

Εργαστήριο Ηλεκτρονικής

Αναφορά 5^{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 τελεστικού ενισχυτή με πυκνωτή και δίοδο, το κύκλωμα Schmitt trigger, το κύκλωμα γεννήτριας ορθογωνίων παλμών και το κύκλωμα ασύμμετρου πολυδονητή, 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.

Κύκλωμα σκανδαλισμού Schmitt Trigger:

Σε ένα κύκλωμα σκανδαλισμού Schmitt Trigger, η τάση ανώτερου και κατώτερου κατωφλίου (hysteresis) καθορίζει τα δύο όρια τάσης που πρέπει να ξεπεραστούν για να αλλάξει η κατάσταση της εξόδου.

Άνω κατώφλι (ανώτερη τάση): Είναι η τάση πάνω από την οποία η έξοδος του κυκλώματος θα αλλάξει από χαμηλή (συνήθως κοντά στο μηδέν) σε υψηλή τιμή. Μόλις η τάση εισόδου υπερβεί αυτό το επίπεδο, η έξοδος αναστρέφεται σε υψηλή.

Κάτω κατώφλι (κατώτερη τάση): Είναι η τάση κάτω από την οποία η έξοδος θα αλλάξει από υψηλή σε χαμηλή τιμή. Όταν η τάση εισόδου πέσει κάτω από αυτό το επίπεδο, η έξοδος αναστρέφεται σε χαμηλή.

Αυτά τα δύο όρια δημιουργούν μια ζώνη υστέρησης (hysteresis), που βοηθά το κύκλωμα να αγνοεί μικρές διακυμάνσεις στην τάση εισόδου και να παράγει σταθερά σήματα εξόδου, χωρίς "θόρυβο" ή ανεπιθύμητες μεταβάσεις.

Θεωρητικά η τιμές τάσης αυτές μπορούν να υπολογιστούν από τους παρακάτω τύπους:

Τάση ανωτέρου κατωφλίου:

$$U_{UT} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} (+U_{ok}) \quad (1)$$

Τάση κατωτέρου κατωφλίου:

$$U_{LT} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} (-U_{ok}) \quad (1.1)$$

Όπου $+U_{ok}$ και $-U_{ok}$ η θετική και αρνητική τάση κόρου αντίστοιχα.

Τέλος παρακάτω 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.

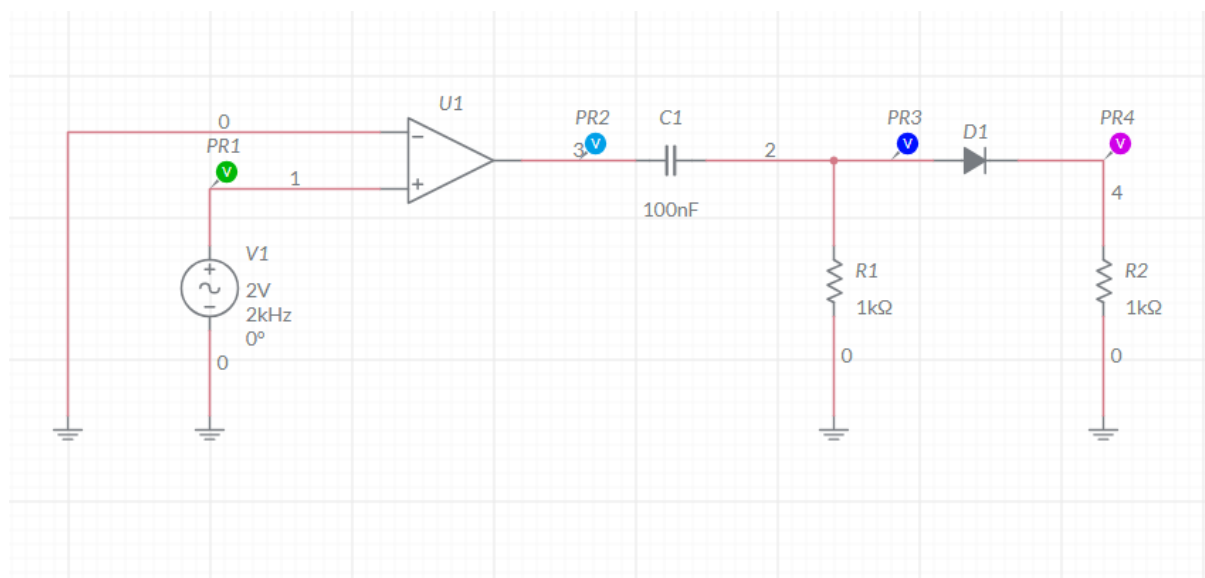
Πειραματικό μέρος:

Κύκλωμα 1: Κύκλωμα τελεστικού ενισχυτή με πυκνωτή και δίοδο

Στο πρώτο μέρος του πειραματικού τμήματος της εργασίας, θα μελετήσουμε τη λειτουργία ενός κυκλώματος τελεστικού ενισχυτή με πυκνωτή και δίοδο 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 $V_{pp} = 2\text{ V}$ και $f = 1\text{ kHz}$
- Συνεχής πηγή τάσης 12 V και 5 V
- 2 αντιστάσεις ($2 \cdot 1\text{ k}\Omega$)
- 1 τελεστικό ενισχυτή
- Πυκνωτής χωρητικότητας 100 nF
- 1 Δίοδος απλή

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

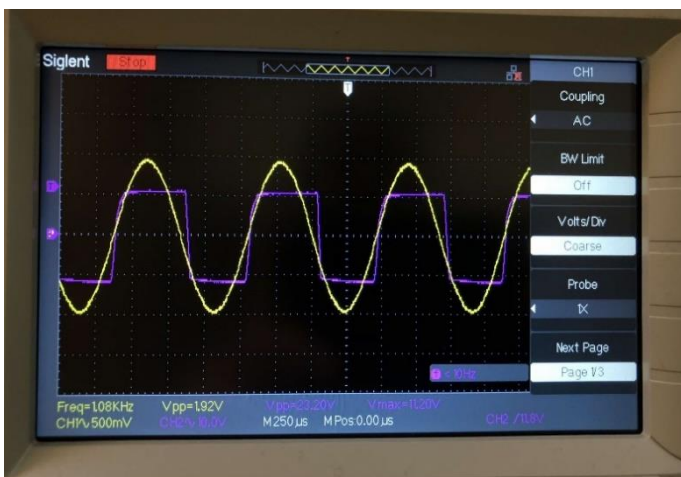


Εικόνα 1: Συνδεσμολογία κυκλώματος τελεστικού ενισχυτή με πυκνωτή και δίοδο.

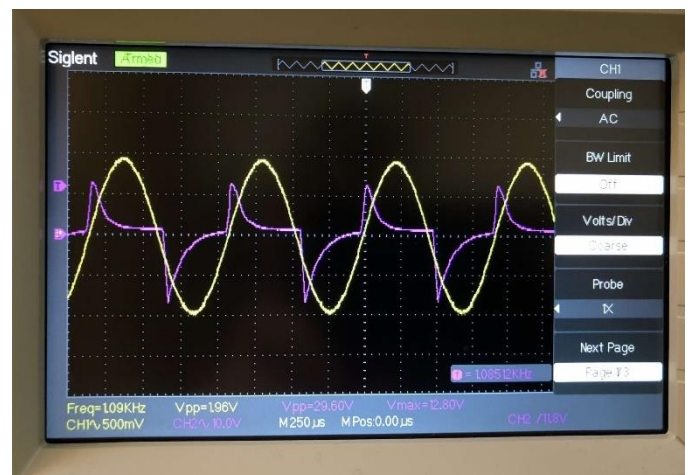
Καταρχάς, θα πρέπει να σημειωθεί ότι στο παραπάνω κύκλωμα (Εικόνα 1) αλλά και στα κυκλώματα που ακολουθούν παρακάτω στην εργαστηριακή άσκηση αυτή, δεν φαίνεται η σύνδεση της πηγής

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 ΤΕ. Συγκεκριμένα, θα χρειαστεί να συνδεθεί η θετική τάση στην είσοδο 7 (V_{cc+}) και η αρνητική τάση στην είσοδο 4 (V_{cc-}) του ΤΕ. Πέρα από τον ΤΕ, η συνδεσμολογία του κυκλώματος αποτυπώνεται χαρακτηριστικά στην παραπάνω εικόνα (Εικόνα 1).

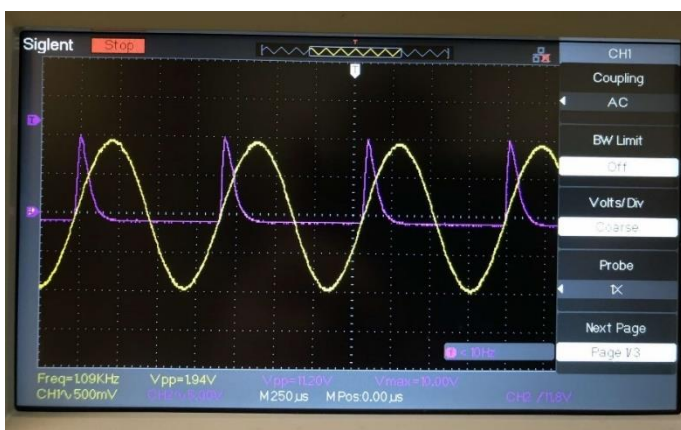
Έχοντας σχεδιάσει το παραπάνω κύκλωμα, τοποθετούμε πάνω του τα κανάλια του παλμογράφου. Συγκεκριμένα, για να γίνει σωστά η μελέτη του κυκλώματος, θα χρειαστεί να τοποθετήσουμε τα κανάλια στις εξής θέσεις: Το πρώτο κανάλι μόνιμα στην AC τάση εισόδου (PR1, εικόνα 1). Ενώ το δεύτερο κανάλι θα χρειαστεί να τοποθετηθεί στις εξής περιοχές: Στην περιοχή ανάμεσα στην έξοδο του ΤΕ και του πυκνωτή (PR2, εικόνα 1), πριν από τη δίοδο (PR3, εικόνα 1) και στην περιοχή ανάμεσα στη δίοδο και την αντίσταση R2, δηλαδή στην έξοδο του κυκλώματος (PR4, εικόνα 1). Οι κυματομορφές των τριών τελευταίων περιοχών (μοβ κυματομορφές μαζί με την κυματομορφή της τάσης εισόδου (κίτρινη κυματομορφή) αποτυπώνονται στις παρακάτω εικόνες (Εικόνα 2, 3 και 4 αντίστοιχα):



Εικόνα 2: Κυματομορφές AC τάσης εισόδου (κίτρινη) και της περιοχής ανάμεσα της εξόδου του ΤΕ και του πυκνωτή (μοβ).



Εικόνα 3: Κυματομορφές AC τάσης εισόδου (κίτρινη) και στην περιοχή πριν από την δίοδο (μοβ).



Εικόνα 4: Κυματομορφές AC τάσης εισόδου (κίτρινη) και εξόδου του κυκλώματος (μοβ).

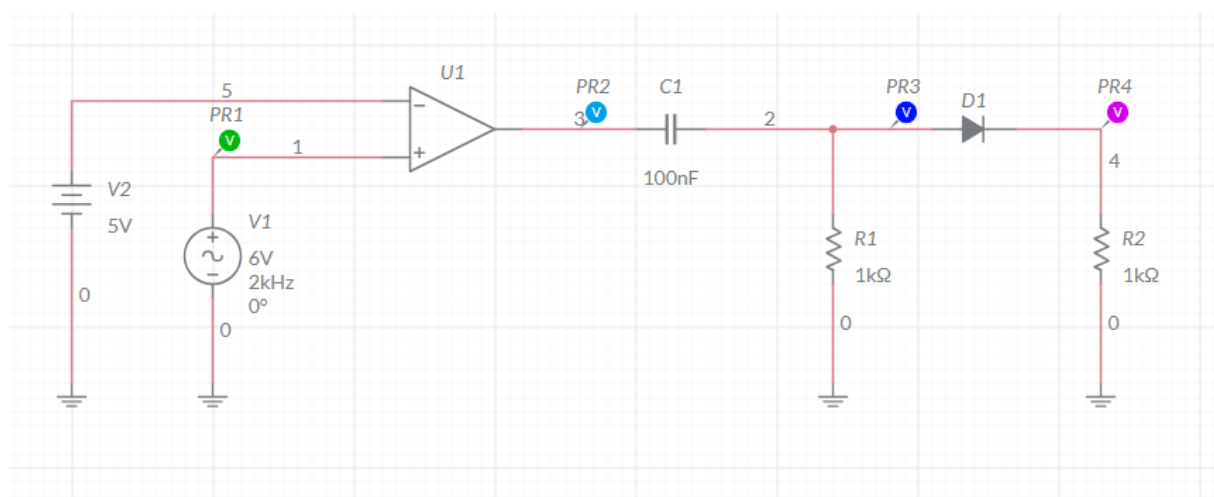
Στης παραπάνω εικόνας παρατηρούμε καταρχάς την κυματομορφή της τάσης εισόδου (κίτρινη κυματομορφή), η οποία είναι ένα αναμενόμενο ημιτονικό κύμα.

Επιπλέον, στην εικόνα 2 παρατηρούμε μαζί με την κυματομορφή της τάσης εισόδου και την κυματομορφή της τάσης εξόδου του TE (μοβ κυματομορφή). Η κυματομορφή αυτή είναι ένας τετραγωνικός παλμός, ο οποίος ακολουθεί τη φάση της ημιτονικής τάσης εισόδου, ενώ παίρνει τιμές περίπου ίσες με +12 και -12. Αυτό συμβαίνει κυρίως διότι ο τελεστικός ενισχυτής λειτουργεί εδώ ως συγκριτής, χωρίς ανατροφοδότηση, με αποτέλεσμα να εισέρχεται σε κατάσταση κορεσμού. Εφόσον δεν υπάρχει ανατροφοδότηση, ο ενισχυτής ουσιαστικά λειτουργεί σαν συγκριτής τάσης. Κάθε φορά που το ημιτονικό σήμα στην είσοδο υπερβαίνει το μηδέν, η έξοδος του τελεστικού ενισχυτή φτάνει στη μέγιστη θετική DC τάση εξόδου (+12 V). Όταν το σήμα πέφτει κάτω από το μηδέν, η έξοδος φτάνει στη μέγιστη αρνητική DC τάση εξόδου (-12 V).

Παρατηρούμε επίσης στην εικόνα 3 την κυματομορφή της τάσης πριν από τη δίοδο (μοβ κυματομορφή). Η τάση αυτή παρουσιάζει το συγκεκριμένο σχήμα λόγω της φόρτισης και εκφόρτισης του πυκνωτή.

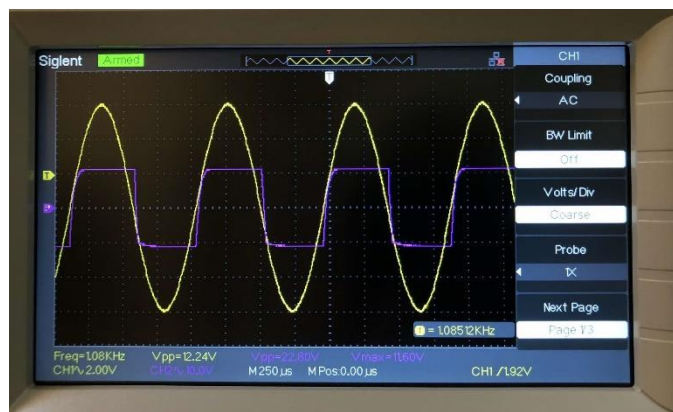
Τέλος στην εικόνα 4 η μοβ κυματομορφή αντιπροσωπεύει την έξοδο του κυκλώματος. Στη θετική πόλωση της τάσης εισόδου, η μοβ κυματομορφή έχει παρόμοιο σχήμα με την κυματομορφή στην περιοχή πριν από την δίοδο, αλλά με ελαφρώς χαμηλότερη τιμή, λόγω της πτώσης τάσης στη δίοδο (0.7 V). Αντίθετα, στην αρνητική πόλωση της εισόδου η έξοδος είναι μηδενική, καθώς η δίοδος δεν επιτρέπει τη ροή ρεύματος όταν η τάση είναι κάτω από το κατώφλι των 0.7 V.

Για να γίνει καλύτερα κατανοητή η λειτουργία του κυκλώματος θα προσθέσουμε στην αναστρέφουσα είσοδο του TE τάση DC +5V και θα αλλάξουμε το πλάτος της AC τάσης εισόδου σε 6V ($V_{pp} = 12\text{ V}$), συγκεκριμένα το κύκλωμα θα μετασχηματιστεί στο παρακάτω (Εικόνα 5):

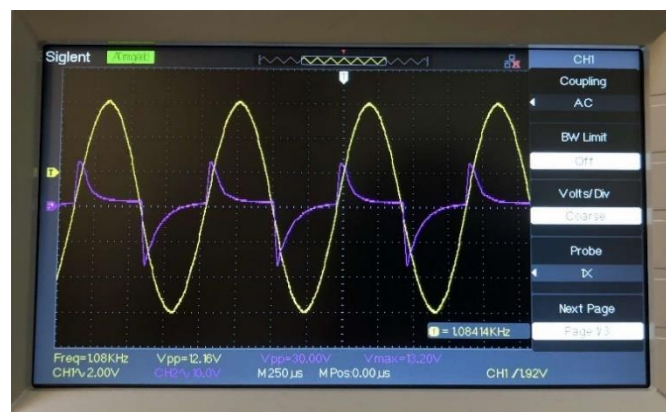


Εικόνα 5: Συνδεσμολογία κυκλώματος τελεστικού ενισχυτή με πυκνωτή και δίοδο με τάση DC +5V στην αναστρέφουσα είσοδο του TE.

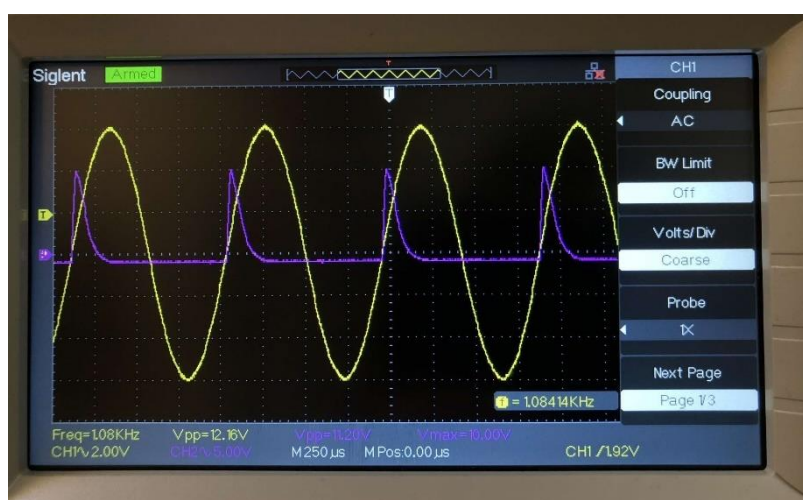
Με τον ίδιο ακριβώς τρόπο λαμβάνουμε και τις κυματομορφές του παραπάνω κυκλώματος στις τέσσερις περιοχές (PR1, PR2, PR3 και PR4). Συγκεκριμένα, οι κυματομορφές που εμφανίζονται σε αυτή την περίπτωση στον παλμογράφο είναι οι εξής:



Εικόνα 6: Κυματομορφές AC τάσης εισόδου (κίτρινη) και της περιοχής ανάμεσα της εξόδου του TE και του πυκνωτή (μωβ).



Εικόνα 7: Κυματομορφές AC τάσης εισόδου (κίτρινη) και στην περιοχή πριν από την διόδο (μωβ).



Εικόνα 8: Κυματομορφές AC τάσης εισόδου (κίτρινη) και εξόδου του κυκλώματος (μωβ).

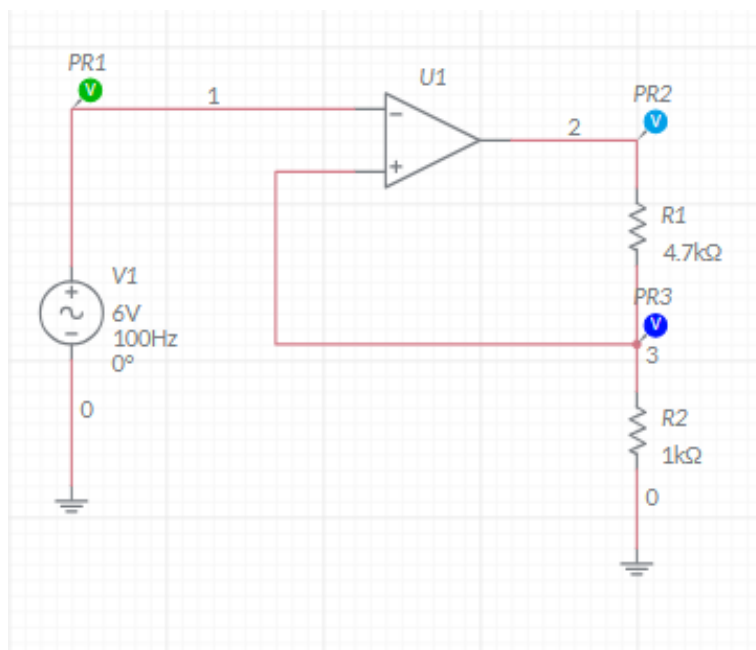
Εκτός από την αναμενόμενη αύξηση της τάσης εισόδου (κίτρινη κυματομορφή) λόγω της ρύθμισής της, παρατηρούμε ότι ο πυκνωτής (Εικόνα 7, μωβ κυματομορφή) δεν προλαβαίνει να φορτιστεί πλήρως κατά τη θετική πόλωση. Αυτό συμβαίνει επειδή σε αυτή την κατάσταση ο πυκνωτής συνδέεται και με τις δύο αντιστάσεις R1 και R2 λόγω της λειτουργίας της διόδου, ενώ στην αρνητική πόλωση συνδέεται μόνο με την R1. Το αποτέλεσμα είναι ότι η κυματομορφή στην έξοδο (Εικόνα 8, μωβ κυματομορφή) εμφανίζει μειωμένη τιμή τάσης.

Κύκλωμα 2: Κύκλωμα Schmitt trigger

Στο δεύτερο μέρος του πειραματικού τμήματος της εργασίας, θα μελετήσουμε τη λειτουργία ενός κυκλώματος Schmitt trigger 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:

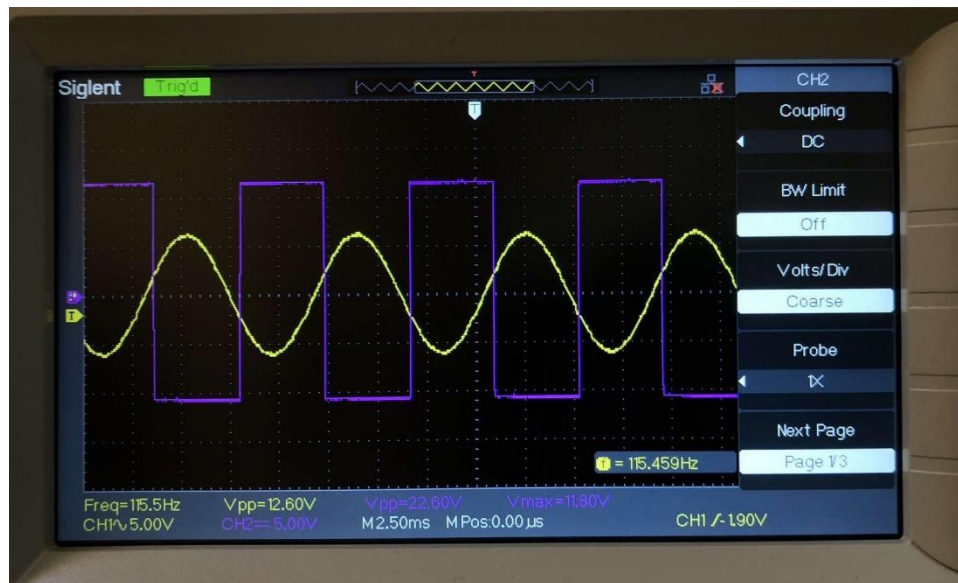
- AC ημιτονική τάση $V_{pp} = 12\text{ V}$ και $f = 100\text{ Hz}$
- Συνεχής πηγή τάσης 12 V
- 1 αντίσταση $4.7\text{ k}\Omega$
- Κιβώτιο αντιστάσεων
- 1 τελεστικό ενισχυτή

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



Εικόνα 9: Συνδεσμολογία κυκλώματος Schmitt trigger.

Έχοντας σχεδιάσει το παραπάνω κύκλωμα, όπου το R2 είναι το κιβώτιο αντιστάσεων στο οποίο έχουμε βάλει αρχικά αντίσταση τιμής $1\text{ k}\Omega$, τοποθετούμε τα κανάλια του παλμογράφου πάνω στο κύκλωμα. Θα χρειαστεί να τοποθετήσουμε το κανάλι 1 στα άκρα της τάσης εισόδου (PR1, εικόνα 9) και το 2ο κανάλι αρχικά στην έξοδο του κυκλώματος (PR2, εικόνα 9). Οι κυματομορφές που εμφάνισε ο παλμογράφος αποτυπώνονται παρακάτω (Εικόνα 10):



Εικόνα 10: Κυματομορφές AC τάσης εισόδου (κίτρινη) και εξόδου του κυκλώματος.

Στην παραπάνω εικόνα παρατηρούμε καταρχάς την τάση εισόδου του κυκλώματος (κίτρινη κυματομορφή), η οποία είναι ένα αναμενόμενο ημιτονικό κύμα. Επιπλέον, παρατηρούμε και την τάση εξόδου του κυκλώματος (μοβ κυματομορφή), η οποία έχει τετραγωνική μορφή. Αυτή η τετραγωνική μορφή προκύπτει λόγω της λειτουργίας και συνδεσμολογίας του ΤΕ.

Σε αυτό το σημείο θα υπολογίσουμε τις τιμές των τάσεων του ανώτερου και κατώτερου κατωφλίου. Σύμφωνα με τη θεωρία αν θεωρήσουμε θεωρητικά ότι στην είσοδο έχουμε δώσει τάση $V_{pp} = 12.6 \text{ V}$ αντί για 12 V , οι δυο τιμές θα δίνονται από τους παρακάτω τύπους (1) και (1.1):

Τάση ανωτέρου κατωφλίου:

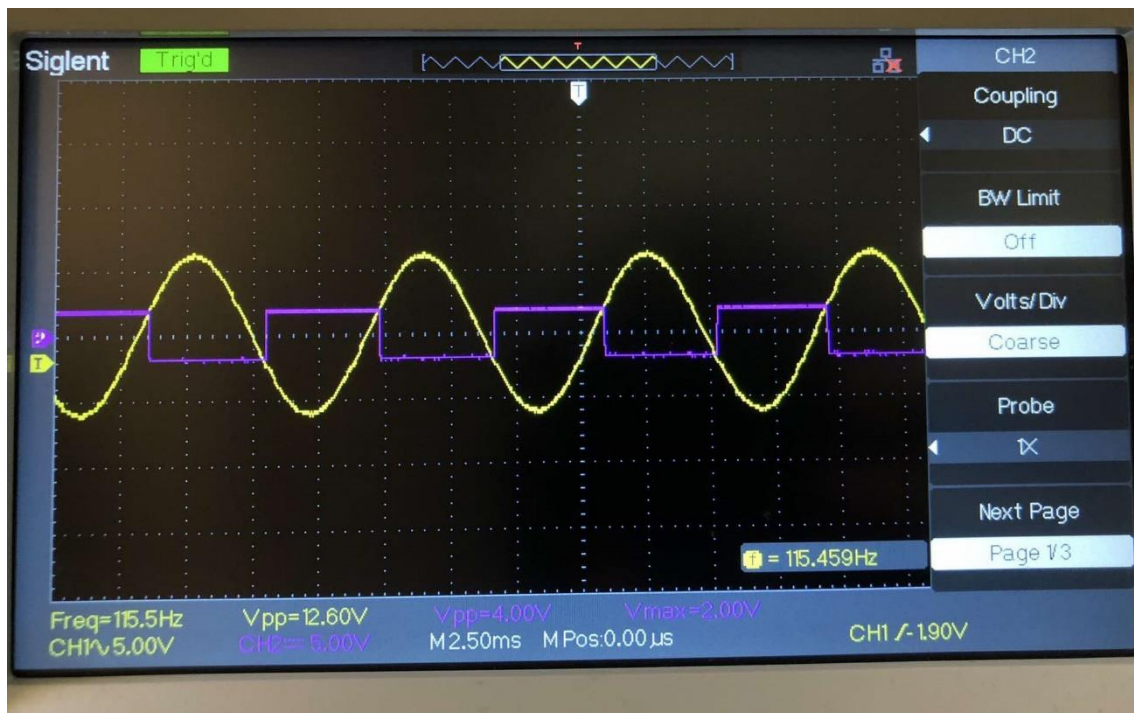
$$U_{UT-\theta\epsilon\omega\rho} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} (+U_{ok}) = \frac{1 \text{ k}\Omega}{4.7 \text{ k}\Omega + 1 \text{ k}\Omega} \cdot \frac{12.6}{2} = \frac{1}{5.7} \cdot 6.3 = 1.1 \text{ V} \Rightarrow U_{UT-\theta\epsilon\omega\rho} = 1.1 \text{ V}$$

Τάση κατώτερου κατωφλίου:

$$U_{LT-\theta\epsilon\omega\rho} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} (-U_{ok}) = \frac{1 \text{ k}\Omega}{4.7 \text{ k}\Omega + 1 \text{ k}\Omega} \cdot \left(-\frac{12.6}{2}\right) = \frac{1}{5.7} \cdot (-6.3) = -1.1 \text{ V}$$

$$\Rightarrow U_{UT-\theta\epsilon\omega\rho} = -1.1 \text{ V}$$

Πειραματικά, οι τιμές αυτές μπορούν να υπολογιστούν εάν τοποθετήσουμε το κανάλι του παλμογράφου ανάμεσα στις δύο αντιστάσεις (PR3, εικόνα 9). Στην περίπτωση αυτή, ο παλμογράφος εμφάνισε τις εξής κυματομορφές (Εικόνα 11):



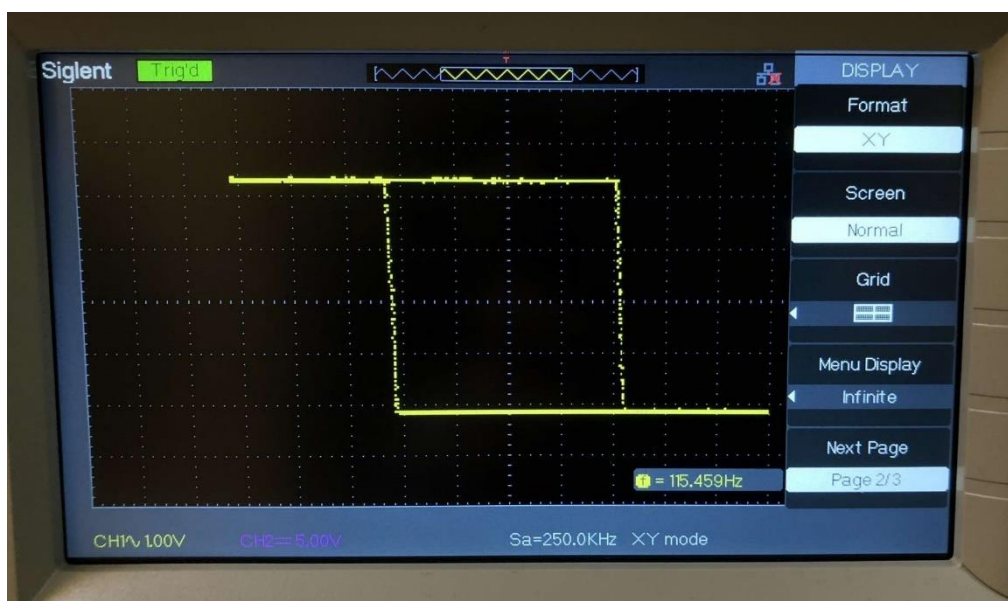
Εικόνα 11: Κυματομορφές AC τάσης εισόδου (κίτρινη) και τάσης ανάμεσα στις δυο αντίστασης (μοβ).

Στην παραπάνω εικόνα, οι δύο τάσεις κατωφλίου «κρύβονται» στη μοβ κυματομορφή, καθώς οι δύο τάσεις αυτές εφαρμόζονται στην είσοδο μη αντιστροφής ενός τελεστικού ενισχυτή, άρα από εκεί μπορούν να υπολογιστούν πειραματικά. Συγκεκριμένα, η τιμή της κυματομορφής στη θετική πόλωση αντιστοιχεί στο ανώτερο κατώφλι, ενώ η τιμή της στην αρνητική πόλωση αντιστοιχεί στο κατώτερο κατώφλι. Παρατηρώντας την εικόνα, βλέπουμε ότι κάθε κουτάκι αντιστοιχεί σε 5 V, επομένως μπορούμε να θεωρήσουμε προσεγγιστικά ότι οι τιμές αυτές είναι κοντά στα ± 2 V, δηλαδή:

$$U_{UT-πειρ.} = +2 \text{ V} \text{ και } U_{LT-πειρ.} = -2 \text{ V}$$

Αυτές οι τιμές είναι πολύ κοντά στις θεωρητικές, γι' αυτό μπορούμε να θεωρήσουμε ότι επαληθεύονται θεωρητικά οι αναμενόμενες τιμές κατωφλίου.

Τέλος, μπορούμε να μετρήσουμε πειραματικά αυτές τις τιμές με έναν ακόμη τρόπο: εάν στον παλμογράφο θέσουμε λειτουργία XY, η κυματομορφή που θα εμφανιστεί είναι η εξής (Εικόνα 12):



Εικόνα 12: Κυματομορφή που εμφανίσε ο παλμογράφος σε λειτουργία XY.

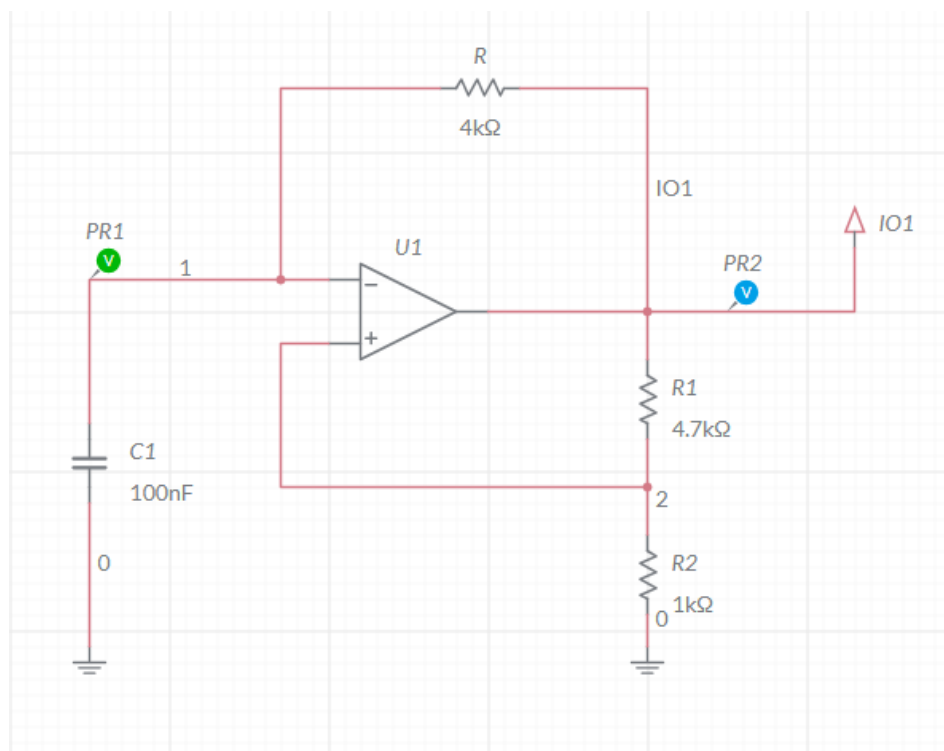
Στην παραπάνω εικόνα μπορούμε πάλι να υπολογίσουμε τις τιμές των τάσεων κατωφλίου μετρώντας τα κουτάκια. Εάν παρατηρήσουμε προσεκτικά, κάθε κουτάκι αντιστοιχεί σε 1 V, και η πάνω οριζόντια γραμμή, που αντιστοιχεί στην τάση του ανώτερου κατωφλίου, απέχει από το 0 περίπου 2 κουτάκια, δηλαδή προσεγγιστικά 2 V. Το ίδιο ισχύει και για την τιμή της τάσης του κατώτερου κατωφλίου, η οποία είναι -2 V.

Κύκλωμα 3: Κύκλωμα γεννήτριας ορθογωνίων παλμών

Στο τρίτο μέρος του πειραματικού τμήματος της εργασίας, θα μελετήσουμε τη λειτουργία ενός κυκλώματος γεννήτριας ορθογωνίων παλμών 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:

- Συνεχής πηγή τάσης 12 V
- 2 αντιστάσεις (4.7 kΩ και 1 kΩ)
- Κιβώτιο αντιστάσεων
- 1 τελεστικό ενισχυτή
- Πυκνωτής χωρητικότητας 100 nF

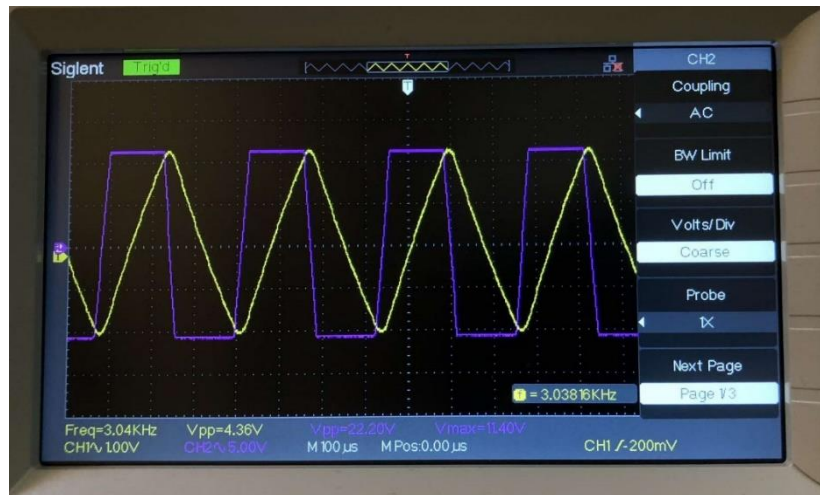
Η συνδεσμολογία του κυκλώματος αποτυπώνεται χαρακτηριστικά στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 13):



Εικόνα 13: Συνδεσμολογία κυκλώματος γεννήτριας ορθογωνίων παλμών.

Εφόσον το κύκλωμα αναπαριστά μια γεννήτρια ορθογώνιων παλμών, θα εξετάσουμε για ποιες τιμές αντίστασης R στο κιβώτιο αντιστάσεων παρατηρείται ορθογώνιος παλμός στην έξοδο του κυκλώματος. Ξεκινώντας τη διαδικασία, εφαρμόζουμε διαφορετικές τιμές αντίστασης στο κιβώτιο. Πειραματικά, διαπιστώσαμε ότι ο παλμογράφος άρχισε να δείχνει παλμο πολύ κοντά σε ορθογώνιο για τιμή αντίστασης $R=3\text{ k}\Omega$.

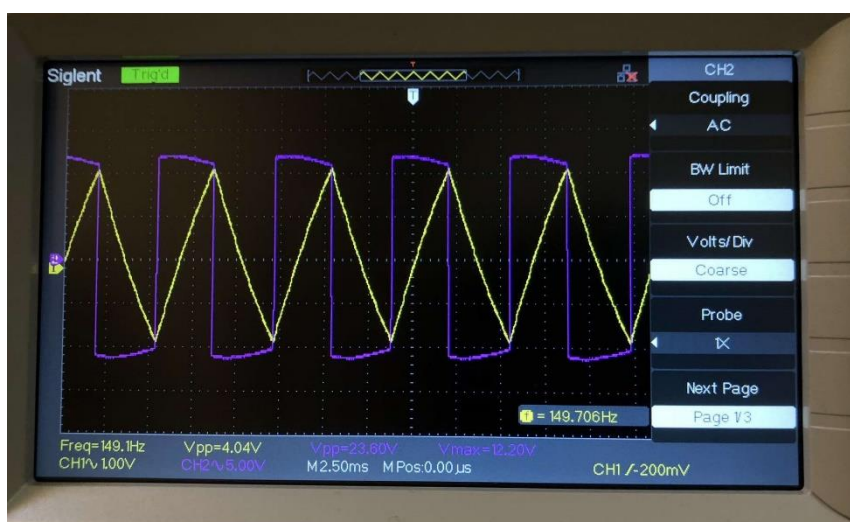
Εχοντας βάλει την τιμή αυτή στο κιβώτιο προχωράμε στην τοποθέτηση των καναλιών του παλμογράφου. Θα χρειαστεί να τοποθετηθεί το κανάλι 1 στα άκρα του πυκνωτή (PR1, εικόνα 13) και το κανάλι 2 στην έξοδο του κυκλώματος (PR2, εικόνα 13). Οι κυματομορφές που εμφανίστηκαν στον παλμογράφο απεικονίζονται παρακάτω (Εικόνα 14).



Εικόνα 14: Κυματομορφές τάσης στα άκρα του πυκνωτή (κίτρινη) και στην έξοδο του κυκλώματος (μοβ).

Παραπάνω παρατηρούμε καταρχάς την τάση στα άκρα του πυκνωτή (κίτρινη κυματομορφή) η οποία έχει τριγωνική μορφή καθώς όταν η έξοδος του ΤΕ αλλάζει κατάσταση (π.χ., από υψηλή σε χαμηλή τάση ή το αντίστροφο), ο πυκνωτής αρχίζει να φορτίζεται ή να εκφορτίζεται μέσω της αντίστασης R. Η φόρτιση και εκφόρτιση του πυκνωτή προκαλεί μια γραμμική μεταβολή της τάσης στα άκρα του, δημιουργώντας μια τριγωνική κυματομορφή.

Επιπλέον, παρατηρούμε την κυματομορφή της τάσης εξόδου, η οποία έχει μορφή πολύ κοντά σε ορθογώνια. Αντίθετα, η τιμή της αντίστασης στην οποία το κύκλωμα σταματά να εμφανίζει ορθογώνια μορφή τάσης εξόδου βρέθηκε πειραματικά να είναι 100 k Ω . Συγκεκριμένα, για αυτήν την τιμή, ο παλμογράφος εμφάνισε τις εξής κυματομορφές (Εικόνα 15):



Εικόνα 15: Κυματομορφές τάσης στα άκρα του πυκνωτή (κίτρινη) και στην έξοδο του κυκλώματος (μοβ).

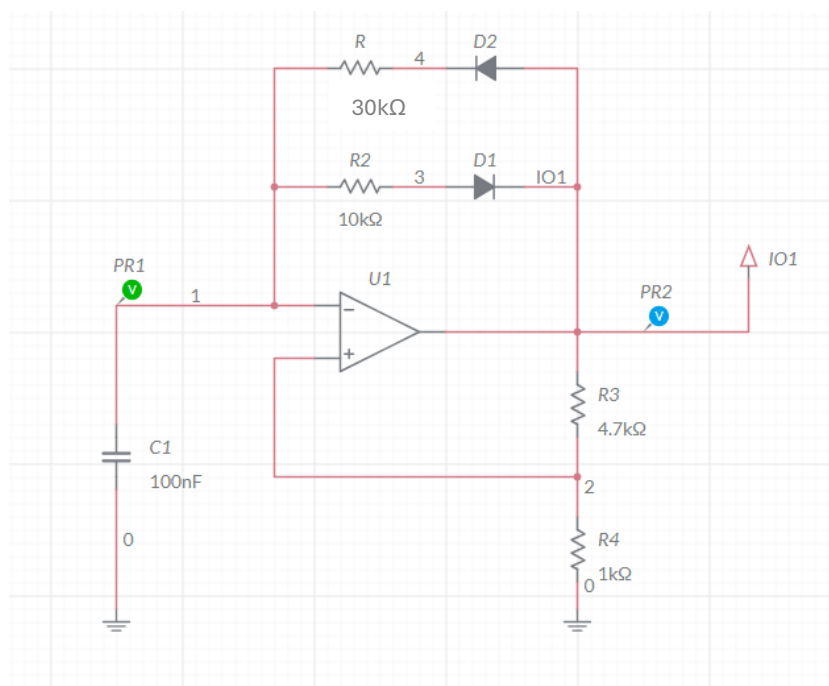
Μπορούμε, λοιπόν, να θεωρήσουμε ότι η περιοχή συχνοτήτων λειτουργίας του κυκλώματος εκτείνεται από 3 kHz έως 150 Hz, όπως προκύπτει από τις παραπάνω δύο εικόνες. Σε αυτό το εύρος συχνοτήτων, το κύκλωμα διατηρεί την ορθογώνια μορφή της κυματομορφής εξόδου, η οποία είναι κρίσιμη για τη σωστή λειτουργία του ως γεννήτρια παλμών. Εκτός αυτού του εύρους, η κυματομορφή της εξόδου αρχίζει να αποκλίνει από την ιδανική ορθογώνια μορφή, υποδεικνύοντας ότι το κύκλωμα δεν μπορεί να ανταποκριθεί αποτελεσματικά σε υψηλότερες ή χαμηλότερες συχνότητες.

Κύκλωμα 4: Κύκλωμα ασύμμετρου πολυδονητή

Στο τελευταίο μέρος του πειραματικού τμήματος της εργασίας, θα μελετήσουμε τη λειτουργία ενός κυκλώματος ασύμμετρου πολυδονητή 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:

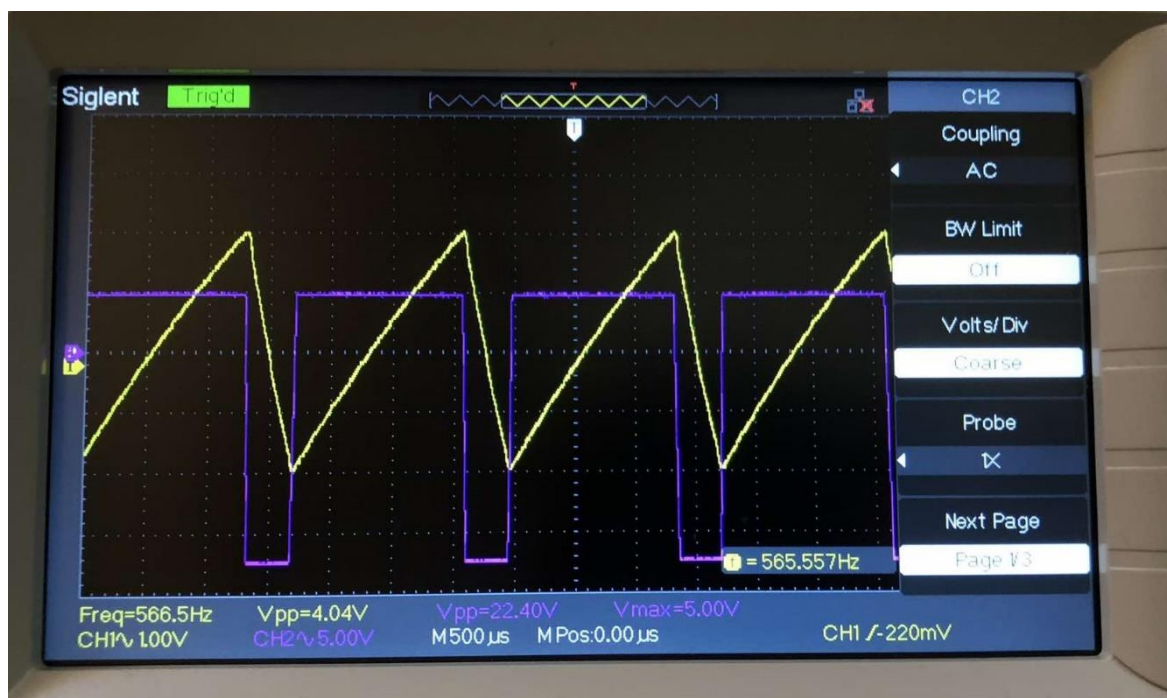
- Συνεχής πηγή τάσης 12 V
- 3 αντιστάσεις (10 kΩ, 4.7 kΩ και 1 kΩ)
- Κιβώτιο αντιστάσεων
- 1 τελεστικό ενισχυτή
- 2 απλές διόδους
- Πυκνωτής χωρητικότητας 100 nF

Η συνδεσμολογία του κυκλώματος αποτυπώνεται χαρακτηριστικά στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 16):



Εικόνα 16: Συνδεσμολογία κυκλώματος ασύμμετρου πολυδονητή.

Αφού έχουμε σχεδιάσει το κύκλωμα όπου R το κιβώτιο αντιστάσεων, θα χρειαστεί να τοποθετήσουμε και τα δύο κανάλια του παλμογράφου: συγκεκριμένα, το πρώτο κανάλι στα άκρα του πυκνωτή (PR1, Εικόνα 16) και το δεύτερο στην έξοδο του κυκλώματος (PR2, Εικόνα 16). Πρέπει να καταγράψουμε τις κυματομορφές λειτουργίας του κυκλώματος αφού ρυθμίσουμε την αντίσταση του κιβωτίου σε μια τιμή που εξασφαλίζει ότι η διάρκεια των ημιπεριοδών της τάσης εξόδου είναι σε αναλογία 1 προς 4. Αυτό επιτεύχθηκε πειραματικά με τιμή αντίστασης $R = 30 \text{ k}\Omega$. Για αυτήν την τιμή, ο παλμογράφος εμφάνισε τις ακόλουθες κυματομορφές (Εικόνα 17):



Εικόνα 15: Κυματομορφές τάσης στα άκρα του πυκνωτή (κίτρινη) και στην έξοδο του κυκλώματος (μοβ).

Όπως ευκολά μπορεί να παρατηρήσει κανείς στην παραπάνω εικόνα όντως παρατηρούμε ότι η διάρκεια των ημιπεριοδών της τάσης εξόδου είναι περίπου σε αναλογία 1 προς 4.

Η ρύθμιση της διάρκειας των ημιπεριοδών στην έξοδο επιτυγχάνεται μέσω της εξάρτησής τους από τα επίπεδα ανώτερου και κατώτερου κατωφλίου τάσης, καθώς και από τη σταθερά χρόνου του πυκνωτή, την οποία μπορούμε να μεταβάλλουμε μέσω του κιβωτίου. Όταν η τάση στην έξοδο φτάσει στο θετικό κόρο ($+V_{ok}$), η διόδος D1 άγει και ο πυκνωτής φορτίζεται με σταθερά χρόνου $\tau_1 = R_1 \cdot C_1$. Αντίστοιχα, όταν η έξοδος φτάσει στον αρνητικό κόρο ($-V_{ok}$), ο πυκνωτής εκφορτίζεται με σταθερά χρόνου $\tau_2 = R_2 \cdot C_2$. Ο χρόνος φόρτισης του πυκνωτή T_R , αντιστοιχεί στη διάρκεια της θετικής ημιπεριοδού του σήματος εξόδου, ενώ ο χρόνος εκφόρτισης, T_F , αντιστοιχεί στη διάρκεια της αρνητικής ημιπεριοδού στην έξοδο.