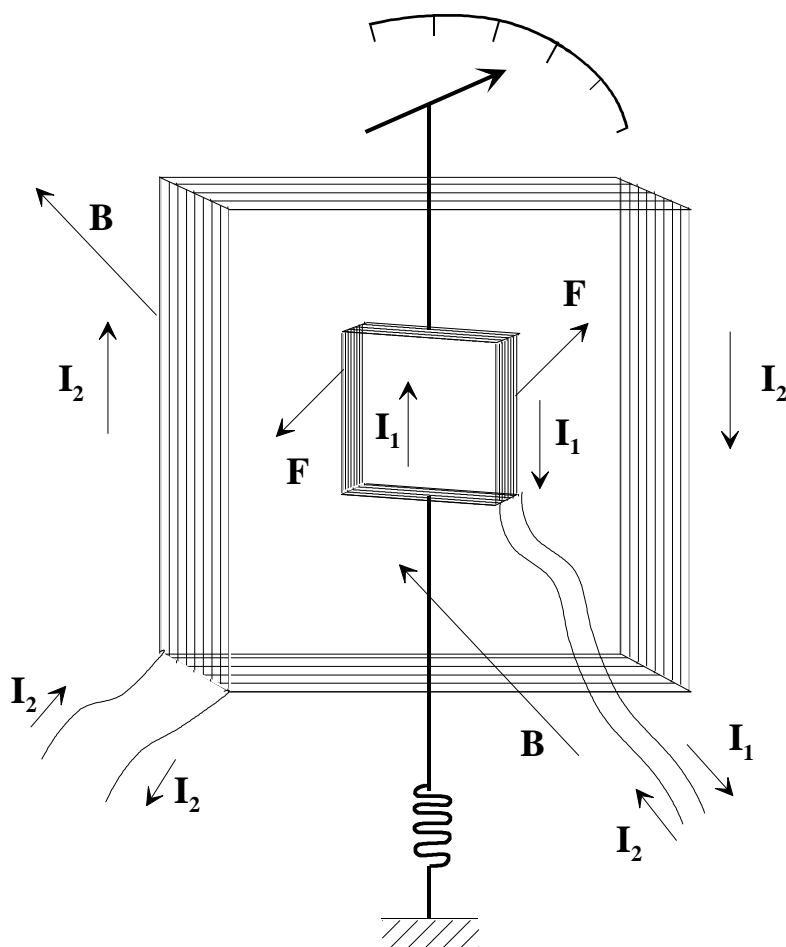


## Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup>

### Άλλα αναλογικά ηλεκτρικά όργανα

#### 4.1 Ηλεκτροδυναμικά όργανα

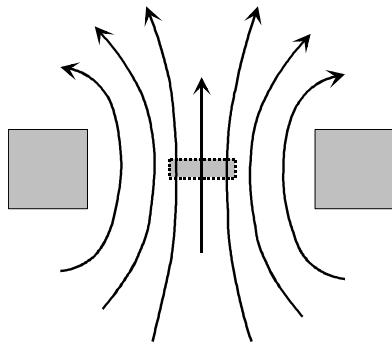
Τα ηλεκτροδυναμικά όργανα είναι επίσης ιδιαίτερα διαδεδομένα κυρίως λόγω της χρήσης τους στην μέτρηση ισχύος σαν βατόμετρα. Η λειτουργία τους βασίζεται επίσης στην κίνηση ενός πηνίου που διαρρέεται από ρεύμα  $I_1$  μέσα σε ένα μαγνητικό πεδίο λόγω δυνάμεων Laplace, όπου σε αυτή τη περίπτωση το μαγνητικό πεδίο δεν είναι σταθερό αλλά δημιουργείται από ένα πηνίο που διαρρέεται από ρεύμα  $I_2$ . Σαν



Σχήμα 4.1 Αρχή λειτουργίας ηλεκτροδυναμικών οργάνων

αποτέλεσμα, η στροφή του δείκτη είναι ανάλογη του  $I_1 I_2 \sin \phi$  όπου  $\phi$  η διαφορά φάσης μεταξύ  $I_1$  και  $I_2$ . Επομένως, το βασικό πλεονέκτημα των ηλεκτροδυναμικών οργάνων είναι η ικανότητα τους να μετρήσουν το γινόμενο δύο ρευμάτων, το οποίο όπως θα δούμε παρακάτω σημαίνει απ' ευθείας μέτρηση της ισχύος. Ας δούμε τώρα αναλυτικότερα την λειτουργία του οργάνου:

Στο σχήμα 4.1 φαίνεται ένα απλοποιημένο διάγραμμα των πηνίων στο εσωτερικό ενός ηλεκτροδυναμικού οργάνου. Το μεγάλο εξωτερικό πηνίο που διαρρέεται από



Σχήμα 4.2 Μαγνητικές γραμμές στο ηλεκτροδυναμικό όργανο

ρεύμα  $I_2$  είναι ακίνητο και χρησιμεύει στην δημιουργία μαγνητικού πεδίου το οποίο σύμφωνα με το νόμο Biot-Savart είναι ανάλογο του  $I_2$ ,  $B=C_1I_2$ , και για τα ρεύματα του σχήματος έχει φορά προς τα μέσα. Στο κέντρο του ακίνητου πηνίου, οι μαγνητικές γραμμές που επάγονται από τα επιμέρους τμήματα προστίθενται και το επαγόμενο μαγνητικό πεδίο τείνει να γίνει ομογενές (σχήμα 4.2). Μέσα σε αυτό το τμήμα του

μαγνητικού πεδίου μπορεί να περιστρέφεται γύρω από κατακόρυφο άξονα το μικρό εσωτερικό πηνίο που διαρρέεται από ρεύμα  $I_1$ . Στον κατακόρυφο αυτό άξονα είναι στερεωμένος ο δείκτης αλλά και τα επανατακτικά ελατήρια.

Λόγω του μαγνητικού πεδίου  $B$ , στο εσωτερικό πηνίο ασκούνται δυνάμεις Laplace  $F=C_2BI_1$ , οι οποίες για τα ρεύματα του σχήματος τείνουν να περιστρέψουν το κινητό πηνίο αριστερόστροφα. Η συνεπαγόμενη κινητήρια ροπή υπολογίζεται σε:

$$M_{\text{κιν}} = FL = C_2BI_1L = C_2C_1I_2I_1L = C_3I_1I_2 \quad (4.1)$$

Στην κινητήρια αυτή ροπή αντιτίθεται η ροπή που ασκούν τα επανατακτικά ελατήρια, η οποία για στροφή κατά  $\Theta$  δίνεται από:

$$M_{\text{ελα}} = C_4\Theta \quad (4.2)$$

Το κινούμενο πηνίο θα ισορροπήσει σε θέση στην οποία οι δύο ροπές θα είναι ίσες:

$$M_{\text{κιν}} = M_{\text{ελα}} \Rightarrow C_3I_1I_2 = C_4\Theta \Rightarrow \Theta = KI_1I_2 \quad (4.3)$$

Βλέπουμε δηλαδή ότι η γωνία στην οποία σταματά ο δείκτης είναι ανάλογη του γινομένου των δύο ρευμάτων με τη σταθερά αναλογίας  $K$  να εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του οργάνου.

Ας δούμε τώρα τι θα συμβεί αν τα ρεύματα είναι εναλλασσόμενα με την ίδια συχνότητα. Σε αυτή την περίπτωση θα αλλάζει ταυτόχρονα η φορά και των δύο ρευμάτων. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα στις ασκούμενες δυνάμεις Laplace να αλλάζει φορά ταυτόχρονα και το μαγνητικό πεδίο και το ρεύμα. Άρα η φορά των δυνάμεων παραμένει η ίδια και στην θετική και στην αρνητική φορά του ρεύματος, ο δείκτης θα κινείται πάντοτε προς την ίδια διεύθυνση και το όργανο μπορεί να μετρήσει εναλλασσόμενες ποσότητες.

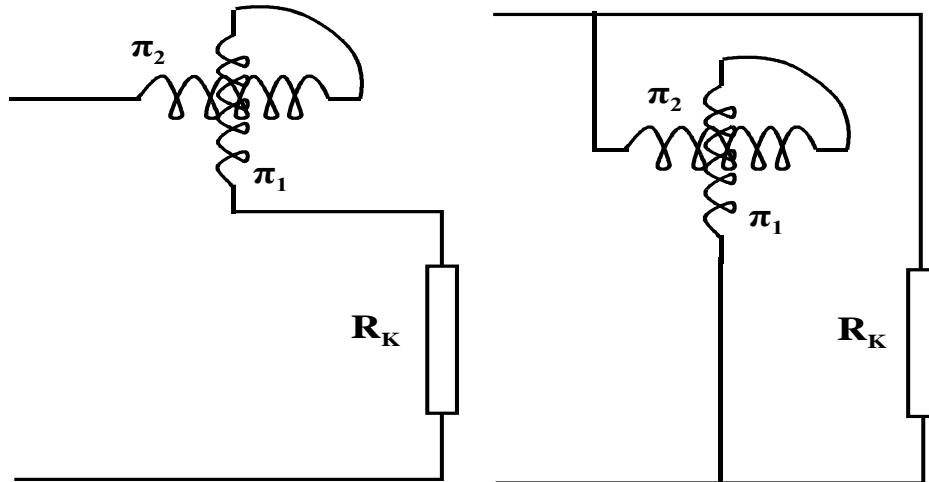
Ας υπολογίσουμε τώρα την μέση τιμή της ροπής για την περίπτωση των εναλλασσόμενων ρευμάτων. Αν τα εφαρμοζόμενα ρεύματα έχουν την μορφή  $I_1 = \sqrt{2}I_{1ε\upsilon}\eta\mu(\omega t)$  και  $I_2 = \sqrt{2}I_{2ε\upsilon}\eta\mu(\omega t + \varphi)$ , η ροπή κίνησης θα έχει την μορφή:

$$M_{κιν} = C_3 \sqrt{2}I_{1ε\upsilon}\eta\mu(\omega t)\sqrt{2}I_{2ε\upsilon}\eta\mu(\omega t + \varphi) \quad (4.4)$$

Η ισοροπία του κινητού μέρους και του δείκτη θα εξαρτάται από την μέση τιμή της ροπής στην εξίσωση (4.4), η οποία υπολογίζεται σε:

$$\begin{aligned} \bar{M}_{κιν} &= \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} [C_3 \sqrt{2}I_{1ε\upsilon}\eta\mu(\omega t)\sqrt{2}I_{2ε\upsilon}\eta\mu(\omega t + \varphi)]d(\omega t) = \\ &= \frac{C_3 I_{1ε\upsilon} I_{2ε\upsilon}}{\pi} \int_0^{2\pi} [\eta\mu(\omega t)\eta\mu(\omega t + \varphi)]d(\omega t) = \\ &= \frac{C_3 I_{1ε\upsilon} I_{2ε\upsilon}}{\pi} \int_0^{2\pi} \frac{1}{2} [\sigma\upsilon\nu\varphi - \sigma\upsilon\nu(2\omega t + \varphi)]d(\omega t) = \quad (4.5) \\ &= \frac{C_3 I_{1ε\upsilon} I_{2ε\upsilon}}{2\pi} \int_0^{2\pi} \sigma\upsilon\nu\varphi d(\omega t) = \frac{C_3 I_{1ε\upsilon} I_{2ε\upsilon} \sigma\upsilon\nu\varphi}{2\pi} \int_0^{2\pi} d(\omega t) = \\ &= \frac{C_3 I_{1ε\upsilon} I_{2ε\upsilon} \sigma\upsilon\nu\varphi}{2\pi} (\omega t|_0^{2\pi}) = C_3 I_{1ε\upsilon} I_{2ε\upsilon} \sigma\upsilon\nu\varphi \end{aligned}$$

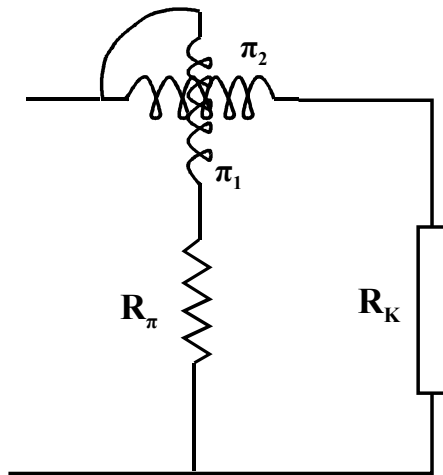
Βλέπουμε δηλαδή ότι η κίνηση του δείκτη θα είναι ανάλογη του γινομένου των δύο ρευμάτων και του συνημίτονου της διαφοράς φάσης μεταξύ τους. Αυτό σημαίνει ότι



Σχήμα 4.3 Χρήση ηλεκτροδυναμικών οργάνων ως αμπερόμετρα (αριστερά) και βολτόμετρα (δεξιά)

για ρεύματα με διαφορά φάσης  $90^\circ$ , ο δείκτης θα παραμένει ακίνητος.

Στην πράξη, τα ηλεκτροδυναμικά όργανα περιέχουν δύο ακίνητα πηνία παράλληλα μεταξύ τους με στόχο αφενός την δημιουργία ενός πιο ομογενούς μαγνητικού πεδίου στο κέντρο αλλά και την αύξηση της έντασης του πεδίου. Επίσης, το ρεύμα  $I_1$  μεταφέρεται από τα επανατακτικά ελατήρια καθώς η χρήση επιπλέον



Σχήμα 4.4 Βατόμετρο

καλωδίων μπορεί να επηρεάσει την κίνηση του κινητού πηνίου. Τέλος, σε σχέση με την χρήση των ηλεκτροδυναμικών οργάνων, αυτά μπορούν να λειτουργήσουν ως αμπερόμετρα ή βολτόμετρα όταν τα δύο πηνία τους συνδεθούν σε σειρά (σχήμα 4.3), όμως η κλίμακα των οργάνων που προκύπτουν είναι τετραγωνική όπως φαίνεται από την εξίσωση (4.3). Η κυριότερη όμως εφαρμογή των ηλεκτροδυναμικών οργάνων είναι τα

βατόμετρα για τη μέτρηση της ισχύος (σχήμα 4.4). Στην περίπτωση αυτή, το ακίνητο πηνίο  $\pi_2$  συνδέεται σε σειρά στο κύκλωμα (πηνίο ρεύματος) ενώ το κινούμενο πηνίο  $\pi_1$  παράλληλα (πηνίο τάσης) μαζί με ωμική αντίσταση  $R_\pi$ . Κάτω από αυτές τις συνθήκες, η γωνία που θα ισορροπήσει ο δείκτης θα δίνεται (εξισώσεις 4.3 και 4.5):

$$\Theta = C I_1 I_2 \sin \varphi = C \frac{V_K}{R_\pi + R_{\pi 1}} I_K \sin \varphi = K P_K \quad (4.6)$$

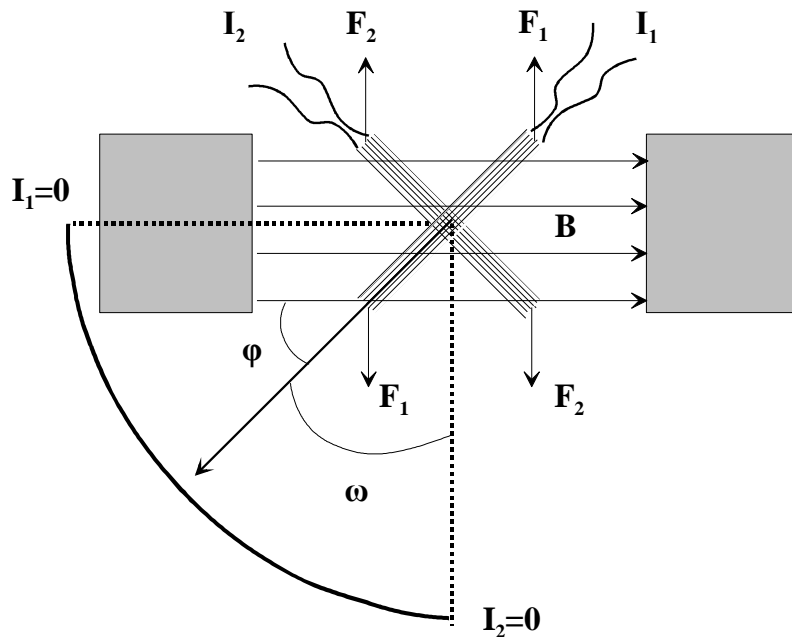
όπου  $P_K$ ,  $V_K$ ,  $I_K$  η ενεργός ισχύς, η τάση και το ρεύμα του καταναλωτή  $R_K$  και  $R_{\pi 1}$  η αντίσταση του πηνίου τάσης. Βλέπουμε δηλαδή ότι το όργανο με τη συνδεσμολογία του σχήματος 4.4 μετράει απ' ευθείας ενεργό ισχύ. Περισσότερες λεπτομέρειες για τα βατόμετρα θα αναφερθούν στο κεφάλαιο σχετικά με την ενεργό ισχύ.

#### 4.2 Όργανα διασταυρούμενων πηνίων

Ένα άλλο είδος ηλεκτρομαγνητικών οργάνων είναι τα όργανα διασταυρούμενων πηνίων όπου τα κύρια χαρακτηριστικά είναι η απουσία επανατακτικών ελατηρίων και η εξάρτηση της γωνίας που ισορροπεί ο δείκτης από τον λόγο δύο ρευμάτων (όργανα πηλίκου). Η λειτουργία τους βασίζεται στην κίνηση ενός συστήματος δύο πηνίων στερεωμένων κάθετα μεταξύ τους με μηχανικό τρόπο μέσα σε ένα ομογενές μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται από ένα μόνιμο μαγνήτη (σχήμα 4.5). Τα πηνία διαρρέονται από ρεύματα  $I_1$  και  $I_2$  αντίστοιχα, που έχουν την ίδια φορά. Στις πλευρές κάθε πηνίου που είναι κάθετες στο χαρτί θα ασκούνται δυνάμεις Laplace των οποίων η φορά φαίνεται στο σχήμα και το μέτρο δίνεται από:

$$F_1 = C_1 B I_1 \quad F_2 = C_2 B I_2 \quad (4.6)$$

Οι δυνάμεις αυτές δημιουργούν δύο ροπές οι οποίες τείνουν να στρέψουν το σύστημα



Σχήμα 4.5 Αρχή λειτουργία οργάνων διασταυρούμενων πηνίων

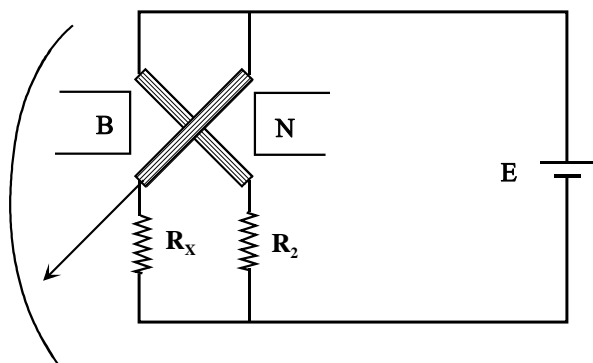
των δύο πηνίων προς αντίθετες κατευθύνσεις και δίνονται από:

$$M_1 = C_1 N_1 S_1 B I_1 \eta \mu \omega \quad F_2 = C_2 N_2 S_2 B I_2 \eta \mu \varphi \quad (4.7)$$

όπου N και S είναι ο αριθμός των σπειρών και το εμβαδόν των πηνίων αντίστοιχα. Το σύστημα των δύο πηνίων και ο δείκτης θα ισορροπήσουν σε γωνία τέτοια όπου οι δύο ροπές θα είναι ίσες. Αν ληφθεί υπ' όψη ότι οι γωνίες  $\omega$  και  $\varphi$  είναι συμπληρωματικές, η εξισορρόπηση των ροπών θα δώσει:

$$M_1 = M_2 \Rightarrow C_1 N_1 S_1 B I_1 \eta \mu \omega = C_2 N_2 S_2 B I_2 \eta \mu \varphi \Rightarrow \frac{I_2}{I_1} = K \epsilon \varphi \omega \quad (4.8)$$

Δηλαδή η γωνία  $\omega$ , όπου ισορροπεί ο δείκτης, είναι ανάλογη του λόγου των δύο ρευμάτων. Αν το  $I_1$  είναι μηδέν, ο δείκτης είναι οριζόντιος, ο δείκτης είναι κατακόρυφος για  $I_2=0$  ενώ αν και τα δύο ρεύματα μηδενιστούν, ο δείκτης σταματά σε τυχαία θέση.



Σχήμα 4.6 Ωμόμετρο τύπου Meger

Η κύρια χρήση των οργάνων διασταυρούμενων πηνίων είναι τα ωμόμετρα (ωμόμετρα τύπου Meger). Στο σχήμα 4.6 φαίνεται η

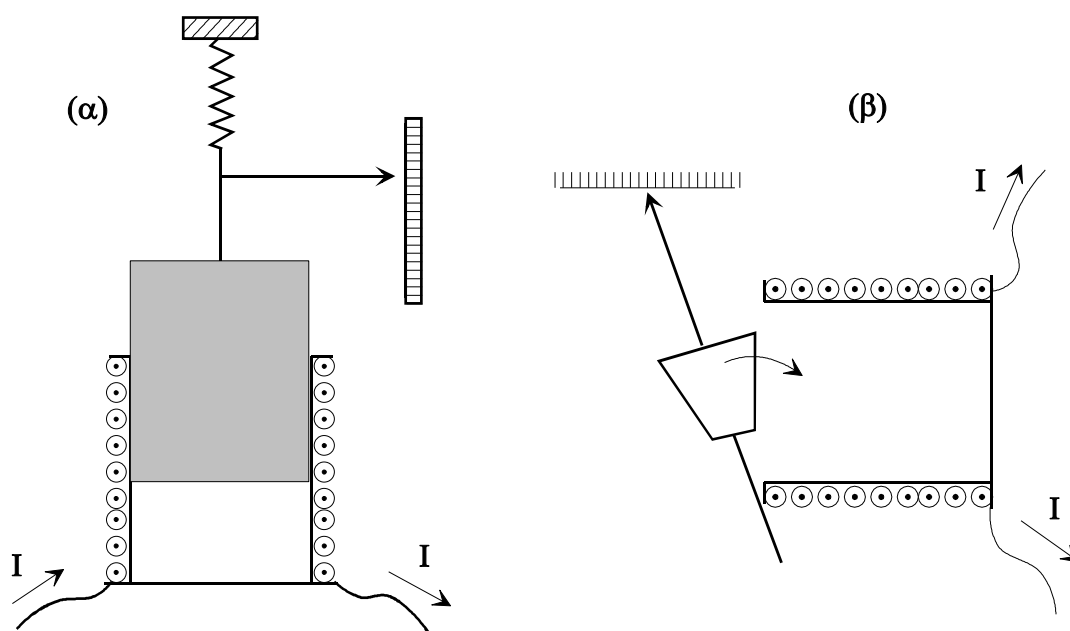
αντίστοιχη συνδεσμολογία όπου  $R_2$  είναι γνωστή αντίσταση και η πηγή τάσης μπορεί να είναι ακόμα και χειροκίνητη γεννήτρια καθώς η ένδειξη όπως θα δούμε δεν επηρεάζεται από την τάση. Σύμφωνα με το νόμο του Ohm  $E=I_1R_1=I_2R_2$  και χρησιμοποιώντας τη σχέση 4.8 έχουμε:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{I_2}{I_1} = K\alpha\rho\omega \Rightarrow R_1 = R_2 K\alpha\rho\omega \quad (4.9)$$

Από την τελευταία σχέση φαίνεται ότι η κλίμακα του οργάνου μπορεί να βαθμολογηθεί σε  $\Omega$  και ότι με αλλαγή της αντίστασης  $R_2$  μπορούμε να έχουμε διάφορες περιοχές μέτρησης.

### **4.3 Όργανα κινητού σιδήρου**

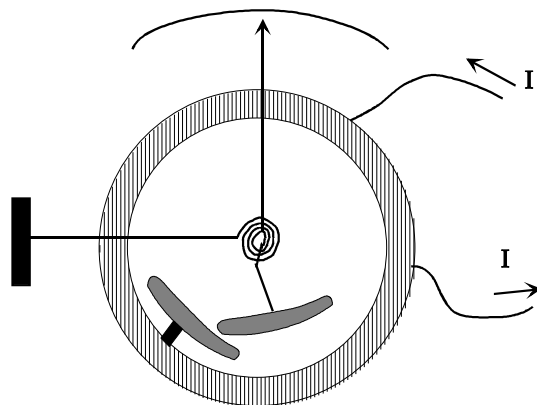
Τα όργανα κινητού σιδήρου είναι όργανα για μετρήσεις μεγάλων ηλεκτρικών μεγεθών (έως 60 A και 600 V), με μεγάλη υπερφόρτιση (αντέχουν 100πλάσιο ρεύμα από την μέγιστη τους ένδειξη) και χρησιμοποιούνται σε πίνακες. Η λειτουργία τους βασίζεται στην κίνηση ενός πυρήνα μαλακού σιδήρου (στον οποίο είναι προσαρμοσμένος ο δείκτης) σε σχέση με μαγνητικό πεδίο το οποίο δημιουργείται από το υπό μελέτη ρεύμα μέσω ενός πηνίου. Βασικό χαρακτηριστικό τους είναι ότι το



**Σχήμα 4.7** Όργανο κινητού σιδήρου (α) βυθιζόμενου πυρήνα και (β) ελκόμενου ελάσματος κινητό μέρος δεν διαρρέεται από ρεύμα και επομένως δεν υπάρχουν καλώδια σύνδεσης που θα μπορούσαν να επηρεάσουν την κίνηση. Διακρίνονται σε ελκτικού και απωστικού τύπου.

Ας εξετάσουμε αρχικά την λειτουργία των οργάνων κινητού σιδήρου ελκτικού τύπου (Σχήμα 4.7). Το υπό μέτρηση ρεύμα οδηγείται σε πηνίο που δημιουργεί

μαγνητικό πεδίο στο εσωτερικό του με μέτρο ανάλογο του ρεύματος ( $B \propto I$ ). Ο πυρήνας μαλακού σιδήρου, υπό μορφή πυρήνα που βυθίζεται στο πηνίο (σχήμα 4.7α)



Σχήμα 4.8 Όργανο κινητού σιδήρου απωστικού τύπου

ή ελάσματος που έλκεται από το πηνίο (σχήμα 4.7β), κινείται προς τις περιοχές μεγάλης έντασης. Όσο μεγαλύτερο είναι το ρεύμα, τόσο μεγαλύτερη η ένταση του μαγνητικού πεδίου άρα και η κίνηση του πυρήνα μαλακού σιδήρου. Επομένως, η μετακίνηση του πυρήνα και του αντίστοιχου δείκτη μπορεί να βαθμολογηθεί σε ρεύμα ή τάση

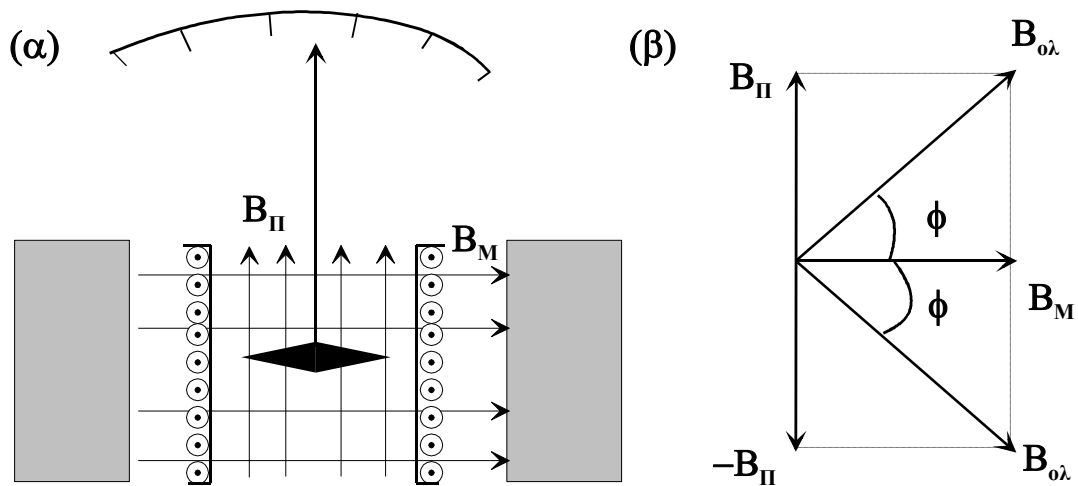
ανάλογα με την σύνδεση του οργάνου σε κύκλωμα. Η κλίμακα αυτή θα είναι τετραγωνική ( $F \propto B^2 \propto I^2$ ) και η κίνηση του πηνίου θα είναι προς την ίδια διεύθυνση (προς τη μεγαλύτερη ένταση πεδίου) αν αλλάξει φορά το ρεύμα. Άρα το όργανο μπορεί να μετρήσει απ' ευθείας εναλλασσόμενα μεγέθη.

Αντίστοιχα, τα χαρακτηριστικά στα όργανα απωστικού τύπου είναι ακριβώς τα ίδια με αυτά του ελκτικού τύπου. Η μόνη διαφορά είναι η κατασκευή του οργάνου. Όπως φαίνεται στο σχήμα 4.8, στο εσωτερικό του πηνίου υπάρχουν δύο ελάσματα, ένα ακίνητο και ένα το οποίο μπορεί να περιστραφεί. Με την είσοδο του ρεύματος στο πηνίο και τη δημιουργία του μαγνητικού πεδίου, τα ελάσματα μαγνητίζονται με όμοιο τρόπο με αποτέλεσμα να ασκηθούν απωστικές δυνάμεις μεταξύ τους. Λόγω των δυνάμεων αυτών, το κινούμενο έλασμα στρέφεται μαζί με τον δείκτη, και η στροφή είναι ανάλογη του τετραγώνου του ρεύματος.

#### 4.4 Όργανα κινητού μαγνήτη

Τα όργανα κινητού μαγνήτη είναι όργανα μικρού μεγέθους, με καλή ευαισθησία, με μεγάλη αντοχή στους κραδασμούς που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως αμπερόμετρα και βολτόμετρα σε κινούμενες εφαρμογές. Η λειτουργία τους βασίζεται στην κίνηση μιας μαγνητικής βελόνας μέσα σε μαγνητικό πεδίο το οποίο είναι η συνισταμένη δύο επί μέρους πεδίων καθέτων μεταξύ τους (σχήμα 4.9α), ενός σταθερού  $B_M$  (μόνιμος μαγνήτης) και ενός μεταβαλλόμενου  $B_{\Pi}$  (πηνίο). Αρχικά, όταν το πηνίο δεν διαρρέεται από ρεύμα (το πεδίο  $B_{\Pi}$  είναι μηδέν), η μαγνητική βελόνα θα

παραμένει οριζόντια καθώς θα ευθυγραμμίζεται με το σταθερό μαγνητικό πεδίο  $B_M$ . Όταν ρεύμα  $I$  διέρχεται από το πηνίο, επάγεται σε αυτό μαγνητικό πεδίο  $B_{II}$  ανάλογο του ρεύματος, επομένως το μέτρο της μιας από τις συνιστώσες του μαγνητικού πεδίου θα εξαρτάται από το μέγεθος του ρεύματος  $I$ . Η μαγνητική βελόνα θα τείνει να ευθυγραμμιστεί με την συνισταμένη των πεδίων  $B_{ολ}$  (σχήμα 4.9β) και θα στρίψει κατά γωνία  $\phi$  τέτοια ώστε:



Σχήμα 4.9 Αρχή λειτουργίας οργάνου κινητού μαγνήτη

$$\varepsilon \phi \Phi = \frac{B_{II}}{B_M} = \frac{CI}{B_M} = KI \quad (4.10)$$

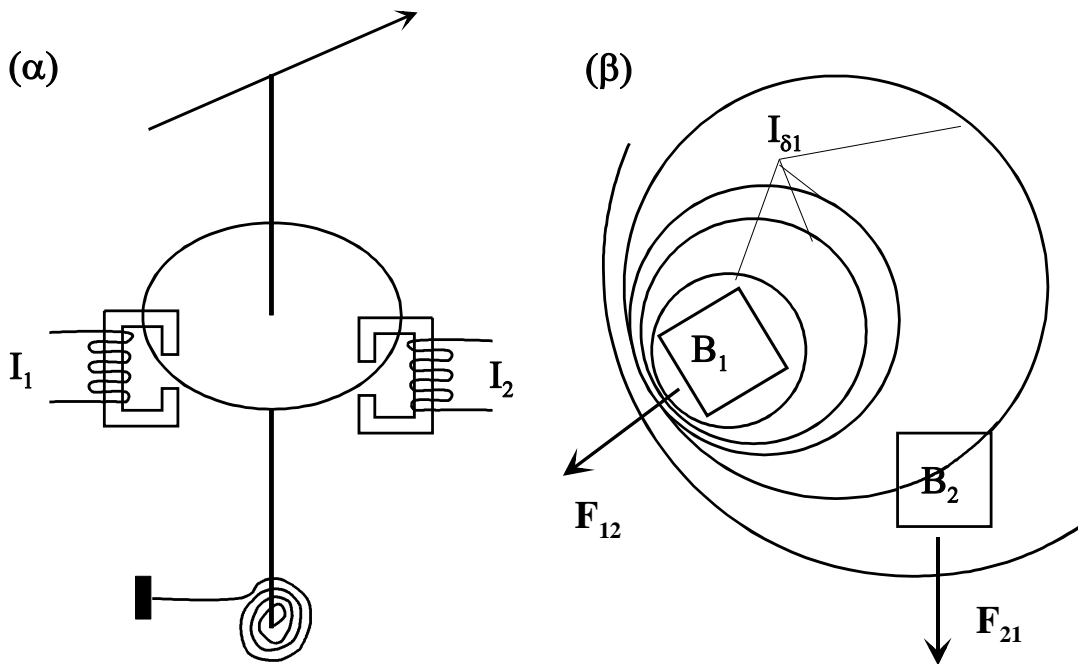
Βλέπουμε δηλαδή ότι η γωνία στροφής της μαγνητικής βελόνας άρα και του δείκτη είναι απ' ευθείας ανάλογη του ρεύματος  $I$ . Επομένως, το όργανο μπορεί να μετρήσει ρεύμα (ή τάση ανάλογα με τη σύνδεση). Αν η φορά του ρεύματος αλλάξει, η φορά του  $B_{II}$  θα είναι αντίθετη και η μαγνητική βελόνα θα κινηθεί αντίθετα (σχήμα 4.9β). Αυτό σημαίνει ότι το όργανο μπορεί να μετρήσει μόνο DC ηλεκτρικά μεγέθη. Επίσης, όπως είναι εμφανές, δεν απαιτούνται επανατακτικά ελατήρια για την ισορροπία του δείκτη καθώς το σημείο ισορροπίας καθορίζεται από την συνισταμένη των δύο μαγνητικών πεδίων. Τέλος, τα όργανα κινητού μαγνήτη απαιτούν μαγνητική θωράκιση καθώς η θέση ισορροπίας του δείκτη θα επηρεάζεται από εξωτερικά πεδία.

#### 4.5 Επαγωγικά όργανα

Τα επαγωγικά όργανα, είναι όργανα αποκλειστικά για εναλλασσόμενα μεγέθη και ομοιάζουν αρκετά με τα ηλεκτροδυναμικά όργανα όσον αφορά τις χρήσεις τους αλλά και την συνδεσμολογία τους σε εφαρμογές. Η αρχή λειτουργίας τους βασίζεται σε φαινόμενα επαγωγής (όπως δείχνει και ο τίτλος τους) και αποτελούνται από ένα



λεπτό δίσκο αλουμινίου ο οποίος μπορεί να περιστρέφεται ανάμεσα στους πόλους δύο ηλεκτρομαγνητών με μαγνητικά πεδία  $B_1$  και  $B_2$  δημιουργούμενα από εναλλασσόμενα ρεύματα  $I_1$  και  $I_2$  αντίστοιχα, που έχουν την ίδια συχνότητα και εμφανίζουν διαφορά φάσης  $\varphi$  (σχήμα 4.10α). Λόγω των φαινομένων επαγωγής, γύρω από το σημείο που διαπερνά κάθε μαγνητική ροή το δίσκο επάγεται σύστημα δινορευμάτων  $I_\delta$  που εμφανίζονται ως ομόκεντροι κύκλοι (στο σχήμα 4.10β φαίνονται κάποια δινορεύματα για το πεδίο  $B_1$ ). Για κάθε ηλεκτρομαγνήτη χωριστά, τα δινορεύματα δεν τέμνουν τις αντίστοιχες μαγνητικές γραμμές και επομένως δεν εμφανίζονται δυνάμεις Laplace. Όμως, κάποια από τα δινορεύματα που οφείλονται στο πεδίο  $B_1$  τέμνουν την μαγνητική ροή του πεδίου  $B_2$  και ασκούνται σε αυτά δυνάμεις  $F_{12}$ . Αντίστοιχα, δυνάμεις  $F_{21}$  θα ασκούνται σε κάποια δινορεύματα του πεδίου  $B_2$  από την ροή του πεδίου  $B_1$ . Οι δυνάμεις  $F_{12}$  και  $F_{21}$  έχουν σαν αποτέλεσμα μία ροπή η οποία τείνει να περιστρέψει τον δίσκο και είναι ανάλογη του γινομένου των δύο ρευμάτων επί το συνημίτονο της διαφοράς φάσης τους κατ' αναλογία με τα ηλεκτροδυναμικά όργανα. Τέλος, ένα σπειροειδές ελατήριο δημιουργεί την



Σχήμα 4.10 Αρχή λειτουργίας επαγωγικών οργάνων

επανατακτική ροπή.

Κατ' αναλογία με την χρήση των ηλεκτροδυναμικών οργάνων, τα επαγωγικά όργανα μπορούν να λειτουργήσουν ως αμπερόμετρα ή βολτόμετρα όταν τα δύο πηνία των ηλεκτρομαγνητών συνδεθούν σε σειρά, όμως η κλίμακα που προκύπτουν είναι τετραγωνική. Η κυριότερη όμως εφαρμογή των ηλεκτροδυναμικών οργάνων είναι η

μέτρηση της ισχύος και της ενέργειας. Στην περίπτωση αυτή, ο ένας ηλεκτρομαγνήτης συνδέεται σε σειρά στο κύκλωμα (πηνίο ρεύματος με λίγες σπείρες από χοντρό αγωγό) ενώ ο άλλος παράλληλα (πηνίο τάσης με πολλές σπείρες από λεπτό αγωγό). Το όργανο λειτουργεί τέλεια για ωμικούς καταναλωτές ( $\cos\varphi=1$ ) ενώ δεν μπορεί να πραγματοποιήσει μέτρηση σε καθαρά χωρητικούς ή επαγωγικούς καταναλωτές ( $\cos\varphi=0$ ). Η χρήση του επανατακτικού ελατηρίου οδηγεί στην μέτρηση της ισχύος ενώ η αφαίρεση του ελατηρίου προσφέρει στον δείκτη την δυνατότητα περιστροφής κατά  $360^\circ$  και στο όργανο την δυνατότητα να μετρήσει ηλεκτρική ενέργεια όπως θα δούμε στο αντίστοιχο κεφάλαιο.

