

ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΤΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ



ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ Ι

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΣ ΟΔΗΓΟΣ

Αναλογικά Ηλεκτρονικά Κυκλώματα

Διδάσκοντες

Ακαδημαϊκό έτος: 2026--2027

Τάξη: Γ' Δοκίμων (Μάχιμοι/Μηχανικοί)

Έκδοση: Έκδοση 1.0

Περιεχόμενα

1	Γενικές οδηγίες εργαστηρίου	2
1.1	Πριν από την άσκηση	2
1.2	Κατά την εκτέλεση	2
1.3	Παράδοση εργαστηριακής αναφοράς	2
2	Εργαστηριακή Άσκηση 1: Γνωριμία με τα όργανα και βασικές συνδεσμολογίες	3
2.1	Γνωριμία με τα εργαστηριακά όργανα	4
2.2	Παραγωγή και μέτρηση απλών σημάτων	16
3	Εργαστηριακή Άσκηση 2: Παθητικά φίλτρα RC πρώτης τάξης	25
3.1	Σύντομο θεωρητικό υπόβαθρο	26
3.2	Προεργασία	26
3.3	Αρχικές μετρήσεις εξαρτημάτων	27
3.4	Κοινή ρύθμιση των οργάνων	27
3.5	Χαμηλοπερατό φίλτρο RC	28
3.6	Υψιπερατό φίλτρο RC	30
3.7	Σύγκριση των δύο φίλτρων	31
3.8	Ερωτήσεις και συμπεράσματα	32

1 Γενικές οδηγίες εργαστηρίου

1.1 Πριν από την άσκηση

1. Μελετήστε το θεωρητικό υπόβαθρο και ολοκληρώστε την προεργασία.
2. Ελέγξτε ότι διαθέτετε τα απαιτούμενα όργανα, εξαρτήματα και φύλλα δεδομένων.
3. Καταγράψτε τις ονομαστικές τιμές και τις ανοχές των εξαρτημάτων.

1.2 Κατά την εκτέλεση

1. Κατασκευάστε το κύκλωμα με την τροφοδοσία απενεργοποιημένη.
2. Ζητήστε έλεγχο της συνδεσμολογίας πριν από την πρώτη ενεργοποίηση.
3. Καταγράψτε τις τιμές μαζί με τις μονάδες, τις κλίμακες των οργάνων και τις αβεβαιότητες των μετρήσεων.
4. Απενεργοποιήστε αμέσως την τροφοδοσία σε περίπτωση υπερθέρμανσης, οσμής ή μη αναμενόμενης ένδειξης.

1.3 Παράδοση εργαστηριακής αναφοράς

Η αναφορά περιλαμβάνει τις πρωτογενείς μετρήσεις, τα ζητούμενα διαγράμματα, τους υπολογισμούς, τη σύγκριση θεωρητικών και πειραματικών αποτελεσμάτων και σύντομα τεκμηριωμένα συμπεράσματα. Όλες οι σελίδες πρέπει να φέρουν τα στοιχεία της ομάδας.

2 Εργαστηριακή Άσκηση 1: Γνωριμία με τα όργανα και βασικές συνδεσμολογίες

Όνοματεπώνυμο: _____

Ημερομηνία: _____

Ειδικότητα: _____ Διάρκεια: 2 διδακτικές ώρες

Μαθησιακοί στόχοι

Με την ολοκλήρωση της άσκησης ο Ν.Δόκιμος θα μπορεί να:

- αναγνωρίζει τα βασικά όργανα ενός πάγκου ηλεκτρονικών και να περιγράφει τη λειτουργία τους,
- εντοπίζει τους βασικούς ακροδέκτες και τα κύρια χειριστήρια κάθε οργάνου,
- πραγματοποιεί με ασφάλεια τις αρχικές ρυθμίσεις πριν από τη σύνδεση ενός κυκλώματος,
- χρησιμοποιεί σωστά το breadboard για την κατασκευή απλών κυκλωμάτων,
- επιλέγει τον κατάλληλο τρόπο σύνδεσης για τη μέτρηση τάσης, ρεύματος και κυματομορφής.

Όργανα και υλικά

A/A	Όργανο ή υλικό	Ποσότητα
1	Τροφοδοτικό συνεχούς τάσης	1
2	Ψηφιακό πολύμετρο πάγκου και ακροδέκτες μέτρησης	1
3	Ψηφιακός παλμογράφος και probes	1
4	Γεννήτρια σημάτων	1
5	Breadboard και καλώδια συνδεσμολογίας	1
6	Αντιστάσεις $R=1k\Omega$, $R=2.2k\Omega$	1

Οδηγίες ασφάλειας

- Κατασκευάζετε ή τροποποιείτε μια συνδεσμολογία μόνο με την έξοδο του τροφοδοτικού απενεργοποιημένη.
- Πριν από την ενεργοποίηση ελέγχετε την πολικότητα, την επιλεγμένη τάση και το όριο ρεύματος του τροφοδοτικού.
- Δεν υπερβαίνετε τις μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές τάσης ή ρεύματος των οργάνων και

των εξαρτημάτων.

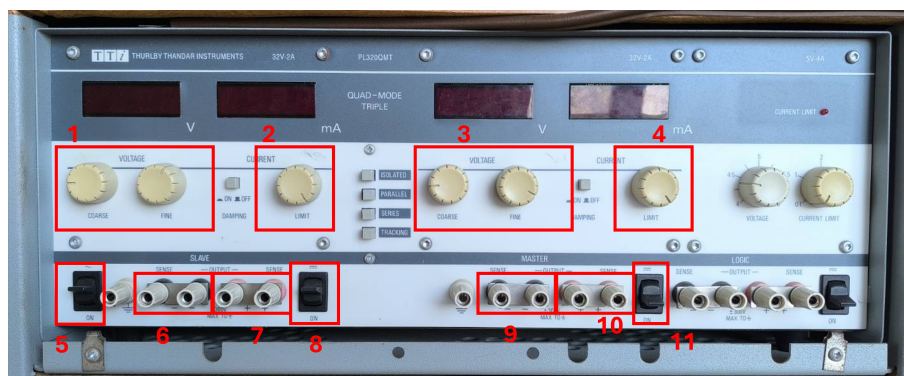
- Ελέγχετε την κοινή γείωση γεννήτριας και παλμογράφου. Ο ακροδέκτης γείωσης του probe δεν συνδέεται αυθαίρετα σε σημείο υπό τάση.
- Σε περίπτωση υπερθέρμανσης, οσμής ή μη αναμενόμενης ένδειξης, απενεργοποιείτε αμέσως την τροφοδοσία και ενημερώνετε τον επιβλέποντα.

2.1 Γνωριμία με τα εργαστηριακά όργανα

Ο εργαστηριακός πάγκος περιλαμβάνει όργανα παραγωγής, τροφοδότησης και μέτρησης ηλεκτρικών σημάτων. Η σωστή χρήση τους προϋποθέτει ότι ο χειριστής γνωρίζει όχι μόνο τη λειτουργία των πλήκτρων και των ακροδεκτών τους, αλλά και τον τρόπο με τον οποίο κάθε όργανο επηρεάζει το υπό εξέταση κύκλωμα. Πριν από οποιαδήποτε σύνδεση ελέγχονται πάντοτε η επιλεγμένη λειτουργία, η κλίμακα μέτρησης και τα επιτρεπόμενα όρια εισόδου.

2.1.1 Τροφοδοτικό συνεχούς τάσης

Το τροφοδοτικό του εργαστηρίου είναι το **TTi PL320QMT Quad-Mode Triple**. Πρόκειται για γραμμικό τροφοδοτικό τριών εξόδων, το οποίο περιλαμβάνει δύο κύριες ρυθμιζόμενες εξόδους **SLAVE** και **MASTER**, ονομαστικών τιμών 0--32 V και έως 2 A, καθώς και μία βοηθητική έξοδο **LOGIC**, ονομαστικής τάσης 5 V και ρεύματος έως 4 A. Η έξοδος LOGIC προορίζεται κυρίως για την τροφοδότηση ψηφιακών κυκλωμάτων και η τάση της μπορεί να ρυθμιστεί γύρω από την ονομαστική τιμή των 5 V.



- | | |
|---|--|
| 1: Ρύθμιση τάσης 1 ^{ου} καναλιού | 5: Διακόπτης οργάνου |
| 2: Ρύθμιση μέγιστου ρεύματος 1 ^{ου} καναλιού | 8/11: Διακόπτες καναλιών |
| 3: Ρύθμιση τάσης 2 ^{ου} καναλιού | 6/9: Σημείο αναφοράς δυναμικού 0 κάθε καναλιού |
| 4: Ρύθμιση μέγιστου ρεύματος 2 ^{ου} καναλιού | 7/10: Έξοδος κάθε καναλιού |

Σχήμα 1: Τροφοδοτικό συνεχούς τάσης TTI PL320QMT του εργαστηριακού πάγκου.

Στην πρόσοψη του οργάνου διακρίνονται τα ακόλουθα βασικά μέρη:

1. **Ψηφιακές ενδείξεις τάσης και ρεύματος:** Κάθε κύρια έξοδος διαθέτει ξεχωριστή ένδειξη τάσης (V) και ρεύματος (mA). Με την έξοδο ενεργοποιημένη εμφανίζεται το ρεύμα που απορροφά το συνδεδεμένο φορτίο.
2. **Ρύθμιση τάσης:** Τα χειριστήρια **COARSE** και **FINE** επιτρέπουν, αντίστοιχα, την αδρή και τη λεπτή ρύθμιση της τάσης κάθε κύριας εξόδου.

3. **Περιορισμός ρεύματος:** Με το χειριστήριο **CURRENT LIMIT** καθορίζεται το μέγιστο ρεύμα που επιτρέπεται να δώσει η αντίστοιχη έξοδος. Στο συγκεκριμένο όργανο, όταν ο διακόπτης εξόδου βρίσκεται στη θέση OFF, η ένδειξη ρεύματος χρησιμοποιείται για τη ρύθμιση του ορίου ρεύματος.
4. **CURRENT DAMPING:** Ο αντίστοιχος διακόπτης επηρεάζει τη δυναμική απόκριση του κυκλώματος περιορισμού ρεύματος. Στις εισαγωγικές ασκήσεις παραμένει στη θέση που έχει υποδείξει ο επιβλέπων.
5. **Διακόπτες εξόδου:** Οι διακόπτες **ON** στο κάτω μέρος της πρόσοψης ενεργοποιούν ανεξάρτητα τις εξόδους SLAVE, MASTER και LOGIC. Οι ρυθμίσεις πραγματοποιούνται με την αντίστοιχη έξοδο απενεργοποιημένη.
6. **Ακροδέκτες εξόδου:** Οι ακροδέκτες + και – αποτελούν τα σημεία σύνδεσης του φορτίου. Ο ακροδέκτης με το σύμβολο της γείωσης συνδέεται με το πλαίσιο του οργάνου και δεν ταυτίζεται αυτομάτως με τον αρνητικό ακροδέκτη της εξόδου.
7. **Ακροδέκτες SENSE:** Χρησιμοποιούνται για την αντιστάθμιση της πτώσης τάσης στα καλώδια όταν το φορτίο βρίσκεται μακριά από το τροφοδοτικό. Στις ασκήσεις του παρόντος οδηγού παραμένουν συνδεδεμένοι τοπικά με τους αντίστοιχους ακροδέκτες εξόδου και δεν μετακινούνται.
8. **Επιλογή τρόπου λειτουργίας:** Τα πλήκτρα στο κέντρο της πρόσοψης καθορίζουν τη συνεργασία των εξόδων MASTER και SLAVE:
 - **ISOLATED:** Οι δύο εξοδοί λειτουργούν ανεξάρτητα.
 - **PARALLEL:** Οι εξοδοί συνδέονται παράλληλα για την παροχή μεγαλύτερου ρεύματος.
 - **SERIES:** Οι εξοδοί συνδέονται σε σειρά για την παροχή μεγαλύτερης συνολικής τάσης.
 - **TRACKING:** Η έξοδος SLAVE ακολουθεί τη ρύθμιση της MASTER, διευκολύνοντας τη δημιουργία συμμετρικής τροφοδοσίας.

Κατά τη λειτουργία σταθερής τάσης (Constant Voltage, CV), το τροφοδοτικό διατηρεί την τάση στην επιλεγμένη τιμή. Αν το φορτίο επιχειρήσει να απορροφήσει ρεύμα μεγαλύτερο από το προκαθορισμένο όριο, το όργανο μεταβαίνει σε λειτουργία σταθερού ρεύματος (Constant Current, CC) και μειώνει αυτόματα την τάση εξόδου.

Η ενεργοποίηση της ένδειξης **CURRENT LIMIT** μπορεί επομένως να υποδεικνύει υπερβολικό φορτίο, πολύ μικρή αντίσταση φορτίου ή βραχυκύκλωμα στη συνδεσμολογία.

Παρατήρηση

Στις πρώτες εργαστηριακές ασκήσεις χρησιμοποιείται μία μόνο κύρια έξοδος και επιλέγεται η λειτουργία **ISOLATED**. Οι λειτουργίες **PARALLEL**, **SERIES** και **TRACKING**, καθώς και οι συνδέσεις **SENSE**, δεν μεταβάλλονται χωρίς ρητή οδηγία του επιβλέποντα.

Πριν από κάθε χρήση ακολουθείται η παρακάτω σειρά ενεργειών:

1. Ο διακόπτης εξόδου της επιλεγμένης πηγής τίθεται στη θέση OFF.
2. Επιλέγεται η λειτουργία **ISOLATED**.

3. Ρυθμίζονται η ζητούμενη τάση και ένα ασφαλές όριο ρεύματος.
4. Συνδέονται οι ακροδέκτες + και – στο κύκλωμα με τη σωστή πολικότητα.
5. Ελέγχεται η συνδεσμολογία και μόνο τότε ενεργοποιείται η έξοδος.
6. Επιβεβαιώνεται ότι η τάση και το ρεύμα έχουν τις αναμενόμενες τιμές και ότι δεν έχει ενεργοποιηθεί απροσδόκητα η ένδειξη **CURRENT LIMIT**.

2.1.2 Ψηφιακό πολύμετρο πάγκου

Το ψηφιακό πολύμετρο πάγκου που χρησιμοποιείται στο εργαστήριο είναι το **GW Instek GDM-8245 Dual Display Digital Multimeter**. Πρόκειται για ψηφιακό πολύμετρο 50 000 ενδείξεων, το οποίο μπορεί να μετρήσει συνεχή και εναλλασσόμενη τάση, συνεχές και εναλλασσόμενο ρεύμα, αντίσταση, χωρητικότητα και συχνότητα. Διαθέτει επίσης λειτουργίες ελέγχου συνέχειας, ελέγχου διόδων, καταγραφής μέγιστης και ελάχιστης τιμής, συγκράτησης ένδειξης και σχετικής μέτρησης.

Η διπλή οθόνη του οργάνου επιτρέπει την ταυτόχρονη απεικόνιση δύο σχετιζόμενων μεγεθών. Για παράδειγμα, κατά τη μέτρηση εναλλασσόμενης τάσης μπορεί να εμφανίζεται ταυτόχρονα η ενεργός τιμή της τάσης και η συχνότητα του σήματος.



Σχήμα 2: Ψηφιακά πολύμετρα πάγκου GW Instek GDM-8245 του εργαστηρίου.

Στην πρόσοψη του οργάνου διακρίνονται τα ακόλουθα βασικά μέρη:

1. **Κύρια και δευτερεύουσα οθόνη:** Η μεγάλη κύρια οθόνη εμφανίζει την τιμή του μετρούμενου μεγέθους, ενώ η μικρότερη δευτερεύουσα οθόνη χρησιμοποιείται για την εμφάνιση πρόσθετων πληροφοριών ή ενός δεύτερου μετρούμενου μεγέθους. Στην οθόνη εμφανίζονται επίσης η επιλεγμένη λειτουργία, η μονάδα μέτρησης και η ενεργοποίηση της αυτόματης επιλογής κλίμακας.
2. **Πλήκτρα DCV και ACV:** Χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση συνεχούς και εναλλασσόμενης τάσης, αντίστοιχα. Με τη βοήθεια του πλήκτρου **SHIFT** μπορούν να επιλεγούν οι αντίστοιχες κλίμακες χαμηλής τάσης σε mV.
3. **Πλήκτρο αντίστασης:** Το πλήκτρο με το σύμβολο Ω επιλέγει τη μέτρηση ηλεκτρικής αντίστασης. Η μέτρηση πραγματοποιείται αποκλειστικά σε κύκλωμα χωρίς τροφοδοσία.
4. **Έλεγχος συνέχειας και διόδων:** Η λειτουργία συνέχειας χρησιμοποιείται για να διαπιστωθεί αν δύο σημεία συνδέονται ηλεκτρικά μεταξύ τους. Όταν η αντίσταση μεταξύ τους είναι

αρκετά μικρή, το όργανο παράγει ηχητικό σήμα. Η λειτουργία ελέγχου διόδων εμφανίζει προσεγγιστικά την τάση ορθής πόλωσης της εξεταζόμενης διόδου.

5. **Πλήκτρα DCA και ACA:** Χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση συνεχούς και εναλλασσόμενου ρεύματος, αντίστοιχα. Για τη μέτρηση ρεύματος πρέπει να επιλεγεί και ο σωστός ακροδέκτης εισόδου.
6. **Λειτουργία AC+DC:** Επιτρέπει τη μέτρηση της συνολικής ενεργού τιμής ενός σήματος που περιλαμβάνει ταυτόχρονα συνεχή και εναλλασσόμενη συνιστώσα.
7. **Πλήκτρο AUTO/MAN:** Επιλέγει την αυτόματη ή τη χειροκίνητη αλλαγή κλίμακας. Στην αυτόματη λειτουργία το πολύμετρο επιλέγει την καταλληλότερη κλίμακα μέτρησης. Στη χειροκίνητη λειτουργία η κλίμακα επιλέγεται με τα πλήκτρα κατεύθυνσης.
8. **Λειτουργία MAX/MIN:** Καταγράφει και εμφανίζει τη μέγιστη ή την ελάχιστη τιμή που παρατηρήθηκε κατά τη διάρκεια μιας μέτρησης.
9. **Λειτουργία HOLD:** Διατηρεί την τρέχουσα ένδειξη στην οθόνη, ώστε η τιμή να μπορεί να καταγραφεί μετά την απομάκρυνση των ακροδεκτών μέτρησης.
10. **Λειτουργία REL:** Αποθηκεύει την τρέχουσα ένδειξη ως τιμή αναφοράς. Οι επόμενες ενδείξεις εκφράζουν τη διαφορά μεταξύ της νέας μέτρησης και της αποθηκευμένης τιμής.
11. **Πλήκτρο SHIFT:** Ενεργοποιεί τις δευτερεύουσες λειτουργίες που σημειώνονται με μπλε χρώμα πάνω από τα αντίστοιχα πλήκτρα.

Ακροδέκτες εισόδου Το πολύμετρο διαθέτει τέσσερις ακροδέκτες εισόδου:

- Ο μαύρος ακροδέκτης **COMMON** αποτελεί το κοινό σημείο αναφοράς και χρησιμοποιείται σε όλες τις μετρήσεις.
- Ο επάνω δεξιός κόκκινος ακροδέκτης, με τις ενδείξεις **V**, **Ω** και τα αντίστοιχα σύμβολα, χρησιμοποιείται για μετρήσεις τάσης, αντίστασης, συνέχειας, διόδων και χωρητικότητας.
- Ο αριστερός κόκκινος ακροδέκτης **MAX 2A** χρησιμοποιείται για μετρήσεις ρεύματος έως 2 A. Η είσοδος αυτή προστατεύεται με ασφάλεια 2 A/250 V.
- Ο κάτω δεξιός κόκκινος ακροδέκτης **MAX 20A** χρησιμοποιείται μόνο για μετρήσεις υψηλότερου ρεύματος, έως 20 A. Η είσοδος αυτή δεν προστατεύεται με ασφάλεια και χρησιμοποιείται μόνο κατόπιν ρητής οδηγίας του επιβλέποντα.

Παρατήρηση

Ο κόκκινος ακροδέκτης μέτρησης πρέπει να βρίσκεται στην υποδοχή που αντιστοιχεί στο επιλεγμένο μέγεθος. Μετά από κάθε μέτρηση ρεύματος, μεταφέρεται ξανά στην υποδοχή μέτρησης τάσης και αντίστασης. Με τον τρόπο αυτό περιορίζεται ο κίνδυνος βραχυκυκλώματος σε επόμενη μέτρηση τάσης.

Σύνδεση του πολυμέτρου Ο τρόπος σύνδεσης του πολυμέτρου εξαρτάται από το μετρούμενο μέγεθος:

- Για τη μέτρηση **τάσης**, το πολύμετρο συνδέεται **παράλληλα** μεταξύ των δύο σημείων στα οποία πρόκειται να μετρηθεί η διαφορά δυναμικού.

- Για τη μέτρηση **ρεύματος**, ο κλάδος του κυκλώματος διακόπτεται και το πολύμετρο παρεμβάλλεται **σε σειρά**, ώστε ολόκληρο το ρεύμα του κλάδου να διέρχεται μέσα από το όργανο.
- Για τη μέτρηση **αντίστασης**, το κύκλωμα πρέπει να είναι απενεργοποιημένο και το υπό μέτρηση εξάρτημα να μην τροφοδοτείται από καμία εξωτερική πηγή. Τυχόν πυκνωτές πρέπει προηγουμένως να έχουν εκφορτιστεί.
- Για τον **έλεγχο συνέχειας**, το κύκλωμα πρέπει επίσης να είναι απενεργοποιημένο. Η παρουσία ηχητικού σήματος υποδεικνύει ηλεκτρική σύνδεση πολύ μικρής αντίστασης μεταξύ των δύο σημείων.

Οδηγίες ασφάλειας

- Δεν συνδέεται ποτέ το πολύμετρο παράλληλα σε πηγή τάσης όταν έχει επιλεγεί λειτουργία μέτρησης ρεύματος.
- Πριν από κάθε μέτρηση ελέγχονται η επιλεγμένη λειτουργία, η κλίμακα και η θέση του κόκκινου ακροδέκτη.
- Όταν η αναμενόμενη τιμή του ρεύματος δεν είναι γνωστή, επιλέγεται αρχικά η μεγαλύτερη κατάλληλη κλίμακα, κατόπιν οδηγίας του επιβλέποντα.
- Δεν μετράται αντίσταση, συνέχεια, δίοδος ή χωρητικότητα σε κύκλωμα που βρίσκεται υπό τάση.
- Η είσοδος των 20 A χρησιμοποιείται μόνο για σύντομες μετρήσεις και αποκλειστικά με την άδεια του επιβλέποντα.

2.1.3 Ψηφιακός παλμογράφος

Ο παλμογράφος που χρησιμοποιείται στο εργαστήριο είναι ο **GW Instek GDS-1054B**. Πρόκειται για ψηφιακό παλμογράφο αποθήκευσης τεσσάρων καναλιών, με εύρος ζώνης 50 MHz και μέγιστο ρυθμό δειγματοληψίας 1 GSa/s.

Ο παλμογράφος απεικονίζει την τάση ενός ηλεκτρικού σήματος ως συνάρτηση του χρόνου. Ο κατακόρυφος άξονας της οθόνης αντιστοιχεί στην τάση, ενώ ο οριζόντιος άξονας αντιστοιχεί στον χρόνο. Με τη βοήθεια του παλμογράφου μπορούν να μετρηθούν χαρακτηριστικά μιας κυματομορφής, όπως το πλάτος, η μέγιστη και η ελάχιστη τάση, η ενεργός τιμή, η περίοδος, η συχνότητα και η διαφορά φάσης μεταξύ δύο σημάτων.



Σχήμα 3: Ψηφιακός παλμογράφος GW Instek GDS-1054B του εργαστηρίου.

Στην πρόσοψη του οργάνου διακρίνονται οι ακόλουθες βασικές ομάδες χειριστηρίων:

- 1. Οθόνη και πλήκτρα επιλογών:** Η οθόνη εμφανίζει τις κυματομορφές, τις κλίμακες των αξόνων, την κατάσταση σκανδαλισμού και τα αποτελέσματα των μετρήσεων. Τα πλήκτρα γύρω από την οθόνη αντιστοιχούν στις επιλογές των μενού που εμφανίζονται κάθε φορά.
- 2. Είσοδοι CH1--CH4:** Οι τέσσερις είσοδοι BNC χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση των probes. Κάθε κανάλι μπορεί να ενεργοποιηθεί ή να απενεργοποιηθεί ανεξάρτητα μέσω του αντίστοιχου πλήκτρου CH1, CH2, CH3 ή CH4.
- 3. Κατακόρυφα χειριστήρια VERTICAL:** Για κάθε κανάλι διατίθενται ξεχωριστά χειριστήρια **POSITION** και **SCALE**. Το χειριστήριο **POSITION** μετακινεί κατακόρυφα την κυματομορφή, ενώ το **SCALE** καθορίζει την κλίμακα τάσης σε volt ανά υποδιαίρεση (V/div).
- 4. Οριζόντια χειριστήρια HORIZONTAL:** Το χειριστήριο **SCALE** καθορίζει τη χρονική κλίμακα σε δευτερόλεπτα ανά υποδιαίρεση (s/div). Το χειριστήριο **POSITION** μετακινεί οριζόντια την κυματομορφή και αλλάζει τη θέση του σημείου σκανδαλισμού ως προς την οθόνη.
- 5. Χειριστήρια TRIGGER:** Το σύστημα σκανδαλισμού σταθεροποιεί την κυματομορφή στην οθόνη. Το χειριστήριο **LEVEL** καθορίζει τη στάθμη τάσης στην οποία πραγματοποιείται ο σκανδαλισμός, ενώ μέσω του πλήκτρου **Menu** επιλέγονται η πηγή, ο τύπος και η κλίση του σκανδαλισμού.
- 6. Autoset:** Το πλήκτρο **Autoset** πραγματοποιεί αυτόματη ρύθμιση της κατακόρυφης κλίμακας, της χρονικής βάσης και του trigger, ώστε να εμφανιστεί γρήγορα μια σταθερή κυματομορφή. Η λειτουργία αυτή χρησιμοποιείται για την αρχική εύρεση του σήματος και δεν αντικαθιστά την τελική χειροκίνητη ρύθμιση.
- 7. Run/Stop:** Το πλήκτρο **Run/Stop** ξεκινά ή σταματά τη συνεχή λήψη δεδομένων. Όταν η λήψη σταματήσει, η τελευταία καταγεγραμμένη κυματομορφή παραμένει στην οθόνη για παρατήρηση και μέτρηση.

8. **Single:** Το πλήκτρο **Single** προετοιμάζει τον παλμογράφο για την καταγραφή ενός μόνο συμβάντος. Η λειτουργία αυτή χρησιμοποιείται κυρίως για τη μελέτη παροδικών ή μη επαναλαμβανόμενων σημάτων.
9. **Default:** Το πλήκτρο **Default** επαναφέρει το όργανο στις βασικές εργοστασιακές ρυθμίσεις. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως σημείο εκκίνησης όταν οι προηγούμενες ρυθμίσεις του παλμογράφου δεν είναι γνωστές.
10. **Measure:** Το πλήκτρο **Measure** ενεργοποιεί αυτόματες μετρήσεις, όπως συχνότητα, περίοδο, μέση τιμή, ενεργό τιμή, μέγιστη και ελάχιστη τάση και τάση από κορυφή σε κορυφή.
11. **Cursor:** Το πλήκτρο **Cursor** ενεργοποιεί τους δρομείς μέτρησης. Οι δρομείς χρησιμοποιούνται για τη χειροκίνητη μέτρηση διαφορών τάσης και χρόνου μεταξύ δύο επιλεγμένων σημείων της κυματομορφής.
12. **Save/Recall:** Χρησιμοποιείται για την αποθήκευση και την ανάκληση ρυθμίσεων ή κυματομορφών.
13. **Έξοδος βαθμονόμησης probe:** Η έξοδος με την ένδειξη 2 V και το σύμβολο τετραγωνικού παλμού παρέχει γνωστό περιοδικό σήμα. Χρησιμοποιείται για τον έλεγχο και την αντιστάθμιση των probes πριν από τις μετρήσεις.
14. **Θύρα USB:** Η εμπρόσθια θύρα USB χρησιμοποιείται για την αποθήκευση εικόνων οθόνης, κυματομορφών ή ρυθμίσεων σε εξωτερικό αποθηκευτικό μέσο.

Κατακόρυφη και οριζόντια κλίμακα Η κατακόρυφη κλίμακα εκφράζεται σε volt ανά υποδιαίρεση (V/div). Αν μια κυματομορφή καταλαμβάνει N_V κατακόρυφες υποδιαίρεσεις, η αντίστοιχη τάση υπολογίζεται από τη σχέση

$$V = N_V \left(\frac{V}{\text{div}} \right) k_{\text{probe}}, \quad (1)$$

όπου k_{probe} είναι ο συντελεστής εξασθένησης του probe. Για probe στη θέση $\times 1$ ισχύει $k_{\text{probe}} = 1$, ενώ για probe στη θέση $\times 10$ ισχύει $k_{\text{probe}} = 10$.

Η οριζόντια κλίμακα εκφράζεται σε χρόνο ανά υποδιαίρεση (s/div). Αν μία περίοδος της κυματομορφής καταλαμβάνει N_T οριζόντιες υποδιαίρεσεις, τότε

$$T = N_T \left(\frac{s}{\text{div}} \right), \quad f = \frac{1}{T}. \quad (2)$$

Χρήση και αντιστάθμιση του probe Το probe μεταφέρει το μετρούμενο σήμα από το κύκλωμα στην είσοδο του παλμογράφου. Αποτελείται από την ακίδα μέτρησης και τον ακροδέκτη γείωσης. Πριν από τη χρήση του πρέπει να ελέγχεται ο συντελεστής εξασθένησης που έχει επιλεγεί στον διακόπτη του probe.

Η ρύθμιση του καναλιού στον παλμογράφο πρέπει να συμφωνεί με τη θέση του διακόπτη του probe. Αν, για παράδειγμα, το probe βρίσκεται στη θέση $\times 10$, πρέπει να επιλεγεί και στο μενού του αντίστοιχου καναλιού η ρύθμιση probe $\times 10$. Διαφορετικά, οι τιμές τάσης που εμφανίζονται στην οθόνη θα είναι λανθασμένες.

Για τον έλεγχο της αντιστάθμισης ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία:

1. Το probe συνδέεται στην είσοδο CH1.

2. Η ακίδα του probe συνδέεται στην έξοδο τετραγωνικού παλμού 2 V του παλμογράφου.
3. Ο ακροδέκτης γείωσης συνδέεται στο διπλανό σημείο γείωσης.
4. Επιλέγεται ο ίδιος συντελεστής εξασθένησης στο probe και στο μενού του καναλιού.
5. Πιέζεται το πλήκτρο Autoset, ώστε να εμφανιστεί η τετραγωνική κυματομορφή.
6. Αν οι ακμές της κυματομορφής εμφανίζονται καμπύλες ή παρουσιάζουν υπερύψωση, ρυθμίζεται ο μικρός μεταβλητός πυκνωτής του probe μέχρι η κυματομορφή να αποκτήσει επίπεδη άνω και κάτω πλευρά.

Παρατήρηση

Για τις περισσότερες εργαστηριακές μετρήσεις χρησιμοποιείται probe στη θέση $\times 10$. Η επιλογή αυτή παρουσιάζει μεγαλύτερη αντίσταση και μικρότερη χωρητικότητα εισόδου, με αποτέλεσμα να επιβαρύνει λιγότερο το υπό εξέταση κύκλωμα.

Σύζευξη εισόδου Μέσω του μενού κάθε καναλιού μπορεί να επιλεγεί ο τρόπος σύζευξης της εισόδου:

- Στη σύζευξη **DC** εμφανίζονται τόσο η συνεχής όσο και η εναλλασσόμενη συνιστώσα του σήματος.
- Στη σύζευξη **AC** παρεμποδίζεται η συνεχής συνιστώσα και εμφανίζεται μόνο η χρονικά μεταβαλλόμενη συνιστώσα του σήματος.
- Στη θέση **GND** αποσυνδέεται το σήμα εισόδου και εμφανίζεται η θέση της μηδενικής στάθμης του αντίστοιχου καναλιού.

Βασική διαδικασία απεικόνισης σήματος Για την αρχική απεικόνιση μιας κυματομορφής ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία:

1. Ο παλμογράφος επανέρχεται, εφόσον απαιτείται, στις αρχικές ρυθμίσεις με το πλήκτρο Default.
2. Το probe συνδέεται σε ένα από τα κανάλια CH1--CH4.
3. Ο συντελεστής εξασθένησης του probe επιλέγεται τόσο στον διακόπτη του probe όσο και στο μενού του αντίστοιχου καναλιού.
4. Ο ακροδέκτης γείωσης του probe συνδέεται στο κοινό σημείο αναφοράς του κυκλώματος.
5. Η ακίδα του probe συνδέεται στο σημείο του οποίου η τάση πρόκειται να μετρηθεί.
6. Πιέζεται το Autoset για την αρχική εμφάνιση της κυματομορφής.
7. Ρυθμίζονται χειροκίνητα τα V/div και s/div, ώστε η κυματομορφή να καταλαμβάνει κατάλληλο μέρος της οθόνης.
8. Επιλέγεται το κατάλληλο κανάλι ως πηγή trigger και ρυθμίζεται η στάθμη LEVEL μέχρι η κυματομορφή να εμφανίζεται σταθερή.
9. Οι ζητούμενες τιμές προσδιορίζονται από τις υποδιαιρέσεις της οθόνης ή μέσω των λειτουργιών Measure και Cursor.

Οδηγίες ασφάλειας

- Οι εξωτερικοί αγωγοί των εισόδων BNC και οι ακροδέκτες γείωσης των probes είναι ηλεκτρικά κοινοί μεταξύ τους και συνδέονται με την προστατευτική γείωση του παλμογράφου.
- Ο ακροδέκτης γείωσης του probe συνδέεται μόνο στο κοινό σημείο αναφοράς του κυκλώματος. Δεν συνδέεται σε σημείο που βρίσκεται υπό τάση ως προς τη γη.
- Δεν συνδέονται οι ακροδέκτες γείωσης δύο probes σε σημεία διαφορετικού δυναμικού, επειδή με τον τρόπο αυτό δημιουργείται βραχυκύκλωμα μέσω του παλμογράφου.
- Πριν από κάθε μέτρηση ελέγχεται ότι η αναμενόμενη τάση δεν υπερβαίνει τα επιτρεπόμενα όρια εισόδου του παλμογράφου και του probe.
- Μετρήσεις απευθείας στο δίκτυο ηλεκτρικής παροχής ή σε μη απομονωμένα κυκλώματα ισχύος δεν πραγματοποιούνται με συμβατικό probe. Για τέτοιες μετρήσεις απαιτείται κατάλληλο διαφορικό probe και ρητή άδεια του επιβλέποντα.

2.1.4 Γεννήτρια σημάτων

Η γεννήτρια σημάτων που χρησιμοποιείται στο εργαστήριο είναι η **GW Instek AFG-2005 Arbitrary Function Generator**. Πρόκειται για ψηφιακή γεννήτρια συναρτήσεων ενός καναλιού, με περιοχή συχνοτήτων από 0.1 Hz έως 5 MHz.

Η γεννήτρια μπορεί να παράγει ημιτονοειδείς, τετραγωνικές, τριγωνικές και πριονωτές κυματομορφές, θόρυβο, καθώς και αυθαίρετες κυματομορφές που καθορίζονται από τον χρήστη. Για κάθε κυματομορφή μπορούν να ρυθμιστούν η συχνότητα, το πλάτος, η συνεχής συνιστώσα και, όπου εφαρμόζεται, ο κύκλος λειτουργίας.



Σχήμα 4: Γεννήτρια σημάτων GW Instek AFG-2005 του εργαστηρίου.

Στην πρόσοψη της γεννήτριας διακρίνονται τα ακόλουθα βασικά μέρη:

1. **Οθόνη:** Εμφανίζει τη μορφή της επιλεγμένης κυματομορφής, τη συχνότητα, το πλάτος, τη συνεχή συνιστώσα και τις αντίστοιχες μονάδες. Η έξοδος μπορεί να παραμένει απενεργοποιημένη ενώ πραγματοποιούνται οι επιθυμητές ρυθμίσεις.
2. **Πλήκτρο FUNC:** Χρησιμοποιείται για την επιλογή της μορφής της κυματομορφής. Οι βασικές διαθέσιμες μορφές είναι η ημιτονοειδής, η τετραγωνική, η τριγωνική ή πριονωτή

κυματομορφή, ο θόρυβος και η αυθαίρετη κυματομορφή.

3. **Πλήκτρο FREQ:** Επιλέγει τη ρύθμιση της συχνότητας του σήματος. Η αριθμητική τιμή εισάγεται από το πληκτρολόγιο ή μεταβάλλεται με το περιστροφικό χειριστήριο. Η μονάδα επιλέγεται με τα πλήκτρα Hz, kHz ή MHz.
4. **Πλήκτρο AMPL:** Επιλέγει τη ρύθμιση του πλάτους της κυματομορφής. Το πλάτος μπορεί να εκφράζεται ως τάση από κορυφή σε κορυφή (V_{pp}), ενεργός τιμή (V_{rms}) ή στάθμη σε dBm, ανάλογα με την επιλεγμένη μονάδα.
5. **Πλήκτρο OFST:** Επιλέγει τη ρύθμιση της συνεχούς συνιστώσας (DC offset). Με τη ρύθμιση αυτή ολόκληρη η κυματομορφή μετατοπίζεται κατακόρυφα ως προς τη στάθμη των 0 V.
6. **Πλήκτρο DUTY:** Χρησιμοποιείται για τη ρύθμιση του κύκλου λειτουργίας της τετραγωνικής κυματομορφής. Ο κύκλος λειτουργίας εκφράζει το ποσοστό της περιόδου κατά το οποίο το σήμα παραμένει στην υψηλή στάθμη.
7. **Αριθμητικό πληκτρολόγιο:** Επιτρέπει την άμεση εισαγωγή της αριθμητικής τιμής μιας παραμέτρου. Περιλαμβάνει δεκαδικό σημείο και πλήκτρο αλλαγής προσήμου.
8. **Περιστροφικό χειριστήριο και πλήκτρα κατεύθυνσης:** Χρησιμοποιούνται για τη σταδιακή μεταβολή της επιλεγμένης τιμής. Με τα πλήκτρα κατεύθυνσης επιλέγεται το ψηφίο που πρόκειται να μεταβληθεί και με το περιστροφικό χειριστήριο αυξάνεται ή μειώνεται η τιμή του.
9. **Πλήκτρο Enter:** Επιβεβαιώνει την αριθμητική τιμή ή την επιλογή που εισήχθη από τον χρήστη.
10. **Επιλογή High-Z/50 Ω:** Καθορίζει την αντίσταση φορτίου για την οποία υπολογίζεται και εμφανίζεται το πλάτος της τάσης. Η επιλογή αυτή δεν μεταβάλλει την πραγματική αντίσταση εξόδου της γεννήτριας, η οποία είναι 50 Ω. Μεταβάλλει τον τρόπο με τον οποίο η γεννήτρια υπολογίζει και εμφανίζει την αναμενόμενη τάση στο φορτίο.
11. **Πλήκτρο OUTPUT:** Ενεργοποιεί ή απενεργοποιεί την κύρια έξοδο της γεννήτριας. Οι παράμετροι της κυματομορφής ρυθμίζονται με την έξοδο απενεργοποιημένη και η έξοδος ενεργοποιείται μόνο αφού ολοκληρωθεί η συνδεσμολογία.
12. **Έξοδος MAIN:** Είναι η κύρια έξοδος BNC από την οποία λαμβάνεται η επιλεγμένη κυματομορφή. Η ονομαστική αντίσταση εξόδου είναι 50 Ω.
13. **Έξοδος SYNC:** Παρέχει παλμό συγχρονισμού στάθμης TTL, ο οποίος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον εξωτερικό σκανδαλισμό του παλμογράφου ή τον συγχρονισμό άλλων οργάνων.
14. **Πλήκτρο SHIFT:** Ενεργοποιεί τις δευτερεύουσες λειτουργίες που αναγράφονται με μπλε χρώμα στην πρόσοψη του οργάνου.
15. **Πλήκτρα Point και Value:** Χρησιμοποιούνται κατά τη δημιουργία ή την επεξεργασία αυθαίρετης κυματομορφής. Η λειτουργία αυτή δεν χρησιμοποιείται στις πρώτες εργαστηριακές ασκήσεις.

Βασικά χαρακτηριστικά κυματομορφής Μία περιοδική κυματομορφή χαρακτηρίζεται από τη συχνότητα f και την περίοδο T , οι οποίες συνδέονται με τη σχέση

$$T = \frac{1}{f}. \quad (3)$$

Η τάση από κορυφή σε κορυφή ορίζεται ως

$$V_{pp} = V_{\max} - V_{\min}. \quad (4)$$

Για μια συμμετρική κυματομορφή χωρίς συνεχή συνιστώσα, η τάση κορυφής είναι

$$V_p = \frac{V_{pp}}{2}. \quad (5)$$

Όταν εφαρμόζεται συνεχής συνιστώσα V_{off} , η μέγιστη και η ελάχιστη στιγμιαία τιμή του σήματος δίνονται από τις σχέσεις

$$V_{\max} = V_{\text{off}} + \frac{V_{pp}}{2}, \quad V_{\min} = V_{\text{off}} - \frac{V_{pp}}{2}. \quad (6)$$

Για καθαρά ημιτονοειδές σήμα χωρίς συνεχή συνιστώσα, η ενεργός τιμή είναι

$$V_{\text{rms}} = \frac{V_p}{\sqrt{2}} = \frac{V_{pp}}{2\sqrt{2}}. \quad (7)$$

Ο κύκλος λειτουργίας D μιας τετραγωνικής κυματομορφής ορίζεται ως

$$D = \frac{t_{\text{HIGH}}}{T} \times 100\%, \quad (8)$$

όπου t_{HIGH} είναι ο χρόνος κατά τον οποίο το σήμα παραμένει στην υψηλή στάθμη.

Επιλογή High-Z και 50 Ω Η γεννήτρια διαθέτει αντίσταση εξόδου 50 Ω. Επομένως, η τάση που εμφανίζεται στην οθόνη εξαρτάται από την αντίσταση φορτίου που έχει επιλεγεί στη ρύθμιση High-Z/50 Ω.

- Η επιλογή **High-Z** χρησιμοποιείται όταν η γεννήτρια συνδέεται σε είσοδο μεγάλης αντίστασης, όπως η είσοδος 1 MΩ ενός παλμογράφου ή ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα μεγάλης αντίστασης εισόδου.
- Η επιλογή 50 Ω χρησιμοποιείται όταν η έξοδος τερματίζεται σε πραγματικό φορτίο 50 Ω.

Αν η γεννήτρια έχει ρυθμιστεί για φορτίο 50 Ω, αλλά συνδεθεί σε είσοδο μεγάλης αντίστασης, η πραγματική τάση που θα μετρηθεί μπορεί να είναι περίπου διπλάσια από την τιμή που εμφανίζεται στην οθόνη. Για τον λόγο αυτό, η πραγματική τάση εξόδου πρέπει πάντοτε να επιβεβαιώνεται με τον παλμογράφο.

Παρατήρηση

Στις συνηθισμένες εργαστηριακές συνδεσμολογίες η γεννήτρια συνδέεται στην είσοδο υψηλής αντίστασης του παλμογράφου και επιλέγεται η ρύθμιση **High-Z**. Η επιλογή 50 Ω χρησιμοποιείται μόνο όταν υπάρχει κατάλληλος τερματισμός 50 Ω.

Κύριες κυματομορφές

- Η **ημιτονοειδής κυματομορφή** χρησιμοποιείται για τη μελέτη της απόκρισης γραμμικών κυκλωμάτων και της συμπεριφοράς τους ως συνάρτηση της συχνότητας.
- Η **τετραγωνική κυματομορφή** χρησιμοποιείται για τη μελέτη μεταβατικών φαινομένων, ψηφιακών κυκλωμάτων και της χρονικής απόκρισης συστημάτων.
- Η **τριγωνική κυματομορφή** μεταβάλλεται γραμμικά μεταξύ της ελάχιστης και της μέγιστης τιμής της και χρησιμοποιείται σε εφαρμογές γραμμικής σάρωσης.
- Η **πριονωτή κυματομορφή** παρουσιάζει διαφορετική διάρκεια ανόδου και καθόδου και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μελέτη χρονικών σαρώσεων.
- Ο **θόρυβος** περιλαμβάνει μεγάλο πλήθος συχνοτικών συνιστωσών και χρησιμοποιείται για τη μελέτη της απόκρισης ενός συστήματος σε ευρύ φάσμα συχνοτήτων.
- Η **αυθαίρετη κυματομορφή** δημιουργείται από διαδοχικά αριθμητικά σημεία και μπορεί να αποκτήσει μορφή που δεν περιλαμβάνεται στις βασικές συναρτήσεις της γεννήτριας.

Βασική διαδικασία παραγωγής σήματος Για την παραγωγή και τον έλεγχο μιας κυματομορφής ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία:

1. Το πλήκτρο OUTPUT τίθεται σε κατάσταση απενεργοποιημένης εξόδου.
2. Η έξοδος MAIN συνδέεται με ομοαξονικό καλώδιο BNC στην είσοδο του υπό εξέταση κυκλώματος ή στον παλμογράφο.
3. Με το πλήκτρο FUNC επιλέγεται η επιθυμητή κυματομορφή.
4. Με το πλήκτρο FREQ εισάγεται η ζητούμενη συχνότητα και επιλέγεται η σωστή μονάδα Hz, kHz ή MHz.
5. Με το πλήκτρο AMPL εισάγεται το επιθυμητό πλάτος και επιλέγεται η μονάδα V_{pp} ή V_{rms} .
6. Με το πλήκτρο OFST ρυθμίζεται η επιθυμητή συνεχής συνιστώσα.
7. Για τετραγωνική κυματομορφή, με το πλήκτρο DUTY ρυθμίζεται ο επιθυμητός κύκλος λειτουργίας.
8. Επιλέγεται High-Z ή 50 Ω, ανάλογα με την αντίσταση του συνδεδεμένου φορτίου.
9. Ελέγχεται ότι οι μέγιστες και οι ελάχιστες τιμές της κυματομορφής είναι ασφαλείς για το υπό εξέταση κύκλωμα.
10. Ενεργοποιείται η έξοδος με το πλήκτρο OUTPUT.
11. Η πραγματική μορφή, η συχνότητα, το πλάτος και η συνεχής συνιστώσα του σήματος επιβεβαιώνονται με τον παλμογράφο.

Οδηγίες ασφάλειας

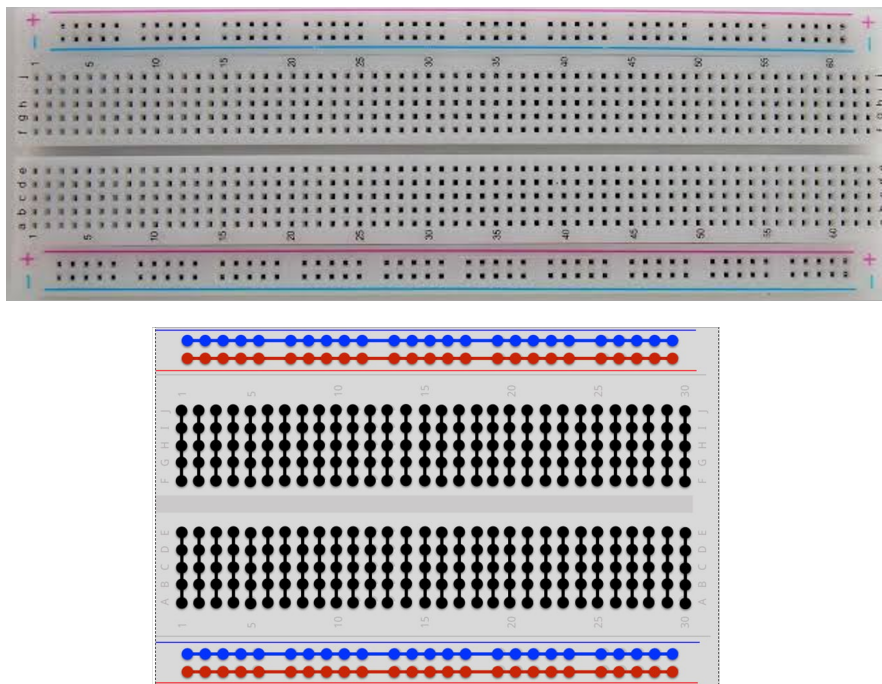
- Η έξοδος της γεννήτριας παραμένει απενεργοποιημένη κατά την κατασκευή ή την αλλαγή της συνδεσμολογίας.
- Πριν ενεργοποιηθεί η έξοδος, ελέγχονται το πλάτος, η συνεχής συνιστώσα και οι μέγιστες και ελάχιστες τιμές της κυματομορφής.

- Δεν εφαρμόζεται στην έξοδο MAIN εξωτερική τάση από τροφοδοτικό ή άλλη πηγή.
- Ο εξωτερικός αγωγός των συνδέσμων BNC συνδέεται με τη γείωση του οργάνου. Για τον λόγο αυτό, η γείωση της γεννήτριας και η γείωση του παλμογράφου συνδέονται στο ίδιο κοινό σημείο αναφοράς του κυκλώματος.
- Δεν συνδέονται οι γειώσεις της γεννήτριας και του παλμογράφου σε σημεία διαφορετικού δυναμικού, επειδή μπορεί να προκληθεί βραχυκύκλωμα μέσω των οργάνων.
- Η πραγματική τάση εξόδου ελέγχεται πάντοτε με τον παλμογράφο, ιδιαίτερα μετά από αλλαγή της ρύθμισης High-Z/50 Ω.

2.1.5 Breadboard

Το breadboard επιτρέπει την προσωρινή κατασκευή κυκλωμάτων χωρίς συγκόλληση. Κάτω από τις οπές του υπάρχουν μεταλλικές επαφές που συνδέουν ηλεκτρικά συγκεκριμένες ομάδες οπών. Στην κεντρική περιοχή, οι οπές κάθε ομάδας των πέντε είναι συνδεδεμένες μεταξύ τους, ενώ οι δύο πλευρές χωρίζονται από το κεντρικό διάκενο. Οι πλευρικές γραμμές χρησιμοποιούνται συνήθως ως γραμμές τροφοδοσίας.

Οι γραμμές τροφοδοσίας δεν είναι απαραίτητα συνεχείς σε όλο το μήκος του breadboard. Σε αρκετά μοντέλα διακόπτονται στο μέσο. Η συνέχεια των επαφών πρέπει να επιβεβαιώνεται οπτικά ή με τη λειτουργία ελέγχου συνέχειας του πολυμέτρου. Τα καλώδια τοποθετούνται χωρίς υπερβολική δύναμη και τα γυμνά άκρα τους δεν πρέπει να ακουμπούν μεταξύ τους.



Σχήμα 5: Breadboard και εσωτερική ηλεκτρική σύνδεση των οπών του.

2.2 Παραγωγή και μέτρηση απλών σημάτων

Στο δεύτερο μέρος της άσκησης θα χρησιμοποιηθούν τα όργανα του εργαστηριακού πάγκου για την παραγωγή και τη μέτρηση απλών συνεχών και εναλλασσόμενων σημάτων. Στη συνέχεια

θα κατασκευαστεί στο breadboard ένα κύκλωμα δύο αντιστάσεων σε σειρά και θα επιβεβαιωθεί πειραματικά ο νόμος του Ohm.

Οδηγίες ασφάλειας

- Κάθε κατασκευή ή αλλαγή συνδεσμολογίας πραγματοποιείται με την έξοδο του τροφοδοτικού και της γεννήτριας απενεργοποιημένη.
- Ο μαύρος ακροδέκτης του πολυμέτρου συνδέεται στην υποδοχή COMMON, ενώ ο κόκκινος ακροδέκτης τοποθετείται στην κατάλληλη υποδοχή ανάλογα με το μετρούμενο μέγεθος.
- Πριν από κάθε μέτρηση ελέγχονται η λειτουργία του πολυμέτρου και η θέση του κόκκινου ακροδέκτη.
- Οι ακροδέκτες γείωσης των probes του παλμογράφου συνδέονται μόνο στο κοινό σημείο αναφοράς του κυκλώματος.
- Δεν μετακινείται ο ακροδέκτης γείωσης του probe σε διαφορετικό σημείο του κυκλώματος όταν η τροφοδοσία είναι ενεργοποιημένη.

2.2.1 Παραγωγή και μέτρηση συνεχούς τάσης

Στο πρώτο πείραμα θα παραχθεί μία συνεχής τάση με το εργαστηριακό τροφοδοτικό και η τιμή της θα μετρηθεί με το ψηφιακό πολύμετρο και τον παλμογράφο.

Πειραματική διαδικασία

1. Επιλέξτε μία από τις κύριες εξόδους του τροφοδοτικού και θέστε τη λειτουργία του στη θέση **ISOLATED**.
2. Με την έξοδο απενεργοποιημένη, ρυθμίστε την τάση στα 5.0 V και το όριο ρεύματος στα 50 mA.
3. Συνδέστε τον μαύρο ακροδέκτη του πολυμέτρου στην υποδοχή COMMON και τον κόκκινο ακροδέκτη στην υποδοχή V/Ω.
4. Επιλέξτε στο πολύμετρο τη λειτουργία μέτρησης συνεχούς τάσης (**DCV**).
5. Συνδέστε το πολύμετρο παράλληλα στους ακροδέκτες + και - του τροφοδοτικού.
6. Συνδέστε το probe του παλμογράφου στο κανάλι CH1. Τοποθετήστε την ακίδα του probe στον θετικό ακροδέκτη και τον ακροδέκτη γείωσης στον αρνητικό ακροδέκτη του τροφοδοτικού.
7. Επιλέξτε στο κανάλι CH1 σύζευξη DC και επιβεβαιώστε ότι η ρύθμιση εξασθένησης του καναλιού συμφωνεί με τον διακόπτη του probe.
8. Ζητήστε από τον επιβλέποντα να ελέγξει τη συνδεσμολογία.
9. Ενεργοποιήστε την έξοδο του τροφοδοτικού.
10. Καταγράψτε την ένδειξη του τροφοδοτικού, του πολυμέτρου και του παλμογράφου στον Πίνακα 1.

11. Επαναλάβετε τη διαδικασία για τάσεις 2 V, 8 V και 10 V.
12. Μετά την ολοκλήρωση των μετρήσεων, απενεργοποιήστε την έξοδο του τροφοδοτικού.

Πίνακας 1: Μέτρηση συνεχούς τάσης με πολύμετρο και παλμογράφο.

A/A	Ένδειξη τροφοδοτικού (V)	Ένδειξη πολύμετρου (V)	Ένδειξη παλμογράφου (V)	Απόκλιση (%)
1	2.0			
2	5.0			
3	8.0			
4	10.0			

Παρατήρηση

Στην οθόνη του παλμογράφου η συνεχής τάση εμφανίζεται ως οριζόντια γραμμή. Η κατακόρυφη απόσταση της γραμμής από τη στάθμη των 0 V αντιστοιχεί στην τιμή της συνεχούς τάσης.

2.2.2 Παραγωγή και μέτρηση ημιτονοειδούς τάσης

Στο δεύτερο πείραμα θα παραχθεί μία ημιτονοειδής κυματομορφή με τη γεννήτρια σημάτων. Η κυματομορφή θα παρατηρηθεί με τον παλμογράφο και η ενεργός τιμή της θα μετρηθεί με το πολύμετρο.

Η γεννήτρια θα ρυθμιστεί ώστε να παράγει ημιτονοειδές σήμα με

$$f = 1 \text{ kHz}, \quad V_{pp} = 2 \text{ V}, \quad V_{off} = 0 \text{ V}. \quad (9)$$

Για ημιτονοειδές σήμα χωρίς DC offset ισχύει

$$V_p = \frac{V_{pp}}{2} = 1 \text{ V} \quad (10)$$

και

$$V_{rms} = \frac{V_p}{\sqrt{2}} = \frac{V_{pp}}{2\sqrt{2}} \approx 0.707 \text{ V}. \quad (11)$$

Πειραματική διαδικασία

1. Βεβαιωθείτε ότι η έξοδος OUTPUT της γεννήτριας είναι απενεργοποιημένη.
2. Επιλέξτε ημιτονοειδή κυματομορφή με το πλήκτρο FUNC.
3. Ρυθμίστε τη συχνότητα στα 1 kHz.
4. Ρυθμίστε το πλάτος στα 2 V_{pp}.

5. Ρυθμίστε τη συνεχή συνιστώσα στα 0 V.
6. Επιλέξτε φορτίο **High-Z**.
7. Συνδέστε την έξοδο MAIN της γεννήτριας στο κανάλι CH1 του παλμογράφου με ομοαξονικό καλώδιο BNC.
8. Συνδέστε παράλληλα στην έξοδο της γεννήτριας το ψηφιακό πολύμετρο και επιλέξτε τη λειτουργία μέτρησης εναλλασσόμενης τάσης (ACV).
9. Ενεργοποιήστε την έξοδο OUTPUT της γεννήτριας.
10. Πιέστε το πλήκτρο Autoset του παλμογράφου και στη συνέχεια ρυθμίστε χειροκίνητα τα V/div και s/div, ώστε να εμφανίζονται τουλάχιστον δύο πλήρεις περίοδοι.
11. Με τη λειτουργία Measure μετρήστε τη συχνότητα, την περίοδο, την τάση από κορυφή σε κορυφή και την ενεργό τιμή της κυματομορφής.
12. Καταγράψτε τις μετρήσεις στον Πίνακα 2.
13. Επαναλάβετε τη διαδικασία για συχνότητες 100 Hz, 5 kHz και 10 kHz, διατηρώντας σταθερό το πλάτος στα $2 V_{pp}$.
14. Μετά την ολοκλήρωση των μετρήσεων, απενεργοποιήστε την έξοδο OUTPUT.

Πίνακας 2: Μέτρηση ημιτονοειδούς σήματος.

f_{gen}	f_{osc}	V_{pp} παλμογράφου	V_{rms} παλμογράφου	V_{rms} πολυμέτρου
100 Hz				
1 kHz				
5 kHz				
10 kHz				

Παρατήρηση

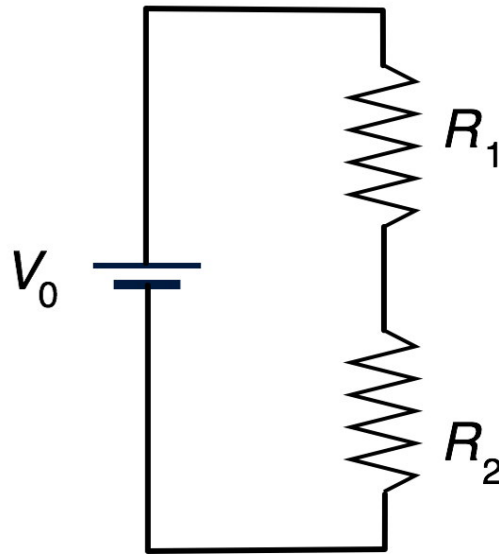
Το πολύμετρο στη λειτουργία ACV εμφανίζει την ενεργό τιμή της τάσης και όχι την τάση από κορυφή σε κορυφή. Για τον λόγο αυτό, η ένδειξή του δεν πρέπει να συγκρίνεται απευθείας με τη ρύθμιση V_{pp} της γεννήτριας.

2.2.3 Κύκλωμα δύο αντιστάσεων σε σειρά

Στο τρίτο πείραμα θα κατασκευαστεί στο breadboard ένα κύκλωμα δύο αντιστάσεων σε σειρά. Το κύκλωμα θα τροφοδοτηθεί με συνεχή τάση και θα μετρηθούν η πτώση τάσης σε κάθε αντίσταση και το συνολικό ρεύμα.

Χρησιμοποιούνται οι ακόλουθες ονομαστικές τιμές:

$$R_1 = 1 \text{ k}\Omega, \quad R_2 = 2.2 \text{ k}\Omega, \quad V_S = 10 \text{ V}. \quad (12)$$



Σχήμα 6: Κύκλωμα δύο αντιστάσεων σε σειρά.

Η ισοδύναμη αντίσταση του κυκλώματος είναι

$$R_{\text{eq}} = R_1 + R_2 = 3.2 \text{ k}\Omega. \quad (13)$$

Το θεωρητικό ρεύμα του κυκλώματος είναι

$$I_{\text{th}} = \frac{V_S}{R_1 + R_2} = \frac{10 \text{ V}}{3.2 \text{ k}\Omega} = 3.125 \text{ mA}. \quad (14)$$

Οι θεωρητικές πτώσεις τάσης στις αντιστάσεις είναι

$$V_{R_1, \text{th}} = I_{\text{th}} R_1 = 3.125 \text{ V} \quad (15)$$

και

$$V_{R_2, \text{th}} = I_{\text{th}} R_2 = 6.875 \text{ V}. \quad (16)$$

Σύμφωνα με τον δεύτερο νόμο του Kirchhoff πρέπει να ισχύει

$$V_S = V_{R_1} + V_{R_2}. \quad (17)$$

Κατασκευή του κυκλώματος

Πειραματική διαδικασία

1. Με το κύκλωμα χωρίς τροφοδοσία, μετρήστε με το πολύμετρο τις πραγματικές τιμές των αντιστάσεων R_1 και R_2 .
2. Κατασκευάστε στο breadboard το κύκλωμα του Σχήματος 6.
3. Ρυθμίστε το τροφοδοτικό στα 10 V και το όριο ρεύματος στα 20 mA, με την έξοδο απενεργοποιημένη.

4. Συνδέστε τον θετικό ακροδέκτη του τροφοδοτικού στο επάνω άκρο της R_1 και τον αρνητικό ακροδέκτη στο κάτω άκρο της R_2 .
5. Ζητήστε από τον επιβλέποντα να ελέγξει τη συνδεσμολογία.
6. Ενεργοποιήστε την έξοδο του τροφοδοτικού.

Μέτρηση των τάσεων με το πολύμετρο

Πειραματική διαδικασία

1. Επιλέξτε στο πολύμετρο τη λειτουργία DCV.
2. Μετρήστε την τάση V_S στα άκρα ολόκληρου του κυκλώματος.
3. Συνδέστε το πολύμετρο παράλληλα στα άκρα της R_1 και μετρήστε την τάση V_{R_1} .
4. Συνδέστε το πολύμετρο παράλληλα στα άκρα της R_2 και μετρήστε την τάση V_{R_2} .
5. Καταγράψτε τα αποτελέσματα στον Πίνακα 3.
6. Ελέγξτε πειραματικά αν ισχύει η σχέση $V_S = V_{R_1} + V_{R_2}$.

Μέτρηση των τάσεων με τον παλμογράφο Οι ακροδέκτες γείωσης όλων των καναλιών του παλμογράφου είναι ηλεκτρικά κοινοί. Για τον λόγο αυτό, όλοι οι ακροδέκτες γείωσης των probes συνδέονται αποκλειστικά στον αρνητικό ακροδέκτη του τροφοδοτικού.

Πειραματική διαδικασία

1. Συνδέστε τους ακροδέκτες γείωσης των probes CH1 και CH2 στον αρνητικό ακροδέκτη του τροφοδοτικού.
2. Συνδέστε την ακίδα του CH1 στον θετικό ακροδέκτη του τροφοδοτικού. Το CH1 μετρά την τάση V_S .
3. Συνδέστε την ακίδα του CH2 στον κόμβο A μεταξύ των δύο αντιστάσεων. Το CH2 μετρά την τάση V_{R_2} .
4. Υπολογίστε την τάση στην R_1 από τη διαφορά

$$V_{R_1} = V_{CH1} - V_{CH2}. \quad (18)$$

5. Εναλλακτικά, χρησιμοποιήστε τη λειτουργία MATH του παλμογράφου για να εμφανίσετε τη διαφορά CH1 – CH2.
6. Καταγράψτε τα αποτελέσματα στον Πίνακα 3.

Οδηγίες ασφάλειας

Ο ακροδέκτης γείωσης του CH2 δεν συνδέεται στον κόμβο A. Μια τέτοια σύνδεση θα ένωνε τον κόμβο A με τη γείωση μέσω του παλμογράφου και θα βραχυκύκλωνε την αντίσταση R_2 .

Πίνακας 3: Θεωρητικές και πειραματικές τάσεις του κυκλώματος.

Μέγεθος	Θεωρητική τιμή (V)	Πολύμετρο (V)	Παλμογράφος (V)	Απόκλιση (%)
V_S	10.000			
V_{R_1}	3.125			
V_{R_2}	6.875			

Μέτρηση του συνολικού ρεύματος Για τη μέτρηση του ρεύματος το πολύμετρο πρέπει να παρεμβληθεί σε σειρά με τις αντιστάσεις.

Πειραματική διαδικασία

1. Απενεργοποιήστε την έξοδο του τροφοδοτικού.
2. Μεταφέρετε τον κόκκινο ακροδέκτη του πολυμέτρου στην υποδοχή μέτρησης ρεύματος έως 2 A.
3. Επιλέξτε τη λειτουργία μέτρησης συνεχούς ρεύματος (**DCA**).
4. Διακόψτε το κύκλωμα μεταξύ του θετικού ακροδέκτη του τροφοδοτικού και της αντίστασης R_1 .
5. Παρεμβάλετε το πολύμετρο σε σειρά στο σημείο της διακοπής.
6. Ζητήστε από τον επιβλέποντα να ελέγξει τη νέα συνδεσμολογία.
7. Ενεργοποιήστε την έξοδο και καταγράψτε το συνολικό ρεύμα.
8. Απενεργοποιήστε ξανά την έξοδο πριν αφαιρέσετε το πολύμετρο από το κύκλωμα.
9. Μετά τη μέτρηση, επαναφέρετε τον κόκκινο ακροδέκτη στην υποδοχή V/ Ω και επιλέξτε τη λειτουργία DCV.

Πίνακας 4: Θεωρητικό και πειραματικό ρεύμα του κυκλώματος.

Θεωρητικό ρεύμα (mA)	Μετρούμενο ρεύμα (mA)	Απόκλιση (%)
3.125		

2.2.4 Ερωτήσεις και επεξεργασία αποτελεσμάτων

Ερωτήσεις αξιολόγησης

1. Γιατί η ένδειξη του πολυμέτρου στη μέτρηση του ημιτονοειδούς σήματος είναι μικρότερη από την τιμή V_{pp} της γεννήτριας;

2. Συμφωνεί η ενεργός τιμή που μετρήθηκε με τη θεωρητική σχέση $V_{\text{rms}} = V_{\text{pp}}/(2\sqrt{2})$;

3. Επιβεβαιώνεται πειραματικά η σχέση $V_S = V_{R_1} + V_{R_2}$;

4. Υπολογίστε το ρεύμα από τις μετρήσεις V_{R_1}/R_1 και V_{R_2}/R_2 . Συμφωνούν οι δύο τιμές με την άμεση μέτρηση του αμπερομέτρου;

5. Γιατί δεν επιτρέπεται να συνδεθεί ο ακροδέκτης γείωσης του probe απευθείας στον κόμβο A;

6. Ποιες είναι οι σημαντικότερες πηγές απόκλισης μεταξύ θεωρητικών και πειραματικών τιμών;

Παρατηρήσεις και συμπεράσματα

Συνοψίστε τα αποτελέσματα των μετρήσεων. Αναφέρετε αν επιβεβαιώθηκαν η σχέση μεταξύ V_{pp} και V_{rms} , ο νόμος του Ohm, ο διαιρέτης τάσης και ο δεύτερος νόμος του Kirchhoff.

3 Εργαστηριακή Άσκηση 2: Παθητικά φίλτρα RC πρώτης τάξης

Όνοματεπώνυμο: _____

Ημερομηνία: _____

Ειδικότητα: _____ Διάρκεια: 2 διδακτικές ώρες

Μαθησιακοί στόχοι

Με την ολοκλήρωση της άσκησης ο Δόκιμος θα μπορεί να:

- κατασκευάζει χαμηλοπερατό και υψιπερατό φίλτρο RC πρώτης τάξης,
- μετρά ταυτόχρονα την τάση εισόδου και την τάση εξόδου ενός κυκλώματος με τον παλμογράφο,
- υπολογίζει πειραματικά το μέτρο του κέρδους τάσης συναρτήσει της συχνότητας,
- εκφράζει το κέρδος τάσης σε decibel,
- σχεδιάζει το διάγραμμα Bode του μέτρου του κέρδους,
- προσδιορίζει πειραματικά τη συχνότητα αποκοπής ενός φίλτρου,
- συγκρίνει την πειραματική συχνότητα αποκοπής με τη θεωρητική τιμή.

Όργανα και υλικά

A/A	Όργανο ή υλικό	Ποσότητα / Τιμή
1	Γεννήτρια σημάτων GW Instek AFG-2005	1
2	Ψηφιακός παλμογράφος GW Instek GDS-1054B	1
3	Probes παλμογράφου	2
4	Ψηφιακό πολύμετρο πάγκου	1
5	Breadboard και καλώδια συνδεσμολογίας	1
6	Αντίσταση R	$R = 16k\Omega$
7	Πυκνωτής C	$C = 10nF$

Οδηγίες ασφαλείας

- Η έξοδος της γεννήτριας παραμένει απενεργοποιημένη κατά την κατασκευή ή την αλλαγή της συνδεσμολογίας.
- Οι ακροδέκτες γείωσης των δύο probes συνδέονται αποκλειστικά στο κοινό σημείο

αναφοράς του κυκλώματος.

- Δεν συνδέονται οι γειώσεις των probes σε διαφορετικά σημεία του κυκλώματος.
- Πριν ενεργοποιηθεί η γεννήτρια, ελέγχονται η μορφή, η συχνότητα, το πλάτος και η συνεχής συνιστώσα του σήματος.
- Δεν μετακινούνται εξαρτήματα ή καλώδια στο breadboard όταν η έξοδος της γεννήτριας είναι ενεργοποιημένη.

3.1 Σύντομο θεωρητικό υπόβαθρο

Το παθητικό φίλτρο RC πρώτης τάξης αποτελείται από μία αντίσταση και έναν πυκνωτή. Ανάλογα με τη θέση στην οποία λαμβάνεται η τάση εξόδου, το κύκλωμα λειτουργεί ως χαμηλοπερατό ή ως υψιπερατό φίλτρο.

Το χαμηλοπερατό φίλτρο επιτρέπει τη διέλευση σημάτων χαμηλής συχνότητας και εξασθενεί τα σήματα υψηλής συχνότητας. Αντίθετα, το υψιπερατό φίλτρο εξασθενεί τα σήματα χαμηλής συχνότητας και επιτρέπει τη διέλευση των σημάτων υψηλής συχνότητας.

Για κάθε συχνότητα, το μέτρο του κέρδους τάσης υπολογίζεται από τη σχέση

$$|A_v| = \left| \frac{V_{\text{out}}}{V_{\text{in}}} \right|. \quad (19)$$

Το κέρδος σε decibel υπολογίζεται από τη σχέση

$$G_{\text{dB}} = 20 \log_{10} |A_v| = 20 \log_{10} \left| \frac{V_{\text{out}}}{V_{\text{in}}} \right|. \quad (20)$$

Στη συχνότητα αποκοπής το μέτρο του κέρδους έχει μειωθεί στο $1/\sqrt{2}$ της τιμής που παρουσιάζει στη ζώνη διέλευσης. Για φίλτρο με κέρδος ζώνης διέλευσης ίσο με τη μονάδα, στη συχνότητα αποκοπής ισχύει

$$|A_v| \approx 0.707 \quad (21)$$

ή, ισοδύναμα,

$$G_{\text{dB}} \approx -3 \text{ dB}. \quad (22)$$

Στην παρούσα άσκηση θα σχεδιαστεί το διάγραμμα Bode του μέτρου του κέρδους. Η φασική απόκριση των φίλτρων δεν εξετάζεται.

3.2 Προεργασία

Προεργασία

1. Σχεδιάστε το κύκλωμα ενός χαμηλοπερατού φίλτρου RC και σημειώστε επάνω στο σχέδιο την είσοδο, την έξοδο και το κοινό σημείο αναφοράς.
2. Σχεδιάστε το κύκλωμα ενός υψιπερατού φίλτρου RC και σημειώστε επάνω στο σχέδιο

την είσοδο, την έξοδο και το κοινό σημείο αναφοράς.

3. Για τις τιμές $R = 16k\Omega$ και $C = 10nF$ που δόθηκαν, υπολογίστε τη θεωρητική συχνότητα αποκοπής:

$$f_{c,th} = \text{_____ Hz.}$$

4. Υπολογίστε τις πραγματικές συχνότητες στις οποίες θα γίνουν οι μετρήσεις, με βάση τα πολλαπλάσια της θεωρητικής συχνότητας αποκοπής που αναγράφονται στους πίνακες της άσκησης.
5. Περιγράψτε συνοπτικά την αναμενόμενη συμπεριφορά κάθε φίλτρου στις πολύ χαμηλές και στις πολύ υψηλές συχνότητες.

3.3 Αρχικές μετρήσεις εξαρτημάτων

Πριν από την κατασκευή των φίλτρων, μετρήστε με το πολύμετρο την πραγματική τιμή της αντίστασης. Καταγράψτε επίσης την ονομαστική τιμή και την ανοχή του πυκνωτή.

Πίνακας 5: Τιμές των εξαρτημάτων του φίλτρου RC.

Εξάρτημα	Ονομαστική τιμή	Μετρούμενη τιμή	Ανοχή
Αντίσταση R			
Πυκνωτής C			

3.4 Κοινή ρύθμιση των οργάνων

Για τις μετρήσεις χρησιμοποιείται ημιτονοειδές σήμα σταθερού πλάτους και μηδενικής συνεχούς συνιστώσας.

Πειραματική διαδικασία

1. Βεβαιωθείτε ότι η έξοδος OUTPUT της γεννήτριας είναι απενεργοποιημένη.
2. Επιλέξτε ημιτονοειδή κυματομορφή.
3. Ρυθμίστε το πλάτος της γεννήτριας στα $2 V_{pp}$.
4. Ρυθμίστε τη συνεχή συνιστώσα στα $V_{off} = 0 V$.
5. Επιλέξτε στη γεννήτρια τη ρύθμιση φορτίου **High-Z**.
6. Συνδέστε το κανάλι CH1 του παλμογράφου στην είσοδο του φίλτρου.
7. Συνδέστε το κανάλι CH2 του παλμογράφου στην έξοδο του φίλτρου.
8. Συνδέστε τις γειώσεις και των δύο probes στο κοινό σημείο αναφοράς του κυκλώματος.
9. Επιλέξτε σύζευξη DC και στα δύο κανάλια.

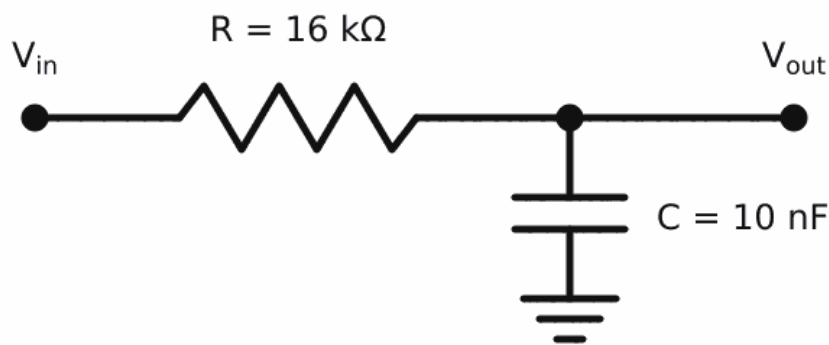
10. Επιβεβαιώστε ότι ο συντελεστής εξασθένησης κάθε probe συμφωνεί με τη ρύθμιση του αντίστοιχου καναλιού.
11. Σε κάθε αλλαγή συχνότητας ελέγχετε ότι το πλάτος της τάσης εισόδου παραμένει σταθερό.

Παρατήρηση

Το κανάλι CH1 μετρά πάντοτε την τάση εισόδου V_{in} , ενώ το κανάλι CH2 μετρά την τάση εξόδου V_{out} . Οι δύο τάσεις πρέπει να καταγράφονται με τον ίδιο τρόπο, κατά προτίμηση ως τάσεις από κορυφή σε κορυφή.

3.5 Χαμηλοπερατό φίλτρο RC

Χαμηλοπερατό φίλτρο RC



Σχήμα 7: Χαμηλοπερατό φίλτρο RC πρώτης τάξης.

Κατασκευάστε στο breadboard το χαμηλοπερατό φίλτρο του Σχήματος 7. Πριν ενεργοποιηθεί η γεννήτρια, ζητήστε από τον επιβλέποντα να ελέγξει τη συνδεσμολογία.

3.5.1 Πειραματική διαδικασία

Πειραματική διαδικασία

1. Με απενεργοποιημένη την έξοδο της γεννήτριας, συνδέστε το CH1 στην είσοδο και το CH2 στην έξοδο του φίλτρου.
2. Συνδέστε τις γειώσεις των δύο probes στο κοινό σημείο αναφοράς.
3. Ρυθμίστε αρχικά τη συχνότητα της γεννήτριας στην τιμή $0.1f_{c,th}$.
4. Ενεργοποιήστε την έξοδο OUTPUT της γεννήτριας.
5. Ρυθμίστε την οριζόντια κλίμακα του παλμογράφου ώστε να εμφανίζονται τουλάχιστον δύο πλήρεις περίοδοι.

6. Μετρήστε την τάση εισόδου V_{in} από το CH1 και την τάση εξόδου V_{out} από το CH2.
7. Καταγράψτε τις τιμές στον Πίνακα 6.
8. Υπολογίστε το μέτρο του κέρδους $|A_v|$ και το κέρδος G_{dB} .
9. Επαναλάβετε τη διαδικασία για όλες τις συχνότητες του πίνακα.
10. Στην περιοχή όπου το κέρδος πλησιάζει τα -3 dB, πραγματοποιήστε πρόσθετες μετρήσεις με μικρότερα βήματα συχνότητας.
11. Προσδιορίστε τη συχνότητα στην οποία $|A_v| \approx 0.707$ ή $G_{dB} \approx -3$ dB.
12. Καταγράψτε την τιμή αυτή ως πειραματική συχνότητα αποκοπής του χαμηλοπερατού φίλτρου.

Πίνακας 6: Μετρήσεις χαμηλοπερατού φίλτρου RC.

A/A	Συχνότητα	V_{in} (Vpp)	V_{out} (Vpp)	$ A_v $	G_{dB}
1	$0.10f_{c,th}$				
2	$0.20f_{c,th}$				
3	$0.50f_{c,th}$				
4	$0.70f_{c,th}$				
5	$0.80f_{c,th}$				
6	$1.00f_{c,th}$				
7	$1.20f_{c,th}$				
8	$1.40f_{c,th}$				
9	$2.00f_{c,th}$				
10	$3.00f_{c,th}$				
11	$5.00f_{c,th}$				
12	$10.0f_{c,th}$				

3.5.2 Πειραματική συχνότητα αποκοπής

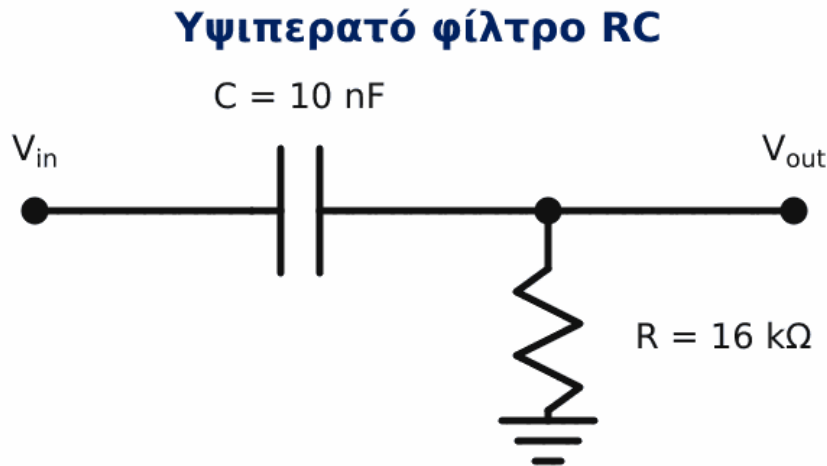
Πίνακας 7: Συχνότητα αποκοπής χαμηλοπερατού φίλτρου.

$f_{c,th}$ (Hz)	$f_{c,exp}$ (Hz)	Απόκλιση (%)

3.5.3 Διάγραμμα Bode χαμηλοπερατού φίλτρου

Σε ημιλογαριθμικό διάγραμμα τοποθετήστε τη συχνότητα στον οριζόντιο λογαριθμικό άξονα και το κέρδος G_{dB} στον κατακόρυφο γραμμικό άξονα. Σημειώστε στο διάγραμμα την πειραματική συχνότητα αποκοπής.

3.6 Υψιπερατό φίλτρο RC



Σχήμα 8: Υψιπερατό φίλτρο RC πρώτης τάξης.

Απενεργοποιήστε την έξοδο της γεννήτριας και μετατρέψτε τη συνδεσμολογία στο υψιπερατό φίλτρο του Σχήματος 8. Πριν ενεργοποιηθεί ξανά η γεννήτρια, ζητήστε από τον επιβλέποντα να ελέγξει τη νέα συνδεσμολογία.

3.6.1 Πειραματική διαδικασία

Πειραματική διαδικασία

1. Με απενεργοποιημένη την έξοδο της γεννήτριας, συνδέστε το CH1 στην είσοδο και το CH2 στην έξοδο του φίλτρου.
2. Συνδέστε τις γειώσεις των δύο probes στο κοινό σημείο αναφοράς.
3. Ρυθμίστε αρχικά τη συχνότητα της γεννήτριας στην τιμή $0.1f_{c,th}$.
4. Ενεργοποιήστε την έξοδο OUTPUT της γεννήτριας.
5. Μετρήστε την τάση εισόδου V_{in} από το CH1 και την τάση εξόδου V_{out} από το CH2.
6. Καταγράψτε τις τιμές στον Πίνακα 8.
7. Υπολογίστε το μέτρο του κέρδους $|A_v|$ και το κέρδος G_{dB} .
8. Επαναλάβετε τη διαδικασία για όλες τις συχνότητες του πίνακα, διατηρώντας σταθερό το πλάτος της τάσης εισόδου.
9. Στην περιοχή όπου το κέρδος πλησιάζει τα -3 dB , πραγματοποιήστε πρόσθετες μετρήσεις με μικρότερα βήματα συχνότητας.
10. Προσδιορίστε τη συχνότητα στην οποία $|A_v| \approx 0.707$ ή $G_{dB} \approx -3 \text{ dB}$.
11. Καταγράψτε την τιμή αυτή ως πειραματική συχνότητα αποκοπής του υψιπερατού φίλτρου.

Πίνακας 8: Μετρήσεις υπερπαρατού φίλτρου RC.

A/A	Συχνότητα	V_{in} (Vpp)	V_{out} (Vpp)	$ A_v $	G_{dB}
1	$0.10f_{c,th}$				
2	$0.20f_{c,th}$				
3	$0.50f_{c,th}$				
4	$0.70f_{c,th}$				
5	$0.80f_{c,th}$				
6	$1.00f_{c,th}$				
7	$1.20f_{c,th}$				
8	$1.40f_{c,th}$				
9	$2.00f_{c,th}$				
10	$3.00f_{c,th}$				
11	$5.00f_{c,th}$				
12	$10.0f_{c,th}$				

3.6.2 Πειραματική συχνότητα αποκοπής

Πίνακας 9: Συχνότητα αποκοπής υπερπαρατού φίλτρου.

$f_{c,th}$ (Hz)	$f_{c,exp}$ (Hz)	Απόκλιση (%)

3.6.3 Διάγραμμα Bode υπερπαρατού φίλτρου

Σε ημιλογαριθμικό διάγραμμα τοποθετήστε τη συχνότητα στον οριζόντιο λογαριθμικό άξονα και το κέρδος G_{dB} στον κατακόρυφο γραμμικό άξονα. Σημειώστε στο διάγραμμα την πειραματική συχνότητα αποκοπής.

3.7 Σύγκριση των δύο φίλτρων

Πίνακας 10: Σύγκριση χαμηλοπαρατού και υπερπαρατού φίλτρου.

Χαρακτηριστικό	Χαμηλοπαρατό φίλτρο	Υπερπαρατό φίλτρο
$f_{c,th}$ (Hz)		
$f_{c,exp}$ (Hz)		
Απόκλιση (%)		
Κέρδος για $f \ll f_c$		
Κέρδος για $f \gg f_c$		

3.8 Ερωτήσεις και συμπεράσματα

Ερωτήσεις αξιολόγησης

1. Σε ποια περιοχή συχνοτήτων το χαμηλοπερατό φίλτρο παρουσιάζει τη μικρότερη εξασθένηση;

2. Σε ποια περιοχή συχνοτήτων το υψιπερατό φίλτρο παρουσιάζει τη μικρότερη εξασθένηση;

3. Με ποιο πειραματικό κριτήριο προσδιορίστηκε η συχνότητα αποκοπής;

4. Συμφωνούν οι πειραματικές συχνότητες αποκοπής των δύο φίλτρων με τη θεωρητική τιμή; Αιτιολογήστε τις αποκλίσεις.

5. Γιατί πρέπει να ελέγχεται η τάση εισόδου σε κάθε αλλαγή συχνότητας;

6. Ποιες είναι οι σημαντικότερες πηγές πειραματικού σφάλματος στην παρούσα άσκηση;

Παρατηρήσεις και συμπεράσματα

Συνοψίστε τη συμπεριφορά του χαμηλοπερατού και του υψιπερατού φίλτρου. Αναφέρετε τις πειραματικές συχνότητες αποκοπής, τη συμφωνία τους με τις θεωρητικές τιμές και τις βασικές παρατηρήσεις από τα διαγράμματα Bode.
