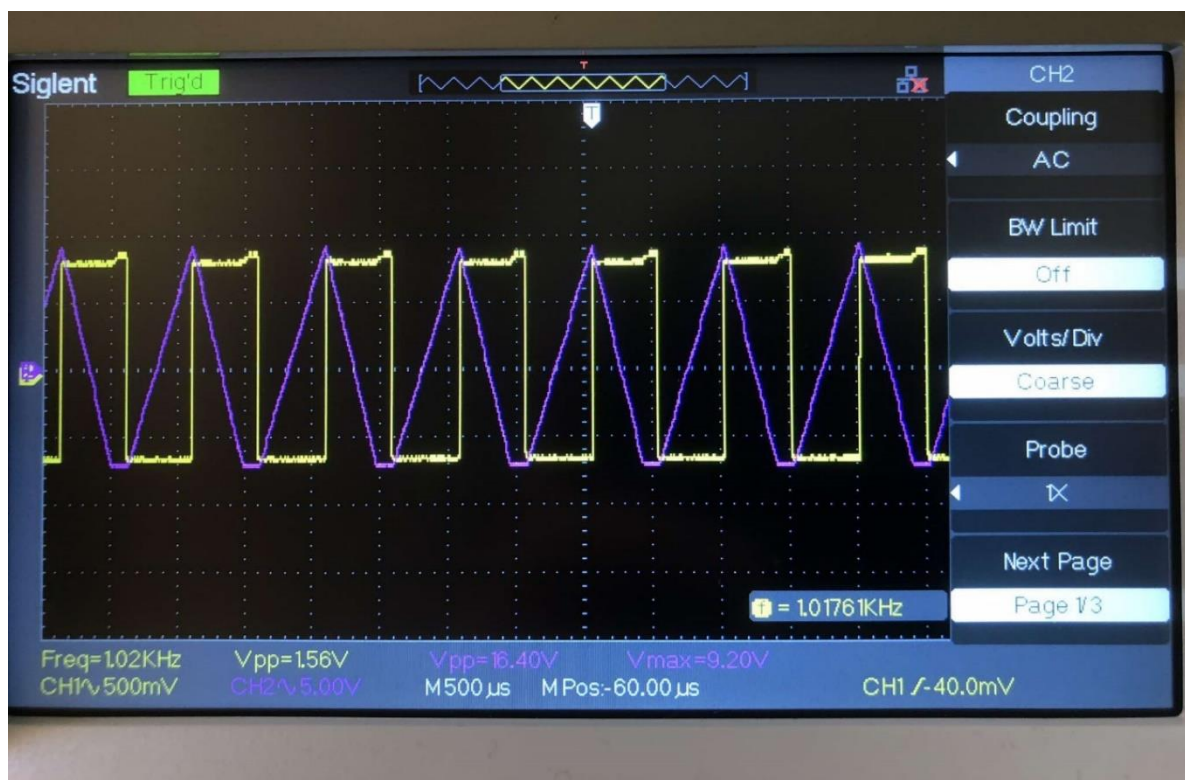
Εικόνα 10: Κυματομορφές τάσης εισόδου (κίτρινη) και τάσης εξόδου (μωβ) κυκλώματος ολοκλήρωσης με τελεστικό ενισχυτή.

Στην παραπάνω εικόνα, καταρχάς παρατηρούμε την τάση εισόδου (κίτρινη κυματομορφή), η οποία έχει τετραγωνική μορφή, κάτι που περιμέναμε. Έπειτα παρατηρούμε και την κυματομορφή της τάσης εξόδου του κυκλώματος (μοβ κυματομορφή). Η κυματομορφή αυτή έχει τριγωνική μορφή, δηλαδή το κύκλωμα έχει μετατρέψει την τετραγωνική κυματομορφή εισόδου σε τριγωνική. Αυτό οφείλεται κυρίως στη λειτουργία του ΤΕ του κυκλώματος, που παράλληλα με τον πυκνωτή, ο οποίος φορτίζει και εκφορτίζει, δημιουργεί το παραπάνω αποτέλεσμα. Επιπλέον, συνήθως παράλληλα με τον πυκνωτή προστίθεται μια αντίσταση ώστε να αποφεύγεται η φόρτιση του από ένα μικρό ρεύμα διαρροής του ΤΕ. Για να το εξετάσουμε αυτό και πειραματικά, θα χρειαστεί να τοποθετήσουμε παράλληλα του πυκνωτή την αντίσταση $R2=100k\Omega$. Συγκεκριμένα, το κύκλωμα θα πάρει την εξής μορφή (Εικόνα 11):



Εικόνα 11: Συνδεσμολογία κυκλώματος ολοκλήρωσης με τελεστικό ενισχυτή με αντίσταση παράλληλα του πυκνωτή.

Με τον ίδιο τρόπο εμφανίζουμε στον παλμογράφο τις κυματομορφές των τάσεων εισόδου και εξόδου, οι οποίες αποτυπώνονται χαρακτηριστικά παρακάτω (Εικόνα 12):



Εικόνα 10: Κυματομορφές τάσης εισόδου (κίτρινη) και τάσης εξόδου (μοβ) κυκλώματος ολοκλήρωσης με τελεστικό ενισχυτή με αντίσταση παράλληλα του πυκνωτή.

Σε σύγκριση με την προηγούμενη τάση εξόδου, παρατηρούμε μια πολύ μικρή μείωση στην τιμή της κατά περίπου 1 V. Η μείωση αυτή, φυσικά, οφείλεται στην καλύτερη φόρτιση του πυκνωτή.