

Κεφάλαιο 17^ο

Μέτρηση ηλεκτρικής ενέργειας

17.1 Ορισμός ηλεκτρικής ενέργειας

Στο 13^ο κεφάλαιο ορίσαμε την ενεργό ή πραγματική ισχύ η οποία όπως αναφέρθηκε αντιστοιχεί στην ηλεκτρική ισχύ που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε (χρήσιμη ισχύ). Όμως η ισχύς σαν μέγεθος μας δείχνει μόνο τον ρυθμό με τον οποίο παράγεται ή καταναλώνεται ενέργεια και η μέτρηση της ισχύος από μόνη της δεν είναι αρκετή για να βρούμε τις απαιτήσεις ενός συστήματος σε ενέργεια. Για το λόγο αυτό έχουν αναπτυχθεί οι μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας. Προτού όμως αναφερθούμε αναλυτικά σε αυτούς, ας δούμε τον ορισμό της ηλεκτρικής ενέργειας. Αν σε ένα ηλεκτρικό σύστημα η στιγμιαία ισχύς είναι $p(t)$, η ενέργεια η οποία καταναλώνεται σε διάστημα $\Delta t = t_2 - t_1$ υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$W_E = \int_{t_1}^{t_2} p(t) dt = \int_{t_1}^{t_2} v(t) i(t) dt \quad (17.1)$$

Από την σχέση (17.1) βλέπουμε ότι η καταναλισκόμενη ενέργεια μπορεί να βρεθεί με δύο τρόπους: με την ολοκλήρωση της ισχύος μέσα στο ζητούμενο διάστημα Δt (βατομετρική μέθοδος) ή με την ολοκλήρωση του ρεύματος $i(t)$ στο διάστημα Δt θεωρώντας ότι η τάση είναι σταθερή (αμπερομετρική μέθοδος). Η πιο συνηθισμένη είναι η βατομετρική μέθοδος και οι αντίστοιχοι μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιούνται βασίζονται στα επαγωγικά ή στα ηλεκτροδυναμικά όργανα.

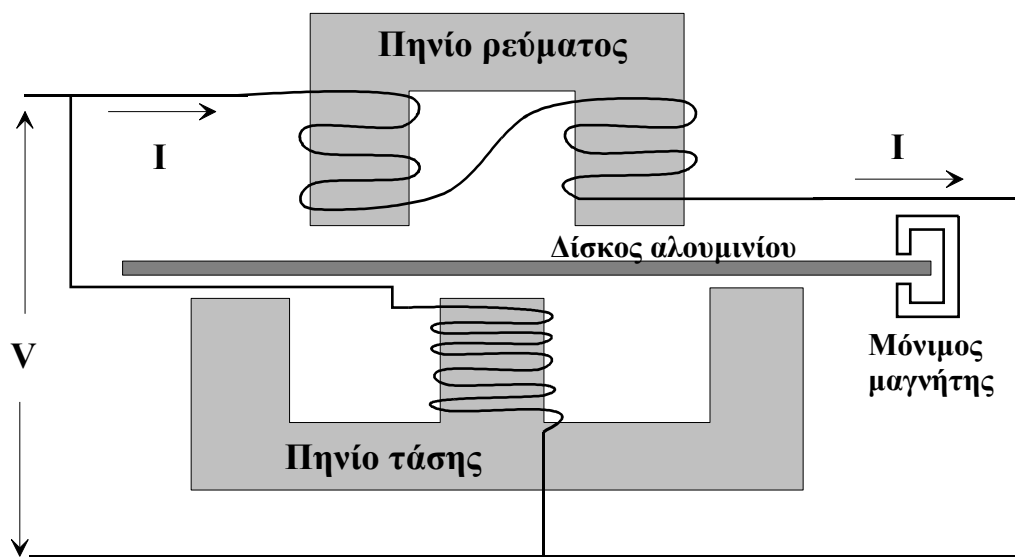
17.2 Μέθοδοι μέτρησης ηλεκτρικής ενέργειας

17.2.1 Επαγωγικοί μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας

Η λειτουργία των επαγωγικών μετρητών ηλεκτρικής ενέργειας βασίζεται στην ίδια αρχή με τα επαγωγικά όργανα (μάθημα 4^ο). Υπάρχει όμως μία βασική διαφορά: το κινούμενο μέρος του οργάνου δεν διαθέτει επανατακτικά ελατήρια, άρα μπορεί να κάνει περιστροφή 360°. Κατά τα άλλα, τα βασικά μέρη τους είναι τα ίδια με αυτά των απλών επαγωγικών οργάνων: ένας λεπτός δίσκος αλουμινίου ο οποίος μπορεί να περιστρέφεται ανάμεσα στους πόλους δύο ηλεκτρομαγνητών (σχήμα 17.1). Το πηνίο του ενός ηλεκτρομαγνήτη έχει λίγες χοντρές σπείρες, είναι συνδεδεμένο σε σειρά στο κύκλωμα (σύστημα έντασης) και δημιουργεί μαγνητικό πεδίο ανάλογο του ρεύματος του καταναλωτή. Αντίστοιχα, το άλλο πηνίο έχει πολλές λεπτές σπείρες, συνδέεται παράλληλα στο κύκλωμα (σύστημα τάσης) και δημιουργεί μαγνητικό πεδίο ανάλογο της τάσης του καταναλωτή. Λόγω της κατασκευής τους, το σύστημα τάσης

παρουσιάζει ωμική αντίσταση ενώ το σύστημα έντασης επαγωγική αντίσταση. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα οι μαγνητικές ροές των δημιουργούμενων πεδίων να έχουν φασική απόκλιση μεταξύ τους και να επάγουν ένα συνιστάμενο στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο.

Λόγω φαινομένων επαγωγής, δημιουργείται σύστημα δινορευμάτων γύρω από το σημείο που διαπερνά κάθε μαγνητική ροή τον δίσκο. Τα δινορεύματα που οφείλονται στο σύστημα τάσης τέμνουν την μαγνητική ροή του συστήματος έντασης και αντίστροφα. Άρα στο δίσκο θα ασκούνται δυνάμεις Laplace που θα επάγουν ροπή κίνησης η οποία θα δίνεται από μία σχέση της μορφής:



Σχήμα 17.1 Κατασκευή επαγωγικού μετρητή ηλεκτρικής ενέργειας

$$M_K = KV\text{I}\sin\varphi \quad (17.2)$$

όπου V , I η τάση και το ρεύμα του καταναλωτή, φ η διαφορά φάσης μεταξύ τους και K μία σταθερά που εξαρτάται από την κατασκευή του οργάνου. Όμως το γινόμενο $V\text{I}\sin\varphi$ δίνει την ισχύ του καταναλωτή άρα η ροπή κίνησης θα είναι ανάλογη της ισχύος:

$$M_K = KP_K \quad (17.3)$$

Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, το όργανο δεν διαθέτει επανατακτικά ελατήρια και ο δίσκος μπορεί να κάνει πλήρη περιστροφή λόγω της ροπής κίνησης. Για τον έλεγχο της περιστροφής αυτής, ο δίσκος περιστρέφεται ανάμεσα στους πόλους ενός μόνιμου μαγνήτη. Τα συνεπαγόμενα δινορεύματα του σταθερού μαγνητικού πεδίου λειτουργούν σαν φρένο επάγοντας μία ροπή αντιτιθέμενη στην κίνηση που θα δίνεται από μία σχέση της μορφής:

$$M_a = C_1\omega = C_2N \quad (17.4)$$

όπου C_1 και C_2 σταθερές εξαρτώμενες από την κατασκευή του οργάνου, ω η γωνιακή συχνότητα περιστροφής και N ο αριθμός των στροφών. Όταν οι δύο ροπές γίνουν ίσες, ο δίσκος θα περιστρέφεται με σταθερή γωνιακή ταχύτητα και θα ισχύει:

$$M_K = M_a \Rightarrow K P_K = C_2 N \Rightarrow P_K = C_3 N \quad (17.5)$$

όπου C_3 σταθερά. Δηλαδή, για σταθερή γωνιακή ταχύτητα περιστροφής, η ισχύς θα είναι ανάλογη του αριθμού των στροφών. Αν η τροφοδοσία ισχύος πραγματοποιηθεί για χρόνο t , η αντίστοιχη ενέργεια που απορροφά ο καταναλωτής θα σχετίζεται με τον ολικό αριθμό των στροφών μέσω της σχέσης:

$$P_K t = C_3 N t \Rightarrow W_K = C_3 N_{ολ} \Rightarrow N_{ολ} = C W_K \quad (17.6)$$

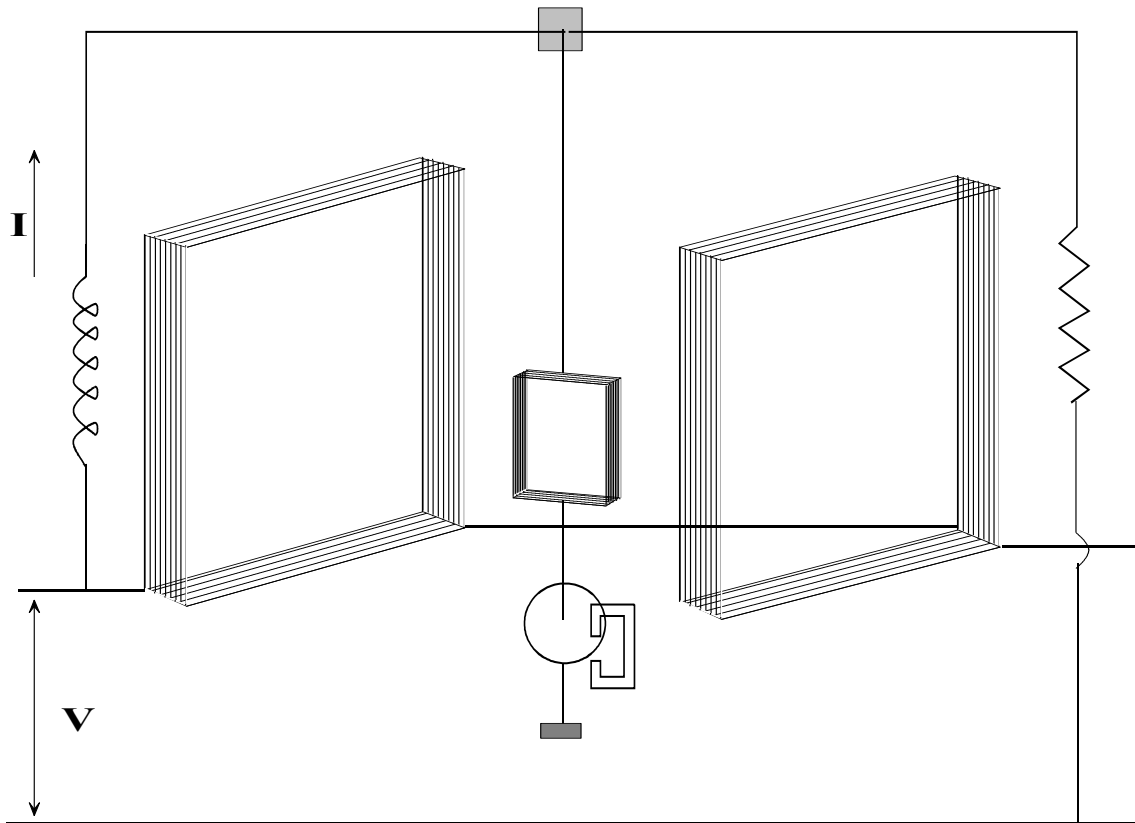
όπου $N_{ολ}$ ο συνολικός αριθμός των στροφών σε χρόνο t . Από την σχέση (17.6) φαίνεται ότι ο συνολικός αριθμός των στροφών του μετρητή μέσα σε χρονικό διάστημα t είναι απ' ευθείας ανάλογος της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώθηκε το διάστημα αυτό. Επομένως, μετρώντας τον αριθμό των στροφών του επαγωγικού μετρητή ηλεκτρικής ενέργειας μπορούμε να μετρήσουμε την ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώθηκε. Η σταθερά C ονομάζεται σταθερά του μετρητή ηλεκτρικής ενέργειας και έχει μονάδες στροφές/kWh.

Οι επαγωγικοί μετρητές είναι οι πλέον διαδεδομένοι για μετρήσεις ηλεκτρικής ενέργειας στο εναλλασσόμενο καθώς είναι φτηνοί και απλοί. Το βασικό τους όμως μειονέκτημα είναι ότι δεν μπορούν να μετρήσουν την κατανάλωση (απώλειες) ενέργειας σε άεργους καταναλωτές. Όπως φαίνεται από την εξίσωση (17.2), για $\varphi = \pi/2$ η ροπή κίνησης του δίσκου είναι μηδέν, άρα ο δίσκος δεν περιστρέφεται.

17.2.2 Ηλεκτροδυναμικοί μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας

Μία άλλη εκδοχή μετρητή ηλεκτρικής ενέργειας βασίζεται στα ηλεκτροδυναμικά όργανα, με τη βασική διαφορά ότι το κινούμενο μέρος του οργάνου μπορεί να κάνει περιστροφή 360° . Κατά τα άλλα, τα βασικά μέρη του μετρητή ηλεκτρικής ενέργειας είναι τα ίδια με αυτά των απλών ηλεκτροδυναμικών οργάνων: ένα κινούμενο πηνίο μπορεί να περιστρέφεται μέσα στο μαγνητικό πεδίο που δημιουργεί ένα μεγάλο ακίνητο πηνίο. Το ακίνητο πηνίο έχει λίγες χοντρές σπείρες, είναι συνδεδεμένο σε σειρά στο κύκλωμα (πηνίο έντασης) και δημιουργεί μαγνητικό πεδίο ανάλογο του ρεύματος του καταναλωτή. Αντίστοιχα, το κινούμενο πηνίο έχει πολλές λεπτές σπείρες, συνδέεται παράλληλα στο κύκλωμα (πηνίο τάσης) και δημιουργεί μαγνητικό πεδίο ανάλογο της τάσης του καταναλωτή. Κάτω από αυτές τις συνθήκες, όπως ήδη είπαμε στο μάθημα 4, η ροπή κίνησης που ασκείται στο κινούμενο πηνίο είναι απ'

ευθείας ανάλογη της ενεργούς ισχύος. Κατά τρόπο αντίστοιχο με τους επαγωγικούς μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας, υπάρχει μικρός δίσκος αλουμινίου που περιστρέφεται ανάμεσα στους πόλους μόνιμου μαγνήτη για τον έλεγχο της περιστροφής του



Σχήμα 17.2 Αρχή λειτουργίας ηλεκτροδυναμικού μετρητή ηλεκτρικής ενέργειας

κινούμενου πηνίου. Τα συνεπαγόμενα δινορεύματα λειτουργούν σαν φρένο με μία ροπή που αντιτίθεται στην κίνηση. Σαν αποτέλεσμα, η λειτουργία του οργάνου περιγράφεται από την εξίσωση (17.6), δηλαδή μετρώντας τον αριθμό των στροφών του ηλεκτροδυναμικού μετρητή ηλεκτρικής ενέργειας μπορούμε να μετρήσουμε την ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώθηκε.

Οι ηλεκτροδυναμικοί μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιούνται κυρίως στο συνεχές.

17.3 Παράδειγμα

Κατά τη λειτουργία ενός καταναλωτή για χρόνο $\Delta t=1$ h, ο μετρητής ηλεκτρικής ενέργειας με σταθερά $C=600$ στροφές/kWh διέγραψε 60 στροφές. Πόση είναι η ισχύς του καταναλωτή;

Από την εξίσωση (17.6) έχουμε: $W=N_{\omega}/C=60/600=0.1$ kWh

Η ισχύς δίνεται από: $P=W/\Delta t=0.1/1=0.1$ kW=100 W