



ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

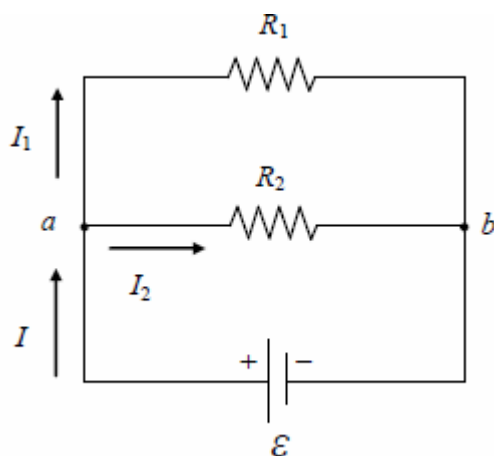
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Εργαστήριο Ηλεκτρομαγνητισμού

Εργαστηριακή Άσκηση 0

Ohm και Kirchhoff



Οι παρακάτω παράγραφοι 1 και 2 είναι απόσπασμα από το βιβλίο “Βασικά Στοιχεία Ηλεκτρομαγνητισμού” του καθηγητή του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων, Δημητρίου Βλάχου.

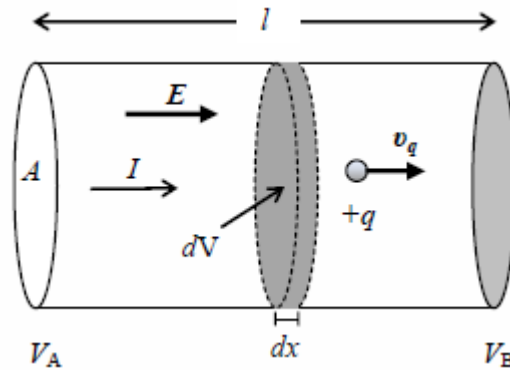
1. Ηλεκτρικό Ρεύμα και αντίσταση

Είδαμε στο μάθημα της θεωρίας ότι, όταν υπάρχει διαφορά δυναμικού σε μια κατεύθυνση του χώρου ή αλλιώς βαθμίδα δυναμικού, σ’ αυτήν την κατεύθυνση δημιουργείται ηλεκτρικό πεδίο \mathbf{E} . Έτσι λοιπόν, με τον ίδιο τρόπο, εάν στα άκρα ενός αγωγού υπάρχει διαφορά δυναμικού, στο εσωτερικό του αγωγού δημιουργείται ηλεκτρικό πεδίο. Τότε, μια ηλεκτρική δύναμη $\mathbf{F}=-e\mathbf{E}$ ασκείται στα ελεύθερα ηλεκτρόνια του αγωγού, η οποία τα επιταχύνει κινώντας τα προς την αντίθετη κατεύθυνση του \mathbf{E} . Γενικότερα, οποιαδήποτε μακροσκοπική και κατευθυνόμενη κίνηση ηλεκτρικού φορτίου από μια περιοχή του χώρου σε μια άλλη, ονομάζεται **ηλεκτρικό ρεύμα**. Ο ρυθμός διέλευσης του φορτίου από μια περιοχή ορίζει την **ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος**, I . Δηλαδή ισχύει

$$I = \frac{dQ}{dt} \quad (6.1)$$

Η μονάδα μέτρησης της έντασης του ρεύματος στο ΔΣΜ είναι το Ampere (A), προς τιμή του Γάλλου φυσικού Andre Marie Ampere (1775- 1836), και ορίζεται ως $1\text{A}=1\text{C/s}$. Η ένταση I του ηλεκτρικού

ρεύματος, παρότι αναπαριστάται σχηματικά πάντα με ένα διάνυσμα, είναι μονόμετρο μέγεθος, διότι δεν υπακούει στις πράξεις των διανυσμάτων. Η φορά του ηλεκτρικού ρεύματος, ορίζεται συμβατικά να είναι η φορά των θετικών φορτίων μέσα σ' ένα ηλεκτρικό πεδίο E , το οποίο δημιουργείται εντός αγωγού από μια διαφορά δυναμικού V_{AB} στα άκρα του, όπως φαίνεται στο σχ. 6.1. Στην πραγματικότητα, τα φορτία που κινούνται είναι τα ελεύθερα ηλεκτρόνια του αγωγού, τα οποία κατευθύνονται πάντα από το χαμηλό δυναμικό V_B στο υψηλό V_A .



Σχήμα 0.1

Η μετακίνηση ενός ελεύθερου ηλεκτρονίου από ένα σημείο σε ένα άλλο, κατά την διαδικασία της ηλεκτρικής φόρτισης ενός σώματος, δημιουργεί αυτόματα μια έλλειψη αρνητικού φορτίου στο αρχικό σημείο, και επομένως μια περίσσεια θετικού φορτίου. Έτσι λοιπόν, η κίνηση των ελευθέρων ηλεκτρονίων διαμέσου ενός μεταλλικού αγωγού προς μια κατεύθυνση, δημιουργεί μια φαινομενική κίνηση θετικών φορτίων (με φορτίο $+e$) προς την αντίθετη κατεύθυνση. Στο σχ. 0.1 φαίνεται η κίνηση αυτών των φαινομενικών θετικών φορτίων, μέσα σ' ένα κυλινδρικό μεταλλικό αγωγό μήκους l και διατομής A . Η κίνηση των θετικών ηλεκτρικών φορτίων, γίνεται πάντα από το άκρο υψηλού δυναμικού V_A προς αυτό του χαμηλού V_B . Αν και στο παρόν κεφάλαιο περιοριζόμαστε σε ηλεκτρικά ρεύματα ελευθέρων ηλεκτρονίων διαμέσου μεταλλικών αγωγών, ηλεκτρικά ρεύματα μπορούν να δημιουργηθούν και από άλλου είδους φορτισμένα σωμάτια όπως είναι τα ιόντα. Ηλεκτρικά ρεύματα δημιουργούνται από κίνηση ιόντων σε δέσμες, σε περιβάλλον κενού με ευρείες εφαρμογές στην τεχνολογία. Επίσης, ηλεκτρικά ρεύματα δημιουργούνται και σε διαλύματα ηλεκτρολυτών, τα οποία αποτελούν αντικείμενο έρευνας στον ειδικό κλάδο της Ηλεκτροχημείας.

Μια φυσική ποσότητα που περιγράφει την διάδοση του ηλεκτρικού ρεύματος διαμέσου ενός αγωγού, είναι η **πυκνότητα του ρεύματος** J , η οποία ορίζεται ως το πηλίκο

$$J = \frac{I}{A} \quad (6.2)$$

όπου A είναι η διατομή από την οποία διέρχεται το ρεύμα έντασης I , (Kraus, 1993), (Knight, 2010), (Halliday, Resnick & Krane, 2009), (Serway & Jewett, 2013). Η μονάδα μέτρησης της πυκνότητας ρεύματός στο ΔΣΜ είναι το $1\text{A}/\text{m}^2$. Η εξ. 6.2 μέσω της 6.1 γίνεται

$$J = \frac{dQ}{Adt} \quad (6.3)$$

Αν θεωρήσουμε ένα στοιχειώδη όγκο dV [19] (γραμμοσκιασμένος δίσκος) στον αγωγό του σχήματος 6.1, το φορτίο που αυτός περιέχει είναι

$$dQ = nqdV \quad (6.4)$$

όπου n είναι η πυκνότητα των κινουμένων φορτίων ανά μονάδα όγκου, και q είναι το στοιχειώδες φορτίο των φορέων (πχ e για ηλεκτρόνια). Η εξ. 6.4 στην 6.3 δίνει

$$J = \frac{nqdV}{Adt} = \frac{nqAdx}{Adt} \Rightarrow J = nqv_q \quad (6.5)$$

όπου θεωρήσαμε τον στοιχειώδη όγκο $dV=Adx$, και την ταχύτητα μετατόπισης των φορέων φορτίου $v_q=dx/dt$. Η πυκνότητα του ρεύματος J είναι διανυσματικό μέγεθος που βάσει της εξίσωσης 6.5 έχει την κατεύθυνση της ταχύτητας των φορέων θετικού φορτίου v_q , η οποία ονομάζεται **ταχύτητα διολίσθησης**.

Όπως προαναφέραμε, η δημιουργία ενός ηλεκτρικού πεδίου E είναι η αιτία της κίνησης ηλεκτρικών φορτίων μέσα σ' ένα αγωγό, η οποία οφείλεται στην διαφορά δυναμικού που υπάρχει μεταξύ των άκρων του αγωγού (βλ. σχ. 6.1). Εάν η διαφορά δυναμικού είναι σταθερή, τότε το ίδιο συμβαίνει και για τα E και J . Για πολλά υλικά υπάρχει μια γραμμική σχέση μεταξύ των δυο αυτών διανυσματικών φυσικών ποσοτήτων, η οποία είναι

$$J = \sigma E \quad (6.6)$$

όπου η σταθερά αναλογίας σ ονομάζεται **αγωγιμότητα** του υλικού, και είναι ανεξάρτητη των ποσοτήτων J και E . Κάθε υλικό στη Φύση που ικανοποιεί την εξ. 6.6 έχει μια χαρακτηριστική τιμή αγωγιμότητας. Η εξ. 6.6 ονομάζεται νόμος του Ohm προς τιμή του Γερμανού φυσικού George Simon Ohm (1789- 1854), ο οποίος πρώτος ανακάλυψε αυτή την σχέση. Δηλαδή ο **νόμος του Ohm** ορίζει ότι η πυκνότητα ρεύματος σε ένα υλικό, είναι γραμμικώς ανάλογη της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου που υπάρχει μέσα σ' αυτό (Grant & Phillips, 1975), (Young & Freedman, 2010), (Serway & Jewett, 2013). Τα υλικά για τα οποία ισχύει ο νόμος του Ohm ονομάζονται **ωμικά υλικά**, τα οποία κυρίως είναι όλα τα μέταλλα σε σταθερή θερμοκρασία.



George Simon Ohm
(1789-1854)

(https://en.wikipedia.org/wiki/George_Ohm#/media/File:Georg_Simon_Ohm3.jpg). Το παρόν έργο αποτελεί κοινό κτήμα (public domain).

Θεωρώντας τον μεταλλικό αγωγό του σχήματος 0.1, μπορούμε να γράψουμε για την διαφορά δυναμικού $V = V_{AB}$ στα άκρα του αγωγού

$$V = El \Rightarrow E = \frac{V}{l} \quad (6.7)$$

Η εξ. 6.6 από την 6.7 δίνει

$$J = \sigma \frac{V}{l} \quad (6.8)$$

Όμως από τον ορισμό της πυκνότητας ρεύματος της εξίσωσης 6.2, και την εξ. 6.8 παίρνουμε

$$\frac{I}{A} = \sigma \frac{V}{l} \Rightarrow V = \frac{l}{\sigma A} I \quad (6.9)$$

ή αλλιώς

$$V = RI \quad (6.10)$$

όπου

$$R = \frac{l}{\sigma A} \quad (6.11)$$

Η ποσότητα R ονομάζεται **ωμική αντίσταση** του αγωγού, ή απλώς **αντίσταση**. Βάσει της εξίσωσης 6.10, η ωμική αντίσταση γράφεται

$$R = \frac{V}{I} \quad (6.12)$$

Η εξ. 6.12 είναι μια διαφορετική έκφραση του νόμου του Ohm (εξ. 6.6). Όσο μεγαλύτερη διαφορά δυναμικού εφαρμόζεται στα άκρα ενός αγωγού, τόσο μεγαλύτερο ρεύμα διαρρέει τον αγωγό. Έτσι για τα ωμικά υλικά, υπάρχει μια γραμμική σχέση μεταξύ εντάσεως ρεύματος I και τάσης V , η οποία αναπαριστάται στο σχ. 6.2. Η κλίση της ευθείας είναι το αντίστροφο της αντίστασης R . Η μονάδα μέτρησης της αντίστασης στο ΔΣΜ είναι το 1 Ohm (Ω), όπου $1\Omega = 1V/A$. Δηλαδή όταν στα άκρα ενός αγωγού εφαρμοστεί διαφορά δυναμικού 1 V ώστε να παραχθεί ρεύμα 1 A, τότε η αντίσταση του αγωγού είναι 1 Ω . Προσέξτε ότι η αντίσταση δεν εξαρτάται από τις τιμές των I και V .

Μία άλλη φυσική ποσότητα που εκφράζει την αντίσταση ενός υλικού στην διέλευση ηλεκτρικού φορτίου, είναι η **ειδική αντίσταση** ρ , η οποία ορίζεται ως το αντίστροφο μέγεθος της αγωγιμότητας, δηλ.

$$\rho = \frac{l}{\sigma} \quad (6.13)$$

(Lobkowicz & Melissinos, 1975), (Knight, 2010), (Serway & Jewett, 2013). Από τον ορισμό της ειδικής αντίστασης ρ , η αντίσταση R βάσει της εξίσωσης 6.11 γράφεται

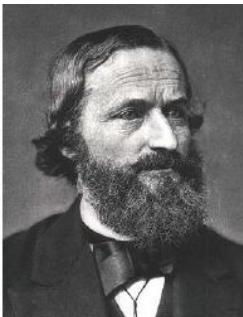
$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (6.14)$$

(Sears, 1951), (Αλεξόπουλος & Μαρίνος, 1992), (Halliday, Resnick & Krane, 2009), (Giancoli, 2012). Έτσι λοιπόν η αντίσταση R ενός αγωγού εξαρτάται όχι μόνο από το υλικό του και την ειδική του αντίσταση ρ , αλλά και από τα γεωμετρικά του στοιχεία (μήκος, πλάτος και ύψος). Κάθε υλικό έχει μια χαρακτηριστική τιμή ειδικής αντίστασης, η οποία εξαρτάται τόσο από την φύση του υλικού, όσο και από την θερμοκρασία του. Στο ΔΣΜ η ειδική αντίσταση μετράται σε $\Omega \cdot m$. Δεν πρέπει να συγχέουμε την ειδική αντίσταση με την αντίσταση. Είναι ανάλογες αλλά διαφορετικές φυσικές ποσότητες. Έτσι, ενώ η ειδική αντίσταση είναι ιδιότητα του υλικού από το οποίο είναι κατασκευασμένο ένα σώμα, η αντίσταση του σώματος είναι ιδιότητα του συγκεκριμένου σώματος. Γενικότερα, διαφορετικά σώματα ως προς το σχήμα και το μέγεθος, αλλά του ίδιου υλικού, έχουν την ίδια ειδική αντίσταση ρ , αλλά διαφορετική αντίσταση R .

Κάθε υλικό σώμα που παρουσιάζει ωμική αντίσταση R ονομάζεται **αντιστάτης**. Οι αντιστάτες χρησιμοποιούνται στα ηλεκτρικά κυκλώματα και τις ηλεκτρονικές διατάξεις, κυρίως για έλεγχο της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος. Οι αντιστάτες παρουσιάζουν αντιστάσεις οι οποίες κυμαίνονται μεταξύ πολλών τάξεων μεγέθους, από δέκατα του Ohm έως εκατομμύρια Ohm. Η αντίσταση ενός αντιστάτη μετράται με ειδικό όργανο το οποίο ονομάζεται **ωμόμετρο**. Επίσης, η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος μετράται με όργανο το οποίο ονομάζεται **αμπερόμετρο**, ενώ η ηλεκτρική τάση μετράται με αντίστοιχο όργανο που ονομάζεται **βολτόμετρο**. Συνήθως και τα τρία αυτά όργανα μέτρησης, αντίστασης, ρεύματος και τάσης αντιστοίχως, ενσωματώνονται σε ένα σύνθετο όργανο το οποίο είναι γνωστό ως **πολύμετρο**. Το πολύμετρο είναι απαραίτητο όργανο σε ηλεκτρολόγους, ηλεκτρονικούς, φυσικούς και άλλους επιστήμονες.

2. Κανόνες του Kirchhoff

Για την μελέτη των ηλεκτρικών κυκλωμάτων χρησιμοποιούμε δυο πολύ χρήσιμους κανόνες, οι οποίοι είναι γνωστοί ως **κανόνες του Kirchhoff** (Sears, 1951), (Lobkowicz & Melissinos, 1975), (Kraus, 1993), (Αλεξόπουλος & Μαρίνος, 1992), (Knight, 2010), (Serway & Jewett, 2013). Οι κανόνες εισήχθησαν από τον Γερμανό φυσικό Gustav Robert Kirchhoff (1824–1887), ο οποίος μελέτησε τα ηλεκτρικά κυκλώματα. Για να περιγράψουμε τους κανόνες του Kirchhoff (Κίρκοφ) πρέπει να ορίσουμε δύο έννοιες των ηλεκτρικών κυκλωμάτων, τους ηλεκτρικούς κόμβους και τους ηλεκτρικούς βρόχους. Έτσι **ηλεκτρικός κόμβος** ενός κυκλώματος είναι οποιοδήποτε σημείο του κυκλώματος, στο οποίο το ηλεκτρικό ρεύμα ή γενικότερα τα ρεύματα διακλαδίζονται ή συνενώνονται. Επίσης όπως αναφέραμε στην αρχή του κεφαλαίου, **ηλεκτρικός βρόχος** ονομάζεται κάθε κλειστή αγωγίμη διαδρομή σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα. Ακολουθεί η περιγραφή των κανόνων Kirchhoff.



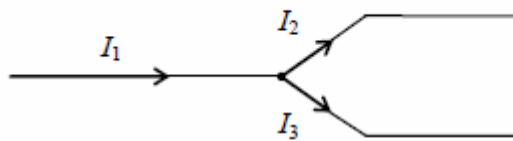
Gustav Robert Kirchhoff
(1824–1887)

https://en.wikipedia.org/wiki/Gustav_Kirchhoff#/media/File:Gustav_Robert_Kirchhoff.jpg.
Το παρόν έργο αποτελεί κοινό κτήμα (public domain).

Πρώτος κανόνας του Kirchhoff ή κανόνας των κόμβων: Το άθροισμα των ρευμάτων που συρρέουν προς ένα κόμβο, ισούται με το άθροισμα των ρευμάτων που απομακρύνονται από αυτόν, δηλ.

$$\sum_i I_i = 0 \quad (7.12)$$

Ο κανόνας των κόμβων είναι αποτέλεσμα του νόμου διατήρησης του φορτίου. Δηλαδή, όση ποσότητα φορτίου καταφθάνει σε έναν κόμβο, τόση ποσότητα πρέπει και να απομακρύνεται. Οι εντάσεις των ρευμάτων που εισέρχονται στον κόμβο θεωρούνται θετικές, και αυτές των ρευμάτων που απομακρύνονται από τον κόμβο αρνητικές. Παράδειγμα ηλεκτρικού κόμβου φαίνεται στο σχ. 7.10, όπου καταφθάνει ρεύμα I_1 και απομακρύνονται τα ρεύματα I_2 και I_3 . Σύμφωνα με τον πρώτο κανόνα του Kirchhoff, ισχύει $I_1 = I_2 + I_3$.



Σχήμα 7.10 Κόμβος ηλεκτρικού κυκλώματος διαρρέομενος από ρεύμα $I_1 = I_2 + I_3$.

Δεύτερος κανόνας του Kirchhoff ή κανόνας των βρόχων: Το αλγεβρικό άθροισμα των διαφορών δυναμικού όλων των στοιχείων κατά μήκος οποιουδήποτε κλειστού βρόχου, είναι μηδέν. Ισχύει δηλ.

$$\sum_i \Delta V_i = 0 \quad (7.13)$$

Ο κανόνας των βρόχων στηρίζεται στην διατήρηση της ενέργειας, και στο γεγονός ότι το ηλεκτροστατικό πεδίο είναι ένα διατηρητικό πεδίο (βλ. κεφάλαιο 4). Δηλαδή ένα φορτίο καταλήγει στο δυναμικό του σημείου από το οποίο ξεκινά, διότι την ενέργεια που κερδίζει στην πηγή ΗΕΔ, την χάνει όταν διαπερνά τις αντιστάσεις. Για την εφαρμογή του νόμου των βρόχων εφαρμόζουμε για τα πρόσημα των διαφορών ηλεκτρικού δυναμικού, ή αλλιώς τάσεων κατά μήκος του βρόχου, τις εξής συμβάσεις:

1) Όταν διατρέχουμε μια αντίσταση R κατά την διεύθυνση του ρεύματος I , τότε η μεταβολή του δυναμικού είναι $-IR$, ενώ όταν την διατρέχουμε αντίθετα είναι IR , (θυμηθείτε ότι κατά μήκος της αντίστασης που διαρρέεται από ρεύμα, συμβαίνει πτώση τάσης, $\Delta V < 0$).

2) Όταν διατρέχουμε μια πηγή ΗΕΔ κατά την κατεύθυνση από τον αρνητικό (-) στον θετικό (+) πόλο, τότε η τάση της θεωρείται θετική, ενώ στην αντίθετη περίπτωση αρνητική.

Σκοπός μας με την εφαρμογή των κανόνων του Kirchhoff είναι να γράψουμε τόσες εξισώσεις, όσοι και οι άγνωστοι του προβλήματος. Σημειώστε ότι για να εφαρμόσουμε τον κανόνα των βρόχων, θα πρέπει να θεωρήσουμε την φορά του ρεύματος που διαρρέει την κάθε αντίσταση του βρόχου. Σε κάποιες περιπτώσεις αυτό είναι εύκολο, αφού μπορούμε να σημειώσουμε την σωστή φορά από την πολικότητα της πηγής ΗΕΔ που υπάρχει στον υπό μελέτη βρόχο. Αν αυτό δεν είναι εφικτό, μπορούμε να ορίσουμε την φορά τυχαίως, αρκεί να μην παραβιάζεται σε κάποιον κόμβο ο πρώτος κανόνας του Kirchhoff. Εάν η

τιμή του ρεύματος σε έναν αντιστάτη ευρεθεί μετά από υπολογισμούς αρνητική, αυτό σημαίνει ότι η φορά που αρχικώς διαλέξαμε είναι αντίθετη της πραγματικής.

3. Πειραματική Διαδικασία

Όργανα:

Κουτί με αντιστάσεις

Καλώδια

Πολύμετρο χειρός

DC Τροφοδοτικό πάγκου

Χαρτί και μολύβι

Υπολογιστής τσέπης (calculator)

Smartphone, ή Tablet/Laptop με πρόσβαση στο internet

Θα τα βρείτε στον εργαστηριακό πάγκο

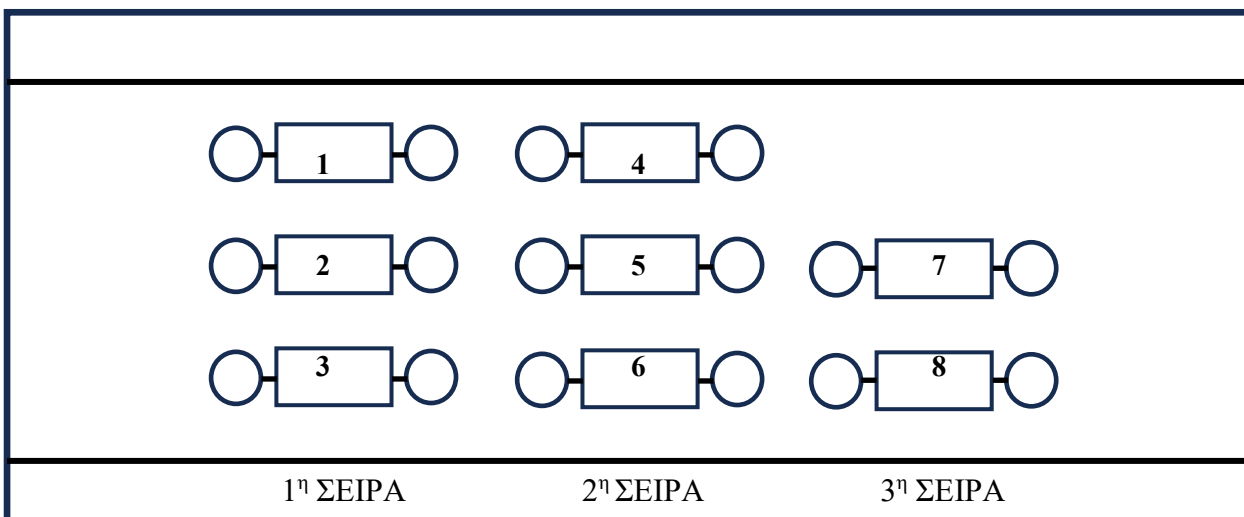
Θα τα φέρετε από το σπίτι σας

Οδηγίες Προετοιμασίας: Ετοιμάστε μία σελίδα χαρτί γράφοντας στην κορυφή της σελίδας τα εξής: Ημερομηνία, αριθμός ομάδας, ονοματεπώνυμα μελών ομάδας αλφαβητικά. Ορίστε κάποιον από την ομάδα που κάνει καλά γράμματα να γράφει τις μετρήσεις σας σε αυτό το χαρτί. Όταν ολοκληρώσετε το εργαστήριο, ένας σπουδαστής από την ομάδα σας, θα στείλει αυτό το χαρτί σε ψηφιακή μορφή της αρεσκείας σας στο e-class. Θυμηθείτε ότι στο e-class ανεβάζουμε μόνο ένα αρχείο την φορά διότι αν ανεβάσετε και δεύτερο θα αντικαταστήσει το πρώτο. Ως εκ τούτου αν έχετε πάνω από μία σελίδα να στείλετε, είτε θα τις κάνετε ένα ενιαίο αρχείο .pdf, είτε θα συμπιέσετε τα jpeg σε ένα και μοναδικό αρχείο .zip ή .rar.

Το όνομα του αρχείου θα είναι ως εξής : Ομάδα XX-Αριθμός μητρώου αποστολέα, όπου XX ο αριθμός της ομάδας σας και μετά ακολουθεί ο αριθμός μητρώου του σπουδαστή της ομάδας που ανέβασε το αρχείο.

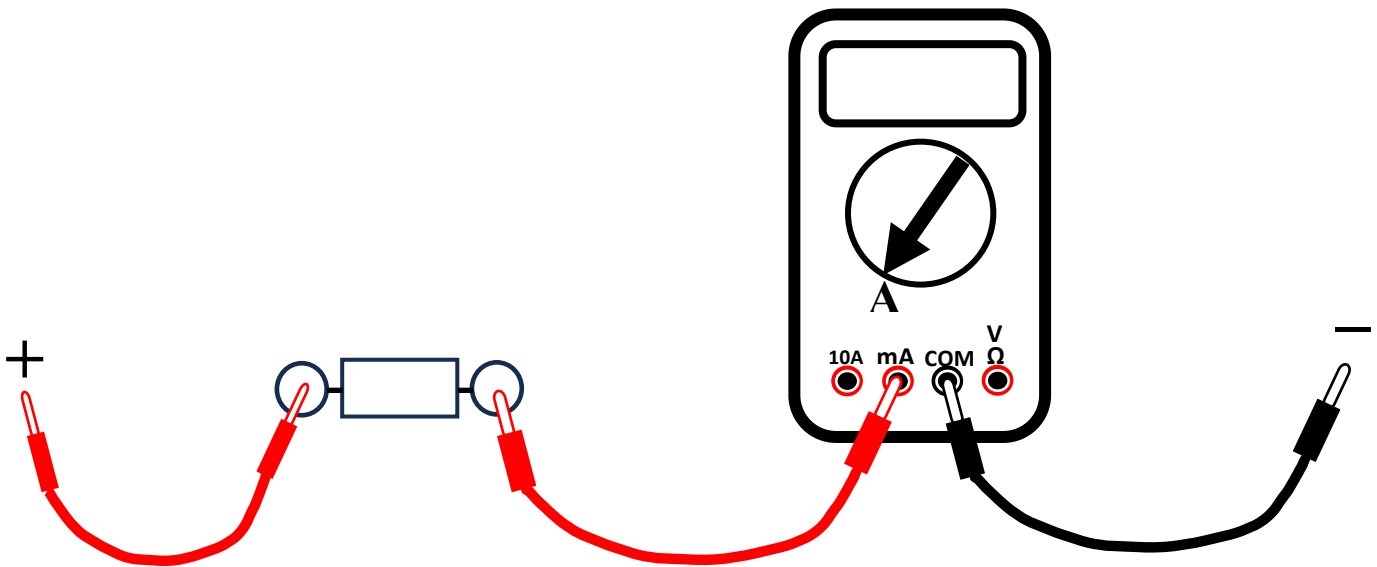
3.1 Νόμος του Ohm

α) Μετρήστε με το πολύμετρο τις οκτώ (8) αντιστάσεις και γράψτε τις τιμές τους στο χαρτί σας



ως εξής: 1 – (τιμή αντίστασης), 2- (τιμή αντίστασης), 3- (τιμή αντίστασης), κ.ο.κ

β) Επιλέξτε την μεγαλύτερη αντίσταση από τις οκτώ (8) και συνδέστε τη σε σειρά με αυτήν το πολύμετρο, ρυθμισμένο για μέτρηση ρεύματος.



γ) Φωνάξτε τον διδάσκοντα του εργαστηρίου ώστε να ελέγξει το κύκλωμα σας.

ΠΡΟΣΟΧΗ !!!! Μην προχωρήσετε στο επόμενο βήμα αν δεν ελέγξει ο διδάσκοντας το κύκλωμα σας.

δ) Ρυθμίστε το DC τροφοδοτικό για τάση i) 2.5 και ii) 5V και συνδέστε το στα άκρα + και – του κυκλώματός σας. Καταγράψτε την τιμή του ρεύματος σε κάθε περίπτωση

ε) Χρησιμοποιείτε τον Νόμο του Ohm για να επιβεβαιώσετε την τιμή της ωμικής αντίστασης που χρησιμοποιήσατε. Γράψτε καθαρά στο χαρτί σας τους υπολογισμούς σας ώστε να φαίνονται όλες οι πράξεις. Αναφέρετε και την % απόκλιση από την θεωρητική τιμή του νόμου του Ohm.

ζ) Επαναλάβετε την ίδια διαδικασία όπως παραπάνω και για την δεύτερη μεγαλύτερη αντίσταση

3.2 Κανόνες των Τάσεων του Kirchhoff

α) Συνδέστε σε σειρά 3 παρόμοιες σε τιμή αντιστάσεις από το κουτί.

β) Τροφοδοτήστε το σε σειρά δικτύωμα των αντιστάσεων με τάση 12 V DC.

γ) Μετρήστε με το πολύμετρο την πτώση τάσης στα άκρα κάθε αντίστασης.

δ) Αποδείξτε τον κανόνα των τάσεων από τις μετρήσεις σας

ε) Καταγράψτε στο χαρτί σας την απόδειξη, είτε με σχήμα και τιμές τάσεων, αντιστάσεων κλπ.

ζ) Υπολογίστε την % απόκλιση από τη θεωρητική τιμή

η) Επαναλάβετε τα βήματα α-ε για 3 αντιστάσεις εκ των οποίων χρησιμοποιήσατε οπωσδήποτε μια μικρή και μια μεγάλη αντίσταση από το κουτί. Παρατηρήστε και σχολιάστε τη διαφορά στην πτώση τάσης όταν έχουμε μικρές και μεγάλες αντιστάσεις.

4. Καταχώρηση αποτελεσμάτων.

Όταν ολοκληρωθεί ο χρόνος του εργαστηρίου κάποιος από την ομάδα σας θα ανεβάσει τα ψηφιοποιημένα αποτελέσματα και από την άσκηση, στο e-class στην κατηγορία «Εργασίες» επιλέγοντας τον σύνδεσμο με τίτλο « Καταχώρηση Αποτελεσμάτων Ομάδων Α/Β Εργαστηρίου Ηλεκτρομαγνητισμού - Ohm και Kirchhoff»