

Κεφάλαιο 1^ο: Βασικές έννοιες και χαρακτηριστικά οργάνων

1.1 Περιεχόμενο μαθήματος.

Στο μάθημα αυτό αρχικά γίνεται εισαγωγή στα είδη σφαλμάτων που επηρεάζουν τις μετρήσεις και ανάλυση της διαδικασίας εύρεσης συστηματικών σφαλμάτων σχετικών με υπολογισμούς. Στη συνέχεια εξετάζονται τα βασικά αναλογικά όργανα ηλεκτρικών μετρήσεων (όργανα στρεπτού πηνίου, ηλεκτροδυναμικά όργανα, όργανα διασταυρούμενων πηνίων, επαγωγικά όργανα, όργανα κινητού σιδήρου, όργανα κινητού μαγνήτη κλπ), η χρήση τους και η επέκταση της κλίμακας τους, αλλά και ο παλμογράφος και όργανα μέτρησης άλλων φυσικών μεγεθών. Μετά αναπτύσσονται οι τεχνικές μέτρησης ηλεκτρικών μεγεθών όπως τάση, ρεύμα, ωμική αντίσταση, αυτεπαγωγή, χωρητικότητα, ισχύ και ενέργεια. Τέλος γίνεται εισαγωγή στα τριφασικά συστήματα και τη διαχείριση των αντιστοίχων ηλεκτρικών μεγεθών.

1.2 Ηλεκτρικά όργανα

Θα ασχοληθούμε κυρίως με αναλογικά όργανα που εμπεριέχουν περιστρεφόμενο δείκτη αλλά και με τη γέφυρα Wheatstone και τον παλμογράφο. Τα όργανα αυτά μπορούν να διακριθούν σε διάφορες κατηγορίες με βάση κάποια από τα χαρακτηριστικά τους. Ο απλούστερος τρόπος διάκρισης είναι είτε με βάση την αρχή λειτουργία τους ή σε σχέση με τον τρόπο με τον οποίο παρουσιάζουν τα αποτελέσματα. Με βάση την αρχή λειτουργίας, τα όργανα διακρίνονται σε:

- Ηλεκτρομαγνητικά. Σε αυτά η κίνηση της βελόνας βασίζεται σε ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις όπως οι δυνάμεις από μαγνητικό πεδίο σε αγωγό που διαρρέεται από ρεύμα. Είναι η μεγαλύτερη κατηγορία αναλογικών ηλεκτρικών οργάνων, μετρούν απ' ευθείας ρεύμα και χωρίζονται ανάλογα με την κατασκευή τους σε: στρεπτού πηνίου, ηλεκτροδυναμικά, διασταυρούμενων πηνίων, κινητού σιδήρου, κινητού μαγνήτη και επαγωγικά.
- Ηλεκτροστατικά. Σε αυτά η κίνηση της βελόνας βασίζεται σε ηλεκτροστατικές δυνάμεις όπως η δύναμη που ασκείται με μεταλλική πλάκα μέσα σε ηλεκτρικό πεδίο. Κύριο χαρακτηριστικό τους ότι μετρούν είναι απ' ευθείας τάση.
- Θερμικά. Σε αυτά η κίνηση της βελόνας βασίζεται σε θερμικά φαινόμενα όπως η διαστολή των υλικών. Διακρίνονται σε θερμαινόμενου νήματος, διμεταλλικού στοιχείου και θερμοζεύγους.

Με βάση τον τρόπο παρουσίασης των αποτελεσμάτων έχουμε τα:

- Ενδεικτικά όργανα. Σε αυτά το αποτέλεσμα εμφανίζεται σαν μία ένδειξη (δηλαδή μία τιμή) και αποτελούν την βασική κατηγορία οργάνων
- Καταγραφικά όργανα. Σε αυτά παρουσιάζεται η μεταβολή της ένδειξης με το χρόνο. Το βασικό μέρος τους είναι ένα ενδεικτικό όργανο και η δυνατότητα καταγραφής της χρονικής μεταβολής δίνεται από ωρολογιακό μηχανισμό κίνησης και μία γραφίδα.
- Αθροιστικά όργανα. Σε αυτά παρουσιάζεται το συνολικό αποτέλεσμα μέσα σε κάποιο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα (π.χ. μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας). Το βασικό μέρος τους είναι ένα ενδεικτικό όργανο, στη βελόνα του οποίου δίδεται η δυνατότητα περιστροφής 360°, με το συνολικό αποτέλεσμα να είναι ανάλογο του αριθμού περιστροφών της βελόνας.
- Παλμογράφο. Αποτελεί μία ιδιαίτερη κατηγορία καθώς δίνει ταυτόχρονα την δυνατότητα μέτρησης ενός μεγέθους αλλά και της χρονικής μεταβολής του.

1.3 Χαρακτηριστικά αναλογικών ηλεκτρικών οργάνων

Προτού αναφερθούμε αναλυτικά στα χαρακτηριστικά των οργάνων, είναι χρήσιμο να γίνει μία μικρή εισαγωγή στα σφάλματα τα οποία όπως θα αναφερθεί αναλυτικά στο επόμενο κεφάλαιο οφείλονται σε διάφορους παράγοντες και μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά μία μέτρηση. Προς το παρόν θα αγνοηθούν η προέλευση και η επίδραση των σφαλμάτων και απλώς θα δοθούν οι ορισμοί του απόλυτου και του σχετικού σφάλματος, δύο ποσότητες βασικές για την περιγραφή της εγκυρότητας μιας μέτρησης, Ως απόλυτο σφάλμα ορίζουμε την διαφορά μεταξύ της μετρούμενης $x_{ενδ}$ και της πραγματικής τιμής $x_{πραγ}$ ενός μεγέθους x , $\Delta x = x_{ενδ} - x_{πραγ}$. Το απόλυτο σφάλμα έχει τις ίδιες μονάδες με το μετρούμενο μέγεθος και το τελικό αποτέλεσμα της μέτρησης συνήθως δίνεται ως $x \pm \Delta x$. Σαν παράδειγμα, αν σε μία μέτρηση μιας τάσης 10 V βρούμε τιμή 11 V, το απόλυτο σφάλμα είναι 1 V και η μετρούμενη τιμή δίδεται ως 11 ± 1 V. Στην πράξη, επειδή δεν είναι γνωστή η πραγματική τιμή ενός μεγέθους, το απόλυτο σφάλμα βρίσκεται με βάση τα στοιχεία του οργάνου όπως δίνονται από τον κατασκευαστή. Το σχετικό σφάλμα ορίζεται ως ο λόγος του απόλυτου σφάλματος Δx προς την πραγματική τιμή της ποσότητας $x_{πραγ}$, $\Delta x / x_{πραγ}$.

Πρακτικά, για μικρά σφάλματα, το σχετικό σφάλμα δίδεται από $\Delta x / x_{ενδ}$, όπου έχει ληφθεί υπόψη ότι $x_{ενδ} \approx x_{πραγ}$. Το σχετικό σφάλμα δεν έχει μονάδες και δίδεται επί τοις εκατό. Στο παραπάνω παράδειγμα μέτρησης της τάσης το σχετικό σφάλμα είναι

$1/11=0.0909$ ή 9.09% . Τέλος, ως ακρίβεια μέτρησης S ορίζεται το αντίστροφο του σχετικού σφάλματος, δηλαδή στην προηγούμενη περίπτωση $S=11$.

Μετά την μικρή εισαγωγή στα σφάλματα, ας εξετάσουμε τα κυριότερα χαρακτηριστικά των αναλογικών ηλεκτρικών οργάνων αλλά και των οργάνων γενικότερα τα οποία είναι:

α) Περιοχή μέτρησης οργάνου. Το χαρακτηριστικό αυτό προσδιορίζει την περιοχή μετρούμενων τιμών και πολλές φορές αναφέρεται και ως Μέγιστη ένδειξη (**ME**). Η περιοχή μέτρησης του οργάνου καθορίζεται από διάφορους παράγοντες όπως η βασική αρχή λειτουργίας του, η συνδεσμολογία του, πρόσθετα εξαρτήματα (π.χ. επέκταση κλίμακας) κ.α.. Παραδείγματα περιοχής μέτρησης είναι: βολτόμετρο 0-200 V, αμπερόμετρο 0-1 A κλπ.

β) Εσωτερική αντίσταση του οργάνου (r_0). Ως εσωτερική αντίσταση ενός οργάνου ορίζεται η αντίσταση που παρουσιάζει στους ακροδέκτες του και που οφείλεται στις συνδέσεις αλλά και στα εσωτερικά του τμήματα (π.χ. πηνίο). Η τιμή της εσωτερικής αντίστασης βασίζεται στη δομή του οργάνου και η επίδραση της στις μετρήσεις εξαρτάται από την χρήση.

γ) Ευαισθησία οργάνου. Ως ευαισθησία οργάνου ορίζεται η μεταβολή της απόκρισης Δy ως προς την μεταβολή της διέγερσης Δx δηλαδή $\Delta y/\Delta x$. Σε όργανα όπου η απόκριση είναι γραμμική (η έξοδος y εξαρτάται από την είσοδο x μέσω συνάρτησης $y=ax+\beta$), η ευαισθησία είναι σταθερή για όλη την περιοχή μέτρησης και δίνεται από το a . Αντίστοιχα, αν η απόκριση δεν είναι γραμμική (η έξοδος y εξαρτάται από την είσοδο x μέσω συνάρτησης f , $y=f(x)$), η ευαισθησία ορίζεται ως η παράγωγος του f ως προς x .

δ) Υπερφόρτιση οργάνου. Ως υπερφόρτιση οργάνου ορίζεται ο επί τοις εκατό λόγος της μέγιστης ανεκτής τιμής προς την μέγιστη μετρούμενη τιμή. Δηλαδή η υπερφόρτιση μας δίνει πόσο περισσότερο αντέχει το όργανο σε σχέση με την μέγιστη του ένδειξη. Σαν παράδειγμα, υπερφόρτιση 150% ενός αμπερομέτρου με μέγιστη ένδειξη 1 A σημαίνει ότι το όργανο αντέχει ρεύμα έως και 1.5 A.

ε) Offset οργάνου. Ως offset οργάνου ορίζεται η μόνιμη απόκλιση κατά σταθερή ποσότητα από την πραγματική τιμή. Ουσιαστικά δηλαδή για όργανο με θεωρητική γραμμική απόκριση $y=ax$, η πραγματική απόκριση μπορεί να είναι $y=ax+b$ όπου το b είναι το offset, το οποίο θα πρέπει να αφαιρείται από την ένδειξη.

ζ) Διακριτική ικανότητα οργάνου. Ως διακριτική ικανότητα οργάνου ορίζεται η μικρότερη μεταβολή που γίνεται αντιληπτή με το όργανο (π.χ. σε ένα υποδεκάμετρο η διακριτική ικανότητα είναι 1 mm). Η διακριτική ικανότητα ενός οργάνου μπορεί να μας δώσει το απόλυτο σφάλμα μιας μέτρησης αν αυτό δεν δίνεται αναλυτικά με κάποιο άλλο τρόπο.

η) Μέγιστο σφάλμα οργάνου. Συνήθως σε ένα όργανο, το απόλυτο σφάλμα δεν παραμένει σταθερό σε όλη την περιοχή μετρήσεων αλλά μεταβάλλεται με τρόπο που εξαρτάται κυρίως από την κατασκευή του οργάνου. Το μεγαλύτερο από όλα τα αντίστοιχα απόλυτα σφάλματα ονομάζεται μέγιστο απόλυτο σφάλμα (**ΜΑΣ**) οργάνου. Επειδή όμως το ΜΑΣ είναι το μεγαλύτερο από όλα τα απόλυτα σφάλματα, μπορεί να θεωρηθεί σαν το απόλυτο σφάλμα του οργάνου καθώς καλύπτει όλες τις περιοχές μέτρησης. Αντίστοιχα ορίζεται και το μέγιστο σχετικό σφάλμα της μέτρησης.

θ) Κλάση οργάνου. Η κλάση G ενός οργάνου ορίζεται από την σχέση:

$$G = 100 \frac{\text{ΜΑΣ}}{\text{ΜΕ}} \quad (1.1)$$

όπου ΜΑΣ είναι το μέγιστο απόλυτο σφάλμα του οργάνου και ΜΕ είναι η μέγιστη ένδειξη. Δηλαδή η κλάση του οργάνου μας δίνει το επί τοις εκατό σφάλμα στη μέγιστη ένδειξη κατά την μέτρηση με το όργανο. Η κλάση ενός οργάνου δίνεται από τον κατασκευαστή και στην πράξη μας βοηθά να υπολογίζουμε το μέγιστο απόλυτο σφάλμα του οργάνου. Π.χ. έστω βολτόμετρο με κλάση 2 και μέγιστη ένδειξη 100 V. Το μέγιστο απόλυτο σφάλμα του οργάνου υπολογίζεται σε ΜΑΣ=2 V. Αντίστοιχα αν η μέτρηση μας είναι 50 V, το μέγιστο σχετικό σφάλμα είναι 4%. Τέλος, με βάση τα προηγούμενα φαίνεται ότι μία μέτρηση είναι περισσότερο σωστή όταν πραγματοποιείται στο τελευταίο τρίτο της κλίμακας του οργάνου, καθώς εκεί το μέγιστο σχετικό σφάλμα είναι μικρότερο.

Στην περίπτωση αντιστάσεων, το ρόλο της κλάσης παίζει η ανοχή της αντίστασης. Δηλαδή το μέγιστο απόλυτο σφάλμα στην τιμή μιας αντίστασης R

δίδεται από: $\text{ΜΑΣ} = R \frac{\text{Ανοχή}}{100}$

1.4 Κατασκευαστικά μέρη αναλογικών ηλεκτρικών οργάνων

Ένα αναλογικό ηλεκτρικό όργανο, εκτός από το βασικό μέρος στο οποίο βασίζεται η λειτουργία του και το οποίο θα εξετάσουμε σε παρακάτω κεφάλαια κατά περίπτωση, περιλαμβάνει τα παρακάτω μέρη:

α) Έδραση. Η έδραση αφορά την ανάρτηση του κινητού μέρους η οποία πρέπει να παρουσιάζει ελάχιστες τριβές και μεγάλη μηχανική σταθερότητα καθώς σε αντίθετη περίπτωση αφενός το σφάλμα μιας μέτρησης μπορεί να είναι μεγάλο και αφετέρου δεν θα υπάρχει επαναληψιμότητα των μετρήσεων.

β) Ανασταλτική διάταξη. Ο ρόλος της ανασταλτικής διάταξης είναι να δημιουργεί μία ροπή ανταγωνιστική στην ροπή που κινεί τον δείκτη ώστε αυτός να ισορροπεί σε κάποιο σημείο καθώς σε αντίθετη περίπτωση αυτός μπορεί να παρουσιάσει συνεχή κίνηση. Ουσιαστικά βέβαια καθορίζει και την μέγιστη ένδειξη του οργάνου καθώς το σημείο ισορροπίας του δείκτη εξαρτάται από το μέγεθος της ανασταλτικής ροπής. Οι ανασταλτικές διατάξεις είναι συνήθως ελατήρια ευθύγραμμα ή σπειροειδή (ανάλογα με το όργανο), τα οποία εκτός από την ανασταλτική τους δράση χρησιμεύουν για να επαναφέρουν την βελόνα στο μηδέν μετά τη μέτρηση αλλά και συχνά για να μεταφέρουν το ρεύμα σε πηνία αντί για επιπλέον καλώδια έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται η επίδραση στην κίνηση των πηνίων.

γ) Διάταξη απόσβεσης. Ο ρόλος μιας διάταξης απόσβεσης είναι η αποφυγή ταλάντωσης του δείκτη γύρω από το σημείο μέτρησης. Λόγω της ύπαρξης δύο ανταγωνιστικών ροπών στην κίνηση του δείκτη και της εξουδετέρωσής τους στο σημείο μέτρησης, είναι δυνατή μία μικρή ταλάντωση του δείκτη η οποία αν δεν αποσβεστεί γρήγορα μπορεί να επηρεάσει το χρόνο απόκρισης του οργάνου. Η απόσβεση αυτή μπορεί να γίνει με δύο τρόπους: α) τον θάλαμο αέρα όπου η κίνηση του δείκτη επηρεάζει την κίνηση ενός εμβόλου το οποίο συμπιέζει αέρα μέσα σε κλειστό θάλαμο και β) τα δινορεύματα όπου η περιστροφή ενός δίσκου από αλουμίνιο μέσα σε μαγνητικό πεδίο έχει σαν αποτέλεσμα ροπή αντίθετη στην κίνηση μέσω των επαγόμενων δινορευμάτων.

δ) Δείκτη. Οι δείκτες, λόγω του ρόλου τον οποίον παίζουν στα αναλογικά ηλεκτρικά όργανα, πρέπει να έχουν μικρό βάρος, μικρή ροπή αδράνειας και καλή ανθεκτικότητα. Ανάλογα με την χρήση του οργάνου, ο δείκτης μπορεί να είναι:

- Μαχαιρωτός από κράμα αλουμινίου για όργανα μεγάλης ακρίβειας
- Βελονοειδής από γυαλί για όργανα μικρότερης ακρίβειας
- Λογχοειδής και πεπλατυσμένος για όργανα στα οποία η ένδειξη πρέπει να διαβάζεται από μακριά.

ε) Κλίμακα. Το σχήμα, η διαβάθμιση αλλά και η λειτουργία της κλίμακας εξαρτώνται απόλυτα από την χρήση του οργάνου. Σε κάθε περίπτωση, όταν το όργανο δεν δουλεύει η ένδειξη πρέπει να είναι μηδέν, αν το όργανο δουλεύει μόνο στο συνεχές το

μηδέν είναι στο μέσον της κλίμακας, ενώ αν το μηδέν είναι αριστερά ο δείκτης πάει προς τα δεξιά.

Σε σχέση με το σχήμα, η κλίμακα μπορεί να είναι κυκλική, τεταρτημορίου, κυλινδρική και 270°. Η διαβάθμιση της κλίμακας μπορεί να είναι γραμμική (στις περισσότερες περιπτώσεις), τετραγωνική (π.χ. αμπερόμετρο ηλεκτροδυναμικού τύπου), αντίστροφη (ωμόμετρο τύπου σειράς) κλπ. Τέλος, σε όργανα μεγάλης ακρίβειας, όπως τα γαλβανόμετρα, χρησιμοποιείται κλίμακα με φωτεινή ένδειξη. Στην περίπτωση αυτή, το κινητό μέρος του οργάνου είναι συνδεδεμένο με μικρό κάτοπτρο η μετακίνηση του οποίου έχει σαν αποτέλεσμα την αλλαγή θέσης μίας φωτεινής δέσμης η οποία δίνει τελικά την ένδειξη.

1.5 Σύμβολα οργάνων.

Κατά την χρήση ενός οργάνου, πρέπει να ακολουθούνται οι οδηγίες τις οποίες δίνει ο κατασκευαστής του. Οι οδηγίες αυτές σχετίζονται με την τοποθέτηση του οργάνου, τα περιβάλλοντα τα οποία επηρεάζουν την λειτουργία του, την ακρίβεια με την οποία μετράει το όργανο αλλά και τον τύπο του οργάνου. Για όλες αυτές τις πληροφορίες, τα όργανα έχουν σε εμφανές σημείο διάφορα χαρακτηριστικά σύμβολα, παραδείγματα των οποίων φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Σύμβολο	Σημασία
~	Όργανο για εναλλασσόμενο
=	Όργανο για συνεχές
★	Τάση δοκιμής οργάνου 500 V
	Όργανο στρεπτού πηνίου
	Όργανο διασταυρούμενων πηνίων
	Όργανο κινητού μαγνήτη
2	Κλάση οργάνου 2
	Τοποθέτηση οργάνου σε 60°
	Τοποθέτηση οργάνου σε όρθια θέση