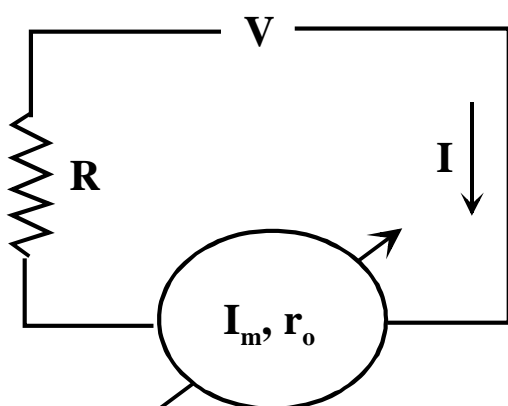


Κεφάλαιο 7^ο

Μέτρηση τάσης και ρεύματος

7.1 Μέτρηση τάσης-Αμπερόμετρο.

Κάθε όργανο στο οποίο ο δείκτης μετακινείται όταν αυτό διαρρέεται από ρεύμα, όπως π.χ. το όργανο στρεπτού πηνίου, μπορεί να χρησιμοποιηθεί απ' ευθείας για την μέτρηση ρεύματος δηλαδή να λειτουργήσει σαν αμπερόμετρο. Το ρεύμα το οποίο προκαλεί την μέγιστη απόκλιση αντιστοιχεί στη μέγιστη ένδειξη του οργάνου. Επιπλέον η απαίτηση το όργανο να διαρρέεται από το υπό μέτρηση ρεύμα οδηγεί στην ανάγκη σύνδεσης του αμπερομέτρου σε σειρά στο κύκλωμα



Σχήμα 7.1 Μέτρηση ρεύματος σε κύκλωμα

Ας εξετάσουμε τώρα πως επιδρά στα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά ενός κυκλώματος η σύνδεση ενός αμπερομέτρου. Σαν παράδειγμα ας δούμε την μέτρηση του ρεύματος στο κύκλωμα του Σχήματος 5.1 με τη χρήση ενός οργάνου με μέγιστη ένδειξη I_m και εσωτερική αντίσταση r_0 . Το ρεύμα που διαρρέει το κύκλωμα και θα μετρήσει το

όργανο είναι $I = V / (R + r_0)$. Αν δεν υπήρχε το όργανο, το ρεύμα στο κύκλωμα θα ήταν $I = V / R$. Επομένως θα μετράμε ρεύμα μικρότερο από αυτό που θα υπήρχε στο κύκλωμα χωρίς την παρουσία του αμπερομέτρου.

Ας εξετάσουμε στη συνέχεια τι απαιτείται ώστε το αμπερόμετρο να μετρά σωστά την τιμή του ρεύματος. Το σχετικό σφάλμα της μέτρησης θα είναι:

$$\left| \frac{I_{\text{ενδ}} - I_{\text{πραγ}}}{I_{\text{ενδ}}} \right| = \left| \frac{\frac{V}{R + r_0} - \frac{V}{R}}{\frac{V}{R + r_0}} \right| = \left| -\frac{r_0}{R} \right|. \quad (7.1)$$

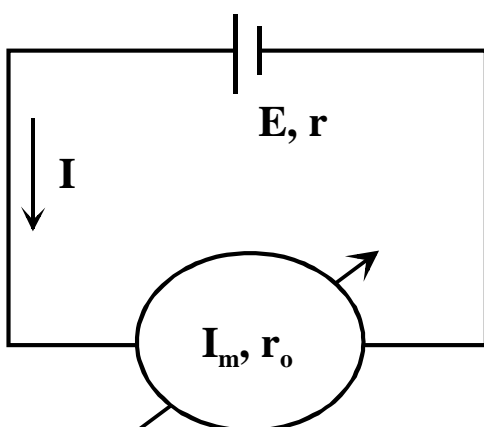
Βλέπουμε δηλαδή ότι το σχετικό σφάλμα της μέτρησης θα είναι μικρό αν η εσωτερική αντίσταση του αμπερομέτρου είναι πολύ μικρή (ιδανικά μηδέν). Πρακτικά αυτό σημαίνει ότι για να μην επηρεάζονται σημαντικά τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του κυκλώματος, η εσωτερική αντίσταση ενός αμπερομέτρου πρέπει να είναι πολύ μικρότερη από αυτή του υπόλοιπου κυκλώματος ώστε να μην δημιουργείται πτώση

τάσης στα άκρα του οργάνου. Συνήθως, η εσωτερική αντίσταση του αμπερομέτρου πρέπει να είναι μικρότερη ή ίση με 0.1Ω .

Σε σχέση με πρακτικές εφαρμογές, σε μετρήσεις DC ρευμάτων απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή στην πολικότητα του ρεύματος ενώ σε μετρήσεις AC ρευμάτων η ένδειξη του οργάνου αφορά ενεργές τιμές I_{ev} ($I_{ev}=I_0/\sqrt{2}$). Για συνεχή ρεύματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν όργανα στρεπτού πηνίου, κινητού σιδήρου και κινητού μαγνήτη. Για εναλλασσόμενα ρεύματα αντίστοιχα μπορούν να χρησιμοποιηθούν όργανα επαγωγικά, κινητού σιδήρου και στρεπτού πηνίου με ανορθωτική διάταξη.

7.2 Μέτρηση τάσης-Βολτόμετρο

Αν σε κάθε όργανο στο οποίο ο δείκτης μετακινείται όταν αυτό διαρρέεται από ρεύμα, όπως π.χ. το όργανο στρεπτού πηνίου, συνδέσουμε μία τάση V , τότε λόγω της εσωτερικής αντίστασης του οργάνου r_0 , το όργανο θα διαρρέεται από ρεύμα $I=V/r_0$. Επομένως, ο δείκτης του οργάνου θα μετακινηθεί σε θέση που αντιστοιχεί στο ρεύμα I , η ένδειξη όμως θα σχετίζεται με την τάση V . Δηλαδή το όργανο θα λειτουργεί σαν βολτόμετρο, θα μετράει μία τάση μέσω του ρεύματος που προκαλεί η τάση αυτή στην αντίσταση r_0 και η μέγιστη ένδειξη του θα είναι $V_m=I_m r_0$, όπου I_m το ρεύμα μέγιστης απόκλισης του οργάνου. Η απαίτηση μετατροπής της τάσης σε ρεύμα για τη λειτουργία του βολτομέτρου οδηγεί στην ανάγκη παράλληλης σύνδεσης ενός βολτομέτρου στο κύκλωμα.



Σχήμα 7.2 Μέτρηση ΗΕΔ πηγής

Ας εξετάσουμε τώρα πως επιδρά στα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά ενός κυκλώματος η σύνδεση ενός βολτομέτρου. Σαν παράδειγμα ας δούμε την μέτρηση της ΗΕΔ μιας πηγής E, r με τη χρήση ενός βολτομέτρου με ρεύμα μέγιστης απόκλισης I_m και εσωτερική αντίσταση r_0 (Σχήμα 5.2). Αν το ρεύμα του κυκλώματος είναι I , η ένδειξη του οργάνου θα είναι $V=I r_0$ και η ΗΕΔ της πηγής θα πρέπει να θεωρείται ότι

έχει τιμή V . Όμως, όπως δίνει ο νόμος του Ohm, η ΗΕΔ συνδέεται με το ρεύμα I μέσω της σχέσης $E=I(r+r_0)$. Βλέπουμε δηλαδή ότι το βολτόμετρο θα μετρά μικρότερη ΗΕΔ από την πραγματική λόγω της εσωτερικής αντίστασης της πηγής..

Ας εξετάσουμε στη συνέχεια τι απαιτείται ώστε το βολτόμετρο να μετρά σωστά την τιμή της ΗΕΔ. Το σχετικό σφάλμα της μέτρησης της ΗΕΔ της πηγής του σχήματος 5.2 θα είναι:

$$\left| \frac{E_{\varepsilon\nu\delta} - E_{\pi\alpha\gamma}}{E_{\varepsilon\nu\delta}} \right| = \left| \frac{I r_0 - I(r + r_0)}{I r_0} \right| = \left| -\frac{r}{r_0} \right|. \quad (7.2)$$

Βλέπουμε δηλαδή ότι το σχετικό σφάλμα της μέτρησης θα είναι μικρό αν η εσωτερική αντίσταση του βολτομέτρου είναι πολύ μεγάλη (ιδανικά άπειρη). Πρακτικά αυτό σημαίνει ότι για να μην επηρεάζονται σημαντικά τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του κυκλώματος, η εσωτερική αντίσταση ενός βολτομέτρου πρέπει να είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή του υπόλοιπου κυκλώματος ώστε το ρεύμα που θα διαρρέει το όργανο να είναι πολύ μικρό ποσοστό του ολικού ρεύματος. Συνήθως, η εσωτερική αντίσταση του βολτομέτρου πρέπει να είναι μεγαλύτερη ή ίση με 10KΩ.

Σε σχέση με πρακτικές εφαρμογές, σε μετρήσεις DC τάσεων απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή στην πολικότητα της τάσης ενώ σε μετρήσεις AC τάσεων η ένδειξη του οργάνου αφορά ενεργές τιμές $V_{\varepsilon\nu}$ ($V_{\varepsilon\nu} = V_0 / \sqrt{2}$). Για συνεχείς τάσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν όργανα στρεπτού πηνίου, κινητού σιδήρου και κινητού μαγνήτη. Για εναλλασσόμενες τάσεις αντίστοιχα μπορούν να χρησιμοποιηθούν όργανα επαγωγικά, κινητού σιδήρου και στρεπτού πηνίου με ανορθωτική διάταξη.

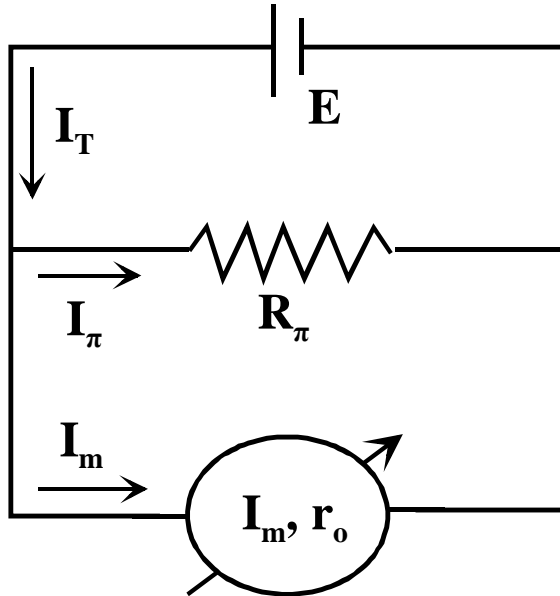
7.3 Επέκταση της κλίμακας οργάνων

Η περιοχή μέτρησης ενός οργάνου καθορίζεται από διάφορους παράγοντες που σχετίζονται με την κατασκευή του όπως η αρχή λειτουργίας του, η ανασταλτική διάταξη κλπ. Πολλές φορές όμως, η περιοχή μέτρησης του οργάνου δεν είναι ικανοποιητική ώστε να γίνει εφικτή η μέτρηση ενός μεγάλου μεγέθους (π.χ. διαθέτουμε βολτόμετρο 1 V και θέλουμε να μετρήσουμε την τάση μίας μπαταρία 9V). Σε αυτή την περίπτωση η μέτρηση γίνεται εφικτή μέσω της διαδικασίας επέκτασης της κλίμακας του οργάνου.

7.3.1 Επέκταση κλίμακας αμπερομέτρου

Έστω αμπερόμετρο μέγιστης ένδειξης I_m και εσωτερικής αντίστασης r_0 . Η επέκταση της κλίμακας του αμπερομέτρου ή αλλιώς η μέτρηση ενός ρεύματος I με $I > I_m$ επιτυγχάνεται με την σύνδεση μιας κατάλληλης αντίστασης R_π παράλληλα στο όργανο η οποία ονομάζεται αντίσταση διακλάδωσης ή Shunt. Λόγω της αντίστασης διακλάδωσης, το μέγιστο ρεύμα που διαρρέει το αμπερόμετρο παραμένει I_m ενώ η R_π

διαρρέεται από το υπόλοιπο ρεύμα $I - I_m$. Όπως είναι φανερό, για να επιτύχουμε επέκταση της κλίμακας αμπερομέτρου, η αντίσταση διακλάδωσης πρέπει να μικρότερη από την εσωτερική αντίσταση του οργάνου ώστε το περισσότερο ρεύμα να διέρχεται από την αντίσταση διακλάδωσης.



Σχήμα 7.3 Επέκταση κλίμακας αμπερομέτρου

Ας εξετάσουμε αναλυτικότερα την επέκταση της κλίμακας ενός αμπερομέτρου. Έστω η περίπτωση του Σχήματος 7.3 όπου πρέπει να μετρηθεί το ρεύμα I_T με χρήση του αμπερομέτρου I_m , r_o και χρήση της αντίστασης διακλάδωσης R_π . Από τον α' νόμο Kirckcoff έχουμε $I_T = I_\pi + I_m$ ενώ από το νόμο του Ohm $I_\pi R_\pi = I_m r_o$. Συνδυάζοντας αυτές τις δύο σχέσεις έχουμε:

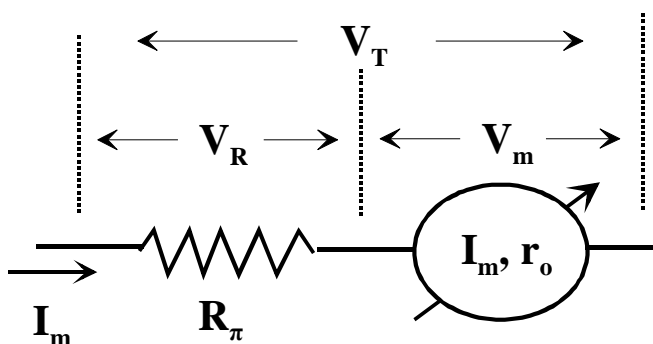
$$I_T = I_m \left(1 + \frac{r_o}{R_\pi} \right). \quad (7.3)$$

Αν τώρα ορίσουμε το συντελεστή επέκτασης κλίμακας $K = I/I_m$, η σχέση (7.3) γράφεται ως:

$$R_\pi = r_o / (K - 1) \quad (7.4)$$

Με βάση την τελευταία σχέση μπορεί να υπολογιστεί η κατάλληλη αντίσταση για πολλαπλασιασμό της κλίμακας του αμπερομέτρου επί παράγοντα K . Σαν παράδειγμα ας δούμε την περίπτωση όπου $I_m = 1 \text{ mA}$, $r_o = 10 \text{ } \Omega$ και η τελική αιτούμενη κλίμακα $I_T = 1 \text{ A}$. Σύμφωνα με τη σχέση (7.4) και με $K = 10^3$, $R_\pi = 0.01 \text{ } \Omega$.

7.3.2 Επέκταση κλίμακας βολτομέτρου



Σχήμα 7.4 Επέκταση κλίμακας βολτομέτρου

Έστω όργανο με ρεύμα μέγιστης απόκλισης I_m και εσωτερικής αντίστασης r_o που δίνει βολτόμετρο μέγιστης ένδειξης $V_m = I_m r_o$. Η επέκταση της κλίμακας του βολτομέτρου ή αλλιώς η

μέτρηση μιας τάσης V με $V > V_m$ επιτυγχάνεται με την σύνδεση μιας κατάλληλης αντίστασης R_π σε σειρά στο όργανο. Λόγω της αντίστασης αυτής, η μέγιστη τάση στα άκρα του βολτομέτρου παραμένει V_m ενώ η υπόλοιπη τάση $V - V_m$ βρίσκεται στην R_π . Όπως είναι φανερό, για να επιτύχουμε επέκταση της κλίμακας βολτομέτρου, η R_π πρέπει να μεγαλύτερη από την εσωτερική αντίσταση του οργάνου ώστε το μεγαλύτερο ποσοστό της τάσης να βρίσκεται στην R_π .

Ας εξετάσουμε αναλυτικότερα την επέκταση της κλίμακας ενός βολτομέτρου. Έστω η περίπτωση του Σχήματος 7.4 όπου πρέπει να μετρηθεί η τάση V_T με χρήση του οργάνου μέγιστης ένδειξης $V_m = I_m r_0$ και χρήση της αντίστασης R_π . Για να δουλέψει το όργανο σωστά πρέπει το ολικό ρεύμα να παραμείνει I_m , ενώ από το νόμο του Ohm έχουμε:

$$V_T = I_m R_\pi + I_m r_0 = I_m (R_\pi + r_0) = \frac{V_m}{r_0} (R_\pi + r_0) = V_m \left(1 + \frac{R_\pi}{r_0} \right) \quad (7.5)$$

Αν τώρα ορίσουμε το συντελεστή επέκτασης κλίμακας $K = V/V_m$, η σχέση (7.5) γράφεται ως:

$$R_\pi = r_0(K-1) \quad (7.6)$$

Με βάση την τελευταία σχέση μπορεί να υπολογιστεί η κατάλληλη αντίσταση για πολλαπλασιασμό της κλίμακας του βολτομέτρου επί παράγοντα K . Σαν παράδειγμα ας δούμε την περίπτωση όπου $I_m = 1 \text{ mA}$, $r_0 = 100 \ \Omega$, $V_m = 10 \text{ mV}$ και η τελική αιτούμενη κλίμακα $V_T = 1 \text{ V}$. Σύμφωνα με τη σχέση (7.6) και με $K = 10^2$, $R_\pi = 9900 \ \Omega$.