

# **ΑΣΚΗΣΗ 3<sup>η</sup>**

*Ηλεκτρικά Όργανα*

Μελέτη – ανασύνθεση: Δ. Δημητριάδης, Ε. Παλούρα



## ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΟΡΓΑΝΑ

### Σκοπός της άσκησης

Εξοικείωση με απλά όργανα μέτρησης ηλεκτρικών μεγεθών, μεθοδολογίες μέτρησης και διερεύνηση των ενδογενών των μεθόδων - περιορισμών που καθορίζουν τις περιοχές εφαρμογής τους.

### Θεωρητική Εισαγωγή

Τα όργανα που χρησιμοποιούνται ευρύτατα στο εργαστήριο για την μέτρηση ηλεκτρικών μεγεθών (ένταση ρεύματος, διαφορά δυναμικού, τιμές αντιστάσεων) είναι το αμπερόμετρο, το βολτόμετρο, το γαλβανόμετρο, ο παλμογράφος και το καταγραφικό όργανο. Ενώ τα τρία πρώτα είναι εξειδικευμένα όργανα, το τελευταίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την καταγραφή των μεταβολών διαφορετικών φυσικών μεγεθών των οποίων η απόκριση - έξοδος μπορεί να δοθεί υπό την μορφή μεταβολών διαφοράς δυναμικού.

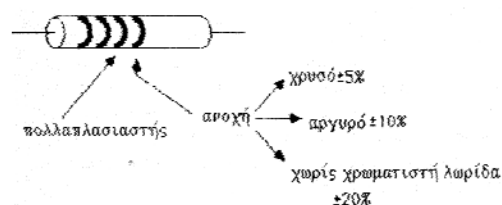
Για την κατασκευή ηλεκτρικών κυκλωμάτων χρησιμοποιούμε επίσης : αντιστάσεις σταθερής ή μεταβλητής τιμής αντί στασης (ρυθμιστικές αντιστάσεις σύρματος με κινητό δρομέα, κιβώτια αντιστάσεων), ροοστατικά κυκλώματα (ρυθμίζουν την ένταση του ρεύματος που περνά από ένα κύκλωμα), ποτενσιομετρικές διατάξεις (ρυθμίζουν την διαφορά δυναμικού που εφαρμόζεται μεταξύ δυο σημείων δεδομένου κυκλώματος), πυκνωτές και πηνία.

## 1 Στοιχεία ηλεκτρικών κυκλωμάτων

### 1.1 Αντιστάσεις με σταθερή τιμή

Χαρακτηρίζονται από την τιμή της αντίστασης και την τιμή της ισχύος που μπορεί να καταναλώσουν χωρίς να αλλοιωθούν. Έτσι, στα συνήθη κυκλώματα έχουμε αντιστάσεις από μερικά Ohm μέχρι MΩ. Η ισχύς τους μεταβάλλεται από 18 Watt μέχρι 1/8 Watt. Η τιμή της αντίστασης ενός στοιχείου απεικονίζεται επάνω στο στοιχείο με ένα κώδικα, δηλαδή μία σειρά χρωματιστών λωρίδων, και μετρείται σε Ohm. Οι λωρίδες αυτές ζωγραφίζονται με βάση τον παρακάτω χρωματικό κώδικα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1:

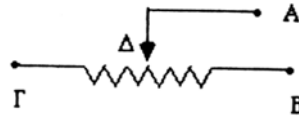
Χρώμα	1 <sup>ο</sup> ψηφίο	2 <sup>ο</sup> ψηφίο	πολλαπλασιαστής
Αργυρό			$10^{-2}$
Χρυσό			$10^{-1}$
Μαύρο		0	$10^0$
Καφέ	1	1	$10^1$
Κόκκινο	2	2	$10^2$
Πορτοκαλί	3	3	$10^3$
Κίτρινο	4	4	$10^4$
Πράσινο	5	5	$10^5$
Μπλε	6	6	$10^6$
Μωβ	7	7	$10^7$
Γκρι	8	8	$10^8$
Λευκό	9	9	$10^9$



Σχήμα 1: Αντιστάτες με σταθερή τιμή και ο χρωματικός κώδικας

## 1.2 Μεταβλητές αντιστάσεις

Οι ρυθμιστικές αντιστάσεις με κινητό δρομέα αποτελούνται από μία αντίσταση σύρματος που είναι τυλιγμένη επάνω σ' ένα μονωτικό κύλινδρο, ένα μεταλλικό δρομέα που διατηρεί συνεχώς επαφή με την αντίσταση σ' όλο το μήκος της διαδρομής του, μία μεταλλική ράβδος από όπου εξαρτάται ο δρομέας και τρεις ακροδέκτες (Σχήμα 2). Αν συνδέσουμε στο κύκλωμα την αντίσταση με τους ακροδέκτες Β, Γ, τότε παρεμβάλλουμε ολόκληρη την αντίσταση  $R_{B\Gamma}$ . Αν συνδέσουμε στους ακροδέκτες Α, Β τότε παρεμβάλλουμε την αντίσταση, ενώ αν συνδέσουμε στους Α, Γ παρεμβάλλουμε την αντίσταση  $R_{\Gamma AA}$ . Το κύκλωμα αυτό λοιπόν επιτρέπει την συνεχή μεταβολή της τιμής της αντίστασης που παρεμβάλλεται σ' ένα κύκλωμα, από 0 έως την μέγιστη τιμή της Ρυθμιστικής αντίστασης  $R_{B\Gamma}$

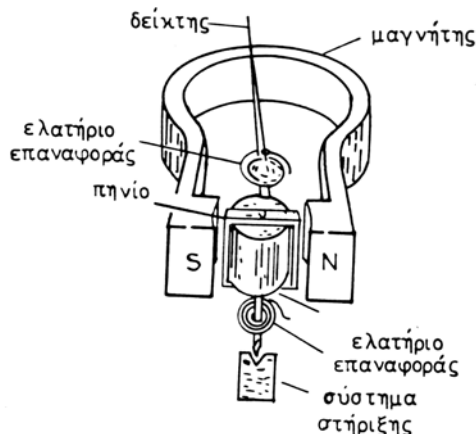


Σχήμα 2: Σχηματικό διάγραμμα ρυθμιστικής αντίστασης

Στο εργαστήριο, εκτός από τις ρυθμιστικές αντιστάσεις σύρματος θα χρησιμοποιηθούν ευρέως και δεκαδικά κιβώτια αντιστάσεων (βηματικές μεταβλητές αντιστάσεις) με περιστρεφόμενους διακόπτες. Το χαρακτηριστικό αυτών των αντιστάσεων είναι ότι η τιμή της αντίστασης  $R$  δεν μεταβάλλεται συνεχώς αλλά με βήματα, π.χ. των  $1 \Omega$ ,  $10 \Omega$ ,  $100 \Omega$  κ.λ.π.

## 2. Όργανα μετρήσεων

Τα περισσότερα κοινά όργανα μέτρησης έντασης ρεύματος ( $I$ ) και διαφοράς δυναμικού ( $V$ ) χρησιμοποιούν τον μηχανισμό D' Arsonval, που ονομάστηκε έτσι προς τιμήν του εφευρέτη του. Το σύστημα αυτό φαίνεται στο Σχήμα 3. Μεταξύ των πόλων ενός πεταλοειδούς μαγνήτη βρίσκεται ένας κύλινδρος από σίδηρο, που σκοπό έχει τη δημιουργία ενός ομογενούς ακτινικού πεδίου στο ενδιάμεσο κενό χώρο (μεταξύ των πόλων του μαγνήτη και του κυλίνδρου). Ένα πηνίο από λεπτό αγωγίμο σύρμα είναι τυλιγμένο πάνω σ' ένα ελαφρό μεταλλικό πλαίσιο και μπορεί να περιστρέφεται γύρω από ένα κατακόρυφο άξονα στο διάκενο μεταξύ των πόλων του μαγνήτη και του κυλίνδρου.



Σχήμα 3: Ο μηχανισμός D' Arsonval

Όταν έχουμε ένα βρόγχο ρεύματος σε ομογενές μαγνητικό πεδίο, εξασκείται επάνω του μία ροπή. Στην προκειμένη περίπτωση η συμμετρία του μαγνητικού πεδίου είναι ακτινική και η ροπή

$\tau$  που ασκείται στο πηνίο δίνεται από την σχέση  $\tau = NIAB$ , όπου  $N$  ο αριθμός των σπειρών του πηνίου,  $I$  η ένταση του ρεύματος που διαρρέει το πηνίο,  $A$  η επιφάνεια της κάθε σπείρας και  $B$  η ένταση του μαγνητικού πεδίου.

Τα σπειροειδή ελατήρια που είναι στερεωμένα στο επάνω και κάτω μέρος του πηνίου δημιουργούν μία αντίθετη μηχανική ροπή με αποτέλεσμα μία σταθερή εκτροπή του πλαισίου η οποία προσδιορίζεται από την σχέση:

$$K\phi = NIAB \quad \text{ή} \quad I = \frac{K\phi}{NAB} \quad (2.1)$$

όπου  $\phi$  η γωνία εκτροπής. Η εκτροπή δείχνεται από ένα δείκτη ο οποίος είναι στερεωμένος στο πλαίσιο και κινείται κατά μήκος μίας βαθμολογημένης κλίμακας. Οι ποσότητες  $N$ ,  $A$ ,  $B$ ,  $K$  είναι σταθερές για κάθε συγκεκριμένο όργανο και συνεπώς η ένταση του ρεύματος είναι απ' ευθείας ανάλογη με τη γωνία εκτροπής. Ο δείκτης θα διαγράφει ίσα τόξα για ίσες μεταβολές ρεύματος και επομένως οι υποδιαίρέσεις της κλίμακας θα έχουν ίση απόσταση μεταξύ τους. Για την μέγιστη γωνία εκτροπής  $\phi_{\max}$  η ένταση του ρεύματος θα είναι μέγιστη και ίση προς :

$$I_{\max} = \frac{K\phi_{\max}}{NAB} \quad (2.2)$$

Ο κινητός μηχανισμός του συστήματος D'Arsonval στηρίζεται σ' ένα ρουμπίνι με μία υποδοχή σχήματος V, παρόμοια με τα συστήματα που χρησιμοποιούνται στα μηχανικά ρολόγια. Αν και το κινούμενο μέρος σχεδιάζεται έτσι ώστε να έχει ελάχιστο βάρος, η πολύ μικρή επιφάνεια επαφής του άξονα με την υποδοχή έχει σαν αποτέλεσμα πιέσεις της τάξης των 1000 ατμοσφαιρών. Επιταχύνσεις από χτύπημα ή πτώση του οργάνου μπορούν να δημιουργήσουν πιέσεις αυτού του μεγέθους με αποτέλεσμα το στράβωμα του άξονα. **Προσοχή λοιπόν, απρόσεκτος χειρισμός των οργάνων μπορεί να τα καταστρέψει.**

Τα όργανα που θα χρησιμοποιηθούν στο εργαστήριο είναι αναλογικά και στηρίζονται στον μηχανισμό D' Arsonval. Θα έπρεπε όμως να σημειωθεί ότι εκτός των αναλογικών οργάνων (με δείκτη) υπάρχουν και τα ψηφιακά όργανα στα οποία η ένδειξη σχηματίζεται με την βοήθεια απαριθμητικού μηχανισμού.

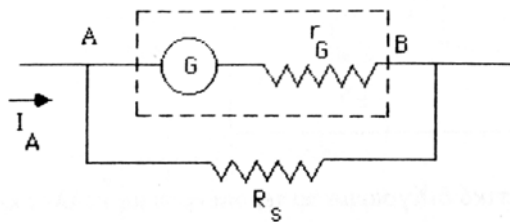
## 2.1 Γαλβανόμετρο

Ένα απλό γαλβανόμετρο (**G**) αποτελείται από τον μηχανισμό D' Arsonval και από μία κλίμακα με το μηδέν στο μέσον της. Η κλίμακα δεν είναι βαθμολογημένη σε μονάδες ρεύματος αλλά συνήθως σε μονάδες γωνίας η αυθαίρετες μονάδες. Τα γαλβανόμετρα χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση διέλευσης ρεύματος από ένα κύκλωμα. Όταν το όργανο διαρρέεται από συνεχές ρεύμα ο δείκτης του κινείται προς τη μία ή την άλλη πλευρά του μηδενός, ανάλογα με την φορά του ρεύματος. Εκτός από την ένδειξη του ρεύματος σ' ένα κύκλωμα, το γαλβανόμετρο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την μέτρηση **I** ή **V**, αν βέβαια είναι γνωστή η ευαισθησία του στις αντιστοιχες ποσότητες.

Αν ένα γαλβανόμετρο συνδεθεί με μία πηγή εναλλασσόμενου ρεύματος, ο δείκτης του δεν θα μετακινηθεί. Αν και δημιουργείται ροπή στο πηνίο, η ροπή αλλάζει φορά καθώς η τάση της πηγής γίνεται από θετική αρνητική. Επειδή η ροπή αδράνειας του κινουμένου συστήματος είναι αρκετά μεγάλη, δεν μπορεί να ακολουθήσει τις μεταβολές της τάσης, εκτός εάν η συχνότητα είναι πολύ μικρή. Επομένως, είναι δυνατό να καταστρέψουμε ένα γαλβανόμετρο συνδέοντας το με μία πηγή εναλλασσόμενου ρεύματος, χωρίς καν να δούμε απόκλιση του δείκτη. **Άρα, το γαλβανόμετρο μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνον σε κυκλώματα συνεχούς ρεύματος.**

## 2.2 Αμπερόμετρο

Όπως αναφέραμε προηγουμένως, το γαλβανόμετρο μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την μέτρηση εντάσεως ρεύματος ( $I$ ). Για να είναι όμως το όργανο ευαίσθητο (μεγάλη απόκλιση του δείκτη για μικρό ρεύμα) πρέπει το πηνίο του να έχει πολλές σπείρες και μικρή μάζα, δηλαδή, να αποτελείται από σύρμα μικρής διατομής. Το λεπτό όμως σύρμα περιορίζει το μέγιστο ρεύμα που μπορεί να περάσει από το πηνίο χωρίς να το καταστρέψει. Για να μετρήσουμε μεγαλύτερα ρεύματα χρησιμοποιούμε το αμπερόμετρο το οποίο είναι ένα γαλβανόμετρο παράλληλα προς το οποίο έχει συνδεθεί μια αντίσταση  $R_S$  (σχήμα 4). Έτσι, μικρό μόνο μέρος του ρεύματος περνά μέσα από το γαλβανόμετρο (εσωτερικής αντίστασης  $r_G$ ) ενώ το μεγαλύτερο μέρος του ρεύματος περνά μέσα από την διακλάδωση με την πρόσθετη εξωτερική, προστατευτική αντίσταση  $R_S$  (shunt). Με τον τρόπο αυτό αυξάνεται η περιοχή μέτρησης του οργάνου χωρίς να μειωθεί η ευαισθησία του.



Σχήμα 4: Βασικό κύκλωμα αμπερομέτρου

Αν θεωρήσουμε ότι  $I_A$  είναι το ολικό ρεύμα που διαρρέει το κύκλωμα, τότε το ρεύμα  $I_S$  που περνάει μέσα από τη διακλάδωση  $R_S$  δίνεται από τη σχέση

$$I_S = I_G \left( \frac{r_G}{R_S} \right),$$

όπου  $I_G$  το ρεύμα που περνάει μέσα από το γαλβανόμετρο και  $r_G$  η εσωτερική αντίσταση του γαλβανόμετρου. Το ολικό ρεύμα  $I_A$  που περνάει μέσα από το αμπερόμετρο θα είναι ίσο με :

$$I_A = I_S + I_G = I_G \left( 1 + \frac{r_G}{R_S} \right) \quad (\text{II.3})$$

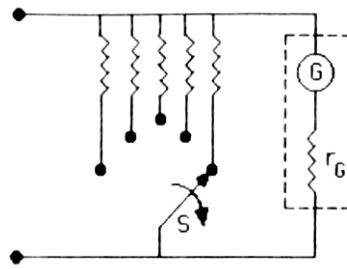
και η μέγιστη τιμή του  $I_A^{\max}$  καθορίζεται από τη μέγιστη τιμή του ρεύματος  $I_G^{\max}$  που μπορεί να περάσει μέσα από το γαλβανόμετρο. Επομένως,

$$I_A^{\max} = I_G^{\max} \left( 1 + \frac{r_G}{R_S} \right) \Rightarrow \quad (\text{II.4})$$

$$\Rightarrow R_S = \frac{I_G^{\max} r_G}{I_A^{\max} - I_G^{\max}} \quad (\text{II.5})$$

Δηλαδή, διαλέγοντας την κατάλληλη τιμή της  $R_S$ , καθορίζουμε την μέγιστη τιμή του ρεύματος που μπορεί να περάσει από το αμπερόμετρο και επομένως την κλίμακα του οργάνου. Στο Σχήμα 5 φαίνεται το σχηματικό διάγραμμα ενός αμπερομέτρου με πολλές κλίμακες.

Το αμπερόμετρο συνδέεται εν σειρά με τα άλλα στοιχεία του κυκλώματος με αποτέλεσμα να αυξάνει την αντίσταση του κυκλώματος. Στην ιδανική περίπτωση η εσωτερική του αντίσταση θα έπρεπε να είναι μηδέν.



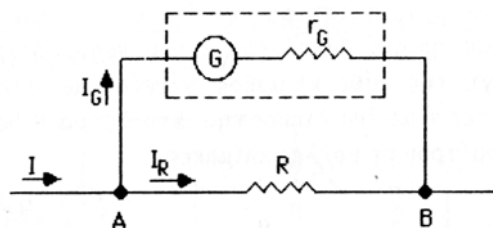
**Σχήμα 5:** Σχηματικό διάγραμμα αμπερομέτρου με πολλές κλίμακες

Στην επιλογή και χρήση του αμπερομέτρου πρέπει να προσέχετε τα ακόλουθα:

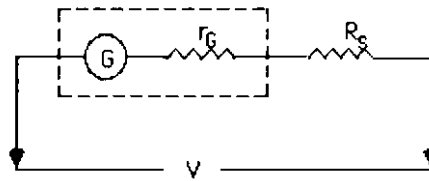
1. Ποτέ μην συνδέετε το αμπερόμετρο απ' ευθείας στα άκρα μίας πηγής. Επειδή η εσωτερική του αντίσταση είναι πολύ μικρή, υπάρχει το ενδεχόμενο να περάσει πολύ ρεύμα και να καταστραφεί το πηνίο του.
2. Πάντα προσέχετε την πολικότητα του οργάνου. Απόκλιση της βελόνης προς τα αριστερά του μηδενός είναι ένδειξη λανθασμένης συνδεσμολογίας.
3. Η αντίσταση του αμπερομέτρου πρέπει να είναι αμελητέα σε σχέση με τις υπόλοιπες αντιστάσεις του κυκλώματος. Διαφορετικά η αντίσταση του αμπερομέτρου πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν.
4. Το συνηθέστερο σφάλμα στη μέτρηση του  $I$  προέρχεται από την παράλλαξη του δείκτη ως προς την κλίμακα. Για τον λόγο αυτό, σε πολλά όργανα ο δείκτης κινείται πάνω σ' ένα επίπεδο κάτοπτρο. Η μέτρηση είναι απαλλαγμένη από σφάλματα παράλλαξης, αν η ανάγνωση της ένδειξης γίνει με τέτοια γωνία παρατήρησης ώστε ο δείκτης να σκεπάζει το είδωλό του μέσα στον καθρέπτη.
5. Όταν χρησιμοποιείτε όργανο με πολλές κλίμακες είναι ασφαλέστερο να επιλέξετε κατ' αρχήν την μεγαλύτερη κλίμακα και κατόπιν να την υποβιβάσετε διαδοχικά μέχρις ότου παρατηρήσετε τη μέγιστη επιτρεπτή (εντός κλίμακας) απόκλιση του δείκτη .

### 2.3 Βολτόμετρο

Για να μετρήσουμε τη διαφορά δυναμικού μεταξύ δύο σημείων A και B με ένα γαλβανόμετρο πρέπει να συνδέσουμε τους ακροδέκτες του οργάνου παράλληλα προς τα A και B (Σχήμα 6). Εάν  $I_G$  είναι το ρεύμα που περνά μέσα από το γαλβανόμετρο τότε η διαφορά δυναμικού στα άκρα του είναι  $V = I_G r_G$  όπου  $r_G$  η εσωτερική αντίσταση του γαλβανομέτρου. Επειδή η  $r_G$  είναι μικρή, μία τέτοια διάταξη μπορεί να μετρήσει μόνο μικρές διαφορές δυναμικού χωρίς τον κίνδυνο να καταστραφεί το όργανο. Για την μέτρηση μεγάλων διαφορών δυναμικού συνδέουμε, εν σειρά προς το γαλβανόμετρο μία μεγάλη αντίσταση  $R_S$ , όπως φαίνεται στο Σχήμα 7. Η  $R_S$  περιορίζει το ρεύμα που περνά μέσα από το γαλβανόμετρο, ώστε αυτή να μην υπερβαίνει την τιμή  $I_G^{\max}$  που αντιστοιχεί στη μεγαλύτερη ένδειξη της κλίμακας.



**Σχήμα 6:** Προσδιορισμός διαφοράς δυναμικού με γαλβανόμετρο



Σχήμα 7: Βασικό κύκλωμα βολτομέτρου

Υπολογισμός της R<sub>S</sub>

Εάν  $V$  είναι η διαφορά δυναμικού μεταξύ των ακροδεκτών A και B και  $I_G$  το ρεύμα που περνά από το γαλβανόμετρο, ισχύει

$$V = I_G (R_S + r_G) \quad (2.6)$$

Η μέγιστη διαφορά δυναμικού που μπορεί να μετρά το βολτόμετρο δίνεται από τη σχέση:

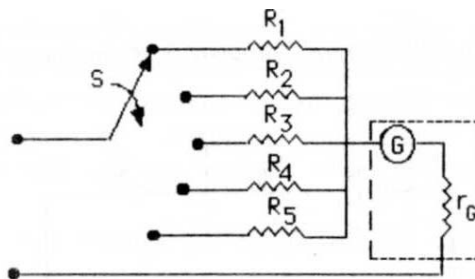
$$V^{\max} = I_G^{\max} (R_S + r_G) \quad (2.7)$$

και επομένως

$$R_S = \frac{V^{\max}}{I_G^{\max}} - r_G \quad (2.8)$$

Για να μετρήσουμε τη διαφορά δυναμικού μεταξύ δύο σημείων ενός κυκλώματος συνδέουμε το βολτόμετρο παράλληλα με τα δύο σημεία. Η επίδρασή του στο κύκλωμα είναι αμελητέα όταν η αντίσταση του είναι άπειρη, αφού στην περίπτωση αυτή το ρεύμα που περνά μέσα από το βολτόμετρο είναι αμελητέο. Πολλά από τα συνηθισμένα βολτόμετρα παρουσιάζουν αντίσταση μερικών ΚΩ ενώ υπάρχουν βολτόμετρα που χρησιμοποιούν λυχνίες η τρανζίστορ και έχουν εσωτερική αντίσταση  $\sim 10 \text{ M}\Omega$ .

Πολλά εργαστηριακά βολτόμετρα έχουν περισσότερες από μία κλίμακες. Η επιλογή της κάθε κλίμακας γίνεται με σύνδεση στους κατάλληλους ακροδέκτες ή με ένα διακόπτη. Στο Σχήμα 8 δείχνεται ένα τέτοιο κύκλωμα βολτομέτρου με πολλές κλίμακες.



Σχήμα 8: Σχηματικό διάγραμμα βολτομέτρου με πολλές κλίμακες

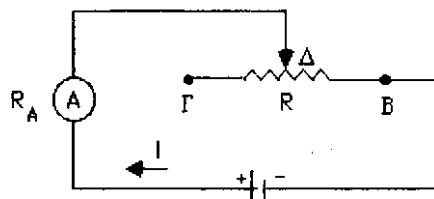
**2.4 Πολύμετρα**

Από την περιγραφή των οργάνων μέτρησης εντάσεως ρεύματος και διαφοράς δυναμικού φαίνεται ότι έχουν παρόμοιες αρχές λειτουργίας και μπορούν να συνδυαστούν επάνω στο ίδιο όργανο. Τα όργανα που μπορούν να μετρήσουν ρεύμα (AC και DC), τάση (AC και DC) και αντίσταση ονομάζονται πολύμετρα. Η επιλογή του μετρούμενου μεγέθους γίνεται με κεντρικό διακόπτη-επιλογή. Στο εσωτερικό του οργάνου, εκτός από τα απαραίτητα κυκλώματα, υπάρχει και μια πηγή τάσης (μπαταρία) για το κύκλωμα του ωμομέτρου. **Ποτέ μην αφήνετε τον κεντρικό επιλογή σε θέση μέτρησης, για να αποφεύγεται η φθορά της μπαταρίας.**



## 2.5 Ροοστατικό κύκλωμα

Το ροοστατικό κύκλωμα, που φαίνεται στο Σχήμα 9, χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της έντασης του ρεύματος που περνά από ένα κύκλωμα.



Σχήμα 9: Σχηματικό διάγραμμα ροοστατικού κυκλώματος

Μετακινώντας τον δρομέα Δ της μεταβλητής αντίστασης, μεταβάλλουμε την τιμή της από 0 έως R. Για παράδειγμα, θεωρήστε ότι  $V = 10 \text{ V}$ ,  $R = 100 \Omega$  και  $R_A = 100 \Omega$ . Τότε, εάν ο δρομέας είναι στη θέση Β, η ένταση του ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα είναι

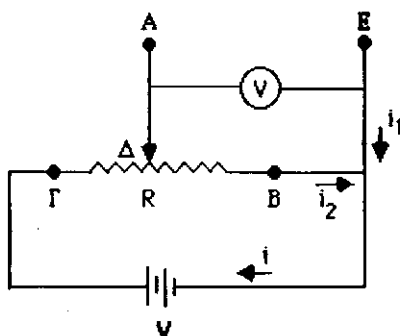
$$I = \frac{V}{R_A} = 100 \text{ mA}$$

Αν ο δρομέας είναι στη θέση Γ, τότε η ένταση θα είναι  $I = \frac{V}{R + R_A} = 50 \text{ mA}$

Δηλαδή, με το κύκλωμα του Σχήματος 9 μπορούμε να ελέγξουμε την ένταση του ρεύματος από 100 μέχρι 50 mA.

## 2.6 Ποτενσιομετρική διάταξη

Η ποτενσιομετρική διάταξη χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της διαφοράς δυναμικού που εφαρμόζεται στα σημεία Α και Ε κυκλώματος, όπως φαίνεται στο Σχήμα 10. Αν ο δρομέας είναι στη θέση Γ, τότε το βολτόμετρο μετρά την τάση της πηγής, ενώ αν ο δρομέας είναι στη θέση Β, η διαφορά δυναμικού στα άκρα του βολτομέτρου είναι μηδέν. Για ενδιάμεση θέση Δ του δρομέα, η τάση που μετρά το βολτόμετρο είναι όση η πτώση τάσης στο τμήμα ΒΔ της αντίστασης. Π.χ. αν είναι  $V = 50 \text{ V}$ ,  $R_\gamma = 1 \text{ K}\Omega$  και  $R_{\Delta B} = 100 \Omega$ , τότε για τη θέση Γ του δρομέα το βολτόμετρο θα δείχνει 50 Volts, ενώ για τη θέση Β του δρομέα το βολτόμετρο θα δείχνει 0 Volts. Δηλαδή, το κύκλωμα αυτό επιτρέπει την μεταβολή της  $V_{AE}$  από 0 V έως την τάση στα άκρα της πηγής.



Σχήμα 10: Ποτενσιομετρική διάταξη

## II.7 Καταγραφικό όργανο μετρήσεων

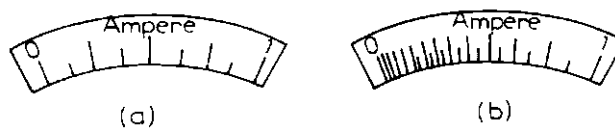
Το καταγραφικό όργανο χρησιμοποιείται για την μέτρηση διαφόρων φυσικών μεγεθών των οποίων οι μεταβολές μπορούν να αναχθούν σε μεταβολές διαφοράς δυναμικού. Η συνεχής μεταβολή του μετρούμενου μεγέθους καταγράφεται υπό κλίμακα, σε χιλιοστομετρικό χαρτί. Υπάρ-

χουν δυο ειδών καταγραφικά: τα τύπου “ $y - t$ ” και τα τύπου “ $x - y$ ”. Στην πρώτη περίπτωση καταγράφεται η μεταβολή ενός μεγέθους  $y$  συναρτήσει του χρόνου, π.χ. η καμπύλη ψύξης ενός φούρνου. Στην δεύτερη, καταγράφεται η μεταβολή της εξηρημένης μεταβλητής  $y$  συναρτήσει της ανεξάρτητης  $x$ , π.χ. η μεταβολή της διαφοράς δυναμικού στα άκρα ενός θερμοζεύγους, λόγω μεταβολής της θερμοκρασίας, συναρτήσει της θερμοκρασίας ( $x$ ). Τα καταγραφικά, σαν όργανα λήψης δεδομένων, μπορούν εύκολα να αντικατασταθούν από ένα μικροϋπολογιστή, ο οποίος εκτός από την λήψη, μπορεί να κάνει και επεξεργασία δεδομένων. Σ' αυτή την περίπτωση το καταγραφικό χρησιμοποιείται για την καταγραφή των αποτελεσμάτων στην τελική τους μορφή.

### **3. Περί ευαισθησίας και ακρίβειας οργάνων**

Η **ευαισθησία** των οργάνων μέτρησης ορίζεται ως η σχετική μεταβολή της θέσης της ενδεικτικής βελόνης με την μεταβολή του μετρούμενου μεγέθους ή ως η τάξη μεγέθους του φυσικού μεγέθους που αντιστοιχεί στην μικρότερη ένδειξη της κλίμακας του οργάνου.

Οι κλίμακες των οργάνων μέτρησης μπορεί να είναι γραμμικές ή μη-γραμμικές (Σχήμα 11). Όταν η κλίμακα ανάγνωσης είναι γραμμική, η ευαισθησία του οργάνου είναι σταθερή, ενώ όταν η κλίμακα ανάγνωσης είναι μη-γραμμική, η ευαισθησία αυξάνεται με το μέγεθος του μετρούμενου μεγέθους. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 11, η γραμμική κλίμακα είναι πιο ευαίσθητη στις μικρές τιμές των μετρούμενων μεγεθών, ενώ η μη-γραμμική είναι πιο ευαίσθητη όταν το μετρούμενο μέγεθος παίρνει μεγάλες τιμές.



**Σχήμα 11:** (α) Γραμμική κλίμακα αμπερομέτρου, (β) μη-γραμμική κλίμακα αμπερομέτρου

**Για τον περιορισμό των σφαλμάτων ανάγνωσης χρησιμοποιούμε κλίμακες στις οποίες το μετρούμενο μέγεθος προκαλεί περίπου μέγιστη απόκλιση της ενδεικτικής βελόνης.**

Η **ακρίβεια** των οργάνων μέτρησης ορίζεται ως η μικρότερη υποδιαίρεση που υπάρχει στην κλίμακα ανάγνωσης.

**ΠΡΟΣΟΧΗ** Υπερφόρτωση των οργάνων μέτρησης μπορεί να τα καταστρέψει. Γι' αυτό συνίσταται η κατ' αρχήν εκτίμηση της τάξης μεγέθους του μετρούμενου μεγέθους έτσι ώστε να γίνει η κατάλληλη επιλογή οργάνου και κλίμακας.

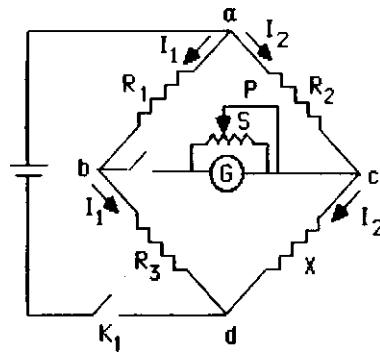
**ΠΡΟΣΟΧΗ** Η ρύθμιση του μηδενός πρέπει να γίνεται κάθε φορά που αλλάζει η κλίμακα του οργάνου μέτρησης.

### **4 Γέφυρα Wheatstone (ΓW)**

Η γέφυρα Wheatstone (ΓW) εφευρέθηκε το 1843 από τον Άγγλο Φυσικό C. Wheatstone. Έχει 4 βραχίονες (αντιστάσεις), μία πηγή ΗΕΔ (συνήθως ένα ηλεκτρικό στοιχείο) και ένα όργανο ένδειξης του μηδενός (null detector), που συνήθως είναι ένα γαλβανόμετρο ή ένα ευαίσθητο αμπερόμετρο (Σχήμα 12).

Οι αντιστάσεις  $R_1$ ,  $R_2$  και  $R_3$  είναι γνωστές, ενώ η  $X$  είναι η άγνωστη αντίσταση και συγκρίνεται με την  $R_3$  η οποία είναι γνωστή με μεγάλη ακρίβεια. Η ακρίβεια της μέτρησης οφείλεται στο ότι η γέφυρα είναι όργανο ένδειξης του μηδενός και **στην περίπτωση ισορροπίας δεν δι-**

αρρέεται από ρεύμα.



Σχήμα 12: Γέφυρα Wheatstone με αντιστάσεις

Για να λειτουργήσει η γέφυρα οι διακόπτες \$K\_1\$ και \$K\_2\$ πρέπει να είναι κλειστοί και η μεταβλητή αντίσταση ρυθμισμένη έτσι ώστε το γαλβανόμετρο \$G\$ να δείχνει μηδενική απόκλιση (γέφυρα σε ισορροπία), δηλαδή να ισχύουν οι σχέσεις  $V_{ab} = V_{ac}$ ,  $V_{bd} = V_{cd}$  και  $I_1 = I_2$

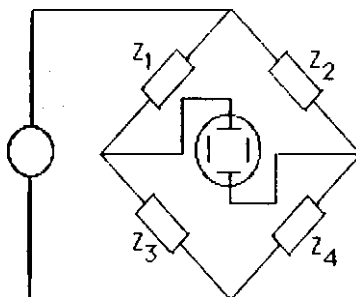
$$\text{Επομένως, } I_1 R_1 = I_2 R_2 \text{ και } I_1 R_3 = I_2 X \Rightarrow \frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{X} \text{ και } X = \left( \frac{R_3}{R_1} \right) R_2$$

Για την απλοποίηση των υπολογισμών, ο λόγος  $\left( \frac{R_3}{R_1} \right)$  συνήθως παίρνει τιμές δυνάμεων του

10, π.χ.,  $10^{-1}$ ,  $10^0$ ,  $10^1$ ,  $10^2$  κλπ. και υλοποιείται πρακτικά με το κιβώτιο αντιστάσεων \$K\$ στο Σχήμα 20.

Κατά την διάρκεια των προκαταρκτικών μετρήσεων, όποτε η γέφυρα δεν είναι ισορροπημένη, το γαλβανόμετρο προστατεύεται από την προστατευτική (shunt) αντίσταση \$S\$. Όταν ο δρομέας της \$S\$ είναι στο αριστερό άκρο της αντίστασης, τότε δεν περνάει ρεύμα από το γαλβανόμετρο. Όταν ο δρομέας είναι πλήρως δεξιά, δηλ. όταν ολόκληρη η αντίσταση παρεμβάλλεται στο κύκλωμα, όλο σχεδόν το ρεύμα περνάει από το γαλβανόμετρο. Επομένως, το γαλβανόμετρο είναι πλήρως προστατευμένο στην πρώτη περίπτωση, ενώ παρουσιάζει μέγιστη ευαισθησία στην δεύτερη. Η ΓW μπορεί να μετρήσει αντιστάσεις στην περιοχή τιμών  $1 \Omega$  μέχρι  $1 \text{ M}\Omega$  περίπου. Πολύ μικρές αντιστάσεις είναι δύσκολο να μετρηθούν, εξ αιτίας θερμοηλεκτρικών τάσεων που αναπτύσσονται στις επαφές ανόμοιων μετάλλων ή εξ αιτίας του φαινομένου Joule που προκαλεί μεταβολή της αντίστασης με την θερμοκρασία. Πολύ μεγάλες αντιστάσεις είναι δύσκολο να μετρηθούν με ακρίβεια λόγω των **ρευμάτων διαρροής**. Δηλαδή, αν η \$X\$ είναι πολύ μεγάλη, το ρεύμα διαρροής στις ηλεκτρικές μονώσεις μπορεί να είναι συγκρίσιμο με τα ρεύματα στους κλάδους του κυκλώματος της γέφυρας.

Η ΓW κατάλληλα προσαρμοσμένη μπορεί να λειτουργήσει και σε εναλλασσόμενο ρεύμα. Στην περίπτωση αυτή, οι τέσσερις βραχίονες μπορεί να περιέχουν σύνθετες ή μιγαδικές αντιστάσεις, δηλαδή χωρητικότητες ή αυτεπαγωγές (Σχήμα 13), ενώ το όργανο για την ένδειξη ισορροπίας μπορεί να είναι ένας παλμογράφος.



Σχήμα 13: Γέφυρα Wheatstone για εναλλασσόμενο ρεύμα.

## 5. Πειραματικό μέρος

### 5.1 Σκοπός

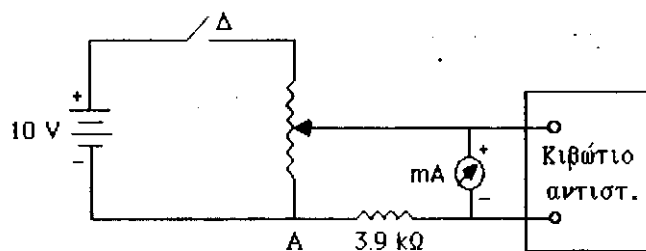
1. Η εξοικείωση με την χρήση και την λειτουργία μερικών απλών ηλεκτρικών οργάνων.
2. Η μέτρηση εσωτερικής αντίστασης αμπερομέτρου και βολτομέτρου.
3. Ο προσδιορισμός της κατάλληλης εξωτερικής αντίστασης που απαιτείται για την επέκταση της περιοχής μέτρησης αμπερομέτρου και η πειραματική επαλήθευση της επέκτασης αυτής.
4. Ο πειραματικός προσδιορισμός τιμών αντιστάσεων με χρήση αμπερομέτρου-βολτομέτρου και της γέφυρας Wheatstone.
5. Σύγκριση των μεθόδων μέτρησης αντίστασης με αμπερόμετρο – βολτόμετρο και με γέφυρα Wheatstone.

### 5.2 Εσωτερική αντίσταση Αμπερόμετρου

Το χαρακτηριστικό γνώρισμα των αμπερομέτρων είναι ότι: (α) συνδέονται πάντοτε σε σειρά στον κλάδο του κυκλώματος στον οποίο πρόκειται να μετρηθεί η ένταση του ρεύματος και (β) έχουν μικρή εσωτερική αντίσταση σε σχέση με την αντίσταση του κυκλώματος, έτσι ώστε ουσιαστικά να μη μεταβάλλεται η ένταση του ρεύματος που θέλουμε να μετρήσουμε.

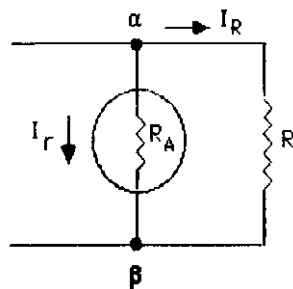
Για την μέτρηση της εσωτερικής αντίστασης αμπερομέτρου ακολουθείστε την εξής πορεία:

1. Κατασκευάστε το κύκλωμα του Σχήματος 14. Τα άκρα της πηγής συνδέονται, μέσω του διακόπτη  $\Delta$ , με τα άκρα ρυθμιστικής αντίστασης των  $110 \Omega - 2.5 A$  (ο διακόπτης ανοικτός). Το ένα άκρο της ρυθμιστικής συνδέεται μέσω αντίστασης  $3.9 K\Omega$  με τον αρνητικό ακροδέκτη του μιλιαμπερομέτρου, ενώ το άκρο του δρομέα της ρυθμιστικής συνδέεται με τον θετικό ακροδέκτη του οργάνου. Ο κινητός δρομέας τοποθετείται στο σημείο A της αντίστασης. Παράλληλα με το μιλιαμπερόμετρο συνδέεται ένα δεκαδικό κιβώτιο αντιστάσεων με περιστρεφόμενο διακόπτη.



Σχήμα 14: Κύκλωμα για την μέτρηση της εσωτερικής αντίστασης αμπερομέτρου

2. Αποσυνδέστε το ένα άκρο του κιβωτίου των αντιστάσεων, βάλτε τον διακόπτη της πηγής στην θέση "ON" και κλείστε τον διακόπτη του κυκλώματος. Μετατοπίστε τον δρομέα της ρυθμιστικής μέχρις ότου ο δείκτης του οργάνου να πάρει τη μέγιστη του απόκλιση. Κατόπιν, επανασυνδέστε το άκρο του κιβωτίου των αντιστάσεων και επιλέξτε αντίσταση τέτοια, ώστε η ένδειξη του οργάνου να γίνει η μισή της προηγούμενης. Αυτή η αντίσταση του κιβωτίου είναι ίση με την εσωτερική αντίσταση του οργάνου. Πράγματι, επειδή μεταξύ των ακροδεκτών  $\alpha$  και  $\beta$  (Σχήμα 15) θεωρούμε ότι διατηρείται η ίδια τάση, θα είναι  $R_A I_r = R I_R$ . Επειδή η νέα ένδειξη είναι το μισό της προηγούμενης, το εισερχόμενο στο σημείο  $\alpha$  ρεύμα, διακλαδίζεται σε δύο ίσα ρεύματα  $I_r = I_A$  και επομένως  $R_A = R$ .



Σχήμα 15: Επέκταση περιοχής μέτρησης αμπερομέτρου.

3. Για την ακριβή μέτρηση της εσωτερικής αντίστασης, επαναλάβετε έξι (6) φορές την ίδια διαδικασία. Δηλαδή, με κίνηση του δρομέα παίρνετε κάποια ένδειξη στο αμπερόμετρο και με την επανασύνδεση του κιβωτίου επιλέγετε αντίσταση ώστε η ένδειξη να γίνει η μισή. Καταγράψετε τα αποτελέσματα των μετρήσεων υπό μορφή Πίνακα (Πίνακας I).

**Πίνακας I:** Μετρήσεις για τον προσδιορισμό της εσωτερικής αντίστασης μιλλιαμπερομέτρου

α/α μετρήσεων	Αρχική ένδειξη (mA)	Τελική ένδειξη (mA)	Αντίσταση κιβωτίου ( $\Omega$ )
1			
2			
3			
4			
5			
6			
$R_{εσ} = \dots\dots\dots \Omega$			

Ερώτηση: Ποιος είναι ο ρόλος της αντίστασης των  $3.9 \text{ K}\Omega$  στο κύκλωμα του Σχήματος 14 ; Μπορεί αυτό το κύκλωμα να χρησιμοποιηθεί για την μέτρηση μεγάλης εσωτερικής αντίστασης;

### 5.3 Επέκταση περιοχής μετρήσεως αμπερομέτρου

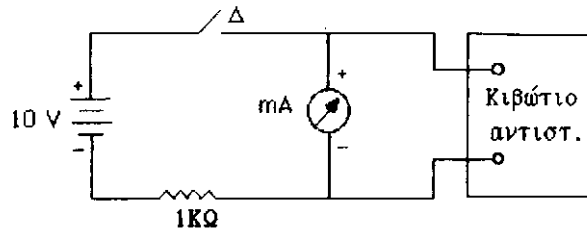
Κάθε όργανο μέτρησης είναι κατασκευασμένο για μία ορισμένη περιοχή μέτρησης και μπορεί να μετρά το αντίστοιχο μέγεθος μόνον εφόσον η τιμή του βρίσκεται εντός της περιοχής μέτρησης του οργάνου. Πολλές φορές είναι απαραίτητο να μετρήσουμε ένα μέγεθος του οποίου η τιμή είναι έξω από την περιοχή των οργάνων που διαθέτουμε. Σ' αυτές τις περιπτώσεις μπορού-

με να τροποποιήσουμε το δεδομένο όργανο έτσι ώστε να επεκτείνουμε την περιοχή του. Στο μέρος αυτό της άσκησης θα προσδιορίσουμε την αντίσταση που χρειάζεται για την επέκταση της περιοχής μέτρησης ενός αμπερομέτρου περιοχής 1 mA και θα επαληθεύσουμε θεωρητικά και πειραματικά την επέκταση αυτή.

Για να επεκτείνουμε την περιοχή μέτρησης αμπερομέτρου από 0 έως  $I_0$  σε 0 έως  $I$ , πρέπει να συνδέσουμε μία αντίσταση  $R_r$  παράλληλα προς το όργανο. Στη γενική περίπτωση, εάν θέλουμε να  $n$ -πλασιάσουμε την κλίμακα, δηλαδή  $I = n I_0$ , τότε σύμφωνα με το Σχήμα 15 πρέπει  $I_r = I_0$  και  $I_A = (n-1) I_0$ . Επειδή δε  $R_A I_A = R_r I_r$ , προκύπτει ότι η τιμή της παράλληλης αντίστασης  $R_r$  πρέπει να είναι:

$$R_r = \frac{R_A}{n-1} \quad (5.1)$$

Για να ελέγξετε πειραματικά τον επιτυχή δεκαπλασιασμό της κλίμακας του μιλλιαμπερομέτρου, κατασκευάστε το κύκλωμα του Σχήματος 17.



Σχήμα 17: Πολλαπλασιασμός κλίμακας αμπερομέτρου.

Συνδέσετε τον θετικό πόλο της πηγής, μέσω του διακόπτη, με τον θετικό ακροδέκτη του μιλλιαμπερομέτρου. Συνδέστε τον αρνητικό πόλο της πηγής, μέσω της αντίστασης 1 KΩ, με τον αρνητικό ακροδέκτη του μιλλιαμπερομέτρου. Παράλληλα με το μιλλιαμπερόμετρο, συνδέστε το κιβώτιο αντιστάσεων και επιλέξτε σ' αυτό αντίσταση  $R = R_A/9$ , όπου  $R_A$  η τιμή της εσωτερικής αντίστασης του μιλλιαμπερομέτρου, την οποία προσδιορίσατε στην παράγραφο V.2.1.

Ο παράλληλος συνδυασμός του μιλλιαμπερομέτρου με το κιβώτιο αντιστάσεων ισοδυναμεί με ένα νέο (εικονικό) όργανο μέτρησης, από το οποίο, όταν διέρχεται ρεύμα 10 mA, μόνο το 1 mA διέρχεται από το μιλλιαμπερόμετρο και τα υπόλοιπα 9 mA διέρχονται από το κιβώτιο αντιστάσεων. Συνεπώς, από το μιλλιαμπερόμετρο διέρχεται ρεύμα μέσα στην περιοχή λειτουργίας του (0 – 1 mA) και η βελόνα θα αποκλίνει δείχνοντας ρεύμα < 1 mA, το οποίο όμως συνιστά μόνο το 1/10 του συνολικού που διέρχεται από τον συνδυασμό  $R_r - R$ . Συνεπώς, για να λάβουμε την τιμή του συνολικού ρεύματος όταν συνδέσουμε το νέο όργανο σε ένα κύκλωμα, πρέπει να δεκαπλασιάσουμε την όποια ένδειξή του.

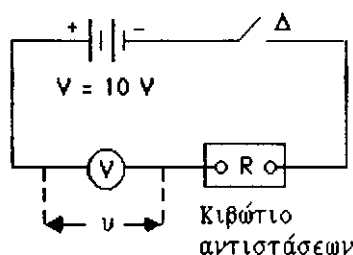
Το ρεύμα στο κύκλωμα του Σχήματος 17 αναμένεται να είναι της τάξης των 10 mA (10 Volt της πηγής δια των περίπου 1000Ω του κυκλώματος). Βάλτε την πηγή σε λειτουργία και κλείστε τον διακόπτη Δ. Εάν δεκαπλασιάσετε την ένδειξη του οργάνου έχετε βρει την ένταση του ρεύματος που περνά από την αντίσταση του 1 KΩ, την οποία και ονομάζετε  $I_{πειρ}$ .

Επαληθεύστε την μέτρησή σας: Επιλύστε θεωρητικά το κύκλωμα, στο οποίο όλα τα στοιχεία είναι γνωστά, για να υπολογίσετε την αναμενόμενη τιμή του ρεύματος  $I_{αναμ}$  που θα διέλθει από αυτό. Συμφωνεί η  $I_{πειρ}$  με την  $I_{αναμ}$ ; Αν υπάρχει σημαντική απόκλιση, πού οφείλεται αυτή;

#### 5.4 Εσωτερική αντίσταση Βολτομέτρου

Το χαρακτηριστικό γνώρισμα των βολτομέτρων είναι ότι : (α) συνδέονται πάντοτε παράλληλα στον κλάδο του κυκλώματος κατά μήκος του οποίου θέλουμε να μετρήσουμε την τάση και (β) έχουν μεγάλη εσωτερική αντίσταση σε σχέση με την μετρούμενη αντίσταση, ώστε ουσιαστικά να μη περνάει ρεύμα μέσα από το βολτόμετρο. Για την μέτρηση της εσωτερικής αντίστασης του βολτομέτρου ( $R_V$ ) ακολουθείστε την εξής πορεία:

Κατασκευάστε το κύκλωμα του Σχήματος 16 και χρησιμοποιείστε σαν περιοχή μέτρησης του βολτομέτρου το 1 Volt. Κατόπιν βάλτε στο κιβώτιο αντιστάσεων  $R = 100 \text{ K}\Omega$ , κλείστε τον διακόπτη  $\Delta$  και μεταβάλλετε την αντίσταση του κιβωτίου έτσι ώστε να έχετε μέγιστη απόκλιση της βελόνας στο βολτόμετρο. Αυξήστε την αντίσταση  $R$  κατά βήματα των  $10 \text{ K}\Omega$  και καταγράψτε την αντίστοιχη ένδειξη του βολτομέτρου. Να πάρετε τουλάχιστον 10 ζεύγη τιμών  $R(\Omega)$  και  $V(\text{Volts})$  και να τα καταγράψετε στον Πίνακα II.



**Σχήμα 16:** Κύκλωμα για την μέτρηση της εσωτερικής αντίστασης βολτομέτρου

Επεξεργασία μετρήσεων: Η πτώση τάσης κατά μήκος της εσωτερικής αντίστασης του βολτομέτρου και του κιβωτίου αντιστάσεων πρέπει να ισούται με την τάση της πηγής  $V$ . Επομένως, η πτώση τάσης  $v$  κατά μήκος του βολτομέτρου θα είναι:

$$v = \frac{R_V}{R_V + R} \cdot V \quad (5.2)$$

$$\text{ή} \quad \frac{1}{v} = \frac{R}{VR_V} + \frac{1}{V} \quad (5.3)$$

Η γραφική παράσταση του  $1/v$  συναρτήσει του  $R$  δίνει ευθεία γραμμή με κλίση  $1/(VR_V)$ , ενώ η προέκταση της ευθείας αυτής θα τμήσει τον άξονα  $1/v$  σε σημείο από το οποίο προκύπτει η τιμή της τάσης της πηγής  $V$ .

Με βάση τα δεδομένα  $R - v$ , και χρησιμοποιώντας την μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων, κατασκευάστε το διάγραμμα  $1/v - R$  και υπολογίστε την εσωτερική αντίσταση του βολτομέτρου  $R_V$  και την τάση της πηγής. Συγκρίνατε την πειραματική τιμή με την ονομαστική τιμή των  $10 \text{ V}$  (την οποία δώσατε με το τροφοδοτικό) και δικαιολογήστε την διαφορά τους (εφόσον βέβαια αυτές είναι όντως διαφορετικές).

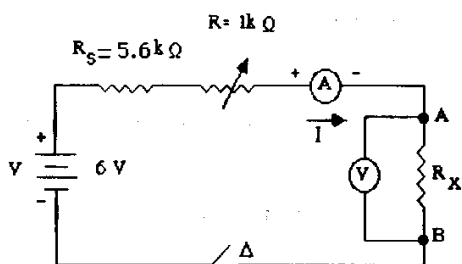
Ερώτηση: Μπορεί το κύκλωμα του Σχήματος 16 να χρησιμοποιηθεί για την μέτρηση της εσωτερικής αντίστασης αμπερομέτρου;

**Πίνακας II.** Μετρήσεις για τον προσδιορισμό της εσωτερικής αντίστασης βολτομέτρου.

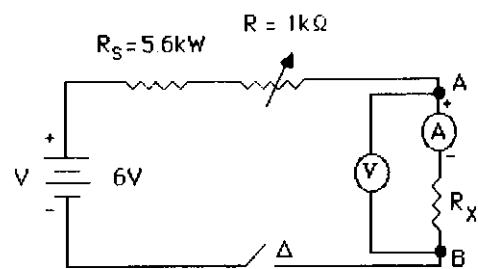
a/a	R (kΩ)	Ένδειξη βολτομέτρου v (Volts)
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

### 5.5. Μέτρηση αντιστάσεων

Ο απλούστερος τρόπος προσδιορισμού μίας άγνωστης αντίστασης  $R_x$  στηρίζεται στην εφαρμογή του νόμου του Ohm, αφού βέβαια μετρηθούν το ρεύμα  $I$  που διαρρέει την αντίσταση και η τάση  $V$  που αναπτύσσεται στα άκρα της (μέθοδος αμπερομέτρου – βολτομέτρου). Για την ακριβέστερη μέτρηση μικρών αντιστάσεων χρησιμοποιείται το κύκλωμα του Σχήματος 18, ενώ για την ακριβέστερη μέτρηση μεγάλων αντιστάσεων χρησιμοποιείται το κύκλωμα του Σχήματος 19. Για να μετρήσουμε την τιμή αντιστάσεων με ακόμη μεγαλύτερη ακρίβεια, στην περιοχή τιμών  $1 \Omega - 1 \text{ M}\Omega$ , χρησιμοποιούμε την γέφυρα Wheatstone (Σχήμα 12).



**Σχήμα 18:** Κύκλωμα για την μέτρηση μικρών αντιστάσεων



**Σχήμα 19:** Κύκλωμα για την μέτρηση μεγάλων αντιστάσεων

Στο σημείο αυτό της άσκησης θα προσδιορισθούν αρχικά οι περιοχές των τιμών των αντιστάσεων που μπορούν να μετρηθούν αξιόπιστα με τα κυκλώματα των Σχ. 18 και 19. Στη συνέχεια, θα μετρηθούν οι ίδιες αντιστάσεις με τη γέφυρα Wheatstone και θα συγκριθούν τα αποτελέσματα των δύο μεθόδων.

Σαν άγνωστες αντιστάσεις  $R_x$  θα χρησιμοποιηθούν 13 τιμές από το κιβώτιο αντιστάσεων, οι οποίες έχουν σχετική πιστότητα  $< 1\%$ . Στην πραγματικότητα δηλαδή στο σημείο αυτό της άσκησης δεν πρόκειται μετρήσουμε τις (ήδη γνωστές) αντιστάσεις, αλλά την ακρίβεια των δια-



φόρων μεθόδων μέτρησης.

### 5.5.1 Μέτρηση αντιστάσεων με αμπερόμετρο και βολτόμετρο

1. Κατασκευάστε το κύκλωμα του Σχήματος 18 και τοποθετείστε από το κιβώτιο αντιστάσεων  $R_x = 100 \Omega$ . Κλείστε τον διακόπτη  $\Delta$  και μεταβάλλετε σιγά-σιγά την  $R$  έτσι ώστε η ένδειξη στο αμπερόμετρο να γίνει μικρότερη ή ίση με την μέγιστη απόκλιση, ώστε να έχουμε την μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια στη μέτρηση.
2. Μετρήστε με το αμπερόμετρο και το βολτόμετρο την ένταση  $I$  και την τάση  $V$  και προσδιορίστε για την  $R_x$  την πειραματική της τιμή  $R_\pi$ , η οποία υπολογίζεται από τον νόμο του Ohm σαν  $R_\pi = V/I$ . Σημειώστε την τιμή της  $R_\pi$  στον Πίνακα 3.
3. Επαναλάβετε την μέτρηση για τιμές  $R_x$  από το κιβώτιο αντιστάσεων  $R_x = 200 \Omega, 400 \Omega, 700 \Omega, 1 \text{ K}\Omega, 2 \text{ K}\Omega, 5 \text{ K}\Omega, 7 \text{ K}\Omega, 10 \text{ K}\Omega, 30 \text{ K}\Omega, 50 \text{ K}\Omega, 80 \text{ K}\Omega$  και  $100 \text{ K}\Omega$ . Υπολογίστε τις αντίστοιχες τιμές  $R_\pi$  και συμπληρώσετε τον Πίνακα III.

**Πίνακας III:** Μετρήσεις αγνώστων αντιστάσεων με τρεις διαφορετικές μεθόδους.

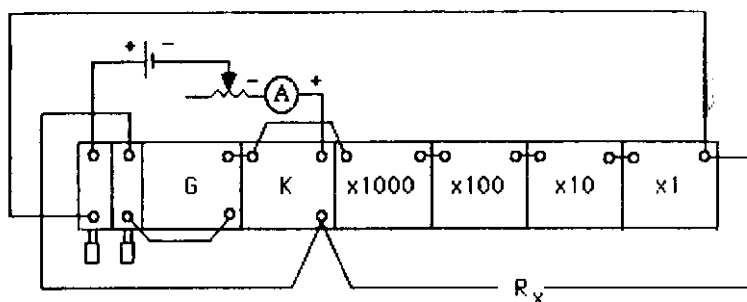
		Πειραματική τιμή		
a/a	Ονομαστική τιμή $R_x$ ( $\Omega$ )	Κύκλωμα σχ. 18 $R_\pi$ ( $\Omega$ )	Κύκλωμα σχ. 19 $R_\pi$ ( $\Omega$ )	Γέφυρα Wheatstone $R_\pi$ ( $\Omega$ )
1	100 $\Omega$			
2	200 $\Omega$			
3	400 $\Omega$			
4	700 $\Omega$			
5	1 $\text{K}\Omega$			
6	2 $\text{K}\Omega$			
7	5 $\text{K}\Omega$			
8	7 $\text{K}\Omega$			
9	10 $\text{K}\Omega$			
10	30 $\text{K}\Omega$			
11	50 $\text{K}\Omega$			
12	80 $\text{K}\Omega$			
13	100 $\text{K}\Omega$			

4. Κατασκευάστε σε χαρτί log–log διάγραμμα με άξονες  $R_x - R_\pi$  και την χαρακτηριστική ευθεία με κλίση  $45^\circ$ , δηλ. την ευθεία  $y = x$ . Η φυσική σημασία της ευθείας αυτής είναι ότι όσο πιο κοντά βρίσκεται μια πειραματική μέτρηση στην ευθεία αυτή, τόσο μεγαλύτερη είναι η πιστότητα της μέτρησης αυτής, διότι θεωρούμε τις αντιστάσεις του κιβωτίου σαν αναφορά.

- Κατασκευάσετε το κύκλωμα του Σχήματος 19 και επαναλάβετε τα προηγούμενα βήματα (1 - 4).
- Ποια είναι τα όρια της ελάχιστης και μέγιστης αντίστασης που μπορούν να μετρηθούν αξιόπιστα με τα κυκλώματα των Σχημάτων 18 και 19; (Θεωρήστε ένα συγκεκριμένο όριο αξιοπιστίας π.χ. 20%). Εξηγήστε τις αποκλίσεις των τιμών της  $R_x$  από την χαρακτηριστική ευθεία  $y = x$  για τα διαγράμματα  $R_x - R_\pi$ .

### 5.5.2 Μέτρηση αντιστάσεων με την Γέφυρα Wheatstone

- Κατασκευάστε το κύκλωμα του Σχήματος 20 και διαλέξτε τον κατάλληλο λόγο **K** σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα.



Σχήμα 20: Πειραματική διάταξη για την μέτρηση αντιστάσεων με την γέφυρα Wheatstone

Πίνακας τιμών λόγου **K**, τάσης της πηγής και αντίστοιχης ακρίβειας, για την μέτρηση αντιστάσεων με την γέφυρα Wheatstone.

Αντιστάσεις $R_x$ που μπορούν να μετρηθούν	Λόγος <b>K</b>	Πηγή τάσης	Σχετική ακρίβεια
$< 5 \Omega$	<b>0.001</b>	2V	0.5%
<b>5 – 50 <math>\Omega</math></b>	<b>0.01</b>	4V	0.4%
<b>50 – 500 <math>\Omega</math></b>	<b>0.1</b>	4V	0.4%
<b>500 – 11200 <math>\Omega</math></b>	<b>1</b>	4V	0.4%
<b>11.2 – 112 ΚΩ</b>	<b>10</b>	4 – 24 V	0.4%
<b>0.112 – 1.12 ΜΩ</b>	<b>100</b>	20 V ανά 100 ΚΩ	0.5%

- Τοποθετείστε τους επιλογείς των αντιστάσεων της γέφυρας στη θέση **10**.
- Τοποθετείστε τον δρομέα της προστατευτικής αντίστασης στη μέση.
- Ελέγξτε αν το γαλβανόμετρο δείχνει μηδέν χωρίς την διέλευση ρεύματος.
- Τροφοδοτείστε το κύκλωμα προσέχοντας την πολικότητα.
- Τοποθετείστε στην θέση  $R_x$  το κιβώτιο αντιστάσεων με πρώτη τιμή  $R_x = 100 \Omega$ .
- Μεταβάλλετε τις αντιστάσεις των κιβωτίων με τις ενδείξεις  $\times 1000$ ,  $\times 100$ ,  $\times 10$  και  $\times 1$  ώστε η γέφυρα να ισορροπήσει. Τότε, η πειραματική τιμή της αντίστασης  $R_x$ , η  $R_\pi$ , προκύπτει πολλαπλασιάζοντας την ολική αντίσταση που παρεμβάλλατε στο κύκλωμα ( $\times 1000$

+  $\times 100$  +  $\times 10$  +  $\times 1$ ) επί την τιμή του  $K$  (θυμηθείτε ότι στην παράγραφο IV αποδείχτηκε ότι όταν η γέφυρα ισορροπεί, είναι  $X = (R_3/R_1)R_2$ , όπου  $(R_3/R_1)$  είναι η τιμή του λόγου αντιστάσεων  $K$  και  $R_2$  η τιμή της εν σειρά σύνδεσης των κιβωτίων χιλιάδων, εκατοντάδων, δεκάδων και μονάδων Ohm της γέφυρας). Σημειώστε την  $R_x$  στον Πίνακα III.

8. Επαναλάβετε τις μετρήσεις για τις αντιστάσεις  $R_x = 200 \Omega, 400 \Omega, 700 \Omega, 1 \text{ K}\Omega, 2 \text{ K}\Omega, 5 \text{ K}\Omega, 7 \text{ K}\Omega, 10 \text{ K}\Omega, 30 \text{ K}\Omega, 50 \text{ K}\Omega, 80 \text{ K}\Omega$  και  $100 \text{ K}\Omega$  και καταγράψτε τα αποτελέσματα των μετρήσεων στον Πίνακα III.
9. Τοποθετήστε **στο ίδιο log-log χαρτί** με άξονες  $R_x - R_x$  τις μετρήσεις από την γέφυρα Wheatstone.
10. Διερευνήστε την περιοχή αντιστάσεων που μπορούν να μετρηθούν αξιόπιστα με το κύκλωμα του Σχήματος 20.
11. Ποιο είναι το τελικό συμπέρασμα που συνάγεται από τις μετρήσεις σας, όσον αφορά την σχετική αξιοπιστία των τριών μεθόδων μέτρησης αντίστασης;

### Ηλεκτρικά Όργανα – Παρατηρήσεις και σημεία ιδιαίτερης προσοχής

1. Πριν από την έναρξη των μετρήσεων πρέπει να ελέγξετε με πολύμετρο ή βολτόμετρο την τάση της πηγής, η οποία πρέπει να είναι 10 V.
2. Μην αφήνετε το πολύμετρο αναμμένο. Θα καταστρέψετε την μπαταρία του.
3. Πάντα προσέχετε την πολικότητα των οργάνων κινητού πηνίου. Απόκλιση της βελόνης προς τα αριστερά του μηδενός είναι ένδειξη λανθασμένης συνδεσμολογίας.
4. Όταν χρησιμοποιείτε όργανο με πολλές κλίμακες, αρχίστε πρώτα με την μεγαλύτερη κλίμακα και υποβιβάστε την σταδιακά μέχρις ότου φθάσετε στην κατάλληλη κλίμακα όπου παρατηρείται η μέγιστη δυνατή επιτρεπτή (εντός κλίμακας) απόκλιση.
6. Για τον γραφικό υπολογισμό της εσωτερικής αντίστασης του βολτομέτρου,  $R_V$ , θα χρειαστείτε χλυστομετρικό χαρτί. Επίσης, σε κάθε εργαστηριακή αίθουσα υπάρχουν διαθέσιμοι υπολογιστές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για επεξεργασία δεδομένων με την θεωρία των Ελαχίστων Τετραγώνων. Η άσκηση των “Ηλεκτρικών Οργάνων” δίνει την ευκαιρία στον φοιτητή να εξοικειωθεί με την χρήση των υπολογιστών μέσα στο εργαστήριο.
7. Για τον έλεγχο της τάσης του τροφοδοτικού  $V = 10 \text{ Volt}$ , υπάρχουν διαθέσιμα ψηφιακά πολύμετρα στην ντουλάπα της Αίθουσας Ζ. Ο διδάσκων μπορεί να ζητήσει από τους φοιτητές να τα χρησιμοποιήσουν για μέτρηση της τάσης πριν από την έναρξη των μετρήσεων ή μπορεί να κάνει τον έλεγχο ο ίδιος.
8. Γέφυρα Wheatstone
  - 8α. Αριστερά της κλίμακας του γαλβανομέτρου υπάρχει ένα κουμπί που μεταβάλλει την ευαισθησία του οργάνου. Όταν το κουμπί δεν είναι πατημένο η ευαισθησία της κλίμακας είναι 100 mA ανά υποδιαίρεση. Πατώντας το κουμπί συνεχώς αυξάνεται η ευαισθησία του οργάνου σε 1  $\mu\text{A}$  ανά υποδιαίρεση. Δηλαδή 100-πλασιάζεται η ευαισθησία του οργάνου. Για να μετρήσετε την τιμή των αντιστάσεων με μεγάλη ακρίβεια πρέπει να χρησιμοποιήσετε την πιο ευαίσθητη κλίμακα του γαλβανομέτρου για τον τελικό έλεγχο της ισορροπίας της γέφυρας. Αρχίζετε δηλαδή από την λιγότερο ευαίσθητη κλίμακα, φέρνετε την γέφυρα κατ' αρχήν σε ισορροπία (δείκτης του γαλβανομέτρου στο **0**) και κατόπιν, με πατημένο το κουμπί αυξήσεως της ευαισθησίας του γαλβανομέτρου, κάνετε τις τελικές ρυθμίσεις.
  - 8β. Οι διακόπτες που χρησιμοποιούνται στο κύκλωμα έχουν δύο θέσεις που επιτρέπουν την διέλευση ρεύματος. Στην κάτω θέση ( $270^\circ$ ) κάνουν στιγμαία επαφή. Η θέση αυτή χρησιμοποιείται για τον κατ' αρχήν έλεγχο του κυκλώματος. Στη επάνω θέση ( $90^\circ$ ) κάνουν μόνιμη επαφή. Η θέση αυτή χρησιμοποιείται κατά την διάρκεια της διαδικασίας ισορρόπησης της γέφυρας.
9. Αν υπάρχει διαθέσιμος χρόνος, μπορείτε να διαπιστώσετε ότι στο κύκλωμα του Σχήματος 19 δεν μπορείτε να μετρήσετε για  $R_x \gg R_V$ , λόγω περιορισμένης ευαισθησίας του αμπερομέτρου.