



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Δομή και Ηλεκτρικές Ιδιότητες των Υλικών

1^η Εργαστηριακή Άσκηση

Βασική οργανολογία – Αγωγιμότητα υλικού & αντίσταση

Ευάγγελος Χριστοφόρου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

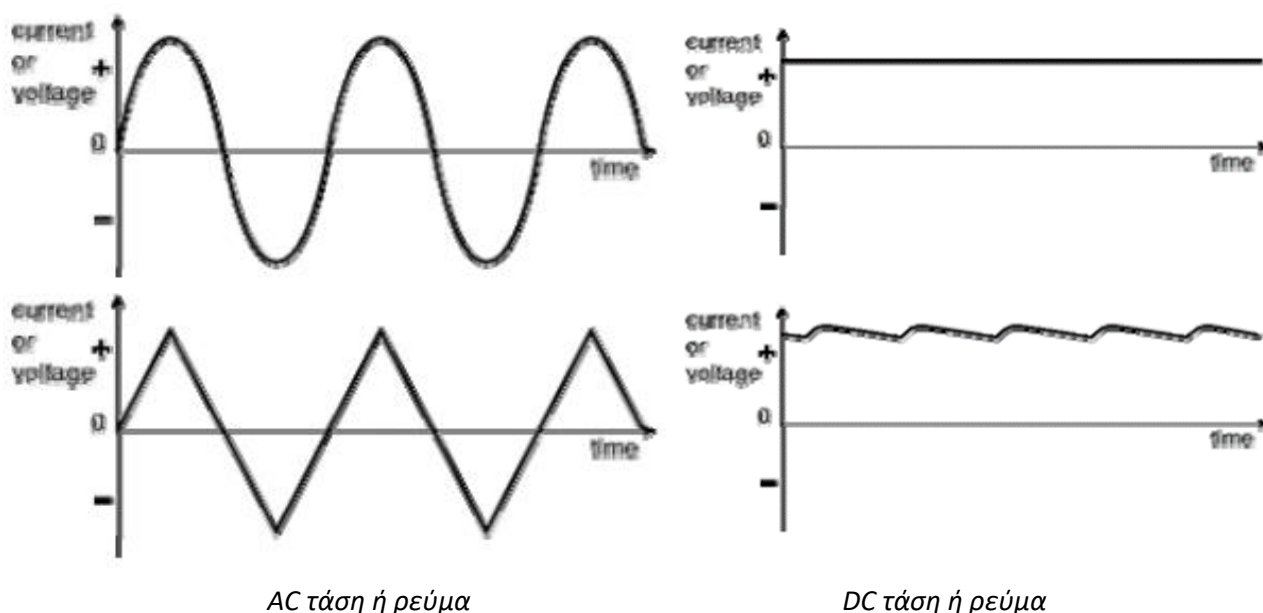
Α. Βασική Οργανολογία

1 Σκοπός

Το παρόν Εργαστήριο στοχεύει στην εξοικείωση των φοιτητών με τα Ηλεκτρικά όργανα που χρησιμοποιούνται προς μέτρηση των ηλεκτρικών μεγεθών, ώστε μετά το πέρας του μαθήματος να είναι σε θέση να πραγματοποιήσουν με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια μια μέτρηση συνδέοντας με αυτό τον τρόπο την επιστημονική θεωρία και το πείραμα.

Θα εστιάσουμε στα κύρια μετρητικά όργανα και πώς αυτά χρησιμοποιούνται για να μετρήσουμε ένταση ηλεκτρικού ρεύματος (I) και τάση (V). Υπάρχει η δυνατότητα μέτρησης είτε DC (Direct Current) - συνεχούς ρεύματος - είτε AC (Alternating Current) - εναλλασσόμενου ρεύματος - σήματος.

Το Εναλλασσόμενο Ρεύμα (AC) ρέει προς μια κατεύθυνση, μετά προς άλλη, συνεχώς, αλλάζοντας φορά. Μια AC τάση αλλάζει συνεχώς μεταξύ θετικής (+) και αρνητικής τιμής (-). Ο ρυθμός εναλλαγής διεύθυνσης καλείται συχνότητα του AC και μετράται σε hertz (Hz). Η AC τροφοδοσία είναι κατάλληλη για κάποιες διατάξεις όπως οι λαμπτήρες αλλά σχεδόν όλα τα ηλεκτρονικά κυκλώματα χρειάζονται DC τροφοδοσία (βλέπε πιο κάτω).



2 Όργανα

2.1 Παλμογράφος

Είναι όργανα ηλεκτρονικά, τα οποία μπορούν πάνω σε μια φθορίζουσα οθόνη να παρουσιάζουν σε κλίμακα το μέγεθος και τη μορφή του μεγέθους που μετράμε. Στα όργανα αυτά έχουμε μια οπτική αναπαράσταση ενός ηλεκτρικού σήματος που εφαρμόζουμε στην είσοδό τους. Είναι τα πιο σημαντικά όργανα, για οπτικούς ελέγχους και μετρήσεις, και βρίσκουν εφαρμογή σε πάρα πολλούς τομείς, στην Έρευνα και τη Βιομηχανία.

Ο παλμογράφος απεικονίζει τάση στον άξονα Y σε συνάρτηση με το χρόνο στον άξονα X, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.

Ο παλμογράφος έχει δύο κανάλια, δηλαδή μπορεί ταυτόχρονα να απεικονίζει στην οθόνη του δύο κυματομορφές τάσης. Το πρώτο κανάλι ονομάζεται INPUT 1 ή CH1 και το δεύτερο κανάλι INPUT 2 ή CH2.

Ο κεντρικός κάθετος και οριζόντιος άξονας χωρίζονται σε πέντε μικρότερες υποδιαίρέσεις που ονομάζονται δευτερεύουσες υποδιαίρέσεις δίνοντας τη δυνατότητα της ακριβέστερης μέτρησης ως εξής: θεωρώντας ότι η πρωτεύουσα υποδιαίρεση (ένα τετράγωνο) αντιστοιχεί στη μονάδα, η κάθε μικρότερη υποδιαίρεση αντιστοιχεί στο $\frac{1}{5}$ της μονάδας δηλαδή σε 0,2. Η ελάχιστη αυτή υποδιαίρεση μέτρησης (0,2) ονομάζεται «ακρίβεια μέτρησης» του παλμογράφου. Κάθε όργανο μετράει σε πολλαπλάσια της ακρίβειάς του. Δεν υπάρχει π.χ. στον παλμογράφο μέτρηση 0,3 αλλά 0,2 ή 0,4. Επίσης, το «σφάλμα ανάγνωσης» για κάθε όργανο μέτρησης ορίζεται ως: η ακρίβεια μέτρησης επί την κλίμακα μέτρησης του οργάνου.

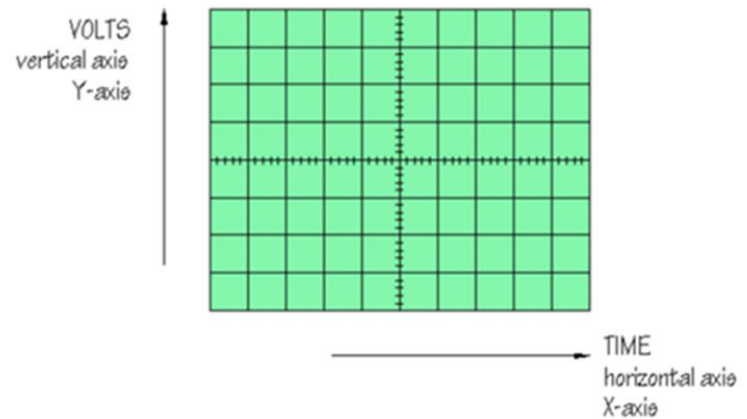
Στον παλμογράφο μετράμε τάση συνδέοντας σε ένα από τα δύο κανάλια του, ειδικό καλώδιο (probe), χρησιμοποιώντας την υποδοχή BNC που έχει στο ένα άκρο του. Η μύτη του probe και το μαύρο στέλεχος (κροκοδειλάκι) που βρίσκονται στο άλλο άκρο του, συνδέονται στα άκρα του στοιχείου ή των στοιχείων, των οποίων θέλουμε να μελετήσουμε την απόκριση, στα σημεία υψηλότερου και χαμηλότερου δυναμικού, αντίστοιχα (βλ. Σχήμα 2).



Σχήμα 1: Αναλογικός και ψηφιακός παλμογράφος



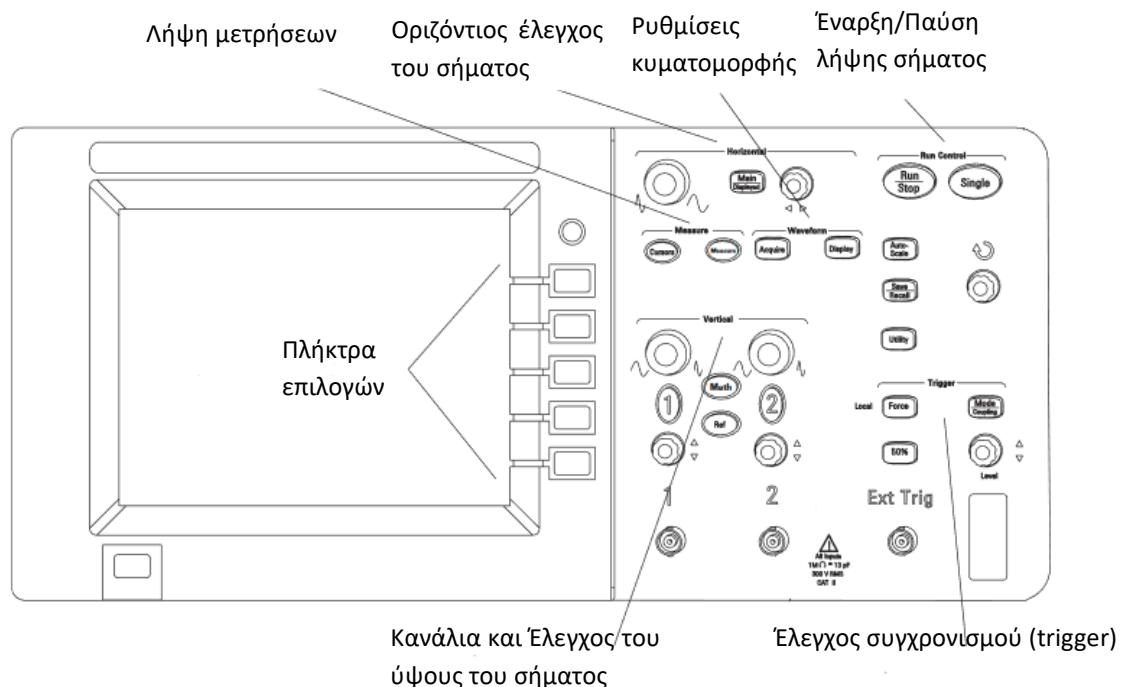
Σχήμα 2: Probe Παλμογράφου



Σχήμα 3: Οθόνη Παλμογράφου

Το δεξί μέρος της πρόσοψης του παλμογράφου είναι χωρισμένο σε τρεις οριζόντιες ζώνες, οι οποίες περιλαμβάνουν τα ρυθμιστικά φωτεινότητας και εστίασης της δέσμης, τα ρυθμιστικά απεικόνισης του σήματος στην οθόνη (μεσαίο μέρος) και τους ακροδέκτες εισόδου (κάτω μέρος).

Παρακάτω σημειώνονται τα πλήκτρα που επιτελούν τις εξής λειτουργίες:



Σχήμα 4: Εμπρόσθια όψη ψηφιακού παλμογράφου

2.2 Μέτρηση τάσης με τον παλμογράφο

Συνδέοντας το καλώδιο BNC-probe σε κάποιο από τα κανάλια του παλμογράφου, βλέπουμε στην οθόνη την κυματομορφή που λαμβάνουμε. Στην περίπτωση που η κυματομορφή δεν απεικονίζεται σωστά ως προς τον χρόνο (άξονας x), ρυθμίζουμε τον διακόπτη TIME/DIV. Αντίστοιχα, εάν η κυματομορφή δεν απεικονίζεται σωστά ως προς την τάση (άξονας y), τότε ρυθμίζουμε τον διακόπτη VOLT/DIV.

Αν έχουμε AC σήμα, τότε τοποθετούμε το διακόπτη AC-GND-DC στη θέση AC. Μετράμε τα τετράγωνα της οθόνης κατά την κάθετη κατεύθυνση, από ένα μέγιστο του σήματος μέχρι ένα ελάχιστο και τα πολλαπλασιάζουμε με την ένδειξη του διακόπτη VOLT/DIV.

Στην περίπτωση που μετράμε DC τάση, τοποθετούμε το διακόπτη AC-GND-DC στην θέση GND και φέρνουμε το επίπεδο της γείωσης που εμφανίζεται στην οθόνη σε ένα σημείο ως προς τον y άξονα, που θα το χρησιμοποιήσουμε ως επίπεδο αναφοράς. Έπειτα, τοποθετούμε τον διακόπτη AC-GND-DC στη θέση DC. Στη συνέχεια μετράμε τα τετράγωνα και τις υποδιαιρέσεις μεταξύ του σήματος και του επιπέδου αναφοράς και τα πολλαπλασιάζουμε με την ένδειξη του διακόπτη VOLT/DIV. Έτσι, έχουμε την τιμή της τάσης που θέλουμε να μετρήσουμε.

2.3 Μέτρηση συχνότητας στον παλμογράφο

Εφαρμόζουμε την κυματομορφή στην είσοδο του παλμογράφου. Σταθεροποιούμε την κυματομορφή και μετράμε τον αριθμό των τετραγώνων και των υποδιαιρέσεων από την αρχή ως το τέλος μιας περιόδου του σήματος, κατά την οριζόντια διεύθυνση. Πολλαπλασιάζουμε αυτόν τον αριθμό με την ένδειξη του διακόπτη TIME/DIV και έτσι έχουμε την περίοδο της κυματομορφής. Η συχνότητα δίδεται από τον τύπο $f = \frac{1}{T} [Hz = \frac{1}{sec}]$.

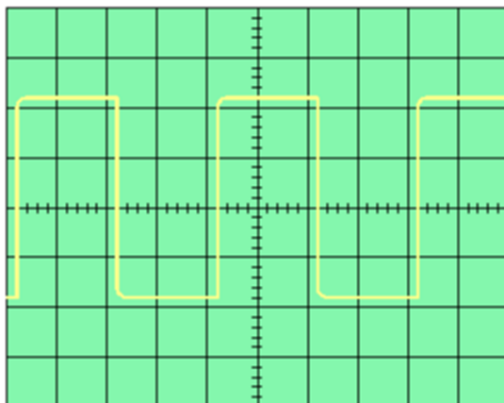
2.4 Έλεγχος παλμογράφου & καλωδίου (Calibration)

Για να ελέγξουμε εάν ο παλμογράφος και το συνδεδεμένο σε αυτόν καλώδιο λειτουργούν σωστά, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την ειδική υποδοχή που υπάρχει σε αυτόν, με την ένδειξη Cal. Συνδέοντας το καλώδιο σε ένα κανάλι του παλμογράφου και τοποθετώντας τους ακροδέκτες του στην ειδική υποδοχή, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 5, πρέπει να απεικονιστεί στην οθόνη το αναμενόμενο σήμα, όπως αυτό αναγράφεται στον παλμογράφο (π.χ. Pulsed, 2Vpp, 1kHz).



Σχήμα 5: Σύνδεση για έλεγχο ομαλής λειτουργίας του παλμογράφου και του καλωδίου

Συνεπώς, ρυθμίζοντας τα VOLTS/DIV και TIME/DIV, στην οθόνη θα πρέπει να εμφανίζεται ένα τετραγωνικό σήμα 2Vpp και συχνότητας 1kHz (βλέπε Σχήμα 6). Εάν το σήμα εμφανίζεται παραμορφωμένο, μπορεί να διορθωθεί εάν περιστρέψουμε τη βίδα που υπάρχει συνήθως κοντά στην υποδοχή BNC του καλωδίου.



Σχήμα 6: Τετραγωνικό σήμα ελέγχου

2.5 Γεννήτρια συχνοτήτων

Η γεννήτρια συχνοτήτων χρησιμοποιείται για την παραγωγή εναλλασσόμενων σημάτων, επιθυμητής κυματομορφής, πλάτους και συχνότητας. Τυπικές κυματομορφές που παράγουν οι γεννήτριες συχνοτήτων είναι η ημιτονοειδής, η τριγωνική και η τετραγωνική/παλμική. Σε αυτά τα σήματα, είναι δυνατή η προσθήκη και συνεχούς (DC) συνιστώσας, μέσω της λειτουργίας DC offset.

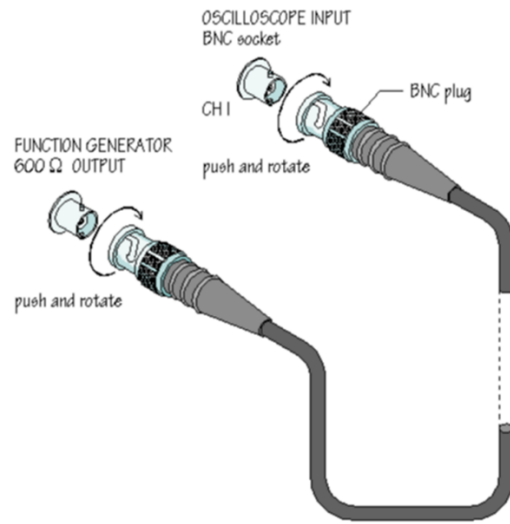


Σχήμα 7: Πρόσοψη γεννήτριας

Για τη σύνδεση της γεννήτριας στο εκάστοτε κύκλωμα χρησιμοποιείται το κάτωθι καλώδιο BNC που καταλήγει σε δύο κροκοδειλάκια (βλ. Σχήμα 8). Για τη σύνδεση της εξόδου της σε μία είσοδο του παλμογράφου χρησιμοποιούμε ένα ομοαξονικό καλώδιο BNC-BNC, όπως φαίνεται στο Σχήμα 9.



Σχήμα 8: Δίκλωνο καλώδιο γεννήτριας



Σχήμα 9: Σύνδεση εξόδου γεννήτριας με είσοδο παλμογράφου

2.6 Τροφοδοτικό

Το τροφοδοτικό χρησιμοποιείται για την παραγωγή συνεχούς (DC) τάσης, η οποία χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο για την τροφοδοσία των ηλεκτρονικών κυκλωμάτων. Αποτελείται από τα λεγόμενα κανάλια, τα οποία είναι συνήθως από 1 έως 4 ανά συσκευή. Ένα σύνηθες τροφοδοτικό εργαστηρίου μπορεί να προσφέρει έως και 30V τάσης και 5A έντασης ρεύματος ανά κανάλι. Τα κανάλια μπορούν να συνδεθούν μεταξύ τους σε σειρά ή παράλληλα, με αποτέλεσμα η συνολική τάση ή η συνολική ένταση ρεύματος, αντιστοίχως, να αποτελεί το άθροισμα των επιμέρους τιμών. Το κάθε κανάλι ενός τροφοδοτικού έχει 2 ή 3 υποδοχές. Οι δύο υποδοχές αντιστοιχούν στη θετική (κόκκινη υποδοχή) και αρνητική (μαύρη υποδοχή) τροφοδοσία. Έτσι, μεταξύ των δύο υποδοχών ορίζεται μια διαφορά δυναμικού που αντιστοιχεί στην τιμή τάσης που έχουμε ορίσει. Η τρίτη υποδοχή, πράσινου χρώματος, αντιστοιχεί στη γείωση. Η συγκεκριμένη υποδοχή συνηθίζεται να ενώνεται με την υποδοχή αρνητικής τροφοδοσίας, ώστε η διαφορά δυναμικού που παρέχεται να ορίζεται σε σχέση με το επίπεδο της γείωσης.

Το κάθε τροφοδοτικό έχει συνήθως δύο οθόνες ανά κανάλι και αντιστοίχως, δύο περιστροφικούς διακόπτες. Το πρώτο ζεύγος οθόνης και διακόπτη (voltage) αντιστοιχεί στη ρύθμιση της τάσης που επιθυμούμε να παρέχει το συγκεκριμένο κανάλι του τροφοδοτικού. Θέτοντας μία τιμή τάσης, το τροφοδοτικό θα παρέχει το απαιτούμενο ρεύμα στο φορτίο (π.χ. ηλεκτρονικό κύκλωμα) που είναι συνδεδεμένο σε αυτό, σύμφωνα με τον Νόμο του Ohm ($I=V/R$). Συνεπώς, η ένταση του ρεύματος που παρέχεται εμφανίζεται στη δεύτερη οθόνη του τροφοδοτικού (current). Επειδή ένα πιθανό βραχυκύκλωμα μπορεί να επιτρέψει την απότομη αύξηση του παρεχόμενου ρεύματος, με αποτέλεσμα να καταστραφεί το συνδεδεμένο κύκλωμα, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τον δεύτερο περιστροφικό διακόπτη (current), με τον οποίο μπορούμε να ορίσουμε ένα ανώτατο όριο ρεύματος που επιτρέπεται να παρέχει το τροφοδοτικό. Σε περίπτωση που επέλθει αυτό το όριο, αυτομάτως το τροφοδοτικό σταματάει να παρέχει τάση και ανάβει μία κόκκινη λυχνία με την ένδειξη CC (constant current).



Σχήμα 10: Προσόψεις τροφοδοτικών



Σχήμα 11: Καλώδια (μπανάνες-κροκοδειλάκια) τροφοδοτικού



Σχήμα 12: Ψηφιακό πολύμετρο

2.7 Ψηφιακά πολύμετρα

Τα ψηφιακά πολύμετρα έχουν τη δυνατότητα να μετατρέπουν το προς μέτρηση μέγεθος σε ψηφιακή τιμή. Αποτελούνται κατά κύριο λόγο από έναν ενισχυτή και από έναν αναλογικό-ψηφιακό μετατροπέα, που επεξεργάζεται το συνεχές ρεύμα. Επειδή ο μετατροπέας έχει συνήθως μόνο μία περιοχή μέτρησης, υποδιαίρει μετρήσεις μεγαλύτερου μεγέθους και ενισχύει μετρήσεις μικρότερου μεγέθους. Το μέγεθος που θέλουμε να μετρήσουμε μετατρέπεται σε ψηφιακό σήμα, με τη βοήθεια ενός ολοκληρωμένου κυκλώματος.

Το όργανο μετράει το συνεχές ρεύμα σαν πτώση τάσης πάνω σε μία αντίσταση ακριβείας μικρότερη του 1Ω . Όταν θέλουμε να μετρήσουμε εναλλασσόμενο ρεύμα, θα πρέπει να μετατραπεί αυτό σε συνεχές με μία ανορθωτική διάταξη.

Ανάλογα με τη μέτρηση που θέλουμε να κάνουμε, πρέπει να τοποθετήσουμε τα καλώδια του πολυμέτρου στις κατάλληλες υποδοχές και να στρέψουμε τον περιστροφικό επιλογέα στην κατάλληλη θέση. Οι συνήθεις τύποι μέτρησης μέσω ενός πολυμέτρου περιλαμβάνουν τη μέτρηση τάσης (AC ή DC), έντασης ρεύματος (AC ή DC) και αντίστασης. Άλλοι τύποι μέτρησης περιλαμβάνουν την τάση διόδου, τη χωρητικότητα πυκνωτή, τη θερμοκρασία, τη συχνότητα, τον έλεγχο transistor και τον έλεγχο αγωγιμότητας.

Ο μαύρος ακροδέκτης του πολυμέτρου συνδέεται πάντοτε με την υποδοχή COM (common), ενώ ο κόκκινος με μία από τις υπόλοιπες υποδοχές, αναλόγως της μέτρησης που θέλουμε να πραγματοποιήσουμε. Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται κατά τη μέτρηση έντασης ρεύματος με το πολύμετρο. Ως γνωστόν, σε αυτήν την περίπτωση το πολύμετρο συνδέεται σε σειρά με το υπό μέτρηση κύκλωμα, έχοντας πολύ χαμηλή αντίσταση. Για την προστασία του πολυμέτρου από την είσοδο ρεύματος υψηλής εντάσεως, χρησιμοποιούνται ασφάλειες, οι οποίες καταστρέφονται σε ένα τέτοιο ενδεχόμενο. Να σημειωθεί ότι στην περίπτωση μέτρησης εναλλασσόμενης τάσης ή έντασης ρεύματος, το πολύμετρο εμφανίζει την ενεργό τιμή (RMS) του αντίστοιχου μεγέθους.

Για τις υπόλοιπες μετρήσεις, το πολύμετρο συνδέεται παράλληλα με το υπό μέτρηση στοιχείο. Η διαδικασία μέτρησης ενός μεγέθους (π.χ. αντίστασης) με ένα σύνηθες πολύμετρο είναι η εξής:

1. Αρχικά, τοποθετούμε τους ακροδέκτες του οργάνου, τον έναν στη θέση COM και τον άλλον στη θέση V/Ω.
2. Φέρουμε τον επιλογέα του οργάνου στην περιοχή μέτρησης αντίστασης. Σε αυτό το σημείο, απαιτείται ο ορισμός της κλίμακας στην οποία θα διεξαχθεί η μέτρηση. Για παράδειγμα, στην περίπτωση της μέτρησης αντίστασης, ένα πολύμετρο μπορεί να προσφέρει τις κλίμακες 200Ω, 2kΩ, ... , 20MΩ. Αρχικά, πρέπει να φέρουμε τον επιλογέα στη μέγιστη θέση που προσφέρεται. Όσο εμφανίζονται στην οθόνη μηδενικά αριστερά των ψηφίων της αναγραφόμενης τιμής, μετακινούμε τον επιλογέα σε μικρότερη κλίμακα. Μόλις εμφανιστεί η ένδειξη «1» ή OL (over limit), επιστρέφουμε στην αμέσως προηγούμενη κλίμακα και καταγράφουμε την εμφανιζόμενη τιμή.

Μια ειδική κατηγορία πολυμέτρων αποτελούν αυτά που έχουν τη δυνατότητα “auto range”. Σε αυτά τα πολύμετρα δεν απαιτείται η πραγματοποίηση του δεύτερου βήματος της παραπάνω διαδικασίας, καθώς χρησιμοποιούν αυτόματα τη βέλτιστη κλίμακα για τη λήψη μέτρησης.













Σημείωση: Μετά από κάθε χρήση θα πρέπει να φέρουμε τον επιλογέα στη θέση OFF. Σε περίπτωση που το όργανο έχει ξεχωριστή θέση ON-OFF, μετά το τέλος της μέτρησης, πρέπει να θέτουμε τον διακόπτη στη θέση OFF. Σε περίπτωση που στην οθόνη του οργάνου εμφανιστεί η ένδειξη BAT, θα πρέπει να αλλάξουμε τη μπαταρία τροφοδοσίας του οργάνου.

2.8 Χρωματικός κώδικας αντιστάσεων

Ένα βασικό στοιχείο των κυκλωμάτων αποτελεί η αντίσταση. Η μέτρηση της τιμής μιας αντίστασης μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη χρήση ενός πολυμέτρου, βάσει της διαδικασίας που αναλύθηκε προηγουμένως. Όμως, χάριν ευκολίας, 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.



Σχήμα 12: Οι λωρίδες για τον υπολογισμό της τιμής μιας αντίστασης

ΧΡΩΜΑ		1 ^η ΛΩΡΙΔΑ	2 ^η ΛΩΡΙΔΑ	3 ^η ΛΩΡΙΔΑ	4 ^η ΛΩΡΙΔΑ	5 ^η ΛΩΡΙΔΑ
Μαύρο		0	0	0	x1Ω	
Καφέ		1	1	1	x10Ω	±1%
Κόκκινο		2	2	2	x100Ω	±2%
Πορτοκαλί		3	3	3	x1kΩ	
Κίτρινο		4	4	4	x10kΩ	
Πράσινο		5	5	5	x100kΩ	±0.5%
Μπλε		6	6	6	x1MΩ	±0.25%
Μωβ		7	7	7	x10MΩ	±0.1%
Γκρι		8	8	8		±0.05%
Λευκό		9	9	9		
Χρυσό					x0.1Ω	±5%
Ασημί					x0.01Ω	±10%

Πίνακας 1 : Χρωματικός κώδικας των αντιστάσεων

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 παραπάνω πίνακα, ξεκινώντας από αυτήν που βρίσκεται αριστερότερα. Η 4^η λωρίδα έχει το ρόλο του πολλαπλασιαστή, ενώ η 5^η εκφράζει τη μέγιστη απόκλιση που μπορεί να έχει η πραγματική τιμή της αντίστασης από την αναγραφόμενη (σφάλμα).

Οπότε, έστω ότι μια αντίσταση έχει από αριστερά προς τα δεξιά μια μπλε, μια γκρι, μια μαύρη, μια καφέ και μια χρυσή λωρίδα. Από τον πίνακα βρίσκουμε:

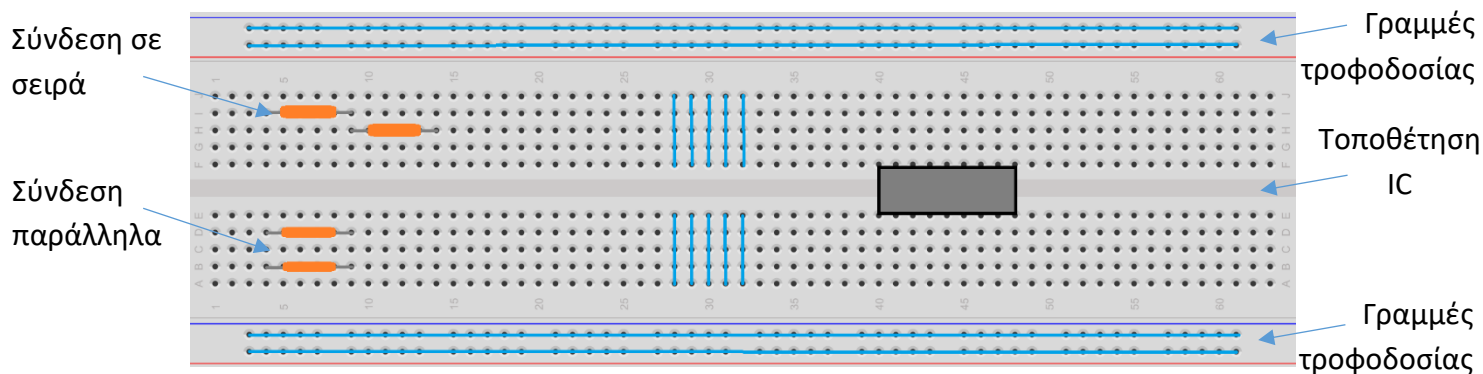
Μπλε: 6 Γκρι: 8 Μαύρο: 0 Καφέ: x10Ω Χρυσό: ±5%.

Επομένως, η τιμή της αντίστασης είναι $680 \times 10\Omega = 6800\Omega = 6.8k\Omega$ με σφάλμα ±5%.

Στην περίπτωση της αντίστασης με 4 λωρίδες, παραλείπουμε τη σκιασμένη στήλη με τίτλο 3^η ΛΩΡΙΔΑ του παραπάνω πίνακα. Συνεπώς, οι πρώτες δύο λωρίδες της αντίστασης δηλώνουν μια διψήφια τιμή, η τρίτη τον πολλαπλασιαστή και η τέταρτη την ανοχή της τιμής.

2.9 Περιγραφή της εργαστηριακής πλακέτας (breadboard)

Οι συγκεκριμένες πλακέτες χρησιμοποιούνται για την εύκολη και γρήγορη τοποθέτηση των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων, με σκοπό τη δημιουργία και δοκιμή απλών ή και πιο σύνθετων ηλεκτρονικών κυκλωμάτων. Αποτελούνται από οριζόντιες και κάθετες ζώνες με οπές, στις οποίες μπορούν να τοποθετηθούν καλώδια, αντιστάσεις, πυκνωτές, ή ακόμα και ολοκληρωμένα κυκλώματα (IC).



Σχήμα 13: Τοποθέτηση εξαρτημάτων στην εργαστηριακή πλακέτα.

Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 13, οι οπές της κάθε μίας οριζόντιας γραμμής διαρρέονται από το ίδιο ρεύμα, είναι δηλαδή βραχυκυκλωμένες. Ομοίως συμβαίνει και για τις 5 οπές κάθε κάθετης γραμμής. Επομένως, για σύνδεση εν σειρά δύο ηλεκτρονικών εξαρτημάτων (π.χ. δύο αντιστάσεων), πρέπει αυτά να τοποθετηθούν έτσι ώστε μόνο το ένα τους άκρο να βρίσκεται στην ίδια κάθετη γραμμή (πάνω αριστερά στο Σχήμα 13). Αντιθέτως, για σύνδεση εν παράλληλω, πρέπει και τα δύο άκρα τους να βρίσκονται στις ίδιες αντίστοιχες κάθετες γραμμές (κάτω αριστερά στο Σχήμα 13). Πρέπει να τονιστεί ότι οι κάθετες γραμμές της πλακέτας διακόπτονται από τη μεσαία οριζόντια γραμμή, στην οποία δεν υπάρχουν οπές. Αυτή η περιοχή χρησιμοποιείται για την τοποθέτηση των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων IC (δεξιά στο Σχήμα 13). Τέλος, οι τέσσερις οριζόντιες γραμμές εκτείνονται σε όλο το μήκος της πλακέτας και χρησιμοποιούνται για την τροφοδοσία των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων της πλακέτας.

3 Προστασία Οργάνων

Τα όργανα των ηλεκτρικών μετρήσεων, πρέπει να προστατεύονται από περιπτώσεις υπέρβασης του ορίου μέτρησης ενός μεγέθους, με τη βοήθεια ειδικών ηλεκτρικών ασφαλειών.

Επίσης, τα όργανα θα πρέπει να προστατεύονται από μαγνητικά πεδία, από υψηλές θερμοκρασίες εξωτερικού χώρου και από υπερβολική υγρασία του περιβάλλοντος. Θα πρέπει να τηρούνται με ακρίβεια οι οδηγίες χρήσης και το προς μέτρηση μέγεθος να βρίσκεται περίπου στο μέσον της κλίμακας του οργάνου.

Σε περίπτωση μέτρησης άγνωστου μεγέθους, θα πρέπει το όργανο να τίθεται στη μεγαλύτερη περιοχή μέτρησης. Μεγάλη προσοχή πρέπει να δίνεται για περιπτώσεις οργάνων (ωμόμετρα), που δεν πρέπει να συνδέονται σε κυκλώματα που βρίσκονται υπό τάση.

4 Σφάλματα οργάνων και μετρήσεων

Τα σφάλματα που κάνουμε στις ηλεκτρικές μετρήσεις οφείλονται τόσο στα όργανα που χρησιμοποιούμε, όσο και στις μεθόδους μέτρησης.

✓ Σφάλματα οργάνων

Όταν με ένα όργανο πραγματοποιούμε μία μέτρηση, το αποτέλεσμα που έχουμε δεν απεικονίζει την πραγματική τιμή του μετρούμενου φυσικού μεγέθους. Αυτό μπορούμε να το διαπιστώσουμε εάν επαναλάβουμε την ίδια μέτρηση πολλές φορές, είτε με το ίδιο όργανο, είτε με διαφορετικό. Επομένως, σε κάθε μέτρηση, υπάρχουν σφάλματα, που σημαίνει ότι το αποτέλεσμα της μέτρησης δεν είναι η πραγματική τιμή της ποσότητας που μετράμε. Τα σφάλματα των οργάνων μέτρησης οφείλονται σε διάφορες αιτίες, που μπορούμε να τις διακρίνουμε σε:

α. Εσωτερικές αιτίες (σφάλματα μηχανικά, σφάλματα βαθμολογίας του οργάνου).

β. Εξωτερικές αιτίες (σφάλματα από επίδραση της θερμοκρασίας, από την επίδραση μαγνητικών πεδίων κ.λπ.).

γ. Υποκειμενικές αιτίες (σφάλματα λόγω περιοχής δύσκολης ανάγνωσης, σφάλματα από τη μέθοδο μέτρησης κ.λπ.).

✓ Σφάλματα μετρήσεων

Συνήθως, το αποτέλεσμα που έχουμε από μία μέτρηση δεν συμπίπτει ακριβώς με την πραγματική τιμή του μεγέθους που μετράμε. Αυτό μπορούμε να το διαπιστώσουμε κάνοντας πολλές μετρήσεις, είτε με το ίδιο όργανο, είτε με διαφορετικό όργανο, είτε με διαφορετικές μεθόδους μετρήσεων. Σε κάθε περίπτωση, εκτός των τυχαίων συμπτώσεων, έχουμε και διαφορετικό αποτέλεσμα. Τα σφάλματα, ανάλογα με την προέλευσή τους, μπορούν να διακριθούν σε συστηματικά σφάλματα και σε τυχαία σφάλματα. Τα συστηματικά σφάλματα οφείλονται κυρίως σε ατέλειες των οργάνων μέτρησης ή σε άλλες γνωστές αιτίες (ατέλειες οργάνων, κακή ρύθμιση μηδενός κ.λπ.). Τα τυχαία σφάλματα οφείλονται σε άγνωστες αιτίες, έχουν, δηλαδή, τυχαία προέλευση.

5 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Μέτρηση τιμής αντίστασης

- 1.1. Συνδέστε ένα μαύρο και ένα κόκκινο καλώδιο με ακροδέκτες, στις θέσεις COM και Ω του πολυμέτρου, αντίστοιχα.
- 1.2. Ρυθμίστε τον επιλογέα του πολυμέτρου στη μέγιστη θέση της κλίμακας μέτρησης των αντιστάσεων (Ω).
- 1.3. Τοποθετήστε την αντίσταση στην εργαστηριακή πλακέτα (breadboard), σε θέση παράλληλη ως προς τις γραμμές τροφοδοσίας της (κόκκινη (+) και μπλε (-) γραμμή της πλακέτας).
- 1.4. Χωρίς να αγγίζετε με τα δάκτυλά σας την αντίσταση και έχοντας σε επαφή μόνο τους δύο ακροδέκτες του πολυμέτρου με τα άκρα της, μετακινήστε τον επιλογέα του πολυμέτρου προς τις μικρότερες κλίμακες μέτρησης, έως ότου εμφανιστεί ο μέγιστος δυνατός αριθμός ψηφίων στην οθόνη (μέγιστη ακρίβεια).

- 1.5. Καταγράψτε την τιμή της αντίστασης, η οποία προκύπτει από την ένδειξη της οθόνης, σε συνδυασμό με τις μονάδες της συγκεκριμένης κλίμακας.

Μέτρηση συχνότητας στον παλμογράφο

- 1.6. Συνδέστε τη γεννήτρια συχνοτήτων με τον παλμογράφο.
- 1.7. Μέσω της γεννήτριας συχνοτήτων, δημιουργήστε ημιτονοειδές σήμα με συχνότητα 1kHz και πλάτος $V_{pp} = 7V$ (Το V_{pp} ή V peak to peak υποδηλώνει μέτρηση τάσης από κορυφή σε κορυφή).
- 1.8. Χρησιμοποιώντας τα κατάλληλα πλήκτρα του παλμογράφου, προσαρμόστε την κυματομορφή που εμφανίζεται, ώστε να είναι πλήρως ορατή μία, τουλάχιστον, περίοδός της.
- 1.9. Μετρήστε την περίοδο T_1 του σήματος που εμφανίζεται στον παλμογράφο και επαληθεύστε την τιμή της συχνότητας χρησιμοποιώντας τον τύπο $f = \frac{1}{T}$.
- 1.10. Αλλάξτε τη συχνότητα στα 10kHz και το πλάτος στα $V_{pp} = 5V$.
- 1.11. Αφού προσαρμόσετε εκ νέου την κυματομορφή στον παλμογράφο, μετρήστε την περίοδο T_2 του σήματος και επαληθεύστε την τιμή της συχνότητας.
- 1.12. Αλλάξτε τη συχνότητα στα 100kHz και το πλάτος στα $V_{pp} = 3V$.
- 1.13. Αφού προσαρμόσετε εκ νέου την κυματομορφή στον παλμογράφο, μετρήστε την περίοδο T_3 του σήματος και επαληθεύστε την τιμή της συχνότητας.
- 1.14. Για κάθε συνδυασμό τιμών συχνότητας και πλάτους, υπολογίστε τη συνάρτηση του ημιτονοειδούς κύματος $V(t) = V \sin(\omega t)$, όπου $\omega = 2\pi f$.
- 1.15. Επαναλάβετε τα βήματα 1.7-1.13 για τριγωνικό σήμα.
- 1.16. Επαναλάβετε τα βήματα 1.7-1.13 για παλμικό σήμα.

6 Αγωγιμότητα Υλικού και Αντίσταση

6.1 Ωμική αντίσταση

Ο αντιστάτης ή πιο συνηθισμένα *αντίσταση* είναι το ηλεκτρικό στοιχείο, το οποίο κατά την διέλευση ηλεκτρικού ρεύματος, έχει την τάση να μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια σε θερμότητα.

Από μαθηματικής απόψεως, η αντίσταση είναι ένα στοιχείο στο οποίο το ρεύμα που το διαρρέει είναι ευθέως ανάλογο της τάσης που επιβάλλεται μεταξύ των δυο ακροδεκτών του. Ο πρώτος που πειραματικά βρήκε ότι υπάρχει σχέση μεταξύ του ρεύματος σε ένα αγωγίμο υλικό και της πτώσης τάσεως ήταν ο Ohm.

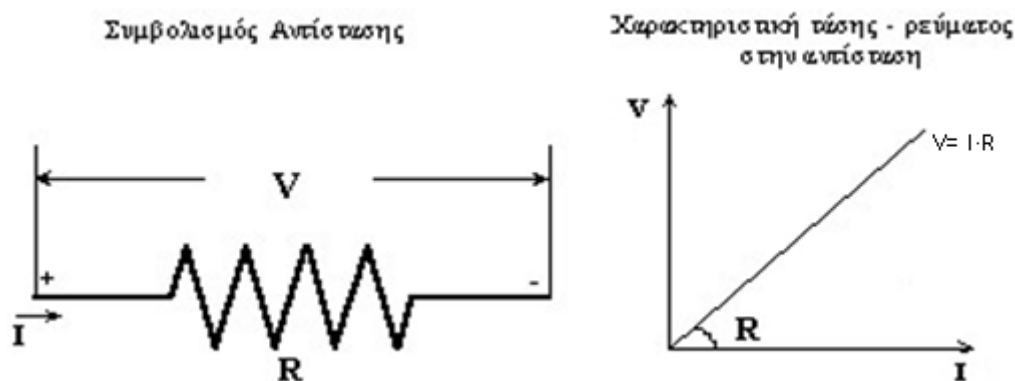
Ο νόμος του Ohm, που είναι και προσεγγιστικός των εξισώσεων του Maxwell, εκφράζεται ως εξής:

$$\vec{J} = \sigma \cdot \vec{E} \Rightarrow \frac{\vec{I}}{S} = \sigma \cdot \frac{V}{\ell} \Rightarrow \frac{1}{\sigma} \cdot \frac{\ell}{S} = \frac{V}{I} = R$$

όπου \vec{E} η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου σε ορισμένο σημείο μέσα στο αγώγιμο υλικό, \vec{j} το διάνυσμα της πυκνότητας ρεύματος στο ίδιο σημείο του αγωγού και σ είναι μια φυσική σταθερά του υλικού που ονομάζεται *ειδική αγωγιμότητα*. Η παραπάνω σχέση ισχύει μόνο για γραμμικό ισότροπο μέσο.

Η μονάδα μέτρησης της αντίστασης είναι το Ohm:

$$1\Omega = \frac{1\text{Volt}}{1\text{Ampere}}$$



Σχήμα 14: Πολικότητα και η φορά του ρεύματος (σχέση φοράς ρεύματος και πολικότητας)

6.2 Αγωγιμότητα

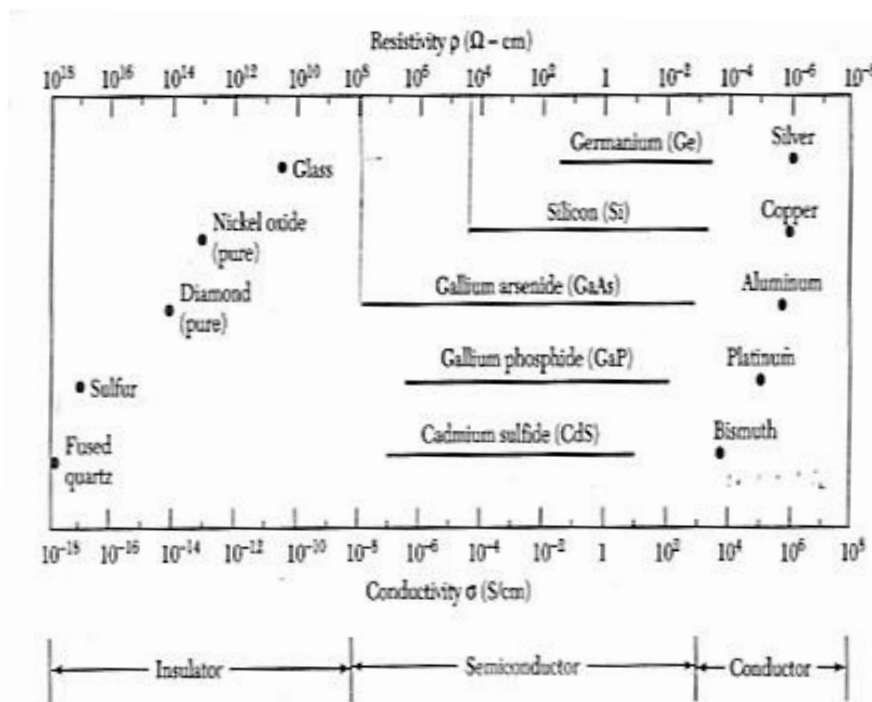
Αγωγιμότητα είναι η ιδιότητα που εκφράζει το πόσο εύκολα επιτρέπει ένα υλικό στο ηλεκτρικό ρεύμα να το διαπεράσει. Η αγωγιμότητα είναι επομένως ανάλογη του μεγέθους της Έντασης (I) του ηλεκτρικού ρεύματος.

Παράγοντες που επιδρούν στην αγωγιμότητα

Οι κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την αγωγιμότητα των υλικών είναι η *θερμοκρασία* και οι *προσμίξεις*.

Βάσει της αγωγιμότητάς τους τα υλικά χωρίζονται στις εξής κατηγορίες:

- Αγώγιμα υλικά (μέταλλα: πχ χαλκός και σίδηρος)
- Ημιαγωγοί (πυρίτιο, γερμάνιο)
- Μονωτές ή Διηλεκτρικά (διαμάντι, γυαλί)



Σχήμα 135: Ενδεικτικές τιμές ειδικής αντίστασης & αγωγιμότητας μονωτών, αγωγών κι ημιαγωγών

6.3 Αγωγή υλικά

Τα σημαντικότερα αγωγή υλικά είναι τα **μέταλλα**, ενώ τα πολυμερή και τα κεραμικά υλικά είναι οι σημαντικότεροι μονωτές. Ενδιάμεσες τιμές αγωγιμότητας έχουν οι **ημιαγωγοί** και μεταξύ των ημιαγωγών και των μετάλλων είναι τα ημιμέταλλα. Τα όρια των τιμών που χαρακτηρίζουν τις παραπάνω κατηγορίες δεν είναι απόλυτα καθορισμένα. Οι γενικότερα αποδεκτές και ενδεικτικές περιοχές φαίνονται στο παραπάνω σχήμα. οι επικαλύψεις καθώς και τα όρια μεταβάλλονται λόγω διαφόρων παραγόντων που επηρεάζουν την αγωγιμότητα, όπως η θερμοκρασία, οι προσμίξεις, την ύπαρξη διαφόρων φάσεων και αναλογιών των σε πολυφασικά κράματα, κ.λπ.

6.4 Ειδική αντίσταση και αγωγιμότητα

Η αντίσταση ενός γραμμικού ηλεκτρικού αγωγού με ομοιόμορφη διατομή είναι ανάλογη προς το μήκος του, αντιστρόφως ανάλογη προς τη διατομή του και είναι **συνάρτηση του υλικού** από το οποίο είναι κατασκευασμένος ο αγωγός. Ισχύει δηλαδή:

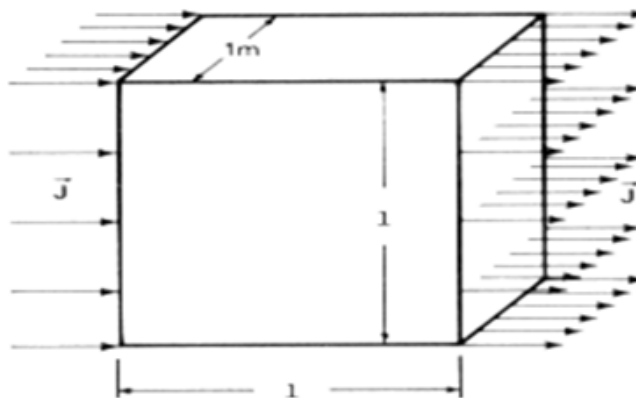
$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1)$$

όπου $\rho = 1 / \sigma$ είναι ο συντελεστής αναλογίας που ονομάζεται **ειδική αντίσταση** του υλικού του αγωγού με μονάδα μέτρησης το $\Omega \cdot m$. Το σ είναι μέτρο της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (G) και ονομάζεται **ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα**. Μονάδα μέτρησης είναι το $\Omega^{-1} \cdot m^{-1}$.

Στον Σχήμα 15 φαίνεται ενδεικτικές τιμές της ειδικής αντίστασης και της ειδικής αγωγιμότητας για διάφορα υλικά.

Αν η πυκνότητα του ρεύματος είναι $J=I/A$ και E η ένταση του εφαρμοζόμενου ηλεκτρικού πεδίου, τότε:

$$J = \sigma E \rightarrow \sigma = \frac{J}{E}$$



Σχήμα 146: Ειδική αντίσταση αγώγιμου υλικού (μοναδιαία διατομή & μήκος)

Στα μέταλλα, στη θερμοκρασία δωματίου, η **ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα** είναι $\sigma = 10^5 - 10^7 \Omega^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$. Περισσότερο αγωγίμα είναι ο καθαρός άργυρος με $\sigma = 6,2 \times 10^7 \Omega^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ και ο χαλκός με $\sigma = 5,2 \times 10^7 \Omega^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$. Στο παρακάτω σχήμα δίνονται ενδεικτικές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για διάφορα υλικά.

Τα ημιμέταλλα όπως το As, καθώς και ο γραφίτης έχουν ειδική αγωγιμότητα της τάξης του $10^5 - 10^6 \Omega^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$, ενώ οι **ημιαγωγοί** όπως το Si και το Ge, από $10^{-7} - 10^5 \Omega^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$. Τέλος, οι μονωτές έχουν ειδική αγωγιμότητα $\sigma \leq 10^{-6} \Omega^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$.

6.5 Επίδραση της θερμοκρασίας στην (ωμική) αντίσταση

Με την αύξηση της θερμοκρασίας, η ελεύθερη μέση διαδρομή μειώνεται, η ευκινησία των ηλεκτρονίων μειώνεται και η **ειδική ηλεκτρική αντίσταση αυξάνεται**, σύμφωνα με τη σχέση:

$$\rho = \rho_{20^\circ\text{C}}(1 + \alpha\Delta T) \quad (2)$$

όπου $\rho_{20^\circ\text{C}}$ είναι η ειδική ηλεκτρική αντίσταση στους 20°C , ΔT η διαφορά της θερμοκρασίας μεταξύ της θερμοκρασίας που ζητείται η ειδική ηλεκτρική αντίσταση και της θερμοκρασίας των 20°C και α ο θερμικός συντελεστής διαστολής.

Κατά συνέπεια, η αντίσταση R αυξάνεται όπως προκύπτει από τη Σχέση (1).

6.6 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ-ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. Μέτρηση αντίστασης Ημιαγωγού

- 1.1 Σε ομοιόμορφο δείγμα πυριτίου μετράμε την αντίσταση με τη βοήθεια ενός πολυμέτρου.
- 1.2 Σταδιακά θερμαίνουμε το δείγμα μέχρι τη μέγιστη δυνατή τιμή και μετράμε ξανά την αντίσταση στη μέγιστη θερμοκρασία.
- 1.3 Απομακρύνουμε την πηγή θερμότητας και, μετρώντας με θερμοζεύγος 5 (μειούμενες) τιμές θερμοκρασίας, καταγράφουμε τις αντίστοιχες τιμές αντίστασης του πυριτίου που δείχνει το πολύμετρο.
- 1.4 Τι παρατηρείτε και γιατί; Σχεδιάστε τη γραφική παράσταση της αντίστασης (R) συναρτήσει της θερμοκρασίας (θ).
- 1.5 Υπάρχει απόκλιση μεταξύ της αναμενόμενης γραφικής παράστασης και αυτής που σχεδιάσατε; Πού οφείλεται;

2. Μέτρηση αντίστασης Μετάλλου

- 2.1 Επαναλαμβάνουμε την παραπάνω διαδικασία για μέτρηση της αντίστασης δείγματος χαλκού.
- 2.2 Τι παρατηρείτε και γιατί; Σχεδιάστε τη γραφική παράσταση $R-\theta$.
- 2.3 Συγκρίνατε την γραφική παράσταση του ερωτήματος 1.5 με αυτή του ερωτήματος 2.2. Τι παρατηρείτε και γιατί;