



ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ & ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΝΙΚΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΤΕΧΝΙΑΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ

Σ. ΜΑΝΕΣΗ

Β. ΚΟΥΤΣΟΝΙΚΟΥ

Χ. ΡΑΦΑΗΛΙΔΟΥ

ΠΑΤΡΑ 2002

ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΕΝΤΟΣ ΤΟΥ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ

Εισαγωγή

Είναι περισσότερο σημαντικό ακόμη και από την σωστή σύνδεση των κυκλωμάτων και την πραγματοποίηση ακριβών μετρήσεων, να εκτελέσετε τις εργαστηριακές ασκήσεις με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ασφάλεια. Για να εκτιμήσει κανείς την αξία της επιδιωκόμενης ασφάλειας πρέπει να ξέρει τα χαρακτηριστικά του κινδύνου και τα αποτελέσματα ενός ενδεχόμενου ηλεκτρικού σοκ. Αυτά θα αναφερθούν στην συνέχεια και επιπλέον θα υπογραμμισθούν οι πιο σημαντικοί κανόνες ασφαλείας που πρέπει να τηρείτε πάντα στο εργαστήριο.

Πότε προκαλείται θάνατος από ηλεκτροπληξία

Πολλοί θεωρούν εσφαλμένα ότι ένα ηλεκτρικό σοκ από 10.000 Volts είναι πιο επικίνδυνο από ένα αντίστοιχο των 100 Volts. Το πραγματικό αίτιο για ένα θανατηφόρο ηλεκτρικό σοκ είναι το ηλεκτρικό ρεύμα και επομένως το πραγματικό μέτρο της σοβαρότητας του ηλεκτρικού σοκ είναι το μέγεθος της έντασης του ρεύματος που περνά μέσα από το ανθρώπινο σώμα. Η χρονική διάρκεια που κρατά η δίοδος του ρεύματος από το ανθρώπινο σώμα επηρεάζει επίσης τις επιπτώσεις.

Ένταση ρεύματος άνω των 10 mA μπορεί να προκαλέσει πόνο ή δυνατό τίναγμα.

Ένταση ρεύματος άνω των 100 mA είναι θανατηφόρα.

Η διέλευση ρεύματος από το ανθρώπινο σώμα επί μεγάλο χρονικό διάστημα ή ρεύματος μεγάλης έντασης προκαλεί εγκαύματα διαφόρων βαθμών. Η βιολογική επίδραση που έχει το ηλεκτρικό ρεύμα εξαρτάται από τη φύση του. Το εναλλασσόμενο ρεύμα προκαλεί συσπάσεις των μυών και νευρικά σοκ. Το συνεχές ρεύμα προκαλεί ηλεκτρολυτική διάσπαση των φυσιολογικών υγρών του σώματος. Οι υψηλές τάσεις προκαλούν σχεδόν πάντοτε ανακοπή καρδιάς και εσωτερικά εγκαύματα.

Η ένταση του ρεύματος που διαρρέει το ανθρώπινο σώμα εξαρτάται όχι μόνο από την τάση αλλά και από την αντίσταση του σώματος μεταξύ των σημείων επαφής. Η αντίσταση του σώματος ποικίλει εξαρτώμενη από το είδος της επαφής με τον ρευματοφόρο αγωγό (έντονη ή απαλή επαφή) και από την κατάσταση της επιδερμίδας. Η συνολική αντίσταση του σώματος μπορεί να είναι μικρή της τάξης του 1KΩ για υγρό δέρμα ή μεγάλη της τάξης των 100 KΩ για ξηρό δέρμα.

Τάση 50 V μπορεί να είναι εξίσου θανατηφόρα όπως 500 ή 5.000 V.

Ενέργειες σε περίπτωση ηλεκτροπληξίας

Σε περίπτωση ηλεκτροπληξίας διακόψτε αμέσως την τάση τροφοδοσίας και απομακρύνετε το θύμα χωρίς να διακινδυνεύσετε οι ίδιοι.

Εάν ο διακόπτης δεν είναι εύκολα προσιτός, χρησιμοποιήστε κάποιο μονωτικό υλικό (ύφασμα, ξύλο κλπ.) για να απομακρύνετε το θύμα.

Η αντίσταση μεταξύ των σημείων επαφής του σώματος του θύματος μειώνεται με τον χρόνο, πράγμα που σημαίνει ότι κάθε καθυστέρηση είναι κρίσιμη.

Εάν το θύμα είναι αναισθητο αρχίστε αμέσως τεχνητή αναπνοή. Μην σταματήσετε την προσπάθεια έως ότου έλθει γιατρός. Έχει συμβεί να χρειασθούν 8 ώρες συνεχούς τεχνητής αναπνοής για να σωθεί ένας ασθενής. Ακόμη και αν δεν υπάρχει σφυγμός ή εμφανίζεται μία κατάσταση παρόμοια με την ακαμψία θανάτου δεν σημαίνει ότι το θύμα υπέκυψε.

Οκτώ Κανόνες Ασφαλείας

1. Πρέπει πάντα να υπάρχουν τουλάχιστον τρία άτομα στο εργαστήριο, ώστε σε περίπτωση ατυχήματος, το ένα να βοηθήσει το θύμα και το άλλο να ζητήσει πρόσθετη βοήθεια.
2. Μη χειρίζεστε ποτέ ηλεκτρικές συσκευές με βρεγμένα χέρια.
3. Μην στέκεστε πατώντας σε μεταλλικές επιφάνειες ή σε υγρό έδαφος. Διατηρείτε τα παπούτσια σας στεγνά.
4. Όταν τα κυκλώματα είναι υπό τάση και οι διάφορες συσκευές σε λειτουργία οι κινήσεις σας να είναι σταθερές και να μην ενεργείτε απότομα για οποιοδήποτε λόγο.
5. Να ελέγχετε αν τα όργανα και οι συσκευές ισχύος που συνδέονται με την τάση των 220 V είναι γειωμένα μέσω τριπολικού καλωδίου και φιν τύπου σούκο.
6. Πριν αρχίσετε την πειραματική εργασία ελέγξτε τις συνδεσμολογίες και αν είναι απαραίτητο καλέστε τον υπεύθυνο της άσκησης.
7. Σε περίπτωση βλάβης στο κύκλωμα ή τις χρησιμοποιούμενες συσκευές, διακόψτε την τάση και καλέστε τον υπεύθυνο.
8. Μετά το τέλος της άσκησης διακόψτε την τάση και αποσυνδέστε τα κυκλώματα.

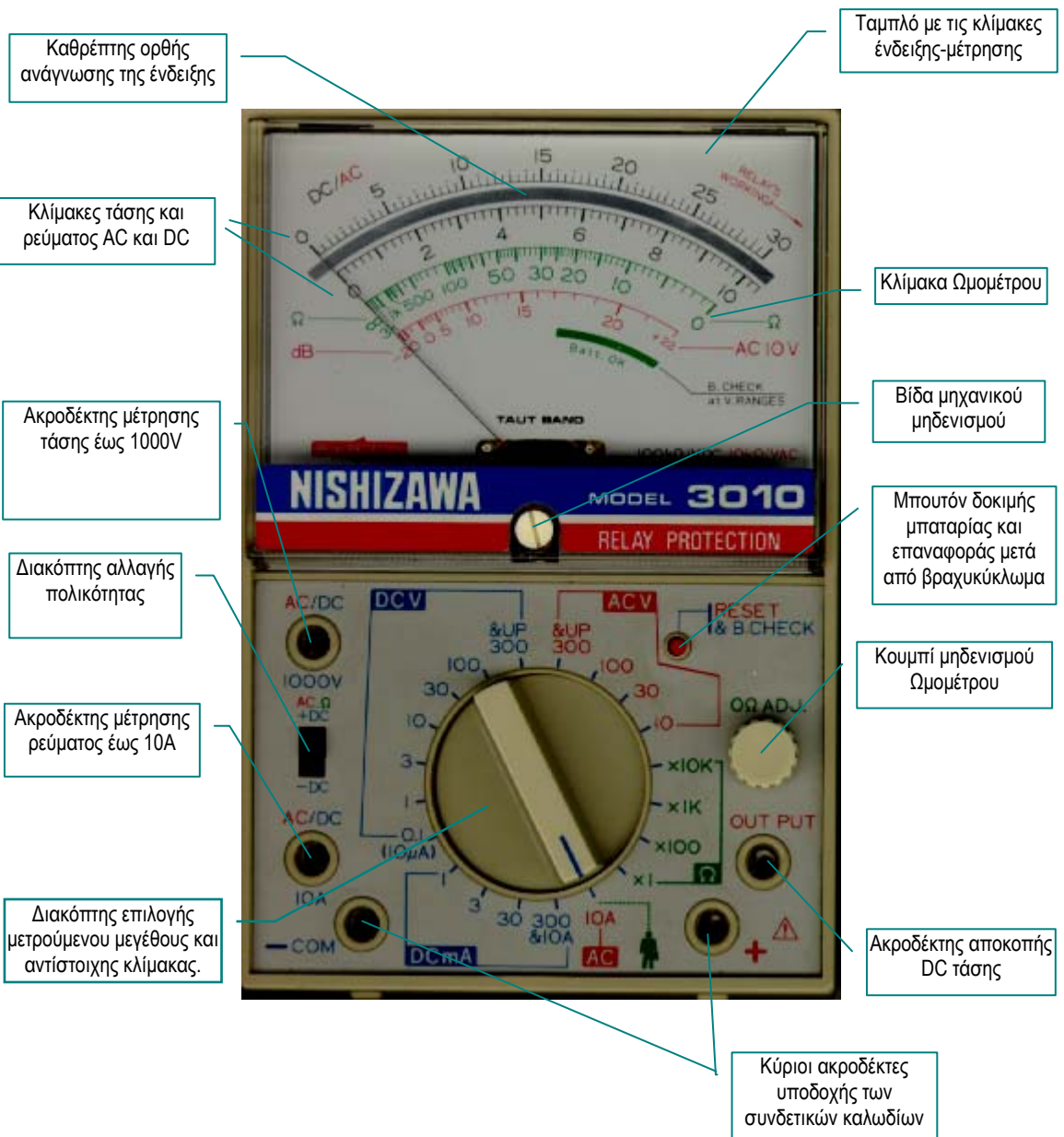
ΠΟΛΥΜΕΤΡΟ

ΟΔΗΓΙΕΣ ΧΡΗΣΗΣ



Το πολύμετρο είναι ένα πολλαπλό όργανο - Ωμόμετρο, Αμπερόμετρο και Βολτόμετρο - με το οποίο μπορείτε να μετρήσετε αντίστοιχα ηλεκτρικά μεγέθη όπως

1. Αντίσταση
2. Ρεύμα συνεχές και εναλλασσόμενο
3. Τάση συνεχή και εναλλασσόμενη



Γενικά

Κάθε όργανο μέτρησης σχεδιάζεται από τον κατασκευαστή του έτσι ώστε να παρέχει ασφάλεια στον χρήστη. Όμως, κανένας σχεδιασμός δεν μπορεί να σας προφυλάξει απόλυτα από μία κακή χρήση του πολυμέτρου και το ενδεχόμενο να υποστείτε ένα ηλεκτρικό σοκ. Τα ηλεκτρικά κυκλώματα μπορεί να είναι επικίνδυνα ή και θανατηφόρα όταν υπάρχει έλλειψη προσοχής και δεν ακολουθούνται ορισμένοι πρακτικοί κανόνες ασφαλείας.



- Πριν συνδέσετε το πολύμετρο σ' ένα κύκλωμα βεβαιωθείτε ότι το κύκλωμα δεν είναι υπό τάση.



- Πριν κάνετε οποιαδήποτε μέτρηση ελέγξτε δύο φορές τη θέση του επιλογικού διακόπτη κλίμακας (ότι η θέση του αντιστοιχεί στο μέγεθος που θέλετε να μετρήσετε) και τη σύνδεση των ακροδεκτών του πολυμέτρου.



- Πριν αλλάξετε θέση στον επιλογικό διακόπτη αποσυνδέστε το πολύμετρο από το κύκλωμα ή θέστε το τελευταίο εκτός τάσης.



- Όταν το πολύμετρο είναι Ωμόμετρο, δηλαδή ο επιλογικός διακόπτης κλίμακας είναι σε μία από τις κλίμακες των Ωμ, μην το συνδέετε ποτέ σε κύκλωμα που είναι υπό τάση.

Οδηγίες Χρήσης

1. Πριν κάνετε οποιαδήποτε μέτρηση, βεβαιωθείτε ότι η βελόνα δείχνει το μηδέν στα αριστερά της κλίμακας 0-30 ή 0-10 **DC/AC**. Αν όχι, περιστρέψτε τη βίδα μηχανικού μηδενισμού μέχρι να πετύχετε μηδενική ένδειξη.
2. Ορθή ανάγνωση της ένδειξης πετυχαίνεται όταν δεν βλέπετε το είδωλο της βελόνας στο λεπτό καθρέπτη που υπάρχει μεταξύ των κλιμάκων.
3. Αν η τιμή της τάσης ή του ρεύματος που θέλετε να μετρήσετε είναι άγνωστη, τοποθετήστε τον επιλογικό διακόπτη κλίμακας στη μεγαλύτερη κλίμακα για να αποφύγετε την υπερφόρτωση του πολυμέτρου. Από την μεγαλύτερη κλίμακα και εφ' όσον δεν παίρνετε ικανοποιητική ένδειξη μέτρησης (μικρή απόκλιση της βελόνας) μεταβείτε σε μικρότερη κλίμακα μέχρι να έχετε μία μετρήσιμη ένδειξη.
4. Για τις περισσότερες από τις μετρήσεις τα συνδετικά καλώδια συνδέονται το μαύρο στην υποδοχή “-COM” και το κόκκινο στην υποδοχή “+”. Μόνο για τις μετρήσεις ακραίων τιμών όπως τάσης μέχρι 1000V και ρεύματος μέχρι 10A, το κόκκινο καλώδιο συνδέεται στις αντίστοιχες υποδοχές.



5. Τα ελεύθερα άκρα των συνδετικών καλωδίων συνδέονται στο προς μέτρηση κύκλωμα είτε παράλληλα για την μέτρηση τάσης είτε σε σειρά για την μέτρηση ρεύματος όπως φαίνεται στις αντίστοιχες εικόνες.



Μέτρηση Τάσης

Τα άκρα των καλωδίων συνδέονται στα άκρα του στοιχείου του οποίου την τάση θέλουμε να μετρήσουμε (παράλληλη σύνδεση).



Μέτρηση Ρεύματος

Το κύκλωμα «αποκόπτεται» στο σημείο στο οποίο περνά το προς μέτρηση ρεύμα και στα δημιουργούμενα άκρα συνδέονται τα άκρα των καλωδίων (παρεμβολή σε σειρά).

6. Όταν κατά την μέτρηση συνεχούς τάσης ή ρεύματος η βελόνα αποκλίνει προς την αντίθετη κατεύθυνση εκτός κλίμακας, τότε αντιστρέψτε τα συνδετικά καλώδια ή αλλάξτε θέση στον διακόπτη πολικότητας.
7. Ο αριθμός που υπάρχει στη θέση που έχει τοποθετηθεί ο επιλογικός διακόπτης κλίμακας καθορίζει το πραγματικό μέγιστο της κλίμακας ένδειξης που θα χρησιμοποιήσετε ανεξάρτητα από το είδος της μέτρησης.

Παράδειγμα: Επιλογικός διακόπτης κλίμακας στη θέση 100 της περιοχής DCV. Διευκολύνει να χρησιμοποιήσετε ως κλίμακα ένδειξης την 0-10 της οποίας όμως το πραγματικό μέγιστο είναι 100 και άρα κάθε ένδειξη που θα πάρετε πρέπει να πολλαπλασιαστεί επί 10.

Αν χρησιμοποιήσετε ως κλίμακα ένδειξης την 0-30 τότε το μέγιστό της είναι πάλι 100 (για την ίδια θέση του επιλογικού διακόπτη) και η ένδειξη θα πρέπει να πολλαπλασιαστεί επί 100/30 ώστε να πάρετε την ίδια μέτρηση.

Μέτρηση Αντιστάσεων

1. Τοποθετήστε τον επιλογικό διακόπτη κλίμακας σε μία από τις κλίμακες των Ωμ.
2. Τοποθετήστε τον διακόπτη πολικότητας στη θέση AC Ω +DC.
3. Με τα συνδετικά καλώδια συνδεδεμένα στους κύριους ακροδέκτες του πολυμέτρου (-COM και +), βραχυκυκλώστε τα ελεύθερα άκρα αυτών.
4. Παρατηρήστε την ένδειξη του οργάνου. Θα πρέπει να δείχνει μηδέν στην κλίμακα των Ωμ. Αν αυτό δεν συμβαίνει, προσπαθήστε να το πετύχετε περιστρέφοντας το κουμπί μηδενισμού ωμομέτρου μέχρι να πάρετε ένδειξη μηδέν. Αν κάτι τέτοιο είναι αδύνατο τότε πρέπει να αλλαχθεί η μπαταρία του ωμομέτρου.



Για τη μέτρηση αντιστάσεων το όργανο διαθέτει εσωτερικές μπαταρίες που δίνουν την απαιτούμενη τάση.

Γι' αυτό κάθε μέτρηση αντίστασης πρέπει να γίνεται χωρίς τάση στο κύκλωμα. Πριν μετρήσετε αντίσταση αποσυνδέστε από την τάση της πηγής οποιοδήποτε αντιστάτη ή κύκλωμα που πρόκειται να μετρήσετε.

5. Συνδέστε τους ακροδέκτες στα άκρα της αντίστασης που θέλετε να μετρήσετε.
6. Διαβάστε την ένδειξη στην κλίμακα των Ωμ και πολλαπλασιάστε την ένδειξη με τον συντελεστή πολλαπλασιασμού που αναγράφεται στη θέση που έχετε τοποθετήσει τον επιλογικό διακόπτη κλίμακας. Το αποτέλεσμα είναι η τιμή της αντίστασης σε Ωμ.



Ο ακροδέκτης αποκοπής DC τάσης χρησιμοποιείται όταν θέλουμε να μετρήσουμε AC τάση που φέρει και DC συνιστώσα.

ΑΣΚΗΣΗ 201

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΑΣΗΣ, ΕΝΤΑΣΗΣ, ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ

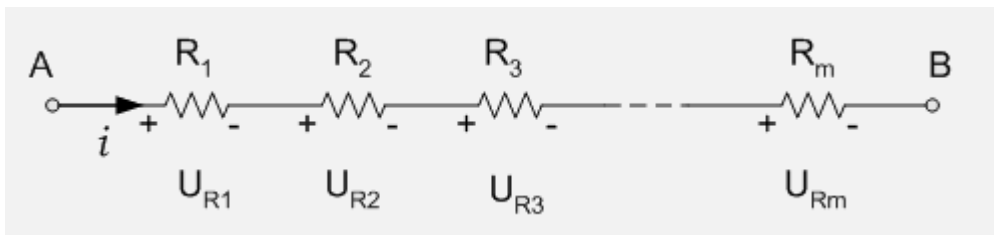
Αντικείμενο της άσκησης αυτής είναι να μετρήσετε

- Αντιστάσεις με το πολύμετρο ως ωμόμετρο
- Τάσεις και Εντάσεις σε κυκλώματα συνεχούς ρεύματος με το πολύμετρο απ' ευθείας ως βολτόμετρο ή αμπερόμετρο αντίστοιχα
- Αντιστάσεις έμμεσα με τη μέτρηση της τάσης και της έντασης ρεύματος

θ

Ηλεκτρικό Κύκλωμα είναι μία αλληλοσύνδεση στοιχείων όπως αντιστάσεις, πυκνωτές, πηνία, δίοδοι, τρανζίστορς, μετασχηματιστές κλπ.

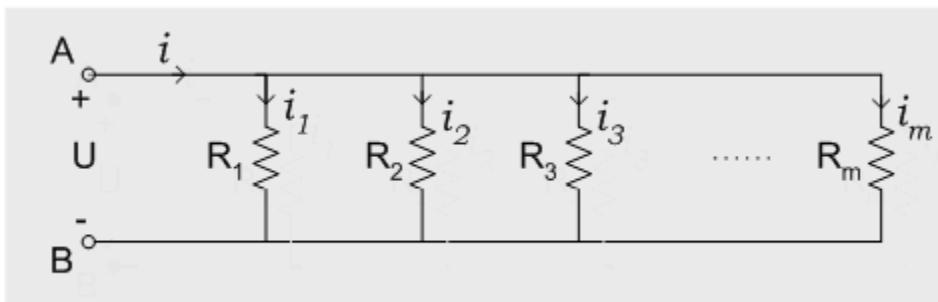
Κύκλωμα συνδεσμολογίας σειράς



$$R_{O\Lambda} = R_1 + R_2 + \dots + R_m$$

$$U_{AB} = U_{R1} + U_{R2} + \dots + U_{Rm} = i \cdot R_{O\Lambda}$$

Κύκλωμα παράλληλης συνδεσμολογίας





$$G_{\text{ολ}} = G_1 + G_2 + \dots + G_m \quad R_{\text{ολ}} = \frac{1}{G_{\text{ολ}}} = \frac{1}{\sum_{i=1}^m G_i} \quad \frac{1}{R_{\text{ολ}}} = \sum_{i=1}^m \frac{1}{R_i}$$

$$i_1 + i_2 + i_3 + \dots + i_m = i \quad \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_m} \right) \cdot U = i$$

Κύκλωμα μικτής συνδεσμολογίας

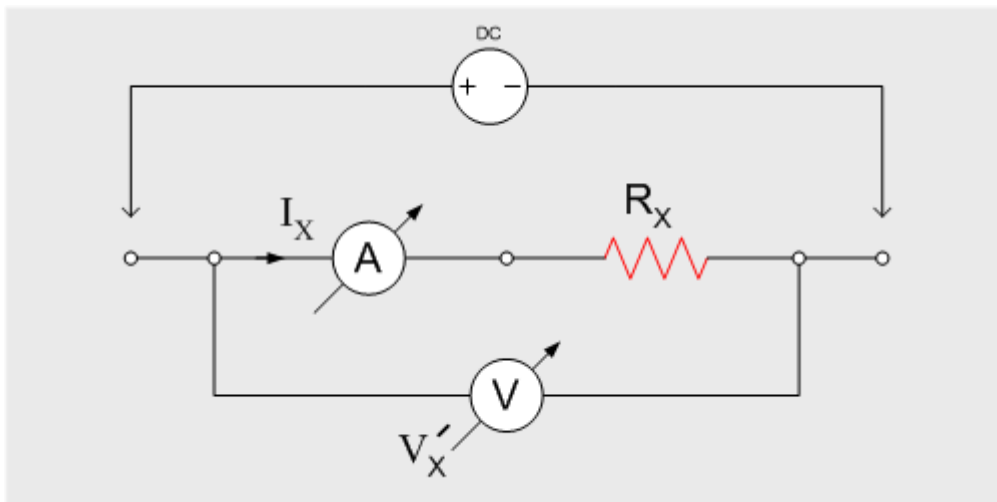
Αποτελεί συνδυασμό της παράλληλης συνδεσμολογίας και της συνδεσμολογίας σειράς.

Η μέτρηση της τιμής μιας αντίστασης μπορεί να πραγματοποιηθεί με διάφορες μεθόδους. Μπορεί να μετρηθεί απ' ευθείας με ωμόμετρο, απ' ευθείας με γέφυρες Wheatstone ή Thomson, έμμεσα με μέτρηση της τάσης και της έντασης (Νόμος του Ohm), με αντιστάθμιση, με σύγκριση προς γνωστές τάσεις και εντάσεις κ.α.

Στην άσκηση θα εφαρμόσετε μόνο τις μεθόδους που αναφέρονται στο αντικείμενο της άσκησης.

Υπάρχουν δύο διατάξεις (ηλεκτρικές συνδεσμολογίες) μέτρησης αντίστασης με βολτόμετρο και αμπερόμετρο. Και στις δύο διατάξεις υπεισέρχεται σφάλμα μέτρησης που είναι διαφορετικό για κάθε μία.

1^η Διάταξη. “Το Αμπερόμετρο εντός του Βολτομέτρου”

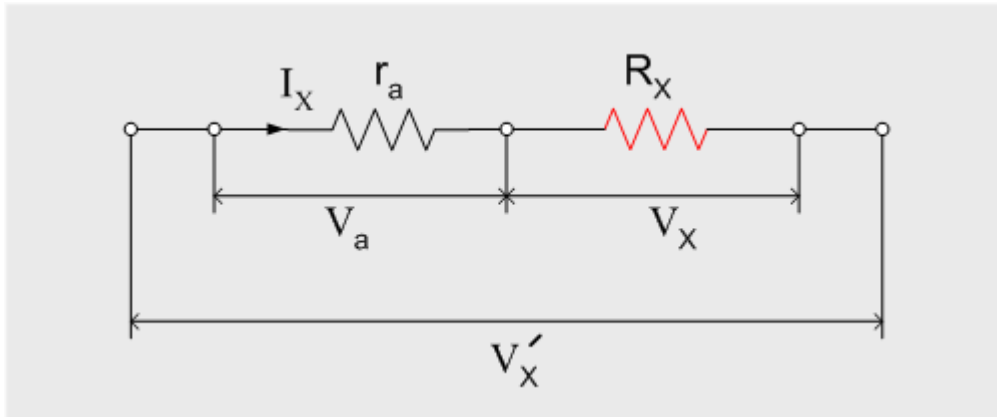


Αν R_X είναι η προς μέτρηση αντίσταση και η όλη διάταξη του σχήματος συνδεθεί με μία πηγή τάσης, τότε το αμπερόμετρο θα δείξει μία ένδειξη I_X και το βολτόμετρο μία ένδειξη V'_X . Αν οι δύο ενδείξεις τεθούν στην εξίσωση $R_X = V'_X / I_X$ τότε το αποτέλεσμα



θα είναι εσφαλμένο, διότι το βολτόμετρο μετρά την πτώση τάσης όχι μόνο στην R_X αλλά και στην εσωτερική αντίσταση του αμπερομέτρου, έστω r_a .

Το ισοδύναμο κύκλωμα της πιο πάνω διάταξης έχει ως εξής:



$$R'_X = r_a + R_X \quad (1)$$

$$R'_X = \frac{V'_X}{I_X} \quad (2)$$

$$R_X = \frac{V'_X}{I_X} - r_a \quad (3)$$

Με τη σχέση (3), την τιμή της εσωτερικής αντίστασης του αμπερομέτρου και τις ενδείξεις V'_X , I_X των οργάνων μέτρησης βρίσκουμε την άγνωστη αντίσταση R_X .

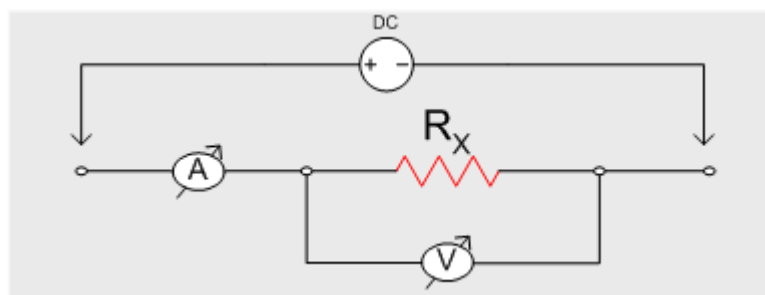


Αν δεν αφαιρεθεί η r_a στη σχέση (3) θα έχουμε σχετικό σφάλμα μέτρησης

$$\Sigma\chi.\Sigma\phi. = \frac{|R'_X - R_X|}{R_X} = \frac{R_X + r_a - R_X}{R_X} = \frac{r_a}{R_X} \quad (4)$$

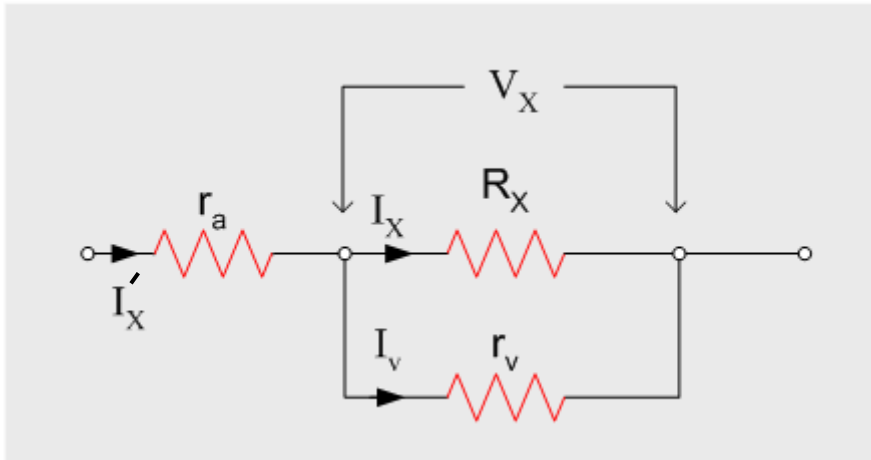
Αν πρόκειται να μετρήσουμε αντίσταση της τάξης π.χ. των 1000 Ω και θέλουμε το σχετικό σφάλμα μέτρησης να είναι μικρότερο του 1%, τότε πρέπει να χρησιμοποιήσουμε αμπερόμετρο με $r_a \leq 10 \Omega$.

2^η Διάταξη. “Το Αμπερόμετρο εκτός του Βολτομέτρου”





Το ισοδύναμο κύκλωμα της 2^{ης} συνδεσμολογίας είναι,



Το αμπερόμετρο δεν μετράει μόνο το ρεύμα που διέρχεται από την R_X αλλά και αυτό από την αντίσταση r_v του βολτομέτρου. Αν οι δύο ενδείξεις V_X , I'_X τεθούν στην εξίσωση $R_X = V_X / I_X$ τότε το αποτέλεσμα θα είναι εσφαλμένο.

$$R_X = \frac{V_X}{I_X} \quad (5) \quad \left. \vphantom{R_X} \right\} \boxed{R_X = \frac{V_X}{I'_X - \frac{V_X}{r_v}}} \quad (9)$$

$$I'_X = I_X + I_v \quad (6) \quad \left. \vphantom{I'_X} \right\} I'_X = I_X + \frac{V_X}{r_v} \Rightarrow I_X = I'_X - \frac{V_X}{r_v} \quad (8)$$

$$I_v = \frac{V_X}{r_v} \quad (7)$$

Με τη σχέση (9), την τιμή της εσωτερικής αντίστασης του βολτομέτρου και τις ενδείξεις V_X , I'_X των οργάνων μέτρησης βρίσκουμε την άγνωστη αντίσταση R_X .



Για το σχετικό σφάλμα μέτρησης θα έχουμε,

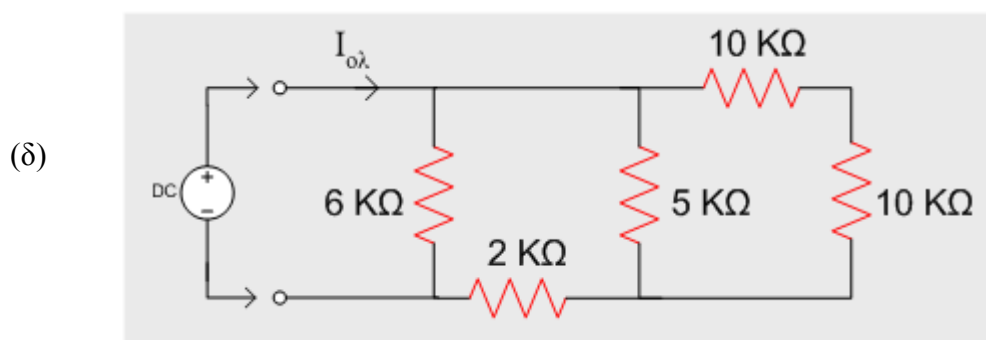
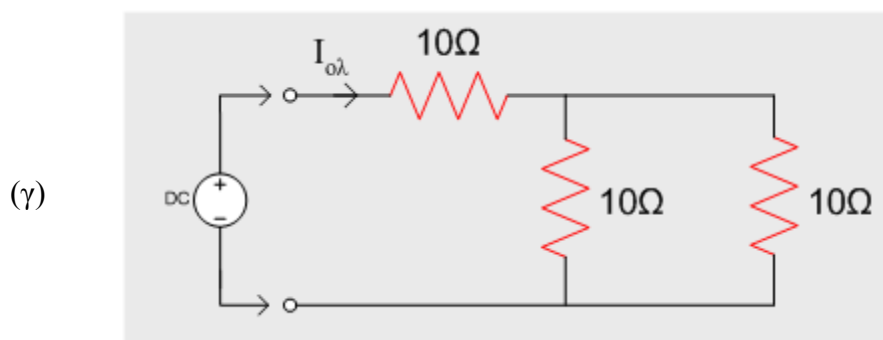
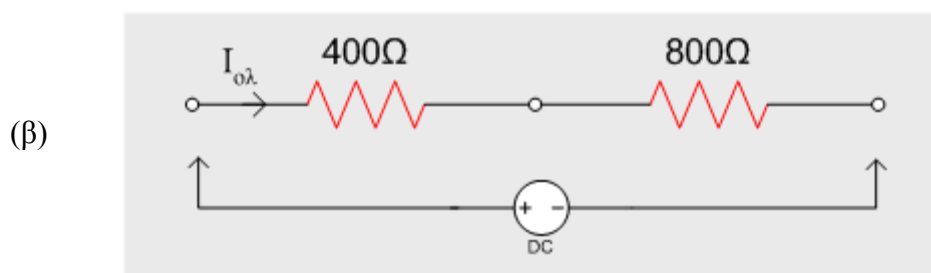
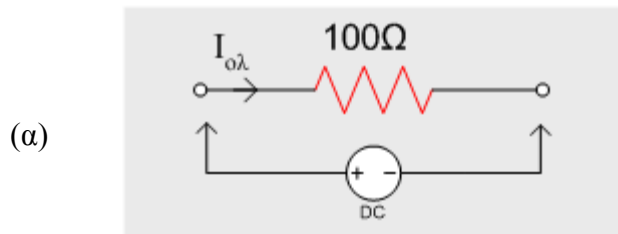
$$\Sigma\chi.\Sigma\phi. = \frac{|R'_X - R_X|}{R_X} = \frac{\left| \frac{V_X}{I'_X} - R_X \right|}{R_X} = \frac{\left| I'_X \frac{R_X r_v}{R_X + r_v} \frac{1}{I'_X} - R_X \right|}{R_X} = \left| \frac{r_v}{R_X + r_v} - 1 \right| = \frac{R_X}{R_X + r_v} \quad (10)$$

Αν πρόκειται να μετρήσουμε αντίσταση της τάξης π.χ. των 10 Ω και θέλουμε το σχετικό σφάλμα μέτρησης να είναι μικρότερο του 1%, τότε πρέπει να χρησιμοποιήσουμε βολτόμετρο με $r_v \geq 990 \Omega$.



Πειραματική Διάταξη - Μετρήσεις

Οι συνδεσμολογίες αντιστάσεων στις οποίες θα πραγματοποιήσετε μετρήσεις φαίνονται πιο κάτω,



Μετρήσεις

1. Μετρήστε 6 αντιστάσεις απ' ευθείας με το ωμόμετρο.

2. Για τα κυκλώματα α,β,γ,δ α) μετρήστε την συνολική αντίσταση αυτών με το ωμόμετρο β) για τάση πηγής 6V μετρήστε το $I_{ολ}$ και υπολογίστε την συνολική αντίσταση από το νόμο του Ohm.



3. Για το κύκλωμα β και για τάση πηγής 6 V, μετρήστε την συνολική αντίσταση με τους 2 τρόπους σύνδεσης των οργάνων.

Επεξεργασία Μετρήσεων



1. Να δοθούν τα αποτελέσματα των μετρήσεων σε πίνακα.

2. Να υπολογισθεί το σχετικό σφάλμα μέτρησης στις συνδεσμολογίες α έως δ.

Η αντίσταση που μετρήσατε με το ωμόμετρο να θεωρηθεί πραγματική

3. Λαμβάνοντας υπ' όψη ότι οι πραγματικές τιμές των αντιστάσεων είναι αυτές που αναγράφονται στα κιβώτια δεκαδικών αντιστάσεων, να υπολογισθεί το σχετικό σφάλμα μέτρησης των αντιστάσεων εισόδου των κυκλωμάτων α έως δ, λαμβάνοντας σαν πειραματικές τιμές αυτές που μετρήσατε με το ωμόμετρο.

4. Για το κύκλωμα β υπολογίστε το σχετικό σφάλμα μέτρησης για τους δύο τρόπους σύνδεσης των οργάνων.

Η αντίσταση που μετρήσατε με το ωμόμετρο να θεωρηθεί πραγματική

5. Έχετε προς μέτρηση μία αντίσταση 100Ω. Αν χρησιμοποιήσετε τη 1^η διάταξη μέτρησης αντίστασης με βολτόμετρο και αμπερόμετρο και προκειμένου να έχετε σχετικό σφάλμα μέτρησης μικρότερο του 0,5%, ποια πρέπει να είναι η εσωτερική αντίσταση του ωμομέτρου που θα χρησιμοποιήσετε;

Ομοίως, αν χρησιμοποιήσετε τη 2^η διάταξη μέτρησης και είναι επιθυμητό το σχετικό σφάλμα μέτρησης να είναι μικρότερο του 0,0015% ποια πρέπει να είναι η εσωτερική αντίσταση του βολτομέτρου θα χρησιμοποιήσετε;

Για τον υπολογισμό του σφάλματος χρησιμοποιήστε

τον τύπο $\Sigma\chi.\Sigma\phi. = \frac{|R_{\omega\mu\omicron\mu} - R_{\upsilon\pi\omicron\lambda}|}{R_{\omega\mu\omicron\mu}}$