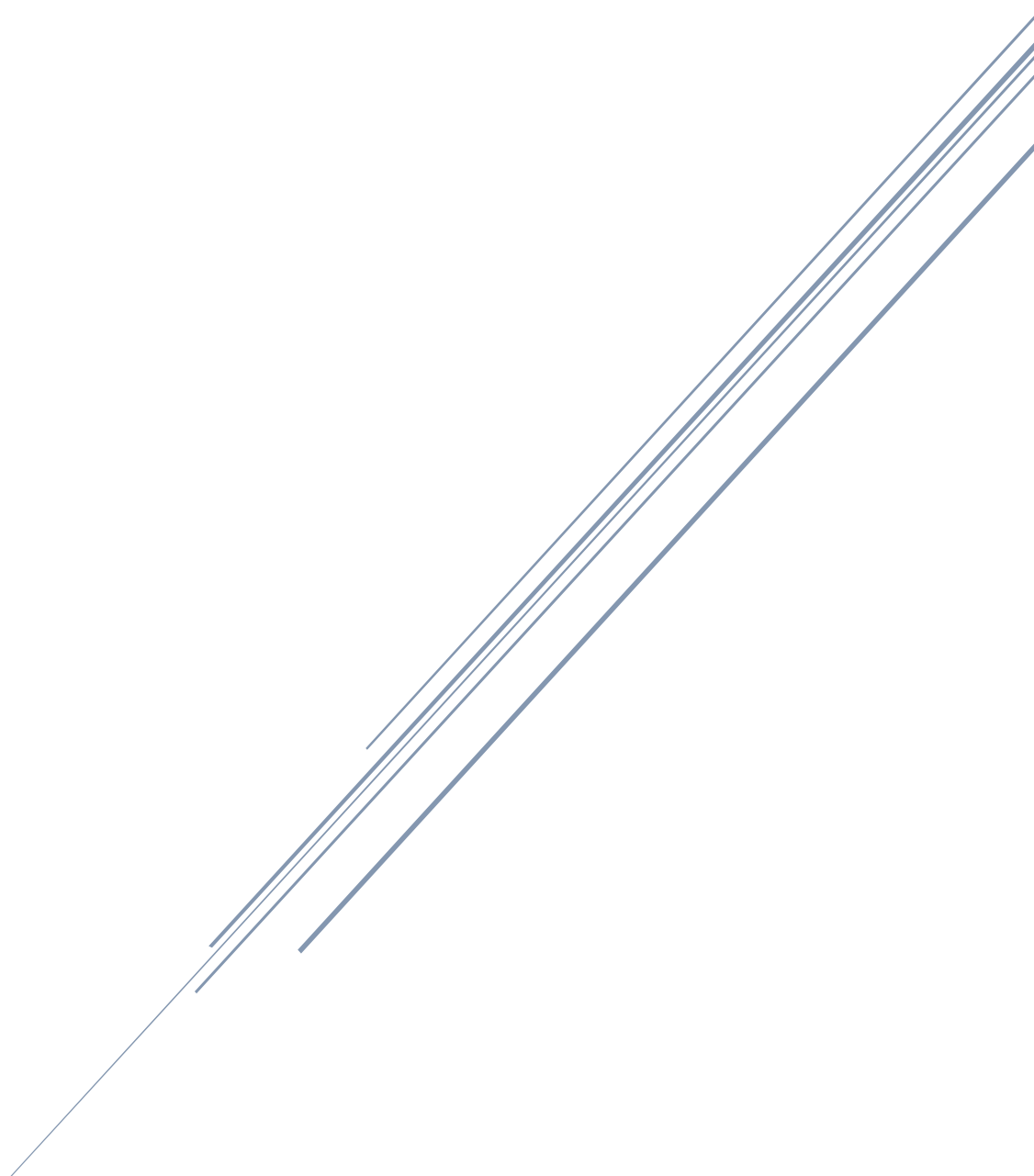


# 1Η ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΝΑΦΟΡΑ

Γιώργος Κυριακόπουλος – el18153

Γεράσιμος Δεληγιάννης – el18807



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο  
Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών  
Δομή και Ηλεκτρικές Ιδιότητες των Υλικών

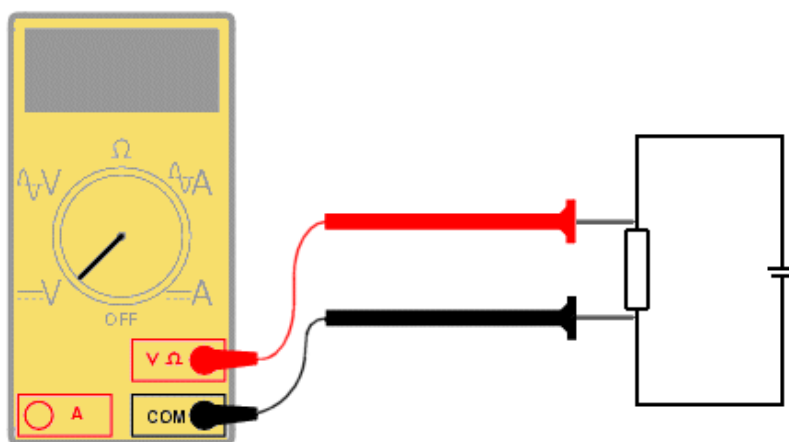
## Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή – Θεωρητικό Μέρος

### Άσκηση 1 - Μέτρηση τιμής αντίστασης:

Αντιστάτης γενικά είναι κάθε συσκευή η οποία παρεμποδίζει το ηλεκτρικό ρεύμα που τη διαρρέει, μετατρέποντας ηλεκτρική ενέργεια σε θερμική. Ο ωμικός αντιστάτης έχει επιπλέον την ιδιότητα ότι η σχέση μεταξύ της τάσης  $V$  που εφαρμόζεται στα άκρα του με την αντίστοιχη ένταση  $I$  που τον διαρρέει είναι γραμμική, δηλαδή με άλλα λόγια ισχύει ο νόμος του Ohm:  $R = \frac{V}{I}$ .

Για την πειραματική μέτρηση της τιμής  $R$  της αντίστασης ενός αγνώστου αντιστάτη μπορούμε να εφαρμόσουμε τον νόμο του Ohm παρέχοντας γνωστή ένταση  $I$  και μετρώντας (με ένα πολύμετρο DMM) την τάση  $V$  στα άκρα του κυκλώματος.

Ωστόσο το DMM (στην ειδική ρύθμιση ωμόμετρου) παρέχει αυτόματα αυτή τη μέτρηση. Ο αντιστάτης πρέπει να συνδεθεί παράλληλα στο DMM, με το μαύρο του καλώδιο στη γείωση COM και το κόκκινο στο  $V/\Omega$  και να φέρουμε τον επιλογέα του οργάνου στην κατάλληλη περιοχή μέτρησης αντίστασης. Στη συνέχεια ορίζουμε την κλίμακα στην οποία θα διεξαχθεί η μέτρηση μέσω του αντίστοιχου επιλογέα και καταγράφουμε την εμφανιζόμενη τιμή, η οποία θα αναφέρεται ως πραγματική αντίσταση.



*Μέτρηση τιμής αντίστασης με ένα πολύμετρο*

Εναλλακτικά, έχει δημιουργηθεί ο λεγόμενος χρωματικός κώδικας των αντιστάσεων, ο οποίος προσφέρει έναν γρήγορο τρόπο οπτικής αναγνώρισης της τιμής της αντίστασης. Πιο συγκεκριμένα, η τιμή της αντίστασης είναι σημειωμένη πάνω σε αυτήν, μέσω τεσσάρων ή πέντε χρωματιστών λωρίδων.

Για να υπολογίσουμε την τιμή της αντίστασης βάσει του χρωματικού κώδικα, ελέγχουμε αρχικά εάν αυτή έχει 4 ή 5 λωρίδες. Στη συνέχεια, την τοποθετούμε έτσι ώστε η λωρίδα που απέχει περισσότερο από τις υπόλοιπες και είναι συνήθως χρυσού ή ασημένιου χρώματος, να βρίσκεται στο δεξί άκρο της αντίστασης.

Εάν η αντίσταση έχει 5 λωρίδες, εντοπίζουμε την αντιστοίχιση του χρώματος της κάθε λωρίδας στον παρακάτω πίνακα, ξεκινώντας από αυτήν που βρίσκεται αριστερότερα. Η 4<sup>η</sup> λωρίδα έχει το ρόλο του πολλαπλασιαστή, ενώ η 5<sup>η</sup> εκφράζει τη μέγιστη απόκλιση που μπορεί να έχει η πραγματική τιμή της αντίστασης από την αναγραφόμενη (σφάλμα). Στην περίπτωση της αντίστασης με 4 λωρίδες, παραλείπουμε τη σκιασμένη στήλη με τίτλο 3<sup>η</sup> Λωρίδα του παρακάτω πίνακα.

Συνεπώς, οι πρώτες δύο λωρίδες της αντίστασης δηλώνουν μια διψήφια τιμή, η Τρίτη τον πολλαπλασιαστή και η τέταρτη την ανοχή της τιμής.

Χρώμα	1 <sup>η</sup> Λωρίδα	2 <sup>η</sup> Λωρίδα	3 <sup>η</sup> Λωρίδα	4 <sup>η</sup> Λωρίδα	5 <sup>η</sup> Λωρίδα
Μαύρο	0	0	0	×1Ω	
Καφέ	1	1	1	×10Ω	±1%
Κόκκινο	2	2	2	×100Ω	±2%
Πορτοκαλί	3	3	3	×1kΩ	
Κίτρινο	4	4	4	×10kΩ	
Πράσινο	5	5	5	×100kΩ	±0.5%
Μπλε	6	6	6	×1MΩ	±0.25%
Μωβ	7	7	7	×10MΩ	±0.1%
Γκρι	8	8	8		±0.05%
Λευκό	9	9	9		
Χρυσό				×0.1Ω	±5%
Ασημί				×0.01Ω	±10%

*Πίνακας χρωματικού κώδικα των αντιστάσεων*

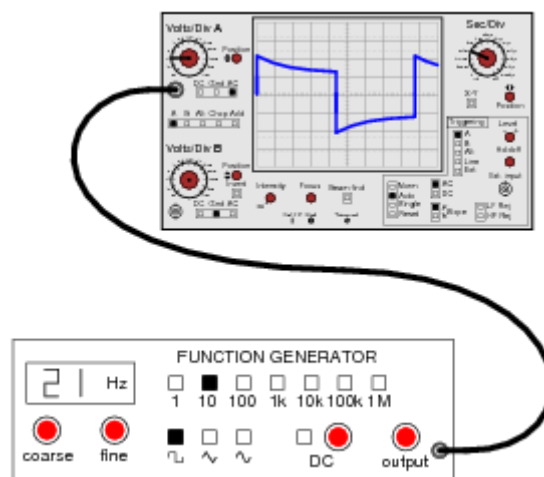
## Άσκηση 2 - Μέτρηση συχνότητας στον παλμογράφο:

Η γεννήτρια συχνοτήτων είναι μια συσκευή που χρησιμοποιείται για την παραγωγή εναλλασσόμενων σημάτων, επιθυμητής κυματομορφής (ημιτονοειδής, τριγωνική, παλμική), πλάτους και συχνότητας  $f$  (αναγραφόμενη συχνότητα).

Το σήμα που παράγει η γεννήτρια εξέρχεται από την έξοδο (output). Η έξοδος μπορεί να συνδεθεί μέσω ενός καλωδίου BNC-to-BNC και να μεταφερθεί σε έναν παλμογράφο, έτσι ώστε να υπολογιστεί η πραγματική συχνότητα ή οποιοδήποτε άλλο επιθυμητό μέγεθος του σήματος.

Ο παλμογράφος είναι το όργανο που απεικονίζει το ηλεκτρικό σήμα, το οποίο εφαρμόζουμε στην είσοδο του, στην οθόνη του. Συγκεκριμένα, απεικονίζει σε ένα σύστημα αξόνων, βαθμονομημένο με τετράγωνα, την τάση  $V$  σε συνάρτηση με το χρόνο  $t$ . Έχει δύο κανάλια, ώστε να μπορεί να δεχθεί μέχρι δύο σήματα ταυτόχρονα.

Έτσι για να μετρήσουμε την πραγματική συχνότητα του σήματος της γεννήτριας συχνοτήτων μετράμε τον αριθμό των τετραγώνων και των οριζοντίων υποδιαίρέσεων κατά το μήκος μίας περιόδου, δηλαδή μεταξύ δύο μέγιστων πλατών. Έπειτα πολλαπλασιάζουμε αυτόν τον αριθμό με την τιμή του TIME/DIV και τον αντιστρέφουμε, ώστε να βρούμε την συχνότητα της κυματομορφής. Για το πλάτος, δηλαδή την εφαρμοστέα τάση  $V$ , υπολογίζουμε αντιστοίχως τον αριθμό των κάθετων υποδιαίρέσεων ή αντίστοιχα υπολογίζουμε το διπλάσιο του πλάτους, δηλαδή Peak-to-Peak, όπως θα αναφερθεί στη συνέχεια.



*Σύνδεση του παλμογράφου με γεννήτρια συχνοτήτων μέσω καλωδίου BNC-to-BNC*

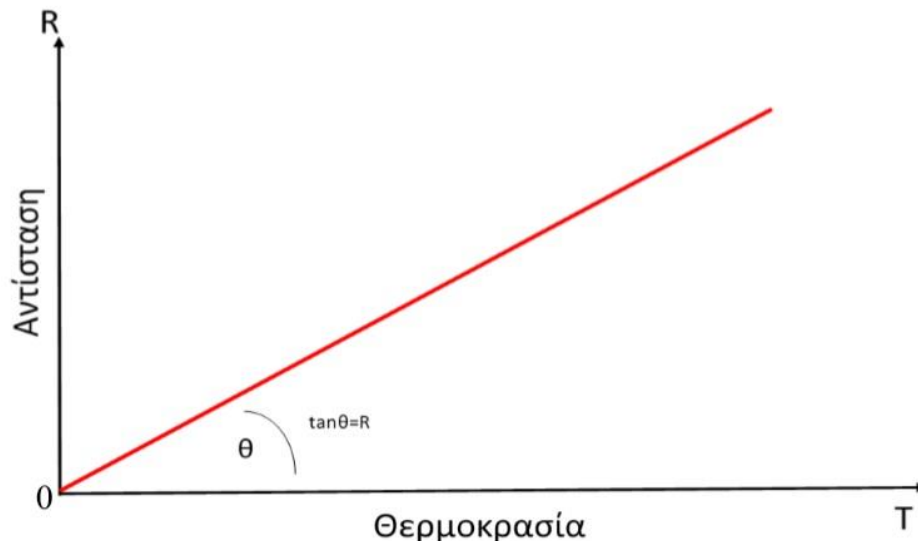
Τέλος, στην περίπτωση ημιτονοειδούς σήματος, από τον γνωστό τύπο της Φυσικής για το ημιτονοειδές κύμα μπορούμε να υπολογίσουμε τη συνάρτηση του ημιτονοειδούς κύματος:  $V(t) = V \sin(\omega t)$ , όπου  $\omega = 2\pi f$  και  $V = \frac{1}{2} V_{pp}$ .

### Άσκηση 3 - Μέτρηση αντίστασης αγωγού συναρτήσει της θερμοκρασίας:

Ένας αντιστάτης ως στερεό υλικό έχει ορισμένη ηλεκτρική αγωγιμότητα  $\sigma$ . Η ειδική ηλεκτρική αντίσταση ορίζεται ως  $\rho = \frac{1}{\sigma}$ . Για γραμμικούς ηλεκτρικούς αγωγούς, όπως τα μέταλλα, με βάση τη θεωρία ισχύει η σχέση  $R = \rho \frac{l}{s}$ , όπου  $l$  το μήκος του αγωγού και  $s$  η διατομή του αγωγού.

Με την αύξηση της θερμοκρασίας, η ελεύθερη μέση διαδρομή μειώνεται, καθώς τα θετικά ιόντα ταλαντώνονται περισσότερο και οι κρούσεις με τα ελεύθερα ηλεκτρόνια αυξάνονται και συνεπώς η ευκινησία των ηλεκτρονίων μειώνεται. Με άλλα λόγια η ειδική ηλεκτρική αντίσταση αυξάνεται και μάλιστα σύμφωνα με τη σχέση  $\rho = \rho_{20^\circ\text{C}}(1 + \alpha\Delta T)$ , όπου  $\rho_{20^\circ\text{C}}$  η ειδική ηλεκτρική αντίσταση στους  $20^\circ\text{C}$ ,  $\Delta T$  η διαφορά της θερμοκρασίας μεταξύ της θερμοκρασίας που ζητείται η ειδική ηλεκτρική αντίσταση και της θερμοκρασίας των  $20^\circ\text{C}$  και  $\alpha$  ο θερμοκρασιακός συντελεστής ανά  $^\circ\text{C}$ .

Παρατηρούμε ότι με βάση τις παραπάνω σχέσεις προκύπτει ότι η αντίσταση  $R$  έχει γραμμική σχέση με τη θερμοκρασία, δηλαδή η αύξηση της δεύτερης οδηγεί σε ανάλογη αύξηση της πρώτης. Η θεωρητική γραφική παράσταση  $R$ - $T$  φαίνεται παρακάτω.



Για την απόδειξη του παραπάνω συλλογισμού πραγματοποιούμε το αντίστοιχο πείραμα που θα παρουσιαστεί στο πειραματικό μέρος.

#### Άσκηση 4 - Μέτρηση αντίστασης ημιαγωγού συναρτήσει της θερμοκρασίας:

Τα άτομα που συγκροτούν τον αγωγό μετάλλου συνδέονται μεταξύ τους με μεταλλικούς δεσμούς αφήνοντας έτσι, ελεύθερα ηλεκτρόνια να κινούνται. Στον ημιαγωγό, αντίθετα, τα άτομα συγκροτούνται μεταξύ τους με ομοιοπολικούς δεσμούς και σχηματίζουν κρυσταλλικό πλέγμα. Τα ηλεκτρόνια του ημιαγωγού βρίσκονται στο πλέγμα σε δυο ενεργειακές ζώνες: τη ζώνη αγωγιμότητας, στην οποία είναι ελεύθερα και μπορούν να άγουν το ηλεκτρικό ρεύμα και στη ζώνη σθένους, στην οποία βρίσκονται δεσμευμένα από τους πυρήνες.

Όταν ο ημιαγωγός διαρρέεται από ρεύμα τότε λόγω της παρεχόμενης κινητικής ενέργειας πολλοί δεσμοί μπορεί να σπάσουν και ηλεκτρόνια να υπερβούν το ενεργειακό διάκενο  $E_g$  (απόσταση μεταξύ ελάχιστης ενέργειας της ζώνης αγωγιμότητας  $E_c$  και της μέγιστης ενέργειας της ζώνης σθένους  $E_v$ ), εφόσον αυτό δεν είναι μεγάλο και να μεταπηδήσουν στη ζώνη αγωγιμότητας, αφήνοντας έναν ίδιο αριθμό οπών στη ζώνη σθένους.

Επιπλέον το  $E_g$  μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας (σε μικροσκοπικό επίπεδο δείκτης της κινητικότητας των δομικών στοιχείων της ύλης), αφού τα ηλεκτρόνια έχουν μεγαλύτερη κινητική ενέργεια. Μάλιστα για το  $E_g$  του Si ισχύει η σχέση:

$$E_g = 1,17 - \frac{4,73 \cdot 10^{-4}}{T+363} T^2 \text{ (SI)}$$

Κατά συνέπεια, με την αύξηση της θερμοκρασίας η αγωγιμότητα αυξάνεται και συνεπώς η αντίσταση του ημιαγωγού μειώνεται. Μάλιστα, σύμφωνα με τη σχέση  $\rho = \rho_{20^\circ\text{C}} (1 + \alpha \Delta T)$  και δεδομένου ότι το Si έχει αρνητικό θερμοκρασιακό συντελεστή ανά  $^\circ\text{C}$ , τότε αναμένεται ένα αντίστοιχο διάγραμμα με την άσκηση 3, μόνο που η κλίση θα είναι αρνητική. Βέβαια, αναλόγως των προσμίξεων, ή άλλων παραγόντων, η σχέση μπορεί να είναι εκθετική, πολυωνυμική ή κάποια άλλη. Το σίγουρο είναι πως είναι φθίνουσα και αυτό θα επιχειρήσουμε να αποδείξουμε με το αντίστοιχο πείραμα στο πειραματικό μέρος.

### **Σφάλματα στις πειραματικές μετρήσεις:**

Είναι σημαντικό πριν προχωρήσουμε στο πειραματικό μέρος αυτής της εργαστηριακής αναφοράς να τονιστεί πως όλα τα πειράματα εκτελούνται στον πραγματικό κόσμο, στον οποίο συμβαίνουν σχεδόν πάντα σφάλματα, είτε στα όργανα είτε κατά τις μετρήσεις. Αυτό γίνεται αντιληπτό κατά την εκτέλεση του ίδιου πειράματος μερικές φορές, όπου είναι αρκετά πιθανό να λάβουμε διαφορετικά αποτελέσματα κάθε φορά.

Τέτοια σφάλματα οφείλονται σε διάφορες αιτίες. Εσωτερικές με μηχανικά σφάλματα και σφάλματα βαθμονόμησης του οργάνου, εξωτερικές με σφάλματα από επίδραση θερμοκρασίας ή μαγνητικών πεδίων και υποκειμενικές με σφάλματα λόγω αβεβαιότητας στην ανάγνωση ή λόγω της μεθόδου μέτρησης.

Τέλος, τα σφάλματα χωρίζονται σε συστηματικά και τυχαία σφάλματα. Τα συστηματικά οφείλονται κατά κύριο λόγο σε ατέλειες των οργάνων μέτρησης ή σε άλλες γνωστές αιτίες, όπως η κακή ρύθμιση μηδενός. Τα τυχαία σφάλματα οφείλονται σε άγνωστες αιτίες, έχουν, δηλαδή, τυχαία προέλευση.

## Κεφάλαιο 2: Πειραματικό Μέρος

### Άσκηση 1 - Μέτρηση τιμής αντίστασης:

Σε αυτήν την άσκηση μας ζητείται να μετρήσουμε και να καταγράψουμε την τιμή της αντίστασης που μας δίνεται. Η πραγματική αντίσταση βρέθηκε, με τη χρήση του ωμόμετρου, ίση με 99.6 Ω, ενώ η αναγραφόμενη αντίσταση σύμφωνα με τον γνωστό χρωματικό κώδικα προκύπτει ίση με 100Ω. Έχουμε επομένως ένα σφάλμα 0.4% το οποίο είναι εντός των ορίων ανοχής (5%).

### Άσκηση 2 - Μέτρηση συχνότητας στον παλμογράφο:

Με ημιτονοειδές σήμα συχνότητας  $f = 1$  kHz και τάση από κορυφή σε κορυφή  $V_{pp} = 7$  V και ρυθμίζοντας το παλμογράφο ώστε να είναι ορατή τουλάχιστον μία περίοδος του σήματος υπολογίζουμε την περίοδο  $T$  του σήματος:

$$T = 5.2 * 0.2 \text{ ms} = 1.04 \text{ ms} = 1.04 * 10^{-3} \text{ sec}$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{1.04 * 10^{-3}} = \frac{10^3}{1.04} = 961.54 \text{ Hz}$$

Παρουσιάζεται δηλαδή σφάλμα, το οποίο διορθώνουμε στη γεννήτρια με την αλλαγή του συντελεστή από 1.00 σε 1.05 και τότε θα έχουμε:

$$T = 5 * 0.2 \text{ ms} = 1 \text{ ms} = 10^{-3} \text{ sec}$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{10^{-3}} = 10^3 \text{ Hz} = 1 \text{ kHz}$$

Επομένως, θα έχουμε την εξής συνάρτηση του ημιτονοειδούς κύματος:

$$V(t) = 3.5 \sin(2.000\pi t)$$

Αλλάζουμε τώρα τη συχνότητα στα 10 kHz και την τάση σε  $V_{pp} = 5$  V και ξαναμετράμε περίοδο, συχνότητα και τυχόν σφάλματα:

$$T = 5.2 * 20 \text{ } \mu\text{s} = 1.04 \text{ } \mu\text{s} = 1.04 * 10^{-6} \text{ sec}$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{1.04 * 10^{-6}} = \frac{10^6}{1.04} = 9.615,4 \text{ Hz}$$

Παρουσιάζεται δηλαδή πάλι σφάλμα, το οποίο διορθώνουμε ομοίως από 1.00 σε 1.05 και τότε θα έχουμε:

$$T = 5 * 20 \text{ } \mu\text{s} = 100 \text{ } \mu\text{s} = 10^{-4} \text{ sec}$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{10^{-4}} = 10^4 \text{ Hz} = 10 \text{ kHz}$$

Επομένως, θα έχουμε την εξής συνάρτηση του ημιτονοειδούς κύματος:

$$V(t) = 2.5 \sin(20.000\pi t)$$



Αλλάζουμε τώρα τη συχνότητα στα 100 kHz και την τάση σε  $V_{pp} = 3\text{ V}$  και ξαναμετράμε περίοδο, συχνότητα και τυχόν σφάλματα:

$$T = 5.2 * 2\text{ }\mu s = 10.4\text{ }\mu s = 10.4 * 10^{-6}\text{ sec}$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{10.4 * 10^{-6}} = \frac{10^6}{10.4} = 96.153,8\text{ Hz}$$

Παρουσιάζεται δηλαδή πάλι σφάλμα, το οποίο διορθώνουμε ομοίως από 1.00 σε 1.05 και τότε θα έχουμε:

$$T = 5 * 2\text{ }\mu s = 10\text{ }\mu s = 10^{-5}\text{ sec}$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{10^{-5}} = 10^5\text{ Hz} = 100\text{ kHz}$$

Επομένως, θα έχουμε την εξής συνάρτηση του ημιτονοειδούς κύματος:

$$V(t) = 1.5\sin(200.000\pi t)$$

Στη συνέχεια, επαναλαμβάνουμε την πρώτη διαδικασία, αλλά αυτήν τη φορά με τριγωνικό σήμα και ξαναμετράμε περίοδο, συχνότητα και τυχόν σφάλματα:

$$T = 5.3 * 0.2\text{ ms} = 1.06\text{ ms} = 1.06 * 10^{-3}\text{ sec}$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{1.06 * 10^{-3}} = \frac{10^3}{1.06} = 943.4\text{ Hz}$$

Παρουσιάζεται δηλαδή πάλι σφάλμα, το οποίο διορθώνουμε ομοίως από 1.00 σε 1.08 και τότε θα έχουμε:

$$T = 5 * 0.2\text{ ms} = 1\text{ ms} = 10^{-3}\text{ sec}$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{10^{-3}} = 10^3\text{ Hz} = 1\text{ kHz}$$

Τέλος, επαναλαμβάνουμε την πρώτη διαδικασία, αλλά αυτήν τη φορά με παλμικό σήμα και ξαναμετράμε περίοδο, συχνότητα και τυχόν σφάλματα:

$$T = 5.3 * 0.2\text{ ms} = 1.06\text{ ms} = 1.06 * 10^{-3}\text{ sec}$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{1.06 * 10^{-3}} = \frac{10^3}{1.06} = 943.4\text{ Hz}$$

Παρουσιάζεται δηλαδή πάλι σφάλμα, το οποίο διορθώνουμε ομοίως από 1.00 σε 1.07 και τότε θα έχουμε:

$$T = 5 * 0.2\text{ ms} = 1\text{ ms} = 10^{-3}\text{ sec}$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{10^{-3}} = 10^3\text{ Hz} = 1\text{ kHz}$$

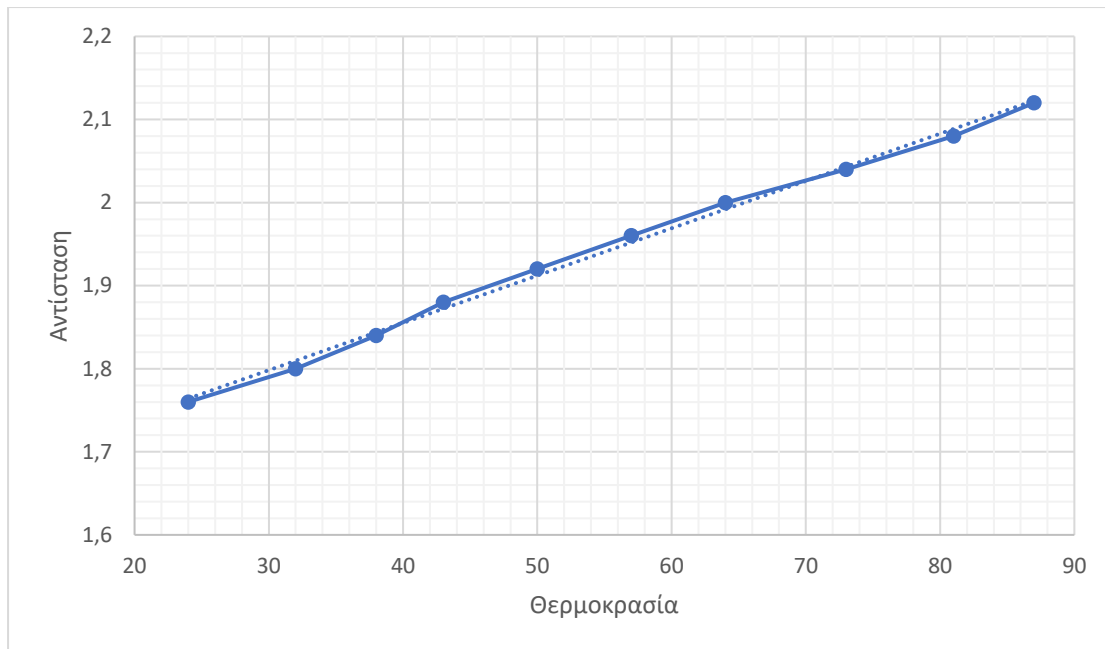
### Άσκηση 3 - Μέτρηση αντίστασης αγωγού συναρτήσει της θερμοκρασίας:

Συνδέουμε στα άκρα ενός σύρματος χαλκού ένα τροφοδοτικό και εφαρμόζουμε σταθερή ένταση  $I = 2.5 \text{ A}$ . Στη συνέχεια, καταγράφουμε τα ζεύγη τιμών θερμοκρασίας και παρεχόμενης τάσης, οπότε και έχουμε τον παρακάτω πίνακα:

Θερμοκρασία (°C)	Τάση (Volt)	Ένταση (A)	Αντίσταση ( $\Omega$ )
24	4.4	2.5	1.76
32	4.5	2.5	1.8
38	4.6	2.5	1.84
43	4.7	2.5	1.88
50	4.8	2.5	1.92
57	4.9	2.5	1.96
64	5.0	2.5	2.00
73	5.1	2.5	2.04
81	5.2	2.5	2.08
87	5.3	2.5	2.12

Παρατηρούμε ότι η τάση αυξάνεται. Αυτό συμβαίνει διότι καθώς ανεβαίνει η θερμοκρασία του αγωγού, αυξάνεται και η αντίσταση του, οπότε σύμφωνα με το νόμο του Ohm και επειδή το ρεύμα το διατηρούμε σταθερό, η τάση θα πρέπει να αυξάνεται, όπως και γίνεται σύμφωνα με τις μετρήσεις.

Παρακάτω έχουμε τη γραφική παράσταση της αντίστασης συναρτήσει της θερμοκρασίας, η οποία πλησιάζει τη μορφή μιας ευθείας με θετική κλίση, επιβεβαιώνοντας έτσι το Νόμο του Ohm. Τυχόν αποκλείσεις και σφάλματα οφείλονται είτε σε πειραματικά λάθη είτε σε σφάλματα οργάνων ή του σύρματος χαλκού.

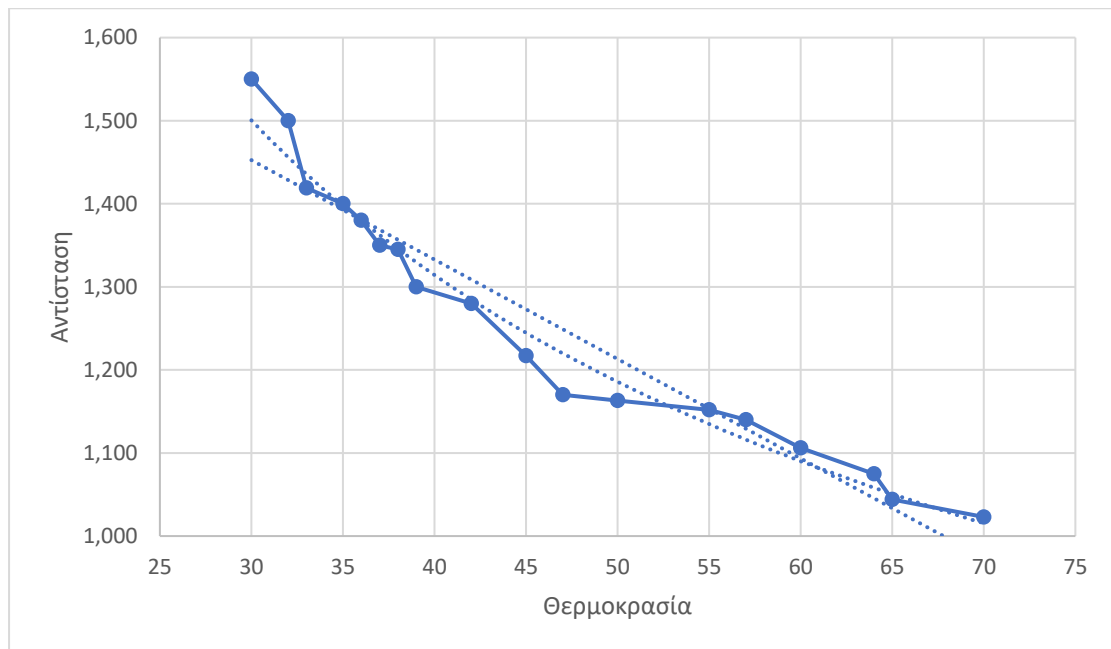


#### Άσκηση 4 - Μέτρηση αντίστασης ημιαγωγού συναρτήσει της θερμοκρασίας:

Καταγράφουμε την αρχική αντίσταση ενός δείγματος πυριτίου, στη συνέχεια το θερμαίνουμε και καταγράφουμε πάλι την αντίσταση του από τη μέγιστη θερμοκρασία και μέχρι να επαναφερθεί στην αρχική:

Αντίσταση (kΩ)	Θερμοκρασία (°C)
1.023	70
1.044	65
1.075	64
1.106	60
1.140	57
1.152	55
1.163	50
1.170	47
1.217	45
1.280	42
1.300	39
1.345	38
1.350	37
1.380	36
1.400	35
1.419	33
1.500	32
1.550	30

Διαμορφώνεται, με βάση τον παραπάνω πίνακα η εξής γραφική παράσταση της μεταβολής της αντίστασης συναρτήσει της θερμοκρασίας:



Όπως είναι φανερό και από την γραφική παράσταση η αντίσταση του ημιαγωγού μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας, χωρίς να είναι ξεκάθαρο αν υπάρχει κάποια γραμμική ή εκθετική σχέση της θερμοκρασίας και της αντίστασης του ημιαγωγού μέσα από τα δεδομένα αυτά, λόγω και των πιθανών πειραματικών σφαλμάτων ή σφαλμάτων λειτουργίας των οργάνων και του πυριτίου.

### Κεφάλαιο 3: Συμπεράσματα

Στην πρώτη άσκηση μας ζητήθηκε η μέτρηση μιας αντίστασης και η σύγκριση του πειραματικού αποτελέσματος, δηλαδή της πραγματικής αντίστασης με την αναγραφόμενη αντίσταση του κατασκευαστή με σκοπό τη διαπίστωση της τήρησης των ορίων ανοχής που αναγράφονται. Σίγουρα υπάρχει ακόμα και σε αυτό το απλό πείραμα πιθανότητα σφάλματος, αλλά ένα τέτοιο σφάλμα θα ήταν ασήμαντο για το πόρισμα μας.

Στη συνέχεια, στη δεύτερη άσκηση χρησιμοποιήσαμε εκτενώς τον παλμογράφο στον οποίον παρατηρήσαμε διάφορα σήματα και υπολογίσαμε αντίστοιχα την περίοδο και τη συχνότητα καθενός. Διορθώσαμε, επίσης τα πειραματικά σφάλματα που παρουσιάστηκαν, τα οποία εντοπίσαμε μέσω του υπολογισμού της αντίστοιχης συχνότητας και τη σύγκριση της με τη συχνότητα της γεννήτριας συχνοτήτων και υπολογίσαμε τις αντίστοιχες  $V(t)$  για κάθε ημιτονοειδές σήμα.

Συνολικά χρησιμοποιήσαμε 3 είδη σήματος, ημιτονοειδές, τριγωνικό και παλμικό και παρατηρήσαμε ότι, όπως ήταν αναμενόμενο, η περίοδος ήταν σχεδόν ίδια μεταξύ και των 3 αυτών σημάτων και εμφάνιζε ελάχιστες διαφορές λόγω πειραματικών λαθών, αφού αυτή δεν εξαρτάται καθόλου από τον παλμογράφο και εφόσον είχαμε μία σταθερή τιμή συχνότητας στη γεννήτρια συχνοτήτων.

Στην τρίτη και τέταρτη άσκηση αντίστοιχα μετρήσαμε την αντίσταση ενός αγωγού και ενός ημιαγωγού και σχεδιάσαμε τις γραφικές παραστάσεις της αντίστασης συναρτήσει της θερμοκρασίας. Στον αγωγό, διαπιστώσαμε πως πράγματι η αντίσταση αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας και πως επιβεβαιώνεται ο Νόμος του  $R = \rho \frac{l}{A}$ , ενώ η γραφική παράσταση παρουσίαζε μικρές αποκλείσεις στα σημεία της θεωρητικής ευθείας λόγω πειραματικών λαθών ή σφαλμάτων του οργάνου και του μετάλλου. Στον ημιαγωγό, διαπιστώσαμε ότι η αντίσταση μειώνεται με την άνοδο της θερμοκρασίας χωρίς να συμπεράνουμε τη μορφή της εξάρτησης μεταξύ αυτών των δυο μεγεθών. Υπήρχαν και σε αυτό το πείραμα σφάλματα, όπως φαίνεται άλλωστε και από την αδυναμία μας να λάβουμε μία «κανονικής μορφής» γραφική παράσταση, τα οποία οφείλονται είτε σε πειραματικά λάθη, είτε σε σφαλμάτων των οργάνων και του ημιαγωγού.