



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΧΗΜΕΙΑΣ

«Θέματα ηλεκτρικών μετρήσεων»

Εισηγητής

Κουδουμάς Εμμανουήλ

Βισκαδούρος Γεώργιος

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΕΠΙΚΑΙΡΟΠΟΙΗΣΗΣ ΓΝΩΣΕΩΝ ΑΠΟΦΟΙΤΩΝ

«ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»

Το πρόγραμμα συνδιοργανώνεται από:

Το Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών του Τ.Ε.Ι. Κρήτης

Το Τμήμα Χημείας του Πανεπιστημίου Κρήτης



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



Η ΠΡΑΞΗ ΥΛΟΠΟΙΕΙΤΑΙ ΣΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΟΥ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» ΚΑΙ ΣΥΓΧΡΗΜΑΤΟΔΟΤΕΙΤΑΙ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΕΝΩΣΗ (ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ – ΕΚΤ) ΚΑΙ ΑΠΟ ΕΘΝΙΚΟΥΣ ΠΟΡΟΥΣ ΕΣΠΑ 2007-2013

Στοιχεία επικοινωνίας

Εισηγητής: **Κουδουμάς Εμμανουήλ**

Βισκαδούρος Γεώργιος

Εργαστήριο **Βισκαδούρος Γεώργιος**

Ίδρυμα: **Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης**

Τηλ: **2810379789**

Fax:

Email: viskadouros@staff.teicrete.gr

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1. Βασικές έννοιες και χαρακτηριστικά οργάνων	5
1.1. Μετρολογία	5
1.2. Ηλεκτρικές Μετρήσεις	5
1.3. Ηλεκτρικά όργανα	6
1.4. Χαρακτηριστικά αναλογικών ηλεκτρικών οργάνων	7
1.5. Κατασκευαστικά μέρη αναλογικών ηλεκτρικών οργάνων	8
1.6. Όργανο στρεπτού πηνίου	9
Χρήση του οργάνου στο εναλλασσόμενο	10
1.7. Ηλεκτροδυναμικά όργανα	12
Βατόμετρο	14
1.8. Όργανα κινητού σιδήρου	14
1.9. Όργανα κινητού μαγνήτη	15
1.10. Επαγωγικά όργανα	16
Κεφάλαιο 2 Παλμογράφος	17
2.1. Καθοδικός σωλήνας	19
2.2. Ενισχυτές - Εξασθενητές οριζόντιας και κατακόρυφης απόκλισης	20
2.3. Περιγραφή Παλμογράφου	20
2.4. Περιοχή Μενού Ρυθμίσεων Ελέγχου	20
2.5. Περιοχή Ρυθμίσεων Κατακόρυφης (Vertical) Απόκλισης	21
2.6. Περιοχή Ρυθμίσεων Οριζόντιας (Horizontal) Απόκλισης	21
2.7. Μέτρηση με Παλμογράφο	22
2.8. Μετρήσεις του πλάτους της τάσης	22
2.9. Μέτρηση του χρόνου	23
2.10. Λειτουργία X-Y	23
Κεφάλαιο 3 Σφάλματα	25
3.1. Είδη σφαλμάτων	25
3.2. Ορθότητα , ακρίβεια και διακριτικότητα	26
3.3. Σφάλματα παρατήρησης	28
3.4. Συστημικά Σφάλματα	29
3.5. Τυχαία Σφάλματα	29
Κεφάλαιο 4 Μέτρηση τάσης και ρεύματος	30
4.1. Μέτρηση ρεύματος-Αμπερόμετρο	30

4.2	Μέτρηση τάσης-Βολτόμετρο.....	30
Κεφάλαιο 5 Ηλεκτρονικά Όργανα		31
5.1	Χαρακτηριστικά ιδανικών και πραγματικών τελεστικών ενισχυτών.....	31
5.2	Τοπολογίες ανοιχτού βρόγχου με Τ.Ε.	32
5.3	Βασικά κυκλώματα με Τ.Ε.	33
	Ακόλουθος τάσης	33
	Ενισχυτής άθροισης.....	33
	Ενισχυτής διαφοράς.....	33
	Ολοκλήρωση με Τ.Ε.....	34
	Διαφόριση με Τ.Ε.....	34
	Συγκριτές τάσης.....	34
5.4	Ηλεκτρονικό Βολτόμετρο	35
5.5	Ηλεκτρονικό Αμπερόμετρο	36
5.6	Ψηφιακό Βολτόμετρο.....	36
	Μετατροπή από αναλογικό σήμα σε ψηφιακό	36
Κεφάλαιο 6 Μέτρηση ωμικής αντίστασης		38
6.1	Μέτρηση της ωμικής αντίστασης με βολτόμετρο και αμπερόμετρο	38
6.2	Μέτρηση της ωμικής αντίστασης με σύγκριση.....	39
6.3	Μέτρηση της ωμικής αντίστασης με γέφυρα	40
6.4	Μέτρηση μεγάλων αντιστάσεων.....	40
Κεφάλαιο 7 Εναλλασσόμενο και μιγαδικοί.....		42
7.1	Γενικά.....	42
7.2	Ημιτονοειδής αναπαράσταση.....	42
7.3	Αναπαράσταση με περιστρεφόμενα διανύσματα.....	43
7.4	Βασικές έννοιες των μιγαδικών αριθμών	44
7.5	Μέτρηση αυτεπαγωγής.....	45
	Κύκλωμα R-L στο συνεχές	46
	Κύκλωμα R-L στο εναλλασσόμενο	46
7.6	Μέτρηση της αυτεπαγωγής.	47
	Με βολτόμετρο και αμπερόμετρο	47
	Με τρία βολτόμετρα.....	47
	Με γέφυρα	48
7.7	Μέτρηση χωρητικότητας.....	48

Κύκλωμα R-C στο συνεχές	49
Κύκλωμα R-C στο εναλλασσόμενο	49
7.8 Μέτρηση της χωρητικότητας	49
Με βολτόμετρο και αμπερόμετρο	49
Με σύγκριση.....	50
Με γέφυρα	50
Κεφάλαιο 8 Μέτρηση ισχύος	51
8.1 Μέτρηση ενεργούς (πραγματικής) ισχύος.....	51
8.2 Μέθοδοι μέτρησης ενεργούς ισχύος	51
Με βολτόμετρο και αμπερόμετρο (DC και AC σε ωμικό καταναλωτή)	51
Με τρία αμπερόμετρα.....	52
Με τρία βολτόμετρα.....	52
Με βατόμετρο	53
8.3 Μέτρηση αέργου ισχύος-Διόρθωση συντελεστή ισχύος.....	53
8.4 Μέθοδοι μέτρησης αέργου ισχύος	54
Με βολτόμετρο, αμπερόμετρο και βατόμετρο.....	54
Με τρία βολτόμετρα.....	54
Με βάρμετρο	55
8.5 Διόρθωση συνημίτονου	55
Κεφάλαιο 9 Τριφασικά Συστήματα	57
9.1 Ορισμοί.....	58
9.2 Σύνδεση αστέρα	58
9.3 Σύνδεση τριγώνου	59
9.4 Παραδείγματα	59
Παράδειγμα 1.....	59
Παράδειγμα 2	60
9.5 Μέτρηση ισχύος σε τριφασικά συστήματα	61
Παράδειγμα.....	61
9.6 Μέτρηση ισχύος σε τριφασικό σύστημα τεσσάρων αγωγών	61
9.7 Μέτρηση ισχύος σε τριφασικό σύστημα τριών αγωγών	62
9.8 Μέτρηση αέργου ισχύος.....	63
Κεφάλαιο 10 Μέτρηση ηλεκτρικής ενέργειας.....	64
10.1 Μέθοδοι μέτρησης ηλεκτρικής ενέργειας	64

Επαγωγικοί μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας	64
Έξυπνοι Ψηφιακοί Μετρητές	65
Κεφάλαιο 11 Αισθητήρια όργανα μέτρησης άλλων φυσικών μεγεθών	66
11.1 Αισθητήρες	66
11.2 Χαρακτηριστικά αισθητήρων	66
Γραμμικότητα	67
Ευαισθησία	67
Διακριτική ικανότητα (resolution)	67
Ακρίβεια	67
Εύρος τιμών εισόδου (full-scale input)	67
Εύρος τιμών της εξόδου	67
11.3 Αισθητήρια φωτός	67
Φωτοαντιστάσεις	68
Φωτοαντιστάσεις CdS	68
Φωτοδίοδος	68
Φωτοτρανζίστορ	69
11.4 Αισθητήρες θερμοκρασίας	69
Θερμοζεύγος	70
Θερμίστορ	71
Θερμοηλεκτρικές αντιστάσεις – RTDs	72
Το Ολοκληρωμένο Κύκλωμα LM35	73
Σύγκριση αισθητηρίων θερμοκρασίας	73
11.5 Αισθητήριο μέτρησης ακτινοβολίας	74
Πυρανόμετρο	74
11.6 Αισθητήρες αιολικών μετρήσεων	74
Ανεμόμετρα	74
Ανεμοδείκτες	75
Κεφάλαιο 12 Μικροελεγκτές	75
12.1 Τα Χαρακτηριστικά της Αρχιτεκτονικής ενός Μικροελεγκτή	76
12.2 Η Υπολογιστική Πλατφόρμα Arduino	77
12.3 Έξυπνο Σπίτι (Smart Home)	78
Κεφάλαιο 13. Βιβλιογραφία	80

Κεφάλαιο 1. Βασικές έννοιες και χαρακτηριστικά οργάνων

1.1. Μετρολογία

Οι μετρήσεις αποτελούν βασικότατο μέσο για την κατάκτηση της γνώσης και την κατανόηση των φυσικών νόμων από τον άνθρωπο. Αυτές ενώνουν τη θεωρία με την πρακτική ζωή της κοινωνίας. Η μετρολογία ως επιστήμη των μετρήσεων συμπεριλαμβάνει όλες τις εκδοχές της θεωρητικής και πρακτικής μετρολογίας που αναφέρονται στις μετρήσεις με οποιαδήποτε ακρίβεια και σε οποιοδήποτε πεδίο της επιστήμης και τεχνολογίας απαντάται.

Κανονικά περιλαμβάνει τεχνικές και μεθόδους μετρήσεων καθώς και την τεχνολογία των οργάνων μέτρησης (οργανολογία). Όμως, είναι συνηθισμένο να παραπέμπει πια σε δυο βασικές αποστολές/δραστηριότητες:

- A. Διασφάλιση ποιότητας (υποστήριξη)
- B. Προτυποποίηση

Η μετρολογία μπορεί να έχει υπόσταση:

1. Επιστημονική, π.χ. ορισμός πρότυπων μονάδων
2. Εφαρμοσμένη, π.χ. διακρίβωση και ποιότητα μετρήσεων
3. Νομική, π.χ. στη σύνταξη κανονισμών και δημιουργία και έλεγχο προτύπων

1.2 Ηλεκτρικές Μετρήσεις

Η μετρολογία και η οργανολογία (Measurements and Instrumentation) στα πλαίσια της επιστήμης του Ηλεκτρολόγου Μηχανικού μπορεί να περιλαμβάνει τα εξής:

ΟΡΓΑΝΑ	ΜΕΤΡΗΣΗ	ΆΛΛΑ ΘΕΜΑΤΑ
Κλασικά όργανα	Ρεύματος	Σφάλματα
Ηλεκτρονικά όργανα	Τάσης	Αισθητήρες
Ψηφιακά όργανα	Τάση/Ρεύμα εναλλασσομένου	Επεξεργασία δεδομένων
Συστήματα μετρήσεων	Ισχύος/Ενέργειας	Soft measurements
	Αντίστασης	Αυτοματισμοί
	Χωρητικότητας/Επαγωγής	Συστήματα ελέγχου
	Ημιαγωγών	
	Άλλων (π.χ. φορτίου)	

Εικόνα 1 Μετρολογία

Οι ηλεκτρικές μετρήσεις αντιπροσωπεύουν ένα μεγάλο ποσοστό επιστημονικής και οικονομικής ή επιχειρηματικής δραστηριότητας του κλάδου. Το ακριβές ποσό τού ετήσιου τζίρου είναι μάλλον αδύνατο να εκτιμηθεί με ακρίβεια (λόγω του εύρους) αλλά είναι τεράστιος. Αρκεί να δει κανείς τους καταλόγους προϊόντων από μερικούς μεγάλους κατασκευαστές (και κάποιες τιμές!) για να πάρει μια ιδέα. Ταυτόχρονα, η ανάπτυξη μεθόδων και συσκευών μέτρησης έχει να επιδείξει εκπληκτικά ιδιοφυείς καινοτομίες και εντυπωσιακούς συνδυασμούς ιδεών.

1.3 Ηλεκτρικά όργανα

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.

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 λειτουργίας 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

1.4 Χαρακτηριστικά αναλογικών ηλεκτρικών οργάνων

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 $y=ax+b$), 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: $G = 100 \frac{\text{ΜΑΣ}}{\text{ΜΕ}}$

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

1.5 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 εξουδετέρωσης 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:

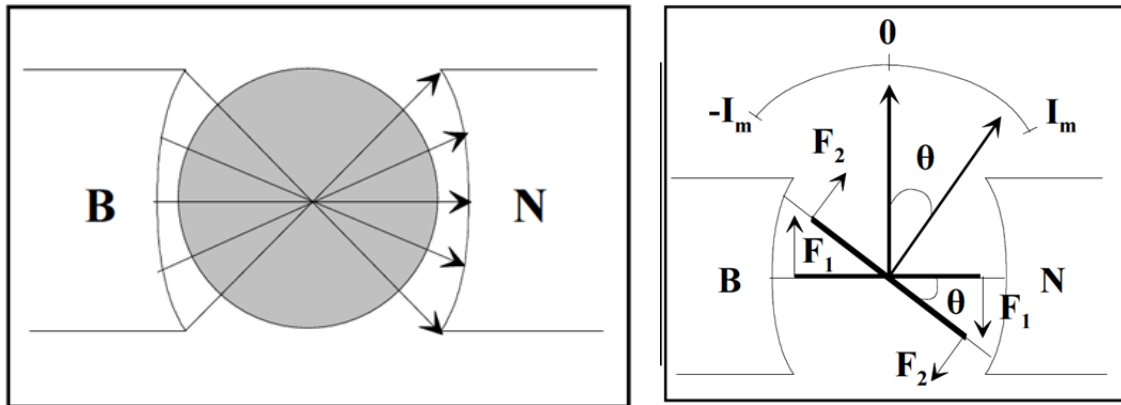
- Μαχαιρωτός από κράμα αλουμινίου για όργανα μεγάλης ακρίβειας
- Βελονοειδής από γυαλί για όργανα μικρότερης ακρίβειας
- Λογχοειδής και πεπλατυσμένος για όργανα στα οποία η ένδειξη πρέπει να διαβάζεται από μακριά.

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.

1.6 Όργανο στρεπτού πηνίου

Το όργανο στρεπτού πηνίου είναι ίσως το πιο διαδεδομένο από τα κλασσικά αναλογικά όργανα. Η λειτουργία του βασίζεται στην κίνηση ενός πηνίου που διαρρέεται από ρεύμα μέσα σε ένα σταθερό ακτινικό μαγνητικό πεδίο λόγω δυνάμεων Laplace. Τα πλεονεκτήματα του οργάνου στρεπτού πηνίου είναι η μεγάλη ευαισθησία και ακρίβεια, η απλή κατασκευή και η ελάχιστη κατανάλωση ισχύος, ενώ το βασικό του μειονέκτημα είναι η αδυναμία του να μετρήσει εναλλασσόμενα μεγέθη. Ας δούμε τώρα αναλυτικότερα την λειτουργία του οργάνου:



Εικόνα 2 Βασική αρχή λειτουργίας του οργάνου στρεπτού πηνίου

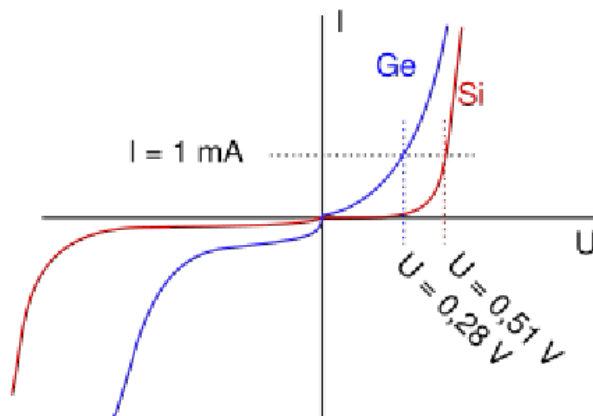
Το βασικό μέρος του οργάνου είναι ένα πηνίο με N σπείρες στο οποίο είναι στερεωμένος ο δείκτης και το οποίο μπορεί να περιστρέφεται μέσα σε ένα ακτινικό μαγνητικό πεδίο. Το ακτινικό μαγνητικό πεδίο δημιουργείται με την εισαγωγή ενός κυλίνδρου μαλακού σιδήρου σε ένα ομογενές μαγνητικό πεδίο ανάμεσα στους πόλους ενός πεταλοειδούς μαγνήτη (Σχήμα 1.1 αριστερά). Η ύπαρξη του μαλακού σιδήρου προκαλεί κάμψη των δυναμικών γραμμών οι οποίες τείνουν να διέλθουν μέσα από το μαλακό σίδηρο και δημιουργούν το ακτινικό πεδίο. Η επιλογή του ακτινικού πεδίου προέρχεται από την ανάγκη πλήρους γραμμικότητας του οργάνου καθώς, όπως θα δούμε παρακάτω, το πηνίο όπως στρίβει θα είναι συνεχώς παράλληλο σε μαγνητικές γραμμές με αποτέλεσμα η ροπή κίνησης να είναι σταθερή και ανεξάρτητη από τη θέση του πηνίου. Επιπλέον, η ύπαρξη του μαλακού σιδήρου ενισχύει το μαγνητικό πεδίο άρα βελτιώνει και την ευαισθησία του οργάνου.

Χρήση του οργάνου στο εναλλασσόμενο

Ένα όργανο κινητού πηνίου που δέχεται εναλλασσόμενο ρεύμα θα αποκριθεί με ταλάντωση (που δεν είναι ορατή παρά για λιγότερο από μισό Hz) που θα σβήσει τελικά και το όργανο θα δείξει τη μέση τιμή τού ημιτονοειδούς, που είναι μηδέν. Δηλαδή, χωρίς κάποια παρέμβαση, το όργανο είναι άχρηστο για μια τέτοια αποστολή.

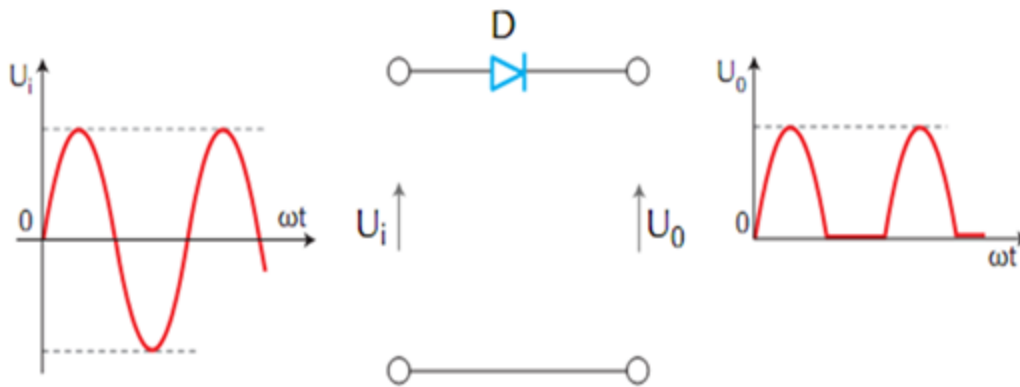
Ο τρόπος που επεμβαίνουμε είναι με το να ανορθώσουμε, όπως λέγεται, το ημιτονοειδές σήμα και να το μετατρέψουμε σε συνεχές, ή τουλάχιστον σε κάτι που μπορεί το όργανο να μας δείξει. Η ανόρθωση (rectification) γίνεται με ανορθωτές (rectifiers) που στην πιο απλή περίπτωση κατασκευάζονται με βάση

ημιαγωγούς, πιο συγκεκριμένα διόδους (diodes). Η δίοδος είναι ένα στοιχείο κυκλώματος που ανήκει στην κατηγορία των αντιστατών καθώς η χαρακτηριστική καμπύλη της είναι στο επίπεδο τάσης-ρεύματος. Η ιδανική δίοδος έχει ίδια χαρακτηριστική με ένα διακόπτη, μόνο που λειτουργεί σαν βαλβίδα και αφήνει μόνο θετικές ή μόνο αρνητικές τιμές να «περάσουν». Η πραγματική δίοδος είναι ένα πολύπλοκο, μη γραμμικό στοιχείο και η χαρακτηριστική της καμπύλη είναι αρκετά περίπλοκη και εξαρτάται και από το είδος της διόδου (π.χ. σήραγγας, Zener, Schottky, Gunn, LED, κλπ.) και το υλικό κατασκευής (πυρίτιο, γερμάνιο, κλπ.). Για παράδειγμα:



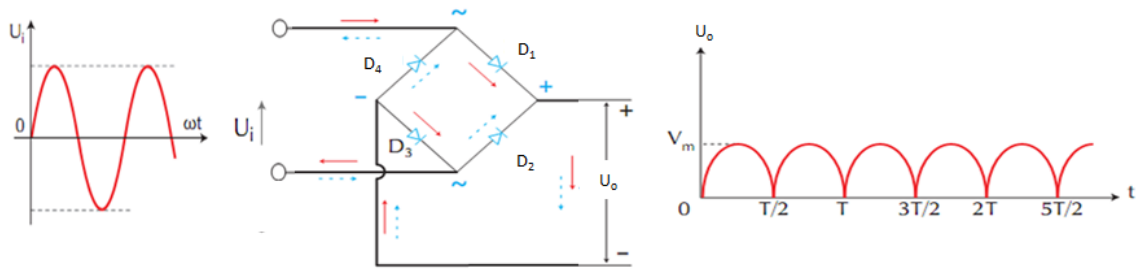
Εικόνα 3 Χαρακτηριστικές καμπύλες διόδων Γερμανίου και Πυριτίου

Ο πιο απλός ανορθωτής είναι μια απλή δίοδος. Τότε το κύκλωμα ονομάζεται ανορθωτής ημίσεος



Εικόνα 4 Κύκλωμα Ημianορθωτή

Πιο συνηθισμένος όμως είναι ο ανορθωτής πλήρους κύματος που έχει την εξής συνδεσμολογία (υπάρχει και έκδοση με δυο διόδους)



Εικόνα 5 Κύκλωμα ανορθωτή με γέφυρα διόδων

Οι τιμές που αφορούν την κυματομορφή από τον ανορθωτή πλήρους κύματος είναι

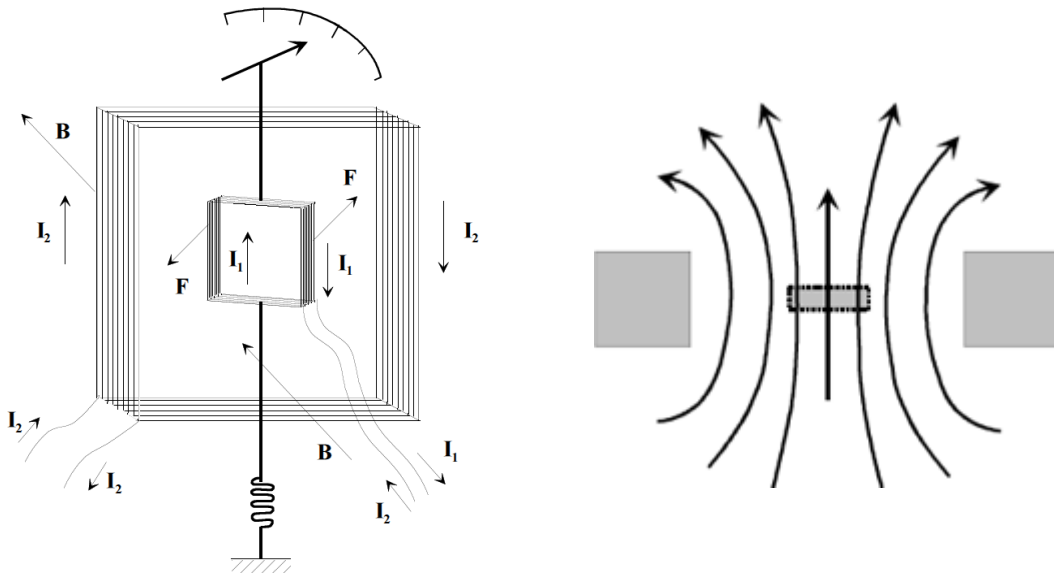
$$V_{rms} \approx 0,707 \cdot V_{max}$$

$$V_{avg} \approx 0,637 \cdot V_{max}$$

Θεωρώντας λοιπόν ότι χρησιμοποιείται ο ανορθωτής πλήρους κύματος, η απόκλιση του οργάνου είναι ανάλογη της μέσης τιμής τού ρεύματος που διέρχεται (δηλ. 0,637 της τιμής κορυφής). Όμως, η τιμή που θέλουμε να δείχνει το όργανο είναι η μέση τετραγωνική τιμή (δηλ. 0,707 της τιμής κορυφής). Αυτό απαιτεί έναν πολλαπλασιασμό επί $0,707/0,637 = 1,11$. Είναι όμως πολύ πιο απλό να βαθμονομήσουμε την κλίμακα του οργάνου κατευθείαν ώστε να διαβάζουμε τις επιθυμητές τιμές.

1.7 Ηλεκτροδυναμικά όργανα

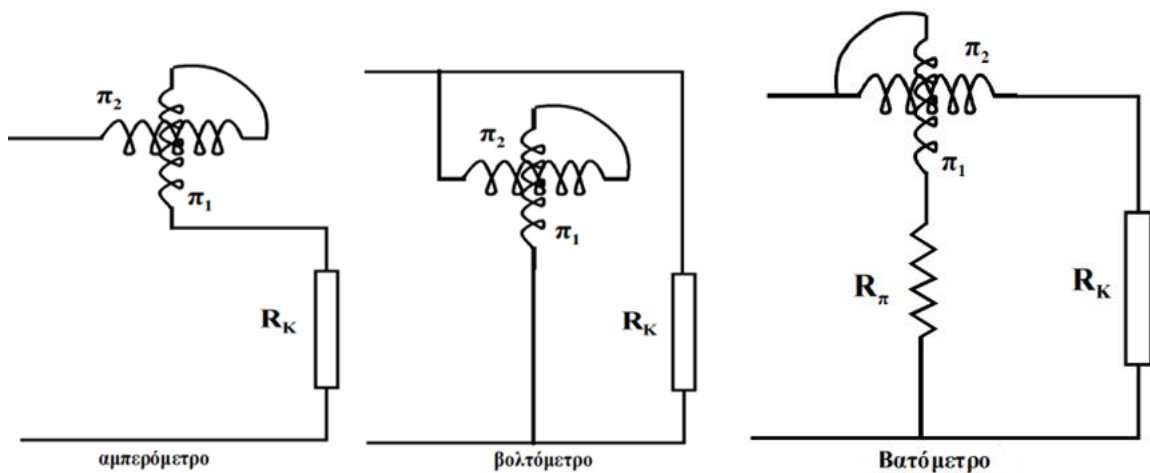
Τα ηλεκτροδυναμικά όργανα είναι επίσης ιδιαίτερα διαδεδομένα κυρίως λόγω της χρήσης τους στην μέτρηση ισχύος σαν βατόμετρα. Η λειτουργία τους βασίζεται επίσης στην κίνηση ενός πηνίου που διαρρέεται από ρεύμα I_1 μέσα σε ένα μαγνητικό πεδίο λόγω δυνάμεων Laplace, όπου σε αυτή τη περίπτωση το μαγνητικό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



Εικόνα 6 Ηλεκτροδυναμικά όργανα

Στο παραπάνω σχήμα φαίνεται ένα απλοποιημένο διάγραμμα των πηνίων στο εσωτερικό ενός ηλεκτροδυναμικού οργάνου. Το μεγάλο εξωτερικό πηνίο που διαρρέεται από ρεύμα I_2 είναι ακίνητο και χρησιμεύει στην δημιουργία μαγνητικού πεδίου το οποίο σύμφωνα με το νόμο Biot-Savart είναι ανάλογο του I_2 , $B=C1I_2$, 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. 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.

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.



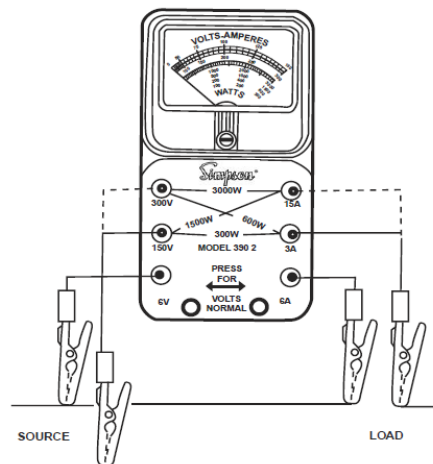
Εικόνα 7 Ηλεκτροδυναμικά όργανα με διασταυρούμενα Πηνία

Επίσης, το ρεύμα I_1 μεταφέρεται από τα επανατακτικά ελατήρια καθώς η χρήση επιπλέον 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, όμως η κλίμακα των οργάνων που προκύπτουν είναι τετραγωνική. Η κυριότερη όμως εφαρμογή των ηλεκτροδυναμικών οργάνων είναι τα βατόμετρα για τη μέτρηση της ισχύος. Στην περίπτωση αυτή, το ακίνητο πηνίο π_2 συνδέεται σε σειρά στο κύκλωμα (πηνίο ρεύματος) ενώ το κινούμενο πηνίο π_1 παράλληλα (πηνίο τάσης) μαζί με ωμική αντίσταση R_p .

Βατόμετρο

Το βατόμετρο είναι ένα όργανο που μετράει ηλεκτρική ισχύ. Συνήθως είναι ηλεκτροδυναμικού τύπου. Η βασική αρχή είναι ότι το ένα διαθέσιμο πηνίο πρέπει να μετράει το ρεύμα και το άλλο (ή άλλα πηνία) να μετράνε την τάση έτσι ώστε το όργανο, που αντιδράει στο γινόμενο των ρευμάτων των πηνίων, να μας δείξει την ισχύ.

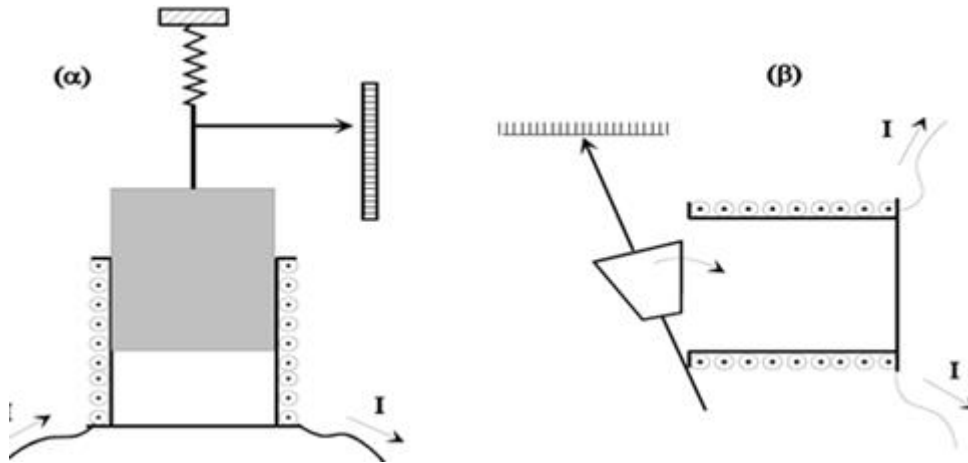
Το βατόμετρο έχει τέσσερις ακροδέκτες και απαιτείται μια διακοπή τού κυκλώματος ώστε να «διαβαστεί» το ρεύμα. Αυτό επιτυγχάνεται με μια ειδική σύνδεση (break-in cable) που παρέχει ο κατασκευαστής.



Εικόνα 8 Βατόμετρο

1.8 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 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.



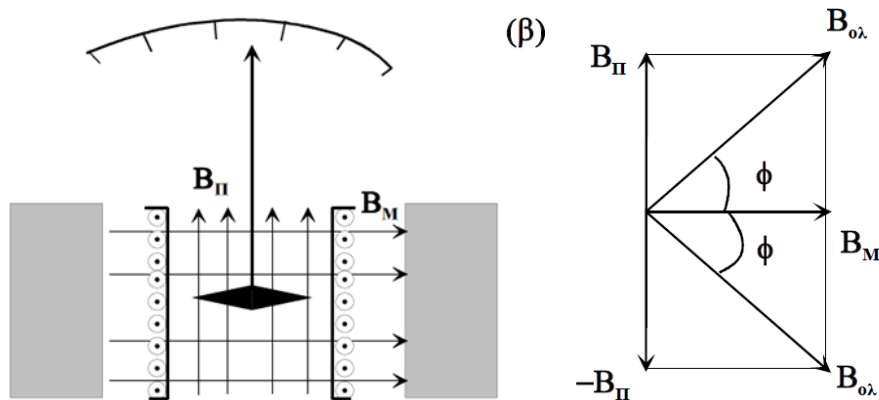
Εικόνα 9 Όργανο κινητού σιδήρου α)Βυθιζόμενου πυρήνα και β)ελκόμενου ελάσματος

1.9 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, ενός σταθερού Β_Μ (μόνιμος μαγνήτης) και ενός μεταβαλλόμενου Β_Π (πηνίο). Αρχικά, όταν το πηνίο δεν διαρρέεται από ρεύμα (το πεδίο Β_Π είναι μηδέν), η μαγνητική βελόνα θα παραμένει οριζόντια καθώς θα ευθυγραμμίζεται με το σταθερό μαγνητικό πεδίο Β_Μ. Όταν ρεύμα *I* διέρχεται από το πηνίο, επάγεται σε αυτό μαγνητικό πεδίο Β_Π 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 Β_{ολ} και θα στρίψει κατά γωνία φ τέτοια ώστε:

$$\varepsilon\phi\Phi = \frac{B_{\Pi}}{B_M} = \frac{CI}{B_M} = KI$$

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 Β_Π θα είναι αντίθετη και η μαγνητική βελόνα θα κινηθεί αντίθετα (σχήμα 1.9β). 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

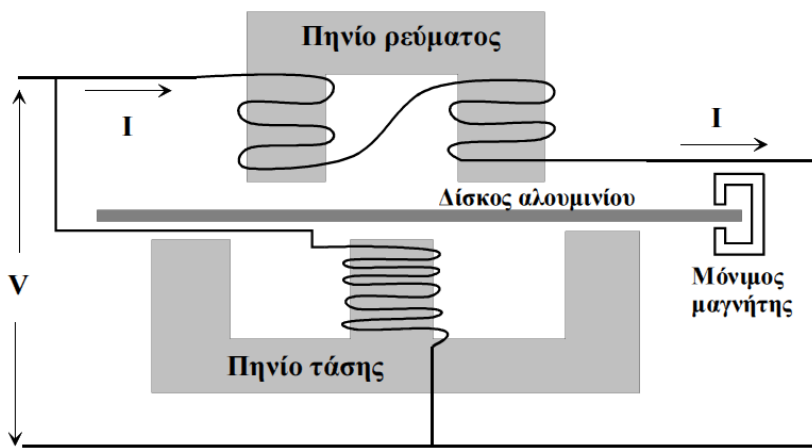


Εικόνα 10 Αρχή λειτουργίας οργάνου κινητού μαγνήτη

1.10 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 ϕ (σχήμα 1.10α). Λόγω των φαινομένων επαγωγής, γύρω από το σημείο που διαπερνά κάθε μαγνητική ροή το δίσκο επάγεται σύστημα δινορευμάτων I_d που εμφανίζονται ως ομόκεντροι κύκλοι. 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 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.



Εικόνα 11 Αρχή λειτουργίας επαγωγικών οργάνων

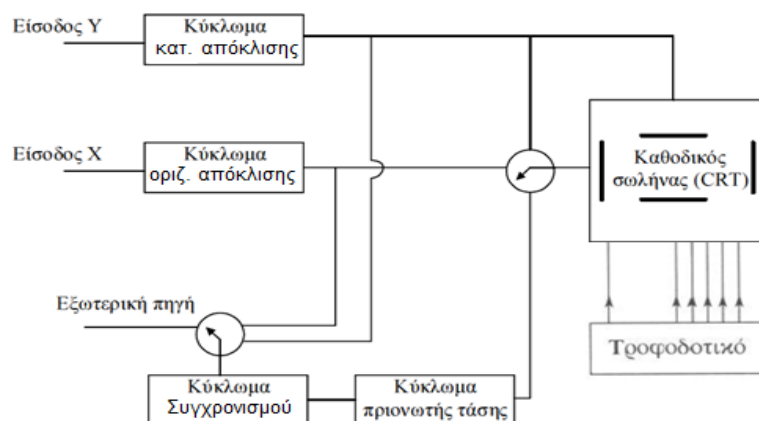
Κεφάλαιο 2 Παλμογράφος

Ο παλμογράφος είναι ένα από τα πλέον χρήσιμα και ευέλικτα ηλεκτρονικά όργανα μετρήσεως που χρησιμοποιούνται στα εργαστήρια. Αυτό οφείλεται αφενός στο γεγονός ότι είναι το μόνο όργανο που στο οποίο απεικονίζει σε πραγματικό χρόνο ένα ηλεκτρικό σήμα το οποίο εξαρτάται από τον χρόνο. Τα τελευταία χρόνια με την εξέλιξη της μικροηλεκτρονικής οι καινούργιοι παλμογράφοι έχουν αποκτήσει εκπληκτικές δυνατότητες και υπολογιστική δύναμη που τους κάνει ακόμη πιο χρήσιμους και πιο αποτελεσματικούς για κάθε χρήση.

Γενικά μπορούμε να πούμε ότι ο παλμογράφος απεικονίζει στην οθόνη που διαθέτει ένα ηλεκτρικό σήμα που εφαρμόζεται στην είσοδό του, ως προς ένα σήμα ή ως προς το χρόνο. Υπάρχουν παλμογράφοι "μονής" και "διπλής" δέσμης. Οι μονής δέσμης απεικονίζουν στην οθόνη μία μόνο κυματομορφή ενώ οι διπλής δέσμης απεικονίζουν στην οθόνη συγχρόνως δύο διαφορετικές κυματομορφές. Υπάρχουν επίσης ψηφιακοί, που λειτουργούν με δειγματοληψία και διαθέτουν μνήμη για την καταχώρηση των κυματομορφών όπως επίσης και άλλες πολλές ιδιότητες. Λειτουργούν με δύο, τρία ή και τέσσερα κανάλια εισόδου.

Τα βασικά μέρη ενός παλμογράφου είναι τα παρακάτω:

- Καθοδικός σωλήνας (Cathode Ray Tube-CRT), με την βοήθεια του οποίου γίνεται η απεικόνιση της μετρούμενης τάσης.
- Σύστημα οριζόντιας και κατακόρυφης απόκλισης (σάρωσης), που χρησιμεύουν στη σωστή απεικόνιση του σήματος εισόδου.
- Κύκλωμα παραγωγής πριονωτής τάσης, που χρησιμεύει στην απεικόνιση της υπό εξέταση τάσης ως συνάρτηση του χρόνου.
- Κύκλωμα συγχρονισμού, με τη βοήθεια του οποίου λαμβάνουμε σταθερές κυματομορφές στην οθόνη του παλμογράφου και
- Τροφοδοτικό

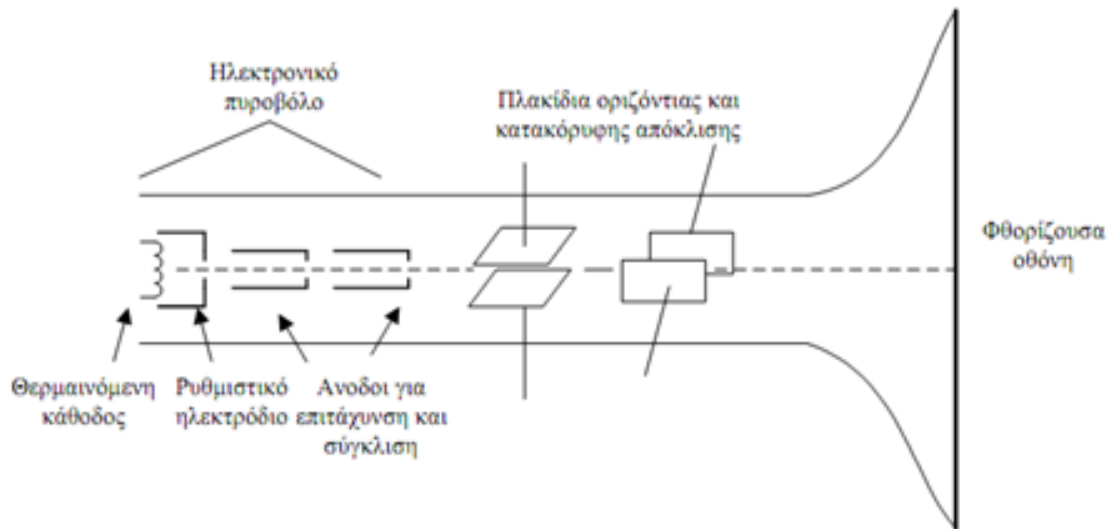


Εικόνα 12 . Βασικά μέρη ενός παλμογράφου

2.1. Καθοδικός σωλήνας

Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται τα κύρια μέρη του καθοδικού σωλήνα. Τα ηλεκτρόνια εκπέμπονται από μία θερμαινόμενη κάθοδο, και με τη βοήθεια ενός ρυθμιστικού ηλεκτροδίου που την περιβάλλει επιλέγεται ο αριθμός τους που θα σχηματίσει τη δέσμη.

Με ένα ποτενσιόμετρο, που βρίσκεται στην μπροστινή όψη του παλμογράφου, μεταβάλλουμε το δυναμικό του ρυθμιστικού ηλεκτροδίου και έτσι μεταβάλλεται και ο αριθμός των ηλεκτρονίων που θα σχηματίσουν την δέσμη. Με αυτό τον τρόπο ελέγχουμε την φωτεινότητα (**INTENSITY**) της δέσμης.



Εικόνα 13 Βασικές λειτουργίες του καθοδικού σωλήνα

Τα εκπεμπόμενα από την κάθοδο ηλεκτρόνια, επιταχύνονται και εστιάζονται από ένα σύστημα ανόδων. Με τη βοήθεια ενός ποτενσιόμετρου, που βρίσκεται στην μπροστινή πλευρά του παλμογράφου, ρυθμίζουμε τα δυναμικά του συστήματος των ανόδων. Με τον τρόπο αυτό μεταβάλλουμε την εστίαση (**FOCUS**) της δέσμης στην οθόνη του παλμογράφου. Η κάθοδος, το ρυθμιστικό ηλεκτρόδιο, η πρώτη και η δεύτερη άνοδος, αποτελούν το ηλεκτρονικό πυροβόλο του καθοδικού σωλήνα.

Η δέσμη των ηλεκτρονίων καθώς εξέρχεται από το ηλεκτρονικό πυροβόλο, περνά από τα πλακίδια κατακόρυφης και οριζόντιας απόκλισης. Είναι ζεύγη πλακιδίων, με επίπεδα κάθετα μεταξύ τους, στα οποία εφαρμόζονται κατάλληλες εσωτερικές ή εξωτερικές τάσεις. Με την επίδραση των παραπάνω τάσεων η κηλίδα μπορεί να μετακινείται είτε στον οριζόντιο, είτε στον κατακόρυφο άξονα. Έτσι, η θέση της κηλίδας στην οθόνη του παλμογράφου αναφέρεται σε σύστημα καρτεσιανών συντεταγμένων, και η κίνηση της είναι η συνισταμένη των επιμέρους κινήσεων που αντιστοιχούν στους δύο άξονες.

Η οθόνη είναι επιχρισμένη με λεπτό στρώμα από υλικό που φθορίζει και καθώς τα ηλεκτρόνια προσπίπτουν σε αυτή σχηματίζεται μία φωτεινή κηλίδα.

2.2. Ενισχυτές - Εξασθενητές οριζόντιας και κατακόρυφης απόκλισης

Αν οι τάσεις που εφαρμόζονται στον παλμογράφο είναι πολύ μικρές δεν μπορούν να προκαλέσουν αισθητή απόκλιση της δέσμης των ηλεκτρονίων, οπότε απαιτείται η ενίσχυση τους. Γι' αυτό πριν τροφοδοτήσουν τους σπλισμούς των πεδίων αποκλίσεως, περνούν από ενισχυτές που αυξάνουν το μέγεθος τους. Ενώ αντίστοιχα αν οι τάσεις που εφαρμόζονται στον παλμογράφο είναι πολύ μεγάλης τιμής, προκαλούν απόκλιση της δέσμης των ηλεκτρονίων έξω από τα όρια της οθόνης, οπότε απαιτείται η εξασθένηση τους. Γι' αυτό πριν τροφοδοτήσουν τους σπλισμούς των πεδίων αποκλίσεως, περνούν από εξασθενητές που μειώνουν το μέγεθος τους.

Οι περισσότεροι παλμογράφοι εργαστηρίου διαθέτουν ενισχυτές «απ' ευθείας συνδέσεως» (direct-coupled) που έχουν την δυνατότητα να ενισχύσουν, τόσο τα συνεχή όσο και τα εναλλασσόμενα σήματα. Συνήθως, η ευαισθησία του παλμογράφου δίνεται σε V/cm ή σε mV/cm.

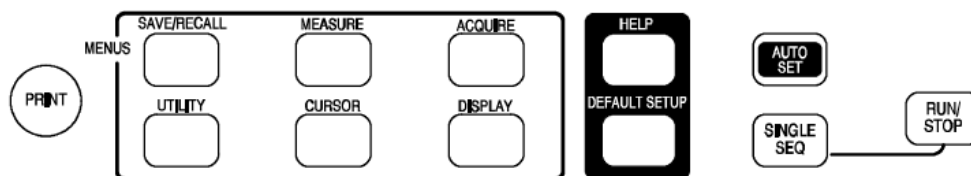
2.3. Περιγραφή Παλμογράφου

Η εμπρόσθια όψη του οργάνου χωρίζεται σε δύο κύριες περιοχές: στην περιοχή της οθόνης και στην περιοχή όπου περιέχονται οι διακόπτες, τα ρυθμιστικά κουμπιά και οι είσοδοι των σημάτων (κυματομορφών).

Η δεύτερη αυτή περιοχή με τη σειρά της χωρίζεται σε τρεις υπό-περιοχές:

1. Μια στενή περιοχή που αφορά το μενού και τις ρυθμίσεις ελέγχου του παλμογράφου.
2. Μια περιοχή που αφορά ρυθμίσεις για την κατακόρυφη εκτροπή της δέσμης ή και των δύο δεσμών που διαθέτει ο παλμογράφος. Στην περιοχή αυτή υπάρχουν και οι υποδοχές στις οποίες συνδέουμε το σήμα του οποίου την κυματομορφή θέλουμε να μελετήσουμε.
3. Μια περιοχή που αφορά ρυθμίσεις για την οριζόντια (HORIZONTAL) εκτροπή της δέσμης ή και των δύο δεσμών που διαθέτει ο παλμογράφος. Συνήθως τίθεται σε λειτουργία αυτόματης σάρωσης δηλαδή η δέσμη αυτόματα εκτρέπεται περιοδικά από τα αριστερά προς τα δεξιά.

2.4. Περιοχή Μενού Ρυθμίσεων Ελέγχου

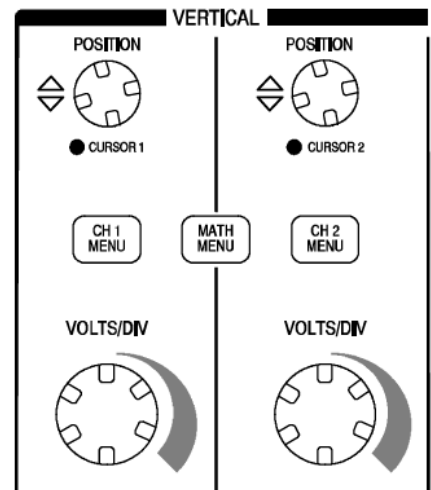


Εικόνα 14 Περιοχή Μενού Ρυθμίσεων Ελέγχου

Στην περιοχή αυτή υπάρχει, εκτός των άλλων, ο διακόπτης Autoset του παλμογράφου που ανανεώνει το περιεχόμενο της οθόνης, ο διακόπτης Run/Stop που αποδίδει ένα στιγμιότυπο της οθόνης σε στοπ-καρε , καθώς και το μπουτόν Cursor που τοποθετεί δείκτες στον κατακόρυφο ή τον οριζόντιο άξονα ώστε να μπορούμε να μετρήσουμε την τάση και τον χρόνο με ακρίβεια.

2.5. Περιοχή Ρυθμίσεων Κατακόρυφης (Vertical) Απόκλισης

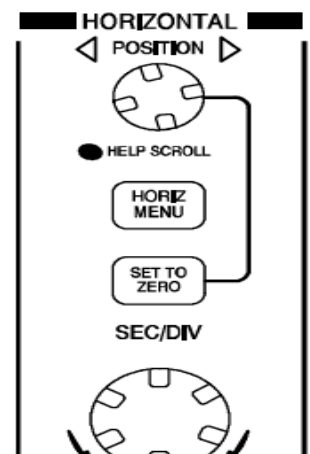
Χωρίζεται σε δύο εντελώς όμοιες περιοχές που η κάθε μια χρησιμοποιείται για τις ρυθμίσεις της μιας εκ των δύο δεσμών που διαθέτει ο παλμογράφος. Σε κάθε μια από τις περιοχές αυτές υπάρχουν, εκτός των άλλων, ένα κεντρικό περιστροφικό κουμπί (volts/div) που είναι ένας βηματικός εξασθενητής ο οποίος επιλέγει τον κάθετο συντελεστή απόκλισης και με αυτό τον τρόπο ρυθμίζεται η ευαισθησία του κατακόρυφου άξονα που μεγεθύνει ή σμικρύνει καθ' ύψος την κυματομορφή και ένα δεύτερο περιστροφικό κουμπί (Position) που μετακινεί πάνω – κάτω την κυματομορφή ή μετακινεί τον δείκτη που έχει εισαχθεί με το μπουτόν Cursor. Στη μέση της περιοχής αυτή υπάρχει η είσοδος του σήματος που θέλουμε να δούμε στην οθόνη. Εκεί υπάρχουν δύο διακόπτες (CH1) και (CH2) που εμφανίζουν τη δέσμη του καναλιού 1 ή του καναλιού 2 ή και των δύο αντίστοιχα καθώς και ένα menu που εμφανίζει αριθμητικές πράξεις μεταξύ των κυματομορφών. Οι αριθμητικές λειτουργίες που υποστηρίζονται είναι οι : πρόσθεση , αφαίρεση και ο M/Σ Fourier.



Εικόνα 15 Περιοχή Ρυθμίσεων Κατακόρυφης (Vertical) Απόκλισης

2.6. Περιοχή Ρυθμίσεων Οριζόντιας (Horizontal) Απόκλισης

Στην περιοχή αυτή υπάρχουν, εκτός των άλλων, ένα κεντρικό περιστροφικό κουμπί (sec/div) που ρυθμίζει το χρόνο σάρωσης της οθόνης από τη δέσμη, (Το κουμπί αυτό πρακτικά μεγεθύνει ή σμικρύνει την κλίμακα του χρόνου (στον οριζόντιο άξονα) αλλάζοντας τη συχνότητα του σήματος και ένα δεύτερο περιστροφικό κουμπί (Position) που μετακινεί δεξιά-αριστερά την κυματομορφή. Στο κάτω μέρος της περιοχής αυτής υπάρχουν διακόπτες και υποδοχές που εξυπηρετούν τον εξωτερικό σκανδαλισμό.



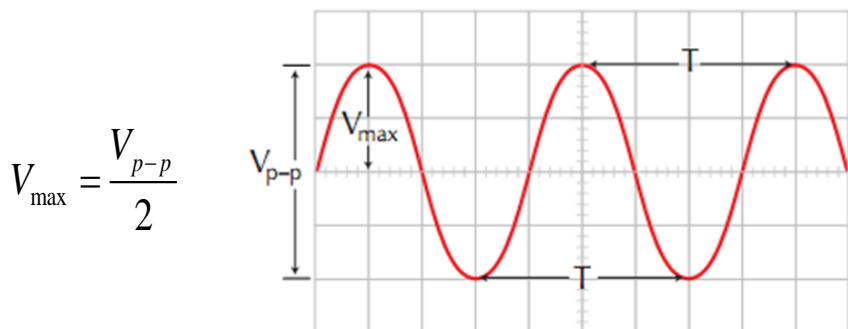
Εικόνα 16 Περιοχή Ρυθμίσεων Οριζόντιας (Horizontal) Απόκλισης

Στην οπίσθια όψη του οργάνου υπάρχει υποδοχή για το καλώδιο τροφοδοσίας και κάτω από την υποδοχή ασφαλειοθήκη που περιέχει την ασφάλεια του οργάνου (250V FD, 5A)

2.7. Μέτρηση με Παλμογράφο

Για να μετρηθεί dc τάση τοποθετούμε τον διακόπτη εισόδου στη θέση GND και ρυθμίζουμε με το position τη γραμμή που εμφανίζεται στην οθόνη να είναι ακριβώς στη μέση της οθόνης. Τοποθετούμε το διακόπτη στη θέση dc και βάζουμε στην είσοδο του καναλιού τάση dc. Η ευθεία γραμμή μετακινείται προς τα επάνω (για θετική τάση) ή προς τα κάτω (για αρνητική τάση). Έστω ότι η ευθεία στην οθόνη ανέβηκε 3 τετράγωνα και ο διακόπτης Volts/Div είναι στη θέση 2. Τότε $V_{DC} = 3 \times 2 = 6 \text{ V}$

Για να μετρηθεί ένα σήμα AC με τον παλμογράφο εισάγεται (συνδέεται) σε μια από τις δύο εισόδους του (σε ένα κανάλι εισόδου). Τοποθετείται ο διακόπτης (AC-DC-GND) εισόδου στη θέση AC. Το εσωτερικό ποτενσιόμετρο του διακόπτη (επιλογή) Volts/Div θα πρέπει να είναι στη θέση cal (calibrated). Ρυθμίζονται οι διακόπτες - επιλογείς Time/Div και Volts/Div έτσι, ώστε να φαίνεται στην οθόνη σταθερή κυματομορφή και να εμφανίζονται στην οθόνη δύο ή τρεις πλήρεις περιόδους του σήματος. Με τα ρυθμιστικά Position τοποθετείται η κυματομορφή έτσι, ώστε οι πάνω (ή οι κάτω) κορυφές της να εφάπτονται σε μια οριζόντια γραμμή της οθόνης και μία πάνω (ή κάτω) κορυφή να είναι ακριβώς στον κάθετο κεντρικό άξονα της οθόνης που έχει και τις υποδιαίρεσεις.



Εικόνα 17 Στιγμιότυπο οθόνης παλμογράφου

2.8. Μετρήσεις του

πλάτους της τάσης

Η οθόνη του παλμογράφου είναι βαθμονομημένη. Αυτό σημαίνει ότι κατά μήκος του άξονα των X κάθε τετράγωνο αντιστοιχεί σε μια μονάδα χρόνου, και κατά μήκος το του άξονα Y κάθε τετράγωνο αντιστοιχεί σε μια μονάδα τάσης. Και για τις δύο παραπάνω περιπτώσεις εμείς κάνουμε ανάλογα με την κυματομορφή την επιλογή της βαθμονόμησης.

Πρακτικά τώρα για τη μέτρηση του πλάτους V_{\max} ή του πλάτους από-κορυφή-σε-κορυφή (V_{p-p}) σημειώνονται τα τετράγωνα της οθόνης που καταλαμβάνει η κυματομορφή κατακόρυφα. Ο αριθμός αυτός πολλαπλασιάζεται επί την τιμή που δείχνει ο διακόπτης Volts/Div.

Γενικά όμως στην ηλεκτρονική οι τιμές των εναλλασσόμενων δυναμικών αναφέρονται σε ενεργές τιμές (rms = ρίζα της μέσης τιμής). Για τα ημιτονοειδή σήματα ισχύει :

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T V_{\max}^2 \cdot \sin(\omega t)^2 dt} = \frac{V_{\max}}{\sqrt{2}} \approx 0,707 \cdot V_{\max}$$

2.9. Μέτρηση του χρόνου

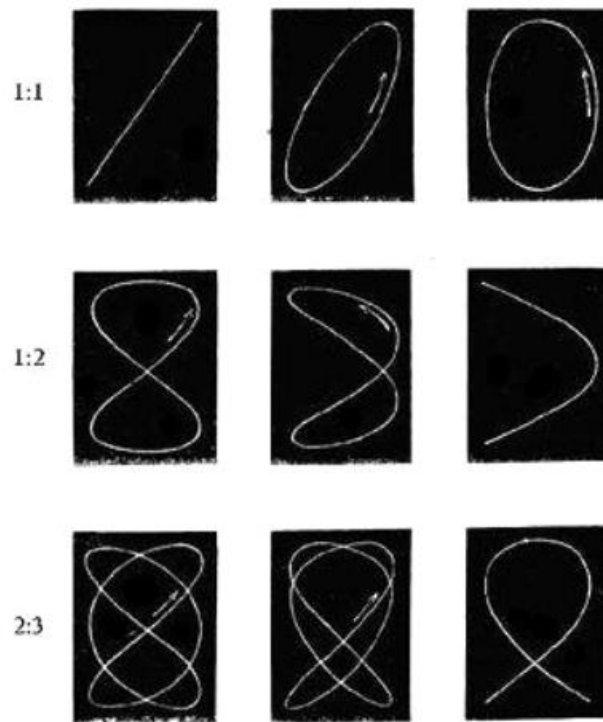
Για τη μέτρηση της περιόδου T του σήματος σημειώνονται τα τετράγωνα της οθόνης μεταξύ δύο σημείων της ίδιας φάσης (για παράδειγμα, μεταξύ δύο διαδοχικών θετικών κορυφών). Ο αριθμός αυτός πολλαπλασιάζεται επί το χρόνο που δείχνει ο διακόπτης Time/Div (ή sec/Div) και βρίσκεται η περίοδος. Η συχνότητα F του σήματος είναι το αντίστροφο της περιόδου: $F = \frac{1}{T}$.

2.10. Λειτουργία X-Y

Για τη απεικόνιση χαρακτηριστικών I-V χρησιμοποιείται η λειτουργία X-Y. Με την ενεργοποίηση του αντίστοιχου διακόπτη ή όταν ο περιστροφικός διακόπτης TIME/DIV (24) είναι γυρισμένος στη θέση X-Y, το κύκλωμα εσωτερικής σάρωσης αποσυνδέεται και η απόκλιση στον κατακόρυφη και οριζόντιο άξονα επιτυγχάνεται μέσω των εξωτερικών σημάτων. Το κανάλι 1 (CH1) χρησιμοποιείται για το σήμα που οδηγεί τον άξονα X και το κανάλι 2 (CH2) χρησιμοποιείται για το σήμα που οδηγεί τον άξονα Y. Κατά τη λειτουργία αυτή όλα τα ρυθμιστικά σκανδαλισμού καθώς και ο διακόπτης MODE των κατακόρυφων ενισχυτών είναι ανενεργά. Σε αυτή τη θέση αυτό που πραγματικά βλέπουμε στην οθόνη του παλμογράφου είναι $X=X(Y)$.

Η βαθμολόγηση των αξόνων γίνεται με βάση τις θέσεις των αντιστοίχων επιλογών Volts/Div. Με τον περιστροφικό επιλογέα VOLTS/DIV του καναλιού 1 (CH1) ρυθμίζεται η ευαισθησία κατά τον άξονα X, ενώ με τον επιλογέα VOLTS/DIV του καναλιού 2 (CH2) ρυθμίζεται η ευαισθησία κατά τον άξονα Y.

Κατά την λειτουργία X-Y με το ρυθμιστικό κατακόρυφης θέσης POSITION του καναλιού 2 (CH2) επιτυγχάνεται κατακόρυφη μετακίνηση του ίχνους ενώ με το ρυθμιστικό οριζόντιας θέσης POSITION επιτυγχάνεται οριζόντια μετακίνηση του ίχνους. Το ρυθμιστικό κατακόρυφης θέσης του καναλιού 1 (CH1) είναι απενεργοποιημένο κατά τη λειτουργία X-Y.



Εικόνα 18 Εικόνες Lissajous

Κεφάλαιο 3 Σφάλματα

Σε κάθε μέτρηση που πραγματοποιείται, ένας βασικός παράγοντας που καθορίζει το αποτέλεσμα είναι η απόκλιση της τιμής που μετράμε ή υπολογίζουμε σε σχέση από την πραγματική τιμή. Η εγκυρότητα μιας μέτρησης χαρακτηρίζεται με βάση το απόλυτο και το σχετικό σφάλμα ενώ αντίστοιχα στο όργανο υπάρχει η κλάση του οργάνου η οποία καθορίζει πόσο σφάλμα έγινε σε μία συγκεκριμένη χρήση του. Στο κεφάλαιο αυτό θα ασχοληθούμε με δύο άλλα σοβαρά θέματα: α) τα είδη των σφαλμάτων και πως επηρεάζουν τις μετρήσεις και β) την μέθοδο με την οποία προσδιορίζουμε το σφάλμα στην περίπτωση που επεξεργαζόμαστε τις ενδείξεις των οργάνων με βάση κάποια προκαθορισμένη συνάρτηση.

Ως απόλυτο σφάλμα ορίζουμε την διαφορά μεταξύ της μετρούμενης $x_{\text{μετ}}$ και της πραγματικής τιμής $x_{\text{πραγ}}$ ενός μεγέθους x , $\Delta x = x_{\text{μετ}} - x_{\text{πραγ}}$. 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 $x_{\text{πραγ}}$, $\Delta x / x_{\text{πραγ}}$.

Πρακτικά, για μικρά σφάλματα, το σχετικό σφάλμα δίδεται από $\Delta x / x_{\text{μετ}}$, όπου έχει ληφθεί υπόψη ότι $x_{\text{μετ}} \approx x_{\text{πραγ}}$. 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 $S = 11$.

3.1 Είδη σφαλμάτων

Υπάρχουν τρεις κατηγορίες σφαλμάτων που μπορούν να επηρεάσουν μία μέτρηση:

α) τα περιβαλλοντικά σφάλματα και τα σφάλματα παρατήρησης. Τα σφάλματα αυτά οφείλονται κυρίως σε λάθος χρήση των οργάνων. Τέτοιου τύπου λάθη είναι η χρήση ενός οργάνου σε λάθος θερμοκρασία ή υγρασία, σε λάθος θέση, παρουσία πεδίων που επηρεάζουν την μέτρηση (π.χ. χρήση του οργάνου κινητού μαγνήτη κοντά σε μαγνητικά πεδία) αλλά και η κακή ανάγνωση της ένδειξης. Ειδικά όσο αφορά το τελευταίο, μία σωστή ανάγνωση της ένδειξης απαιτεί η ένδειξη, η άκρη του δείκτη και το μάτι του παρατηρητή να βρίσκονται στην ίδια κατακόρυφη ευθεία.

Όπως ήδη αναφέρθηκε, κάθε όργανο αναφέρει σε εμφανές σημείο τις σωστές παραμέτρους λειτουργίας του, όπως επίσης ο κατασκευαστής εφοδιάζει το όργανο με τις απαραίτητες οδηγίες χρήσης. Επομένως ο χρήστης του οργάνου είναι πάντοτε εφοδιασμένος με αρκετά στοιχεία για να χρησιμοποιήσει σωστά το όργανο και αν επιθυμεί σωστές μετρήσεις, οφείλει να το κάνει.

β) τα τυχαία σφάλματα. Όπως φαίνεται από τη λέξη, αυτά εμφανίζονται τυχαία και ακολουθούν τους νόμους των πιθανοτήτων. Υπάρχουν όμως κατάλληλες διαδικασίες και αντίστοιχος μαθηματικός φορμαλισμός που μας επιτρέπουν να υπολογίσουμε την επίδραση τους στο τελικό αποτέλεσμα.

γ) τα συστηματικά σφάλματα. Τα σφάλματα αυτά οφείλονται σε κατασκευαστικές ατέλειες και μηχανικά σφάλματα των οργάνων, στην αλλαγή της τιμής της μετρούμενης ποσότητας λόγω της σύνδεσης του οργάνου, στις προσεγγίσεις των μεθόδων υπολογισμού, στη γήρανση των οργάνων και σε άλλου παράγοντες οι οποίοι όμως μπορούν να προβλεφθούν και να ληφθούν υπόψη στο τελικό αποτέλεσμα.

3.2 Ορθότητα, ακρίβεια και διακριτικότητα

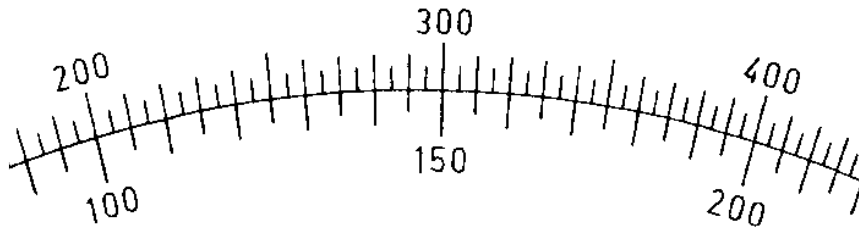
Ένα αμπερόμετρο με σφάλμα $\pm 1\%$ ΠΑΚ δείχνει ακριβώς 1 A σε πλήρη κλίμακα. Σύμφωνα με τα προηγούμενα, η πραγματική τιμή τού ρεύματος είναι $1 \text{ A} \pm 1\% = 0,99 \text{ έως } 1,01 \text{ A}$. Αυτό το ποσοστό 1% δείχνει πόσο κοντά είναι η μέτρηση στην πραγματική τιμή και αποκαλείται **ορθότητα** (accuracy) της μέτρησης. Η ορθότητα αντανακλά τη μέγιστη δυνατή απόκλιση από την ιδανική τιμή. **ΠΡΟΣΟΧΗ!** Η αναγραφόμενη ορθότητα αναφέρεται στην πλήρη κλίμακα. Αυτό σημαίνει ότι αν χρησιμοποιήσουμε ένα όργανο με πλήρη κλίμακα στα 100 V που έχει ορθότητα $\pm 2\%$ (δηλ. σφάλμα $\pm 2 \text{ V}$ σε μέτρηση 100 V) και μετρήσουμε για μια τάση 10 V τότε η πραγματική τιμή βρίσκεται στο διάστημα $\frac{\pm 2V \times 100\%}{10V} = \pm 20\%$ δηλ. από 8 έως 12 V. Για να βελτιώσουμε την απόδοση των οργάνων απόκλισης, φροντίζουμε να επιλέγουμε κλίμακα ή όργανο ώστε οι μετρήσεις μας να διαβάζονται στο τελευταίο τρίτο της κλίμακας τουλάχιστον.



Εικόνα 19 Διακριτική Ικανότητα Οργάνων

Διακριτική ικανότητα (resolution) είναι η μικρότερη ποσότητα που μπορούσαμε να διαβάσουμε πάνω σε μια κλίμακα. Π.χ., στην εικόνα αμέσως πιο κάτω, μπορούμε να δηλώσουμε ότι η διακριτική ικανότητα της κλίμακας είναι της τάξης τής μιας μονάδας (αν η βελόνα είναι αρκετά λεπτή. Εναλλακτικά, μπορούμε να πούμε ότι μια αλλαγή στη μετρούμενη ποσότητα της τάξης τής μιας μονάδας μπορεί να γίνει αντιληπτή. Φυσικά, αυτό είναι

ένα άλλο είδος ευαισθησίας (την έχουμε ήδη ορίσει με διαφορετικό τρόπο) που αφορά άμεσα τον παρατηρητή.



Εικόνα 20 Διακριτική Ικανότητα Οργάνων

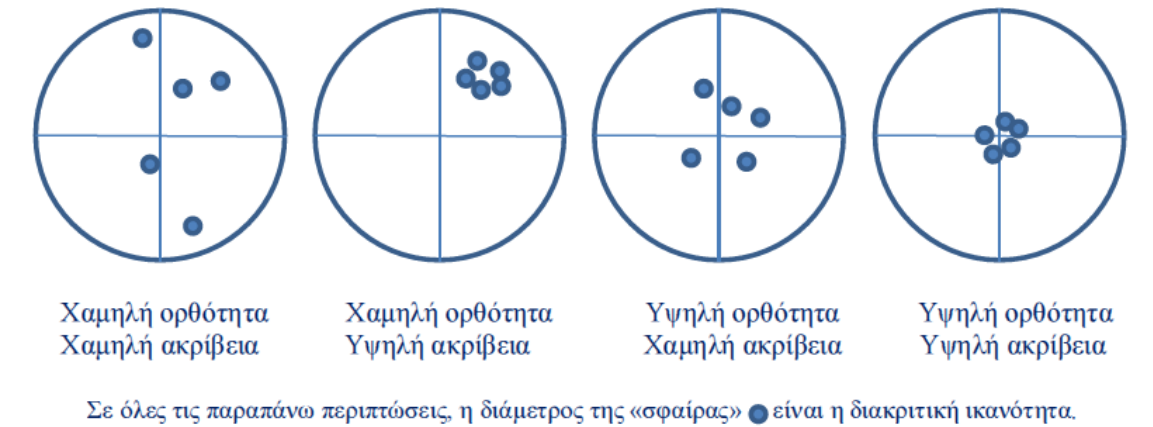
Στις πιο πάνω κλίμακες, και με καλό εξοπλισμό, η διακριτική ικανότητα μπορεί να είναι ακόμα και 1 μονάδα (ίσως και καλύτερη στην κάτω κλίμακα).

Θα μπορούσαμε να κατανοήσουμε καλύτερα τη διακριτική ικανότητα αν σκεφτόμασταν τη σειρά των δυνατών τιμών που μπορούν να διαβαστούν από το όργανο σαν μια σκάλα (με ομοιόμορφα σκαλοπάτια) που ξεκινάει από το έδαφος και ανεβαίνει. Τότε, το πλάτος τού σκαλοπατιού είναι η διακριτική ικανότητα και ορίζεται επακριβώς σαν $\Delta X / (X_{\max} - X_{\min})$ αν το μετρούμενο μέγεθος είναι το X και ΔX είναι η ελάχιστη δυνατή απόσταση μεταξύ διαδοχικών τιμών.

Η **ακρίβεια** (precision) της μέτρησης είναι κάτι διαφορετικό, αν και σχετικό: έχει να κάνει με την επαναληψιμότητα και την αξιοπιστία τής μέτρησης. Π.χ. σε ένα κατάλληλα εξοπλισμένο όργανο (κάτοπτρο, βελόνα-αιχμή, κλπ.) μπορούμε να διαβάσουμε την τιμή με μεγάλη ακρίβεια (εδώ η λέξη χρησιμοποιείται με τη γλωσσική της υπόσταση). Αλλά αν πρέπει να το κάνουμε βιαστικά, ίσως δεν προλαβαίνουμε να εκμεταλλευτούμε τις δυνατότητες του οργάνου.

Φυσικά, η ανάγνωση που κάνουμε μπορεί να μην έχει τίποτε κοινό με την πραγματική τιμή. Αν μεταφέρουμε την κατάσταση σε κάτι πιο κοινότοπο όπως π.χ. το ρολόι, τότε σε ένα ρολόι χωρίς δείκτη δευτερολέπτων μπορούμε να εκτιμήσουμε «στο περίπου» σε ποιο ποσοστό τού λεπτού βρισκόμαστε και να πούμε ότι η ώρα είναι 10:43:20. Φυσικά, το ρολόι μπορεί να «χάνει» και ολόκληρες ώρες! Άρα η ακρίβεια δεν μας βοηθάει να ανακαλύψουμε την αλήθεια αλλά να την ποσοτικοποιήσουμε σωστά αν το όργανο που έχουμε είναι αρκετά ποιοτικό. Και πάλι σχετικά με τη μέτρηση χρόνου, μπορούμε να καταλάβουμε τη διαφορά μεταξύ διακριτικής ικανότητας και ακρίβειας: ένα χρονόμετρο μπορεί να μας δώσει διακριτική ικανότητα της τάξης τού $1/100$ του δευτερολέπτου. Όμως, ο μέσος άνθρωπος χρειάζεται $1/10$ του δευτερολέπτου για να αντιδράσει σε ένα γεγονός και να πατήσει το κουμπί για να αρχίσει η μέτρηση του χρόνου!

Για να συνθέσουμε όλα τα παραπάνω, το κλασικό παράδειγμα είναι η σκοποβολή. Οι παρακάτω εικόνες δείχνουν τι συμβαίνει (η ορθή τιμή είναι στο κέντρο τού κύκλου).



Εικόνα 21 Ακρίβεια και Ορθότητα Μετρήσεων

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ: *Ακριβείς μετρήσεις δεν είναι απαραίτητα ορθές, όμως, η υψηλή ακρίβεια είναι απαραίτητη για την ορθότητα.*

Τέλος, μπορούμε να ορίσουμε και το **σφάλμα διακρίβωσης** (calibration error) ή **σφάλμα βαθμονόμησης**. Με τον όρο «Διακρίβωση» εννοείται η επιβεβαίωση-επαλήθευση ότι αυτό που διαβάζουμε στην κλίμακα του οργάνου αντιστοιχεί στην πραγματικότητα (για όλη την κλίμακα).

Με άλλα λόγια, ότι η βαθμονόμηση της κλίμακας είναι σωστή. Το σφάλμα αυτό γίνεται αντιληπτό όταν έχουμε στη διάθεσή μας πολλαπλές μετρήσεις για το ίδιο (εκ των προτέρων γνωστό) μέγεθος που διαφέρουν μεταξύ τους. Τότε, μπορούμε να υπολογίσουμε τον μέσο όρο των μετρήσεων αυτών. Η απόσταση του μέσου όρου από την ιδανική τιμή ορίζεται σαν το σφάλμα διακρίβωσης ή σφάλμα βαθμονόμησης. Η διακρίβωση γίνεται κανονικά από πιστοποιημένα εργαστήρια και σε τακτά χρονικά διαστήματα.

3.3 Σφάλματα παρατήρησης

Είναι τα σφάλματα που οφείλονται στον χειρισμό τού οργάνου. Συμπεριλαμβάνουν κυρίως τα εξής:

A. Σφάλματα παράλληλης, όπου ο παρατηρητής δεν έχει τη σωστή θέση και λόγω της απόστασης μεταξύ βελόνας και κλίμακας διαβάζει παραπλήσια τιμή και όχι τη σωστή. Αυτό διορθώνεται σε όργανα καλύτερης ποιότητας (και μεγαλύτερου κόστους φυσικά) με τη χρήση βελόνας-αιχμής μαχαιριού (εξαιρετικά λεπτής, δηλαδή) και στενής ταινίας κατόπτρου παράλληλης με την κλίμακα έτσι ώστε όταν συμπίπτει η βελόνα με το είδωλό της να είμαστε σίγουροι ότι διαβάζουμε από τη σωστή θέση.

B. Σφάλματα ανάγνωσης, όπου ο παρατηρητής διαβάζει μεν σωστά την ένδειξη αλλά σε λανθασμένη κλίμακα (πολύ συχνά τα όργανα έχουν πολλαπλές κλίμακες).

Γ. Σφάλματα καταγραφής, όπου ο παρατηρητής διαβάζει σωστά την ένδειξη και στη σωστή κλίμακα αλλά την καταχωρίζει σε λανθασμένο σημείο στον σχετικό πίνακα (π.χ. τάση σε V την γράφει κατά λάθος σε στήλη για ρεύμα σε A).

Μερικές φορές, ειδικά σε κρίσιμες μετρήσεις είναι καλό να επιστρατεύεται και δεύτερος παρατηρητής, ειδικά για επανάληψη μετρήσεων που χαρακτηρίστηκαν μη αναμενόμενες ή παράξενες. Έχουν συμβεί όμως διαφωνίες ακόμα και σ' αυτήν την περίπτωση.

3.4 Συστημικά Σφάλματα

Τα σφάλματα που οφείλονται στο σύστημα μέτρησης που χρησιμοποιούμε, ή που οφείλονται σε παραμορφώσεις, ανακρίβειες ή μη ορθότητες που προκαλεί το ίδιο το όργανο, αποκαλούνται **συστηματικά σφάλματα**. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η μέτρηση τάσης σε ένα κύκλωμα την ώρα που αυτό λειτουργεί. Το βολτόμετρο, λόγω της εσωτερικής του αντίστασης, θα επηρεάσει τη λειτουργία του κυκλώματος και η μέτρηση δεν θα αντανakλά την «αλήθεια». Το ίδιο θα συμβεί και σε μια μέτρηση ρεύματος με αμπερόμετρο που παρεμβάλλεται στον κλάδο.

Στα συστηματικά σφάλματα συμπεριλαμβάνουμε:

- A. Την κακή βαθμονόμηση (από κατασκευής, π.χ.) ή την κακή ή ελαττωματική διακρίβωση
- B. Τον κακό μηδενισμό (nulling) τού οργάνου.
- Γ. Παλαίωση του οργάνου.
- Δ. Εξωτερικούς δυσμενείς παράγοντες, όπως πολύ υψηλές ή πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, ηλεκτρικά ή μαγνητικά πεδία, μετεωρολογικά στοιχεία (π.χ. κεραυνοί), κλπ.

Είναι προφανές ότι κάποια συστηματικά σφάλματα δεν μπορούν να αποφευχθούν. Άλλα μπορούν να ελαχιστοποιηθούν με προσεκτική χρήση, συνεπή συντήρηση και κατάλληλες προφυλάξεις.

3.5 Τυχαία Σφάλματα

Οφείλονται σε τυχαίους παράγοντες, ατυχήματα ή ατυχή συμβάντα. Μπορεί να είναι ανθρώπινα σφάλματα που προκαλούνται από κούραση ή άγχος. Επίσης, μπορεί να οφείλονται σε ξαφνικές αυξήσεις τής τάσης στο τροφοδοτικό, ή μια αλλαγή στη συχνότητα τροφοδοσίας στο δίκτυο και άλλα παρόμοια γεγονότα.

Για να τα αποφύγουμε (κυρίως σε κρίσιμες μετρήσεις), επαναλαμβάνουμε τη μέτρηση, ίσως και πολλές φορές, και επεξεργαζόμαστε στατιστικά τα δεδομένα που προκύπτουν. Διερευνούμε για τυχόν ύπαρξη ακραίων τιμών (outliers) και αποφασίζουμε πώς να τις χειριστούμε. Είναι πιθανό να απορρίψουμε ολόκληρο το σύνολο των μετρήσεων και να επαναλάβουμε σε περίπτωση που «δεν βγάζουμε άκρη».

Κεφάλαιο 4 Μέτρηση τάσης και ρεύματος

4.1 Μέτρηση ρεύματος-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



Εικόνα 22 Αναλογικό και ψηφιακό αμπερόμετρο

4.2 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.



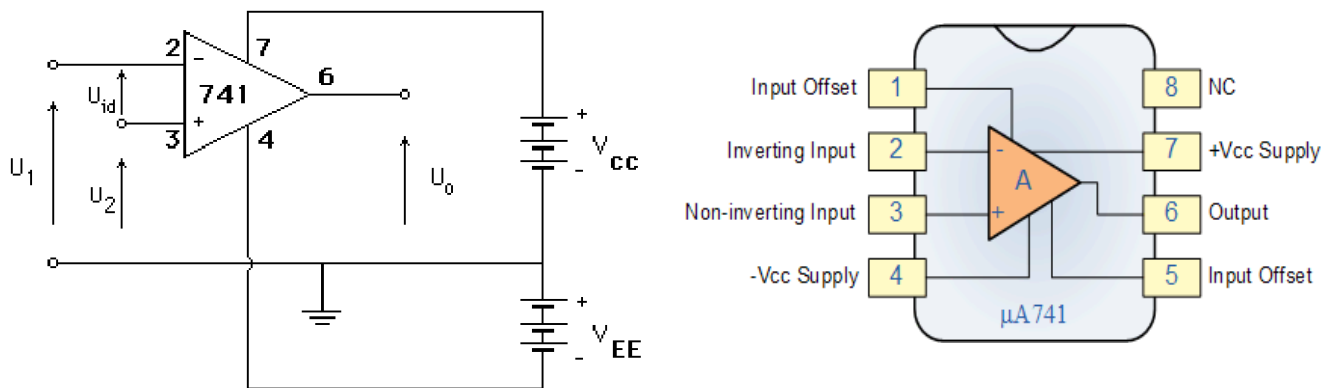
Εικόνα 23 Αναλογικά Βολτόμετρα

Κεφάλιο 5 Ηλεκτρονικά Όργανα

Ο τελεστικός ενισχυτής ή Τ.Ε. (operational amplifier ή Op. Amp.) είναι ένα κύκλωμα το οποίο βρίσκει πολλές εφαρμογές και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ενίσχυση AC και DC σημάτων καθώς και για δημιουργία κυκλωμάτων για μετρήσεις ρεύματος και τάσης.

Ο Τ.Ε. πρωτοκατασκευάστηκε για να εκτελεί μαθηματικές πράξεις (πρόσθεση ,αφαίρεση, ολοκλήρωση κ.λ.π) μεταξύ των σημάτων εισόδων του .

Η είσοδος που συμβολίζεται με (-) λέγεται είσοδος αναστροφής ή αναστρέφουσα (V1) ενώ η είσοδος που συμβολίζεται με (+) λέγεται είσοδος μη αναστροφής ή μη αναστρέφουσα (V2). Ακόμα, όπως κάθε κύκλωμα χρειάζεται τάση τροφοδοσίας που εφαρμόζεται στους ακροδέκτες +Vcc, -VEE (θετική και αρνητική τάση).



Εικόνα 24 Pinout Τελεστικού Ενισχυτή

5.1 Χαρακτηριστικά ιδανικών και πραγματικών τελεστικών ενισχυτών.

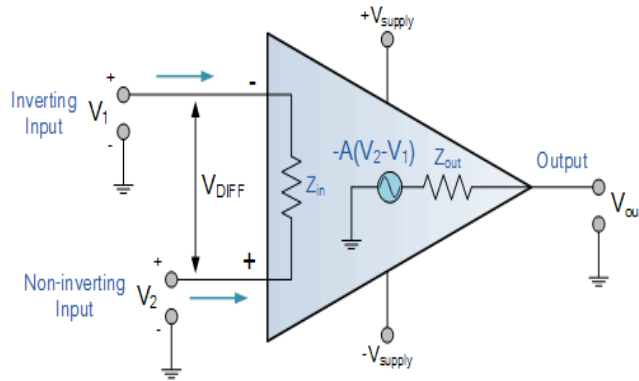
Κατά την σχεδίαση κυκλωμάτων με τελεστικούς ενισχυτές δεν εξετάζεται το εσωτερικό κύκλωμα αυτών (σχήμα 6.3) αλλά τα βασικά χαρακτηριστικά τους δηλαδή η ενίσχυση τάσης A, η αντίσταση εισόδου R_i , η αντίσταση εξόδου R_o και το εύρος ζώνης συχνοτήτων (Bandwidth BW).

Αν θεωρηθεί ιδανικός ο τελεστικός ενισχυτής, τότε αυτός πρέπει να παρουσιάζει τα παρακάτω ηλεκτρικά χαρακτηριστικά:

1. Άπειρο κέρδος τάσης A.
2. Αντίσταση εισόδου, Z_{in} άπειρης τιμής ($Z_{in} \geq 0$) ώστε να μπορεί να οδηγείται από οποιαδήποτε πηγή σήματος ο Τ.Ε. χωρίς να φορτώνει την προηγούμενη βαθμίδα.
3. Αντίσταση εξόδου, Z_{out} μηδενικής τιμής ($Z_{out} = 0$) ώστε η έξοδος του Τ.Ε να μπορεί να οδηγεί ένα άπειρο αριθμό διατάξεων ή εξαρτημάτων.
4. Άπειρο εύρος ζώνης ώστε ένα σήμα εισόδου με συχνότητες να μπορεί να ενισχύεται χωρίς να υποστεί ουδεμία απόσβεση.

5. Άπειρο λόγο απόρριψης κοινού σήματος CMRR , ώστε η τάση εξόδου , κοινού σήματος, να είναι ίση με το μηδέν .

6. Άπειρη τιμή της " slew rate " για να μπορεί η τάση στην έξοδο του Τ.Ε. να μεταβάλλεται με τις μεταβολές της τάσης εισόδου χωρίς καμία καθυστέρηση φάσης (οι μεταβολές να είναι ταυτόχρονες).



Εικόνα 25 Ισοδύναμο κύκλωμα τελεστικού ενισχυτή

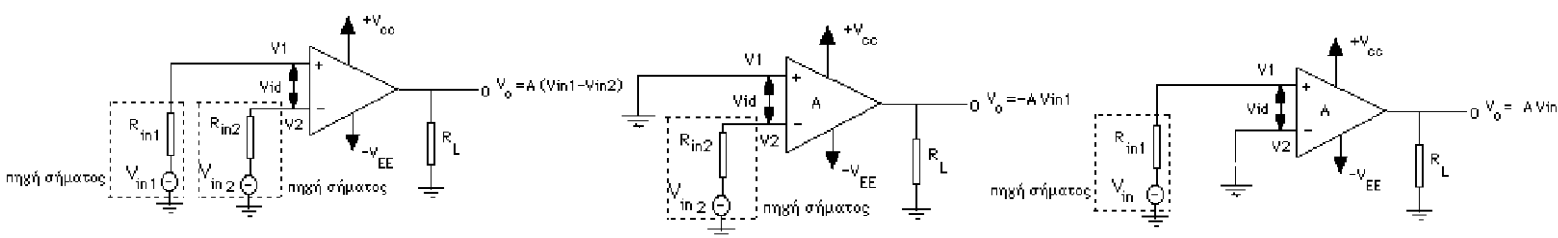
Προφανώς τα χαρακτηριστικά των πραγματικών τελεστικών ενισχυτών διαφέρουν από τα χαρακτηριστικά του ιδανικού μοντέλου λόγω κατασκευαστικών περιορισμών και ατελειών. Όμως με τη ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων, πολλά απ' τα χαρακτηριστικά των πραγματικών Τ.Ε. πλησιάζουν αρκετά τα χαρακτηριστικά του ιδανικού. Έτσι, σε πολλές εφαρμογές με τελεστικούς ενισχυτές, είναι δυνατόν για απλοποίηση των υπολογισμών, να θεωρηθεί ο τελεστικός ενισχυτής ιδανικός.

Τα αποτελέσματα που παίρνουμε στην περίπτωση αυτή, σε σύγκριση με τον πραγματικό Τ.Ε. δεν έχουν ουσιαστική διαφορά. Υπάρχουν όμως και πολλές εφαρμογές όπου πρέπει να παρθούν οπωσδήποτε υπόψη οι περιορισμοί που μπαίνουν στα χαρακτηριστικά των Τ.Ε. απ' την κατασκευή τους.

5.2 Τοπολογίες ανοικτού βρόγχου με Τ.Ε.

Ο όρος ανοικτός βρόχος δηλώνει ότι δεν υπάρχει καμία σύνδεση είτε άμεση είτε μέσω ενός άλλου δικτύου μεταξύ των ακροδεκτών της εισόδου και της εξόδου. Σε μια τέτοια περίπτωση ο Τ.Ε. λειτουργεί σαν ένας απλός ενισχυτής με υψηλό κέρδος τάσης. Οι τοπολογίες ανοικτού βρόγχου των Τ.Ε. είναι τρεις :

- 1) Διαφορικού ενισχυτή
- 2) Αναστρέφοντα ενισχυτή και
- 3) Μη αναστρέφοντα ενισχυτή

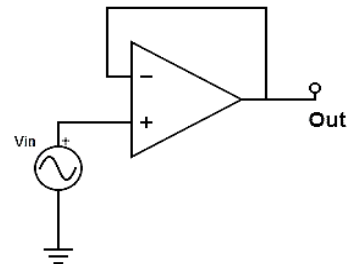


Εικόνα 26 Τοπολογίες Ανοικτού Βρόγχου με Τ.Ε.

5.3 Βασικά κυκλώματα με Τ.Ε.

Ακόλουθος τάσης

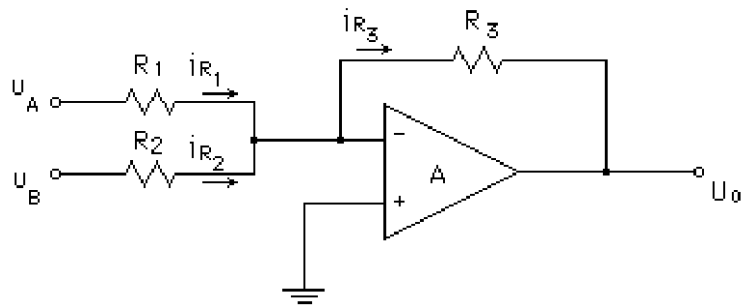
Το κύκλωμα ακόλουθου τάσης (Voltage follower) παίρνει αυτό το όνομα γιατί η τάση εξόδου του κυκλώματος είναι ίση σε μέτρο και έχει διαφορά φάσης ίση με το μηδέν με εκείνη της εισόδου. Με άλλα λόγια η τάση εξόδου ακολουθεί πιστά τις μεταβολές της τάσης εισόδου ($V_{out} = V_{in}$).



Εικόνα 27 Ακόλουθος τάσης

Ενισχυτής άθροισης

Στο κύκλωμα του σχήματος φαίνεται πως χρησιμοποιείται ο Τ.Ε. για την πρόσθεση δύο σημάτων U_A και U_B .



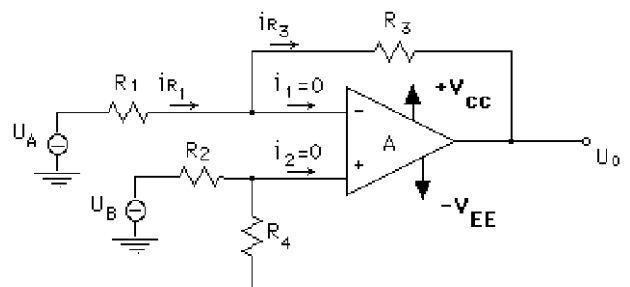
Εικόνα 28 Ενισχυτής άθροισης

Δηλαδή η τάση εξόδου είναι ένα άθροισμα της μορφής $-(\alpha U_A + \beta U_B)$ όπου οι συντελεστές α και β καθορίζονται απ' τις τιμές των αντιστάσεων R_3, R_1 και R_3, R_2 αντίστοιχα. Προφανώς όταν $R_1=R_2=R_3$, ισχύει $u_0 = -(U_A+U_B)$.

Ενισχυτής διαφοράς

Στο κύκλωμα του σχήματος φαίνεται πως χρησιμοποιείται ο Τ.Ε. για την αφαίρεση ενός σήματος U_A από ένα άλλο U_B και τελικά:

$$U_0 = \left[\left(\frac{R_1 + R_3}{R_1} \right) \left(\frac{R_4}{R_2 + R_4} \right) U_B - \left(\frac{R_3}{R_1} \right) U_A \right]$$

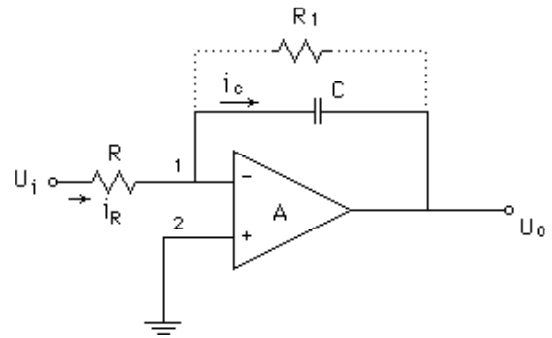


Εικόνα 29 Ενισχυτής διαφοράς

Προφανώς όταν $R_1=R_3$ και $R_2=R_4$ ισχύει: $U_0=U_B-U_A$ δηλ. η τάση εξόδου U_0 θα είναι η διαφορά των δύο τάσεων (σημάτων) εισόδου U_B και U_A .

Ολοκλήρωση με Τ.Ε

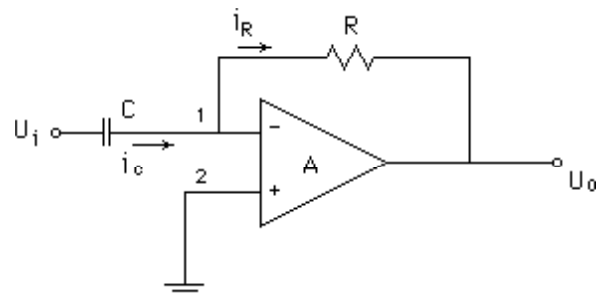
Το παρακάτω κύκλωμα είναι ένα κύκλωμα ολοκλήρωσης, δηλ. το σήμα εξόδου u_o είναι συνάρτηση του ολοκληρώματος του σήματος εισόδου u_i . ($U_o = -\int_0^t U_i dt$)



Εικόνα 30 Ολοκλήρωση με Τ.Ε

Διαφόριση με Τ.Ε.

Στο κύκλωμα διαφόρισης, η τάση εξόδου u_o είναι συνάρτηση του διαφορικού της τάσης εισόδου U_i . Αυτό φαίνεται από την σχέση $U_o = -RC \frac{dU_i}{dt}$

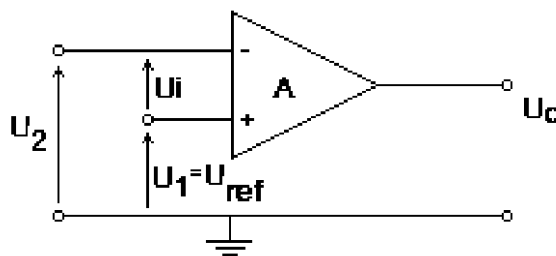


Εικόνα 31 Διαφόριση με Τ.Ε.

Συγκριτές τάσης

Το κύκλωμα του παρακάτω σχήματος είναι ένας Τ.Ε. χωρίς εξωτερικά στοιχεία. Επειδή δεν υπάρχει βρόχος ανάδρασης η λειτουργία του κυκλώματος θα είναι μη γραμμική. Έτσι, αν $V_i = V_2 - V_1 > 0$ η τάση εξόδου θα είναι: $V_o = +V_o$ κόρου ενώ αν $V_i = V_2 - V_1 < 0$ τότε $V_o = -V_o$ κόρου

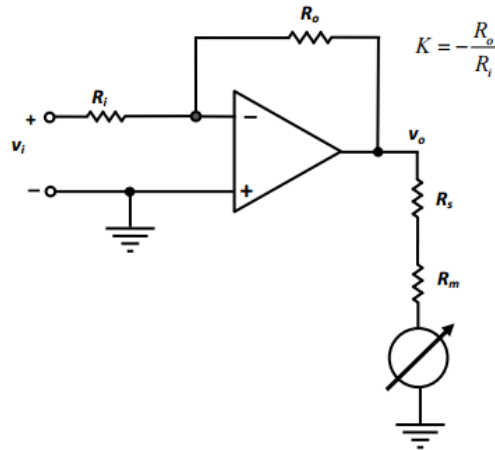
Αν τώρα η είσοδος αντιστροφής χρησιμοποιηθεί σαν είσοδος αναφοράς και εφαρμοσθεί σ' αυτήν μια τάση αναφοράς τότε το κύκλωμα του παρακάτω σχήματος λέγεται συγκριτής τάσης και συγκρίνει την τάση V_2 που εφαρμόζεται στην είσοδο μη αντιστροφής με την τάση αναφοράς $V_1 = V_{ref}$ και ανάλογα με το πρόσημο της διαφοράς $V_2 - V_1$, η έξοδος θα είναι $+V_o$ κόρου είτε $-V_o$ κόρου



Εικόνα 32 Συγκριτής τάσης

5.4 Ηλεκτρονικό Βολτόμετρο

Κύκλωμα αναβάθμισης συμβατικού οργάνου



Εικόνα 33 Κύκλωμα αναβάθμισης συμβατικού οργάνου

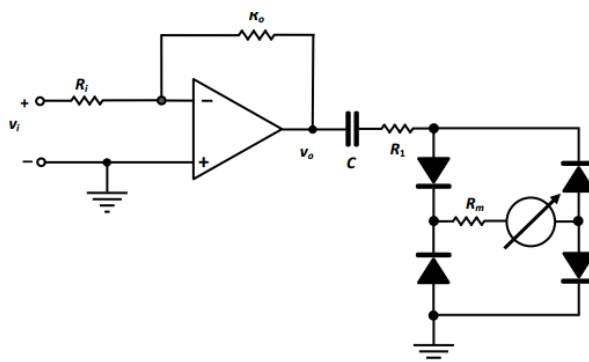
Το κέρδος ορίζεται με την μεταβλητή K και η περιοχή μετρήσεων του συμβατικού οργάνου αυξάνεται κατά K .

Τα μειονεκτήματα της παρούσας διάταξης είναι :

1. Ολίσθηση της μηδενικής ένδειξης (zero drift)
2. Πόλωση (bias)

Ως εκ τούτου απαιτείται μηδενισμός (nulling) πριν από κάθε μέτρηση.

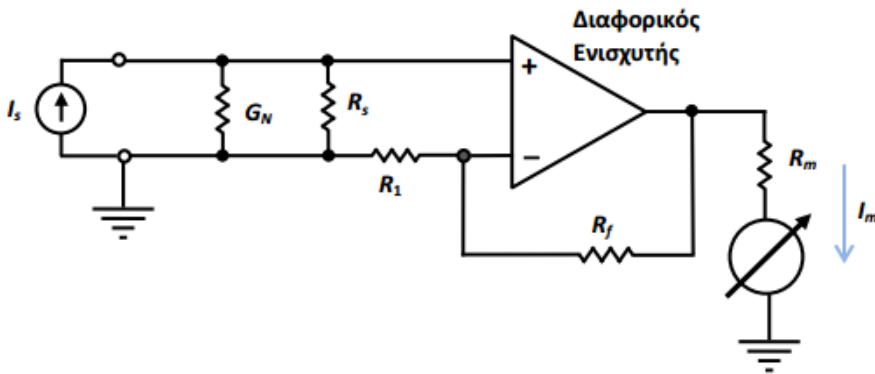
Για εναλλασσόμενη τάση έχουμε το παρακάτω κύκλωμα:



Εικόνα 34 Κύκλωμα αναβάθμισης συμβατικού εναλλασσόμενου οργάνου

5.5 Ηλεκτρονικό Αμπερόμετρο

Για ρεύματα από 1 fA (femto: 10^{-15}) έως 50 μ A χρησιμοποιούνται ειδικοί ενισχυτές. Παρουσιάζονται βέβαια προβλήματα επειδή ταυτόχρονα με το σήμα ενισχύεται και ο θόρυβος, που προέρχεται κυρίως από θερμικά φαινόμενα.



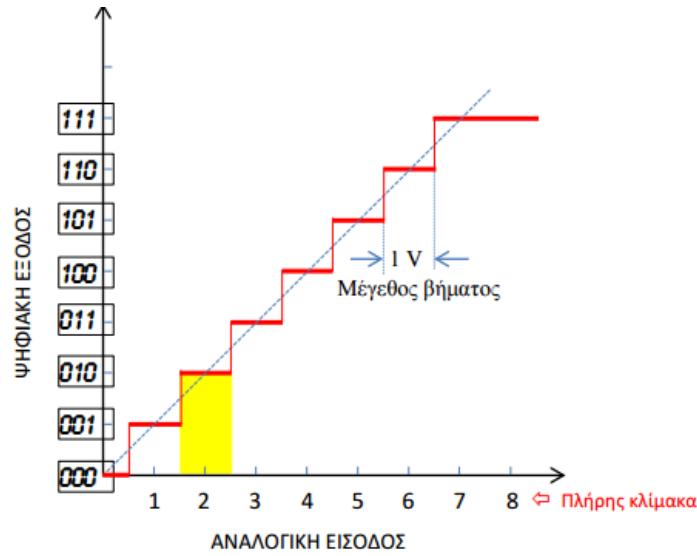
Εικόνα 35 Ηλεκτρονικό Αμπερόμετρο

5.6 Ψηφιακό Βολτόμετρο

Μετατροπή από αναλογικό σήμα σε ψηφιακό

Για τη λειτουργία τού ψηφιακού οργάνου, είναι απαραίτητη η μετατροπή τού αναλογικού σήματος σε ψηφιακό. Αυτό το αναλαμβάνει ο «αναλογικοψηφιακός μετατροπέας» ή «μετατροπέας από αναλογικό σε ψηφιακό» ή όπως αλλιώς μπορεί να ονομαστεί ο “analog-to-digital converter” (ADC). Η βασική παράμετρος του ADC είναι ο αριθμός των δυαδικών ψηφίων που είναι διαθέσιμα για τη μετατροπή. Όταν υπάρχουν διαθέσιμα N δυαδικά ψηφία, οι δυνατοί συνδυασμοί αυτών των ψηφίων είναι συνολικά $2N$. Αυτό σημαίνει ότι μπορούμε να αναπαραστήσουμε $(2N - 1)$ στάθμες σήματος και το μηδέν. Αυτή η ενέργεια λέγεται ποσοτικοποίηση και είναι βέβαια αντίστοιχη με την αναπαράσταση των πραγματικών αριθμών στον ψηφιακό υπολογιστή. [Σημείωση: αν απαιτείται πρόσημο, ένα επιπρόσθετο ή ένα από τα υπάρχοντα δυαδικά ψηφία πρέπει να χρησιμοποιηθεί για τον σκοπό αυτό.]

Ας υποθέσουμε για παράδειγμα ότι έχουμε ένα αναλογικό σήμα από 0 έως 8 V και υπάρχουν 3 διαθέσιμα δυαδικά ψηφία. Τότε η έξοδος του ADC θα έχει την εξής μορφή:

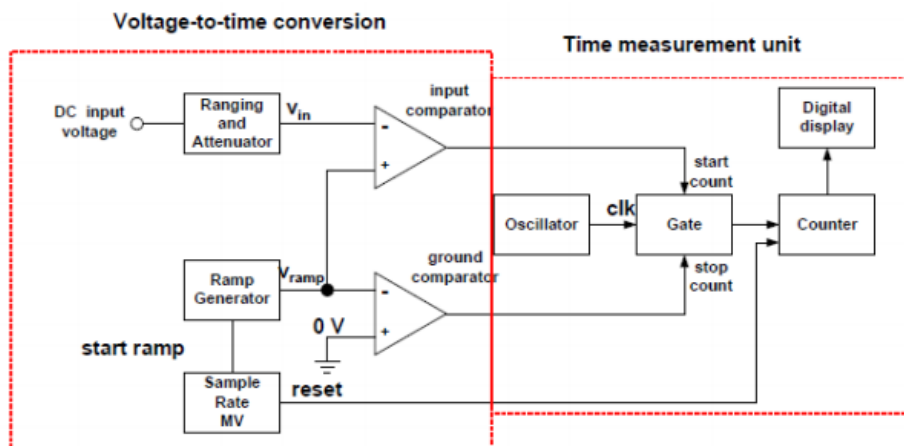


Εικόνα 36 Μετατροπή από αναλογικό σήμα σε ψηφιακό

Στην πιο πάνω εικόνα, οποιαδήποτε τιμή τάσης από 1,5 έως 2,5 V, θα ανακοινωθεί σαν 2 (0102) V.

Με βάση τα παραπάνω, για μια τάση V_{in} , (που προέρχεται από μια δειγματοληψία τού σήματος που θέλουμε να μετρήσουμε γιατί αυτό πρέπει να κρατηθεί σταθερό μέχρι να ολοκληρωθεί η διαδικασία τής μετατροπής), από το αναλογικό σήμα περνάμε σε ψηφιακή ένδειξη ή κώδικα που δίνεται σαν $V_{in} \approx k \times \text{ΨΗΦΙΑΚΗ ΕΞΟΔΟ}$ όπου k : βήμα ή αναλυτική ικανότητα.

Το συνοπτικό δομικό διάγραμμα ενός ψηφιακού βολτομέτρου έχει τη μορφή :



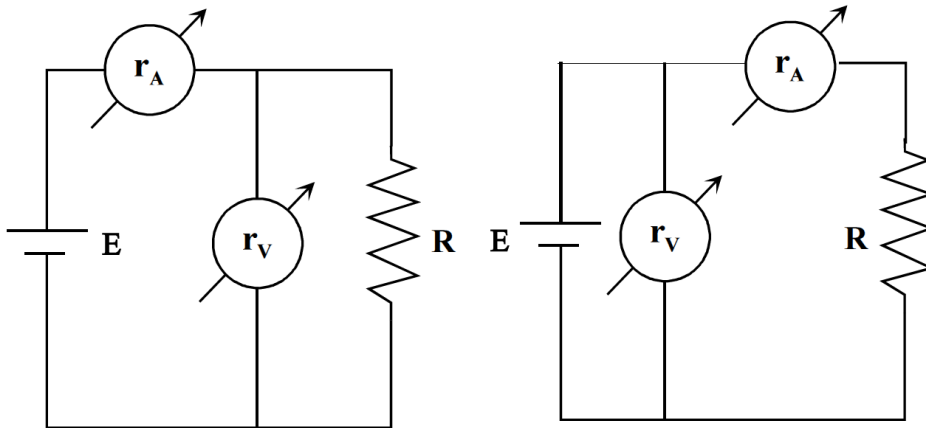
Εικόνα 37 Συνοπτικό δομικό διάγραμμα ενός ψηφιακού βολτομέτρου

Κεφάλαιο 6 Μέτρηση ωμικής αντίστασης

Η ωμική αντίσταση R ορίζεται με βάση το νόμο του Ohm ($R=V/I$ όπου V η τάση και I το ρεύμα σε ένα αγωγό), εξαρτάται από το υλικό του αγωγού και τα γεωμετρικά του χαρακτηριστικά, έχει μονάδα το Ω και στην πράξη περιγράφει την δυσκολία που συναντούν τα ηλεκτρόνια κατά το πέρασμά τους μέσα από τον αγωγό. Για ένα αγωγό-σύρμα, η αντίσταση δίνεται από τη σχέση : $R = \rho \cdot \frac{\ell}{S}$ όπου ρ η ειδική αντίσταση του αγωγού που εξαρτάται από το υλικό, ℓ το μήκος του αγωγού και S η επιφάνεια της διατομής του.

6.1 Μέτρηση της ωμικής αντίστασης με βολτόμετρο και αμπερόμετρο

Η απλούστερη μέθοδος μέτρησης μιας ωμικής αντίστασης είναι η χρήση ενός βολτομέτρου και ενός αμπερομέτρου και εφαρμογή του νόμου του Ohm. Υπάρχουν δύο εφικτές συνδεσμολογίες: α) το βολτόμετρο συνδέεται στην αντίσταση (σχήμα α) και β) το αμπερόμετρο συνδέεται στην αντίσταση (σχήμα β). Στην περίπτωση χρήσης ιδανικών οργάνων ($r_A=0$, $r_V=\infty$), καμία από τις δύο συνδεσμολογίες δεν θα επηρέαζε την μέτρηση. Όμως για πραγματικά όργανα ας εξετάσουμε πως η συνδεσμολογία επηρεάζει την μέτρηση μας:



Εικόνα 38 Μέτρηση της ωμικής αντίστασης με βολτόμετρο και αμπερόμετρο

1) στην περίπτωση (α) το αμπερόμετρο μετρά όχι μόνο το ρεύμα στην αντίσταση αλλά και το ρεύμα που διαρρέει το βολτόμετρο. Θα ισχύει $V_R=V$, $I R=I-V/r_V$, όπου V_R και $I R$ η τάση και το ρεύμα στην αντίσταση. Επομένως, για να αποφύγουμε τα σφάλματα θα πρέπει να γίνει η παρακάτω διόρθωση:

$$R = \frac{V}{I - \frac{V}{r_V}}$$

2) στην περίπτωση (β) το βολτόμετρο μετράει την πτώση τάσης στα άκρα του αμπερομέτρου. Θα ισχύει $V_R = V - I r_A$, $I R = I$, όπου V_R και $I R$ η τάση και το ρεύμα στην αντίσταση. Επομένως, για να αποφύγουμε τα σφάλματα θα πρέπει να γίνει η παρακάτω διόρθωση:

$$R = \frac{V - I r_A}{I}$$

6.2 Μέτρηση της ωμικής αντίστασης με σύγκριση

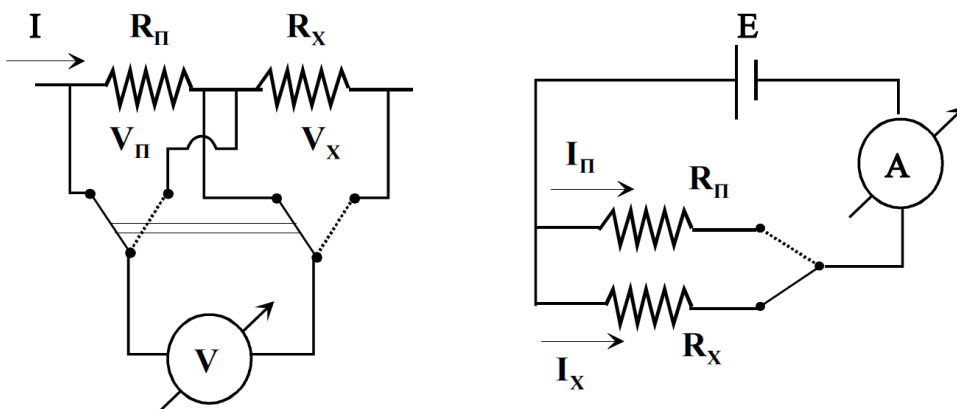
Η σύγκριση της πτώσης τάσης ή του ρεύματος που διαρρέει μία άγνωστη αντίσταση R_X με τα αντίστοιχα μεγέθη σε γνωστή πρότυπη αντίσταση R_{Π} αποτελεί μία σχετικά απλή μέθοδος για τη μέτρηση ωμικής αντίστασης (Σχήμα 8.4). Στην πρώτη περίπτωση, η πρότυπη και η άγνωστη αντίσταση συνδέονται σε σειρά και διαρρέονται από ρεύμα I . Με την βοήθεια μεταγωγέα και βολτομέτρου μετράμε την πτώση τάσης σε κάθε μία από τις αντιστάσεις η οποία είναι ανάλογη της τιμής της αντίστασης. Η τιμή της άγνωστης αντίστασης δίνεται τελικά από τη σχέση:

$$R_X = R_{\Pi} \frac{V_X}{V_{\Pi}}$$

Ένα σημείο που απαιτεί προσοχή είναι η τιμή της πρότυπης αντίστασης, η οποία πρέπει να της ίδιας τάξης μεγέθους με την άγνωστη αντίσταση διαφορετικά θα υπάρχουν σφάλματα λόγω της χρήσης διαφορετικού βολτομέτρου ή διαφορετικής κλίμακας στο ίδιο βολτόμετρο.

Αντίστοιχα, κατά την σύγκριση των ρευμάτων, οι δύο αντιστάσεις συνδέονται παράλληλα και εφαρμόζεται σε αυτές η ίδια διαφορά δυναμικού V . Με την βοήθεια μεταγωγέα και αμπερομέτρου μετράμε το ρεύμα που διαρρέει κάθε μία από τις αντιστάσεις το οποίο είναι αντιστρόφως ανάλογο της τιμής της αντίστασης. Η τιμή της άγνωστης αντίστασης δίνεται τελικά από τη σχέση:

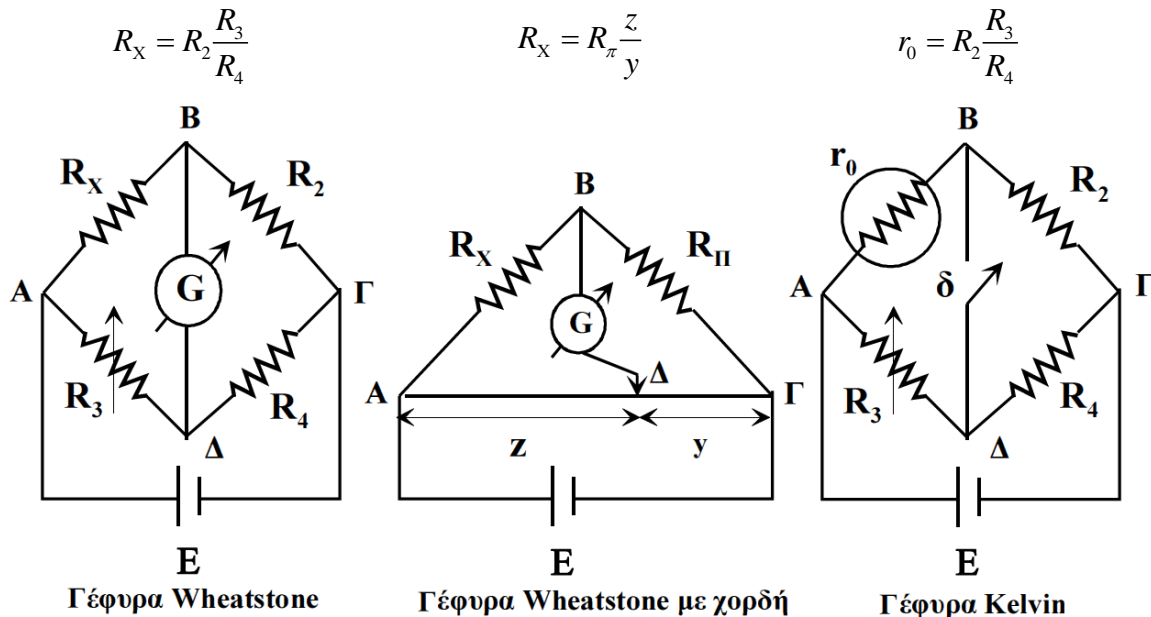
$$R_X = R_{\Pi} \frac{I_{\Pi}}{I_X}$$



Εικόνα 39 Μέτρηση ωμικής αντίστασης με σύγκριση

6.3 Μέτρηση της ωμικής αντίστασης με γέφυρα

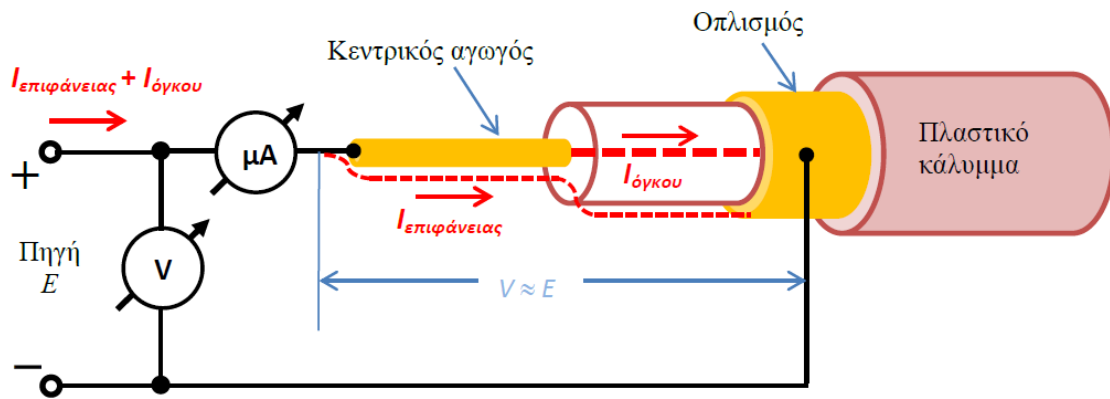
Η χρήση γέφυρα αποτελεί την πλέον ευαίσθητη μέθοδο μέτρησης ωμικής αντίστασης (και όχι μόνο όπως θα δούμε σε επόμενα κεφάλαια). Η λειτουργία της γέφυρας βασίζεται στο μηδενισμό του ρεύματος που διαρρέει μία γραμμή του κυκλώματος για κατάλληλο συνδυασμό τεσσάρων αντιστάσεων. Υπάρχουν διάφορες εκδοχές της γέφυρας με κυριότερες: την γέφυρα Wheatstone, την γέφυρα Wheatstone με χορδή και τη γέφυρα Kelvin.



Εικόνα 40 Μέτρηση της ωμικής αντίστασης με γέφυρα

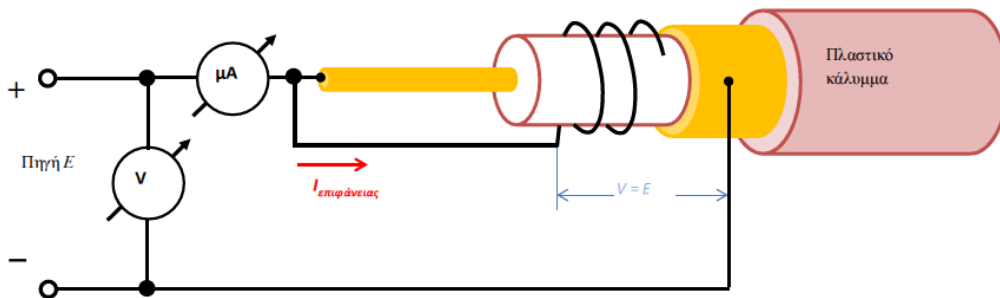
6.4 Μέτρηση μεγάλων αντιστάσεων

Για να μετρήσουμε μεγάλες αντιστάσεις (π.χ. μονωτές) η βασική αρχή δεν διαφέρει από την κοινή μέτρηση, δηλ. μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ένα μικροαμπερόμετρο κι ένα βολτόμετρο. Το πρόβλημα είναι αλλού. Ας εξετάσουμε, σαν παράδειγμα, τη μέτρηση της αντίστασης της μόνωσης μεταξύ σπλισμού και βασικού αγωγού σε ένα ομοαξονικό καλώδιο (π.χ. σαν αυτό που έρχεται από την κεραία της τηλεόρασης). Με την παρακάτω διάταξη θα συμπεριλάβουμε στη μέτρηση και την αντίσταση όγκου (μεταξύ κεντρικού αγωγού και σπλισμού) αλλά και την αντίσταση επιφανείας που δημιουργείται από το ρεύμα επιφανειακής διαρροής (surface leakage current). Ουσιαστικά δηλαδή θα μετρήσουμε τον παράλληλο συνδυασμό τους. Αυτό δεν είναι γενικά ανεπιθύμητο καθώς η απόκλιση δεν είναι μεγάλη, αλλά σε κάποιες περιπτώσεις θέλουμε να τις εκτιμήσουμε ξεχωριστά.



Εικόνα 41 Μέτρηση μεγάλων αντιστάσεων

Για να το επιτύχουμε αυτό, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ένα καλώδιο παράκαμψης (“guard wire”) που τυλίγουμε γύρω από τη μόνωση και με το οποίο υποχρεώνουμε το ρεύμα επιφανειακής διαρροής (surface leakage current) να περάσει μέσα από αυτό έτσι ώστε να μη μετρηθεί από το αμπερόμετρο.



Εικόνα 42 Καλώδιο παράκαμψης (“guard wire”)

Γενικά, για να μετρήσουμε μεγάλες αντιστάσεις, χρησιμοποιούμε ένα εξειδικευμένο όργανο, το **μεγκωμόμετρο (megohmmeter** ή megger όπως λέγεται συνήθως [υπάρχει και μια μεγάλη ομώνυμη εταιρία που ειδικεύεται σε τέτοιου είδους μετρήσεις]). Το μεγκωμόμετρο χρησιμοποιεί μια πηγή υψηλής τάσης (από 100 έως 5000 V) κι ένα όργανο κινητού πηνίου μόνιμου μαγνήτη αλλά με δυο πηνία («ελέγχου» και «απόκλισης») που αντιτίθενται το ένα στο άλλο.



Εικόνα 43 Μεγκωμόμετρο

Κεφάλαιο 7 Εναλλασσόμενο και μιγαδικό

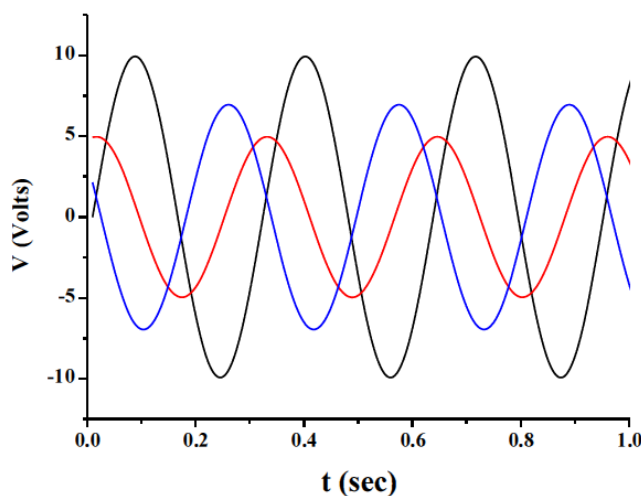
7.1 Γενικά

Σε κυκλώματα DC, τα ηλεκτρικές μεγέθη εξαρτώνται αποκλειστικά από τις ωμικές αντιστάσεις, φυσικά μετά την ολοκλήρωση πιθανών μεταβατικών φαινομένων λόγω παρουσίας πηνίων και πυκνωτών, και δεν υφίστανται διαφορές φάσης μεταξύ ρεύματος και τάσης. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τον χειρισμό των DC ηλεκτρικών ποσοτήτων ως μονόμετρων ποσοτήτων, οπότε για τις σχετικές πράξεις είναι αρκετή η απλή αριθμητική. Σε αντίθεση, στα κυκλώματα AC, ο ρόλος των πηνίων και των πυκνωτών είναι πιο ουσιαστικός καθώς και τα ηλεκτρικά μεγέθη επηρεάζουν και προκαλούν διαφορές φάσεις μεταξύ ρευμάτων και τάσεων. Επομένως, ο χειρισμός των ηλεκτρικών μεγεθών σε κυκλώματα AC είναι πιο περίπλοκη και υπάρχουν τρεις δυνατότητες για την περιγραφή τους. Η πρώτη είναι η ημιτονοειδής, η δεύτερη αφορά περιστρεφόμενα διανύσματα, ενώ η τρίτη βασίζεται στους μιγαδικούς αριθμούς

7.2 Ημιτονοειδής αναπαράσταση

Οι βασικές συνθήκες που ισχύουν σε ένα εναλλασσόμενο ρεύμα είναι: (α) η τιμή του ρεύματος (ή της τάσης) μεταβάλλεται με το χρόνο παίρνοντας θετικές και αρνητικές τιμές, (β) η εξέλιξη των τιμών είναι περιοδική με περίοδο T και (γ) το ολοκλήρωμα των βασικών μεγεθών σε μία περίοδο είναι μηδέν. Με βάση αυτές τις συνθήκες, η βασική και κλασική αναπαράσταση των ηλεκτρικών μεγεθών στα AC κυκλώματα είναι η ημιτονοειδής, δηλαδή τα μεγέθη έχουν την μαθηματική μορφή $i=I_0\eta(\omega t+\phi)$, όπου:

- I_0 είναι το μέγιστο πλάτος του ρεύματος
- i είναι η στιγμιαία τιμή του ρεύματος σε χρόνο t
- ω είναι η κυκλική συχνότητα ($\omega=2\pi/T$, με $T=1/f$ όπου f είναι η συχνότητα)
- ϕ είναι η αρχική φάση
- $\omega t+\phi$ είναι η φάση κατά την χρονική στιγμή t



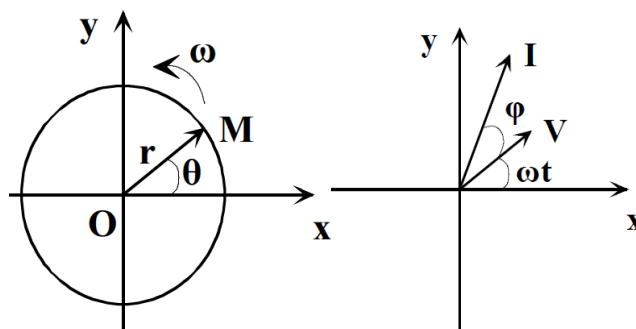
Εικόνα 44 Ημιτονοειδής αναπαράσταση

Σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να επισημανθεί εδώ ότι δεν υπάρχει κάποια διαφορά αν για την περιγραφή χρησιμοποιηθεί ημίτονο ή συνημίτονο, καθώς οι δυο συναρτήσεις απλά διαφέρουν κατά μία αρχική φάση $\pi/2$. Όταν χρησιμοποιείται ημιτονοειδής αναπαράσταση, οι πράξεις μεταξύ των ηλεκτρικών μεγεθών βασίζονται στην τριγωνομετρία, αλλά δεν είναι πάντα εύκολες. Παράλληλα όμως, η γραφική αναπαράσταση των μεγεθών είναι μάλλον προβληματική, όπως φαίνεται και στο παραπάνω σχήμα, όπου έχουν σχεδιαστεί τρεις τάσεις οι: $V_1=10\eta\mu(20t)$, $V_2=5\eta\mu(20t-\pi/6)$ και $V_3=7\eta\mu(20t-\pi/3)$.

7.3 Αναπαράσταση με περιστρεφόμενα διανύσματα

Ένας ευκολότερος τρόπος να διαχειριστούμε εναλλασσόμενα μεγέθη είναι τα περιστρεφόμενα διανύσματα. Έστω οριζόντιο σύστημα αξόνων και ένα διάνυσμα OM με μήκος r το οποίο περιστρέφεται αριστερόστροφα με γωνιακή ταχύτητα ω . Σε κάποια χρονική στιγμή t , το διάνυσμα σχηματίζει γωνία θ με τον άξονα x . Τότε, οι x , y προβολές του διανύσματος θα δίνονται από τις σχέσεις: $x=r\cos\theta$ και $y=r\eta\mu\theta$. Αν κατά την χρονική στιγμή $t=0$ το διάνυσμα ξεκίνησε από τον άξονα x , τότε για κάθε χρονική στιγμή t , η γωνία θ θα δίνεται από την σχέση $\theta=\omega t$. Άρα, οι προβολές του διανύσματος θα είναι: $x=r\cos\omega t$ και $y=r\eta\mu\omega t$. Αντίστοιχα, αν κατά την χρονική στιγμή $t=0$ το διάνυσμα σχημάτιζε γωνία ϕ με τον άξονα x , τότε θα ισχύει: $x=r\cos(\omega t+\phi)$ και $y=r\eta\mu(\omega t+\phi)$. Βλέπουμε δηλαδή ότι οι προβολές ενός διανύσματος που περιστρέφεται με γωνιακή ταχύτητα ω σε ορθογώνιο σύστημα συντεταγμένων είναι ημιτονοειδείς συναρτήσεις και μοιάζουν με τις συναρτήσεις που περιγράφουν εναλλασσόμενα ηλεκτρικά μεγέθη. Με βάση αυτή την παρατήρηση, μπορούμε να περιγράψουμε το εναλλασσόμενο ρεύμα με περιστρεφόμενα διανύσματα. Μάλιστα, δεν είναι απαραίτητο να παρουσιάζεται όλη η χρονική εξέλιξη των μεγεθών καθώς, αν όλα τα μεγέθη περιστρέφονται με την ίδια γωνιακή ταχύτητα, σε κάθε χρονική στιγμή t , θα έχουν μεταξύ τους την ίδια διαφορά φάσης με αυτή του είχαν κατά την χρονική στιγμή $t=0$. Σαν παράδειγμα, αν έχω σε ένα κύκλωμα χωρητική συμπεριφορά, το ρεύμα προηγείται της τάσης κατά ϕ και τα δύο ηλεκτρικά μεγέθη αναπαρίστανται όπως στο παρακάτω σχήμα με $V=V_0\eta\mu(\omega t)$, $I=I_0\eta\mu(\omega t+\phi)$.

Με την προσέγγιση των περιστρεφόμενων διανυσμάτων είναι εύκολη η μαθηματική επεξεργασία προβλημάτων αλλά και η γραφική αναπαράσταση των μεγεθών.

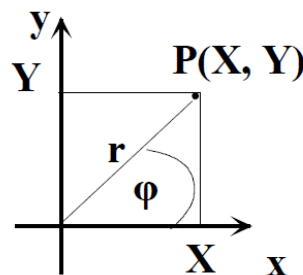


Εικόνα 45 Αναπαράσταση με περιστρεφόμενα διανύσματα

7.4 Βασικές έννοιες των μιγαδικών αριθμών

Είναι γνωστό ότι οι πραγματικοί αριθμοί X θεωρούνται σημεία σε μία ευθεία, έστω οριζόντια. Αν προσθέσουμε και μία κατακόρυφη ευθεία και σε κάθε σημείο της αντιστοιχήσουμε ένα φανταστικό αριθμό jY (όπου Y πραγματικός αριθμός), τότε κάθε σημείο του επιπέδου θα έχει προβολή στον άξονα x πραγματικό αριθμό, ενώ στον άξονα y φανταστικό. Δηλαδή, κάθε σημείο του επιπέδου θα δίνεται από τις συντεταγμένες (X,Y) και θα αντιστοιχεί σε ένα μιγαδικό αριθμό της μορφής $Z=X+jY$, με X την προβολή στον άξονα x και Y στον άξονα y . Η μορφή $Z=X+jY$ ονομάζεται καρτεσιανή μορφή, ενώ παράλληλα ισχύουν:

$$r = \sqrt{X^2 + Y^2}, \quad \tan \varphi = \frac{Y}{X} \quad \text{και} \quad Z = X + jY = r \cdot \cos \varphi + j \cdot r \cdot \sin \varphi = r \cdot e^{j\varphi} \quad \text{όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.}$$



Εικόνα 46 Πολική μορφή μιγαδικών αριθμών

Το r είναι το μέτρο του μιγαδικού αριθμού και φ το όρισμα του, το οποίο δεν είναι μοναδικό καθώς κάθε γωνία $\varphi + 2k\pi$ (όπου k ακέραιος) αντιστοιχεί στο ίδιο σημείο. Η μορφή $Z = r \cdot e^{j\varphi}$ ονομάζεται συνημιτονοειδής, ενώ η μορφή $Z = r \cdot e^{j\varphi}$ εκθετική ή πολική.

Μερικά χρήσιμα στοιχεία για τους μιγαδικούς, που αφορούν την χρήση τους για την περιγραφή εναλλασσομένων ηλεκτρικών μεγεθών είναι:

- i) Για πρόσθεση ή αφαίρεση μιγαδικών αριθμών χρησιμοποιούμε την καρτεσιανή μορφή. Στην περίπτωση αυτή ισχύει: $Z_1 \pm Z_2 = X_1 \pm X_2 + j \cdot (Y_1 \pm Y_2)$
- ii) Για πολλαπλασιασμό και διαίρεση χρησιμοποιούμε την πολική μορφή. Ισχύει:

$$Z_1 \cdot Z_2 = r_1 \cdot r_2 \cdot (e^{j(\varphi_1 + \varphi_2)}) \qquad \frac{Z_1}{Z_2} = \frac{r_1}{r_2} \cdot (e^{j(\varphi_1 - \varphi_2)})$$

- iii) Στο παραπάνω πλαίσιο είναι χρήσιμο να θυμάται κάποιος ποιος μετατρέπεται η μία μορφή στην άλλη :

Καρτεσιανή → Πολική		Πολική → Καρτεσιανή	
$Z=X+jY$	$r = \sqrt{X^2 + Y^2}$ $\epsilon\varphi\varphi=Y/X$	$re^{j\varphi}$	$Z= (r\cos\varphi)+j(r\eta\mu\varphi)$

$$\tan \varphi = \frac{Y}{X}$$

$$Z = r \cdot \cos \varphi + j \cdot r \cdot \sin \varphi$$

Ας δούμε και ένα παράδειγμα :

Έστω $R=10 \Omega$, $X_L=20 \Omega$ και $X_C=10 \Omega$. Να βρεθεί η εμπέδηση.

Λύση

$$Z=10+j(20-10)=10+j10$$

$$Z = \sqrt{10^2 + 10^2} \angle \tan^{-1}\left(\frac{10}{10}\right) = 14,14 \angle 45$$

Αν στην προηγούμενη σύνθετη αντίσταση εφαρμόσω τάση $220 \angle 0$, πόσο θα είναι το ρεύμα και η ισχύς;

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{220 \angle 0}{14,14 \angle 45} = 15,56 \angle -45$$

$$P = V \cdot I = (220 \angle 0) \cdot (15,56 \angle -45) = 3423 \angle -45$$

7.5 Μέτρηση αυτεπαγωγής

Σύμφωνα με το νόμο Faraday, αν μεταβάλλεται η μαγνητική ροή με τον χρόνο σε ένα πηνίο, (δηλ. μεταβάλλεται η ροή ρεύματος) προκαλείται επαγόμενη τάση. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται αυτεπαγωγή.

Επομένως, σε ένα κύκλωμα μπορούμε να έχουμε επαγόμενη τάση λόγω μεταβολής του ρεύματος που το διαρρέει. Ας υποθέσουμε ότι έχουμε ένα πηνίο με N σπείρες που διαρρέεται από ρεύμα I , οπότε σαν αποτέλεσμα έχουμε κάθε σπείρα να διαπερνάται από μαγνητική ροή Φ_B . Ορίζουμε τότε ένα συντελεστή αυτεπαγωγής L τέτοιο ώστε $L=N\Phi_B/I$, οπότε η επαγόμενη τάση δίνεται από τη σχέση :

$$V = -L \frac{di}{dt}$$

Η πολικότητα της τάσης από αυτεπαγωγή βρίσκεται με τον κανόνα του Lenz, δηλαδή, αν το αρχικό ρεύμα αυξάνει, το επαγόμενο ρεύμα έχει αντίθετη φορά από το αρχικό και αντίστροφα. Ο συντελεστής αυτεπαγωγής έχει μονάδες Henry και ένα τμήμα του κυκλώματος με αυτεπαγωγή ονομάζεται πηνίο, με την τάση στα άκρα του πηνίου να έχει μέτρο V .

Η αυτεπαγωγή ενός πηνίου εξαρτάται από το μέγεθος, τη μορφή και τον αριθμό των σπειρών. Για N πυκνές σπείρες, το L είναι ανάλογο του N^2 . Αν η μαγνητική ροή είναι σε περιοχή με σιδηρομαγνητικό υλικό υπάρχει σημαντική μεταβολή του L , ενώ σε άλλα υλικά η αλλαγή είναι ελάχιστη.

Κατά την σύνδεση πηνίων, η ισοδύναμη αυτεπαγωγή υπολογίζεται με τον ίδιο τρόπο όπως η ωμική αντίσταση. Κατά την σύνδεση σε σειρά N πηνίων, η ολική αυτεπαγωγή θα δίνεται από την σχέση:

$$L_{\text{ισοδ.}} = L_1 + L_2 + \dots + L_N$$

Αντίστοιχα, η παράλληλη σύνδεση N πηνίων δίνει:

$$\frac{1}{L_{\text{ισοδ.}}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \dots + \frac{1}{L_N}$$

Κύκλωμα R-L στο συνεχές

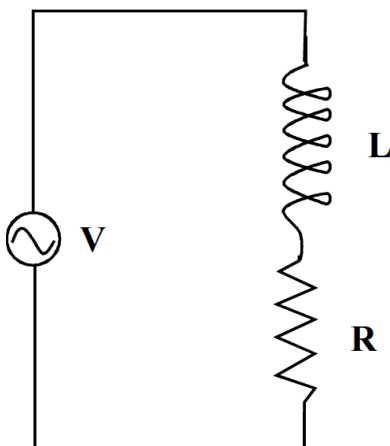
Η παρουσία αυτεπαγωγής σε ένα κύκλωμα συνεχούς ρεύματος έχει σαν αποτέλεσμα την εξάρτηση των ηλεκτρικών μεγεθών από το χρόνο. Σαν παράδειγμα, σε κύκλωμα με αυτεπαγωγή L, ωμική αντίσταση R και πηγή E, το ρεύμα δεν παίρνει αμέσως την μέγιστη του τιμή αλλά αυξάνεται με τον χρόνο και πλησιάζει ασυμπτωτικά την τελική του τιμή

$$i = I_0(1 - e^{-\frac{R}{L}t})$$

Όσο μεγαλύτερη είναι η αυτεπαγωγή, τόσο καθυστερεί το ρεύμα να πάρει την τελική του τιμή, με την διαδικασία να εξαρτάται από το λόγο L/R. Όμως η τελική τιμή του ρεύματος δεν εξαρτάται από την αυτεπαγωγή αλλά μόνο από την ωμική αντίσταση.

Κύκλωμα R-L στο εναλλασσόμενο

Θα εξετάσουμε στη συνέχεια την συμπεριφορά ενός κυκλώματος που περιέχει αυτεπαγωγή στο εναλλασσόμενο. Αρχικά, ας δούμε την περίπτωση κυκλώματος που περιλαμβάνει ένα ιδανικό πηνίο L, μία αντίσταση R και μία πηγή τροφοδοσίας $V = V_0 e^{j\omega t}$



Εικόνα 47 Κύκλωμα R-L στο εναλλασσόμενο

Εφαρμόζοντας τον νόμο τάσεων Kirchhoff και ότι το ρεύμα δίνεται από εξίσωση της μορφής $I = A e^{j\omega t}$, όπου A είναι εύκολο να υπολογιστεί, καταλήγουμε ότι το ρεύμα μπορεί να υπολογιστεί ως

$$I = \frac{V_0}{R + j\omega L} e^{j\omega t} = \frac{V_0}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} e^{j\omega t - \phi}$$

όπου ϕ είναι γωνία τέτοια ώστε $\tan \phi = \omega L / R$.

Από την παραπάνω εξίσωση φαίνεται ότι στο κύκλωμα RL, η αντίσταση του κυκλώματος που ονομάζεται εμπέδηση, είναι συνδυασμός της ωμικής και της επαγωγικής αντίστασης και δίνεται από τη σχέση

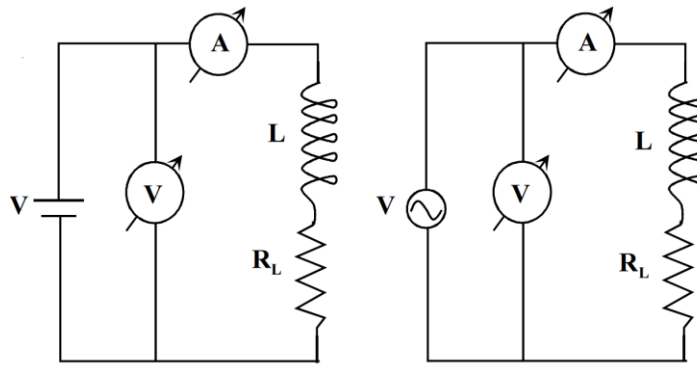
ενώ το ρεύμα καθυστερεί σε σχέση με την τάση κατά γωνία ϕ με $\tan \phi = \omega L / R$.

7.6 Μέτρηση της αυτεπαγωγής.

Με βολτόμετρο και αμπερόμετρο

Η μέτρηση μιας αυτεπαγωγής μπορεί απλά να επιτευχθεί με αμπερόμετρο και βολτόμετρο όταν μετρηθούν τα ηλεκτρικά μεγέθη του κυκλώματος διαδοχικά για συνεχή και εναλλασσόμενη τάση. Έστω άγνωστο πηνίο L, R_L του οποίου θέλουμε να μετρήσουμε τα χαρακτηριστικά. Αρχικά, όταν εφαρμοστεί συνεχής τάση στο κύκλωμα και στη συνέχεια εναλλασσόμενη θα ισχύει:

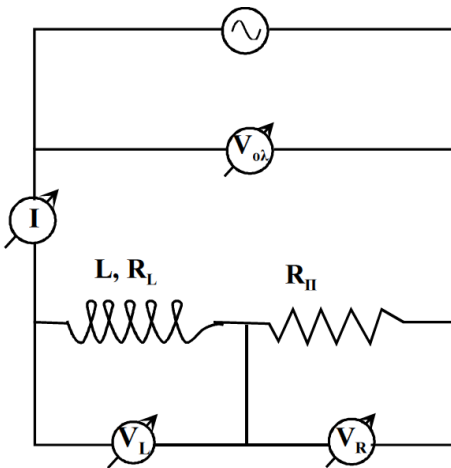
$$L = \frac{1}{\omega} \sqrt{\left(\frac{V_{AC}}{I_{AC}}\right)^2 - \left(\frac{V_{DC}}{I_{DC}}\right)^2}$$



Εικόνα 48 Μέτρηση αυτεπαγωγής με βολτόμετρο και αμπερόμετρο

Με τρία βολτόμετρα

Μία άλλη μέθοδος μέτρησης της αυτεπαγωγής είναι η σύγκριση της τάσης στα άκρα ενός πηνίου L, R_L με τη τάση στα άκρα μιας γνωστής πρότυπης αντίστασης R_Π. Η παρακάτω διάταξη απαιτεί συνολικά τρία βολτόμετρα με τα οποία μετράμε τις τάσεις στα άκρα του πηνίου V_L, της αντίστασης V_R και την συνολική V_{ολ} και ένα αμπερόμετρο με το οποίο μετράμε το ολικό ρεύμα I.



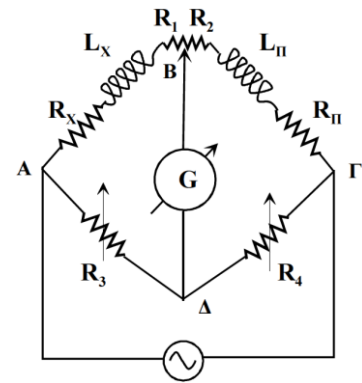
Έτσι μπορούμε να υπολογίσουμε το, L από τη σχέση:

Εικόνα 49 Μέτρηση της αυτεπαγωγής με 3 βολτόμετρα

Με γέφυρα

Η γέφυρα Wheatstone αποτελεί την πιο ευαίσθητη μέθοδο μέτρησης αυτεπαγωγής. Για την περίπτωση αυτή, έχουμε εναλλασσόμενη πηγή και δύο από τις αντιστάσεις έχουν αντικατασταθεί αντίστοιχα από το άγνωστο πηνίο R_X , L_X και ένα γνωστό πρότυπο πηνίο $R_{Π}$, $L_{Π}$

Στην περίπτωση ισορροπίας, θα ισχύει: $L_X = L_{Π} \frac{R_3}{R_4}$



Εικόνα 50 Μέτρηση αυτεπαγωγής με γέφυρα

7.7 Μέτρηση χωρητικότητας

Πυκνωτή ονομάζουμε τη διάταξη δύο αγωγών (οπλισμών) που διαχωρίζονται από κάποιο μονωτή. Οι δύο αγωγοί έχουν ίσο και αντίθετο φορτίο, όπου ο αγωγός με το θετικό φορτίο έχει μεγαλύτερο δυναμικό. Το ηλεκτρικό πεδίο μεταξύ των οπλισμών άρα και η διαφορά δυναμικού είναι ανάλογο του φορτίου (νόμος Gauss). Επομένως ο λόγος (φορτίο)/(διαφορά δυναμικού) είναι σταθερή ποσότητα που ονομάζεται χωρητικότητα C ($C=Q/V$) με μονάδα στο SI το Farad (F).

Κατά τη σύνδεση πυκνωτών σε σειρά, όλοι οι πυκνωτές έχουν ίδιο φορτίο, στην περιοχή μεταξύ δύο πυκνωτών ο ένας οπλισμός του ενός πυκνωτή έχει θετικό φορτίο και ο αντίστοιχος του άλλου αρνητικό και η ολική χωρητικότητα δίνεται από την σχέση:

$$\frac{1}{C_{ισοδ.}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_N}$$

Αντίστοιχα στην παράλληλη σύνδεση, όλοι οι πυκνωτές βρίσκονται στην ίδια διαφορά δυναμικού, το φορτίο τους κατανέμεται ανάλογα με την τιμή της χωρητικότητας και η ολική χωρητικότητα δίνεται από τη σχέση:

$$C_{ισοδ.} = C_1 + C_2 + \dots + C_N$$

Κύκλωμα R-C στο συνεχές

Η παρουσία χωρητικότητας σε ένα κύκλωμα συνεχούς έχει επίσης σαν αποτέλεσμα την εξάρτηση των ηλεκτρικών μεγεθών από το χρόνο. Σαν παράδειγμα, σε κύκλωμα με χωρητικότητα C, ωμική αντίσταση R και πηγή E, το ρεύμα τείνει να μηδενιστεί ακολουθώντας μία εξίσωση της μορφής: $i = I_0 e^{-\frac{1}{RC}t}$

Επομένως, η χωρητικότητα σε κύκλωμα συνεχούς έχει σαν αποτέλεσμα το ρεύμα να τείνει να μηδενιστεί, με τη διαδικασία να εξαρτάται από το γινόμενο RC. Δηλαδή ο πυκνωτής στο συνεχές λειτουργεί σαν ανοιχτοκύκλωμα.

Κύκλωμα R-C στο εναλλασσόμενο

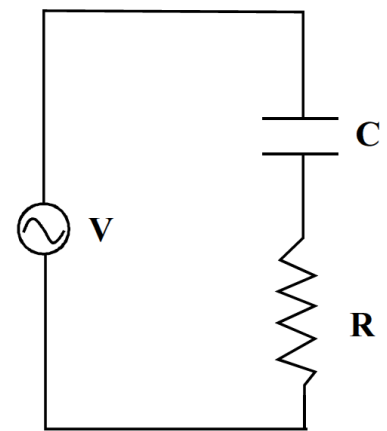
Θα εξετάσουμε στη συνέχεια την συμπεριφορά στο εναλλασσόμενο ενός κυκλώματος που περιέχει πυκνωτή. Ας δούμε την περίπτωση ενός κυκλώματος που περιλαμβάνει ένα ιδανικό πυκνωτή C, μία πηγή τροφοδοσίας και ωμική αντίσταση R.

Το ρεύμα από το παραπάνω κύκλωμα δίνεται από το την εξίσωση:

$$I = \frac{V_0}{R - j\frac{1}{\omega C}} e^{j\omega t} = \frac{V_0}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}} e^{j\omega t + \phi}$$

φαίνεται ότι το

ρεύμα προηγείται σε σχέση με τη τάση κατά γωνία ϕ , με $\epsilon\phi\phi = 1/(\omega CR)$.



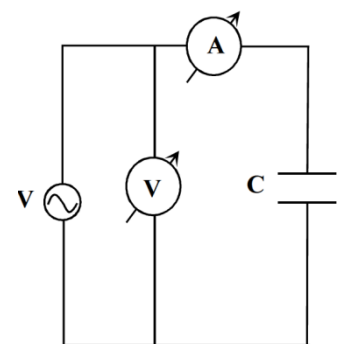
Εικόνα 51 Κύκλωμα R-C στο εναλλασσόμενο

7.8 Μέτρηση της χωρητικότητας

Με βολτόμετρο και αμπερόμετρο

Η μέτρηση μιας χωρητικότητας μπορεί απλά να επιτευχθεί με αμπερόμετρο και βολτόμετρο με την προϋπόθεση ότι είναι γνωστή η συχνότητα του εναλλασσομένου. Έστω άγνωστος πυκνωτής C του οποίου θέλουμε να μετρήσουμε τα χαρακτηριστικά. Από το νόμο Ohm θα ισχύει:

$$C = \frac{I}{\omega V}$$



Εικόνα 52 Μέτρηση της χωρητικότητας με βολτόμετρο και αμπερόμετρο

Δηλαδή, η χωρητικότητα υπολογίζεται απ' ευθείας από τις ενδείξεις των οργάνων. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται κυρίως βιομηχανικά για πυκνωτές με μεγάλη χωρητικότητα.

Με σύγκριση

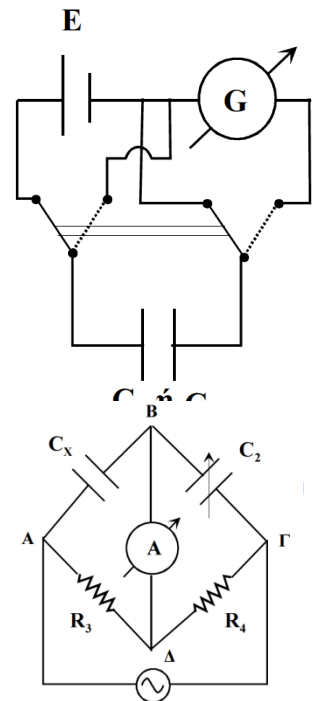
Μία άλλη μέθοδος μέτρησης της χωρητικότητας είναι η σύγκριση της εκφόρτισης του άγνωστου πυκνωτή C_X σε σχέση με αυτήν γνωστού πρότυπου πυκνωτή C_π . Η διάταξη περιλαμβάνει πηγή, γαλβανόμετρο και μεταγωγέα.

Επομένως, η άγνωστη χωρητικότητα μπορεί να υπολογιστεί σαν συνάρτηση της γνωστής και των αποκλίσεων του γαλβανομέτρου.
$$C_x = C_\pi \frac{\theta_x}{\theta_\pi}$$

Με γέφυρα

Η γέφυρα Wheatstone αποτελεί την πιο ευαίσθητη μέθοδο μέτρησης χωρητικότητας. Για την περίπτωση αυτή, χρησιμοποιούμε εναλλασσόμενη πηγή τέσσερις πυκνωτές εκ των οποίων ο ένας είναι μεταβλητός και η ισορροπία προσδιορίζεται με την βοήθεια ακουστικού. Στην περίπτωση ισορροπίας, θα ισχύουν:

$$C_x = C_2 \frac{R_4}{R_3}$$



Εικόνα 54 Μέτρηση της χωρητικότητας με γέφυρα

Κεφάλαιο 8 Μέτρηση ισχύος

8.1 Μέτρηση ενεργούς (πραγματικής) ισχύος

Σε ένα κύκλωμα, το γινόμενο $p(t)=v(t)i(t)$ ορίζει την στιγμιαία ισχύ του κυκλώματος, όπου τα $v(t)$ και $i(t)$ δίνουν τις στιγμιαίες τιμές της τάσης και του ρεύματος αντίστοιχα. Για συνεχή ρεύματα, οι τιμές της τάσης και του ρεύματος παραμένουν σταθερές με το χρόνο, οπότε η ισχύς είναι σταθερή και δίνεται από $P=VI$ (ή $P=I^2R=V^2/R$). Για εναλλασσόμενα ρεύματα όμως, οι τιμές της τάσης και του ρεύματος άρα και της ισχύος μεταβάλλονται συνεχώς. Επομένως, η στιγμιαία ισχύς δεν έχει νόημα στο εναλλασσόμενο και πρέπει να

οριστεί η μέση τιμή της ισχύος, που δίνεται από: $P = V_{RMS} \cdot I_{RMS} \cdot \cos \varphi$

Βλέπουμε δηλαδή ότι η μέση ισχύς στο εναλλασσόμενο δίνεται από το γινόμενο των ενεργών τιμών της τάσης και του ρεύματος επί το συνημίτονο της διαφοράς φάσης μεταξύ τους. Η ισχύς αυτή είναι η χρήσιμη ισχύς που ονομάζεται και πραγματική ισχύς ή ενεργός ισχύς και έχει μονάδες W.

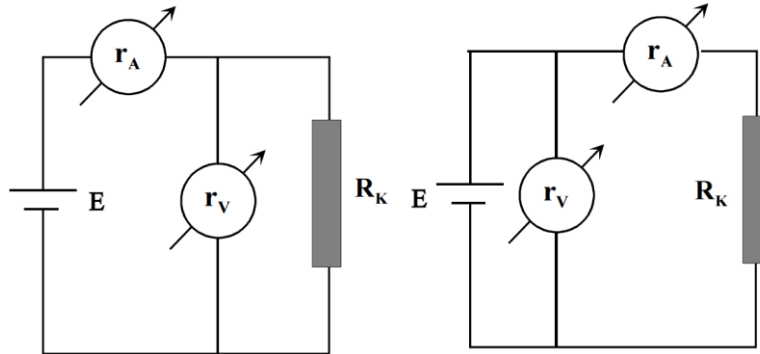
8.2 Μέθοδοι μέτρησης ενεργούς ισχύος

Με βολτόμετρο και αμπερόμετρο (DC και AC σε ωμικό καταναλωτή)

Για συνεχές ρεύμα ή ωμικό καταναλωτή στο εναλλασσόμενο, η ισχύς μπορεί να μετρηθεί απλά με τη χρήση ενός αμπερομέτρου και ενός βολτομέτρου, όπου η ισχύς δίνεται από το γινόμενο των ενδείξεων των δύο οργάνων. Η μέτρηση όμως μπορεί να επηρεαστεί από τις συνδέσεις καθώς υπάρχουν δύο εφικτές συνδεσμολογίες: α) το βολτόμετρο συνδέεται στην αντίσταση και β) το αμπερόμετρο συνδέεται στην αντίσταση.

$$P = V \cdot I + \frac{V^2}{r_v}$$

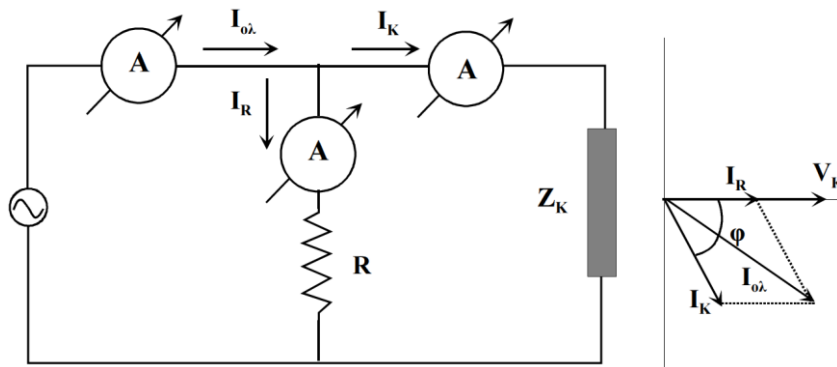
Στην περίπτωση (α), το αποτέλεσμα είναι $P = V \cdot I$ και επηρεάζεται από την ισχύ που καταναλώνει το βολτόμετρο ενώ στην περίπτωση (β) το αποτέλεσμα είναι $P = V \cdot I + I^2 r_A$ και επηρεάζεται από την ισχύ στο αμπερόμετρο.



Εικόνα 55 Μέτρηση ενεργούς ισχύος με βολτόμετρο και αμπερόμετρο

Με τρία αμπερόμετρα

Για εναλλασσόμενα ρεύματα και πραγματικούς καταναλωτές, μία απλή μέθοδος μέτρησης της ισχύος είναι η σύγκριση της απόκρισης του καταναλωτή με αυτή μίας ωμικής αντίστασης R. Η σύγκριση, για ωμική αντίσταση συνδεδεμένη παράλληλα στον καταναλωτή, μπορεί να γίνει με τη χρήση τριών αμπερομέτρων τα οποία μετρούν τα ρεύματα στον καταναλωτή I_K, στην ωμική αντίσταση I_R και το ολικό ρεύμα I_{ολ}.

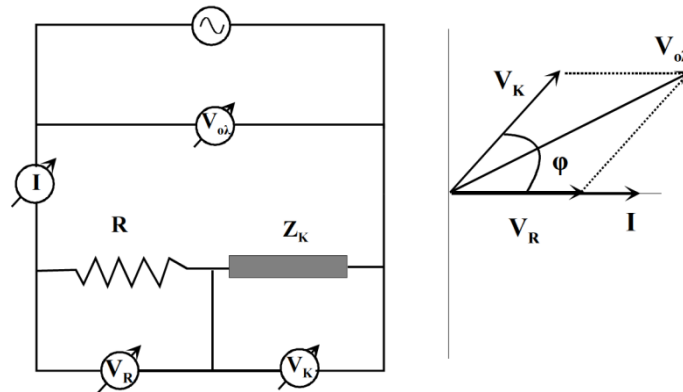


Εικόνα 56 Μέτρηση ενεργούς ισχύος με 3 αμπερόμετρα

Από το διάγραμμα αυτό προκύπτει ότι:
$$P = \frac{R}{2} (I_{ολ}^2 - I_K^2 - I_R^2)$$

Με τρία βολτόμετρα

Μία άλλη προσέγγιση για τον υπολογισμό της ενεργούς ισχύος καταναλωτή μέσω σύγκρισης της απόκρισης του με αυτή ωμικής αντίστασης R είναι η χρήση τριών βολτομέτρων (με την ωμική αντίσταση συνδεδεμένη σε σειρά στον καταναλωτή) όπως φαίνεται στο σχήμα. Τα βολτόμετρα μετρούν τις τάσεις στον καταναλωτή V_K, στην ωμική αντίσταση V_R και την ολική τάση V_{ολ}.



Εικόνα 57 Μέτρηση ενεργούς ισχύος με 3 βολτόμετρα

Από το διάγραμμα αυτό προκύπτει ότι:
$$P = \frac{1}{2R}(V_{ολ}^2 - V_K^2 - V_R^2)$$

Με βατόμετρο

Ο βασικότερος τρόπος μέτρησης ενεργούς ισχύος είναι με τη χρήση βατομέτρου. Η λειτουργία του βατομέτρου βασίζεται στα ηλεκτροδυναμικά όργανα που αποτελείται από δύο πηνία, ένα ακίνητο π2 που συνδέεται σε σειρά με τον καταναλωτή (πηνίο ρεύματος) και ένα κινούμενο π1 μαζί με ωμική αντίσταση R_π συνδεδεμένο παράλληλα στον καταναλωτή (πηνίο τάσης). Κάτω από αυτές τις συνθήκες, η ένδειξη του οργάνου είναι απ' ευθείας ανάλογη της ενεργούς ισχύος.



Εικόνα 58 Βατόμετρο

8.3 Μέτρηση αέργου ισχύος-Διόρθωση συντελεστή ισχύος

Όπως ορίσαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο, η ενεργός ισχύς ορίζεται από τη σχέση $P=VI\cos\phi$. Ουσιαστικά δηλαδή, η πραγματική (χρήσιμη) ισχύς σε ένα κύκλωμα δίνεται από το γινόμενο της τάσης επί την συνιστώσα του ρεύματος που είναι σε φάση με την τάση ($I\phi=I\cos\phi$). Υπάρχει όμως και μία άλλη συνιστώσα του ρεύματος ($I\alpha=I\sin\phi$) η οποία έχει διαφορά φάσης $\pi/2$ από την τάση και που ονομάζεται αβατική ή μαγνητίζουσα συνιστώσα. Αυτή η συνιστώσα ρεύματος ορίζει την άεργο ισχύ Q η οποία δίνεται από τη σχέση: $Q=VI\sin\phi$.

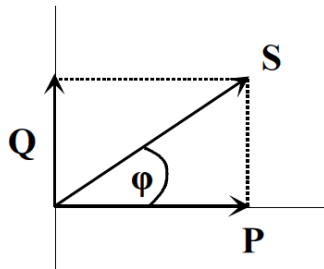
Η άεργος ισχύς, που έχει μονάδες VAR (Volt Ampere Reactive), σχετίζεται με απώλειες ισχύος-ενέργειας στους πυκνωτές και στα πηνία υπό μορφή ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων αντίστοιχα. Τέλος, το γινόμενο VI αντιστοιχεί στην φαινόμενη ισχύ S ($S=VI$), η οποία έχει μονάδες VA.

Από το παρακάτω διάγραμμα που αναφέρεται και ως τρίγωνο ισχύος προκύπτουν οι παρακάτω σχέσεις :

$$P = S \cdot \cos \varphi$$

$$S = P^2 + Q^2$$

$$Q = S \cdot \sin \varphi$$



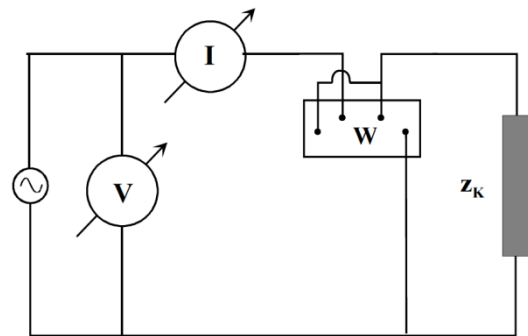
Εικόνα 59 Τρίγωνο Ισχύος

8.4 Μέθοδοι μέτρησης αέργου ισχύος

Με βολτόμετρο, αμπερόμετρο και βατόμετρο.

Ένας απλός τρόπος μέτρησης της αέργου ισχύος είναι με χρήση βολτομέτρου, αμπερομέτρου και βατομέτρου. Το γινόμενο των ενδείξεων βολτομέτρου, αμπερομέτρου δίνουν την φαινόμενη ισχύ ενώ το βατόμετρο την ενεργό ισχύ. Επομένως η άεργος ισχύς δίνεται από τη σχέση:

$$Q = \sqrt{(VI)^2 - P^2}$$

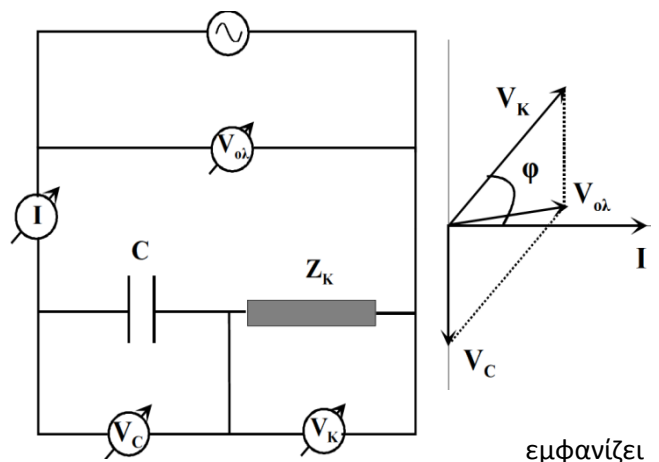


Εικόνα 60 Μέτρηση αέργου ισχύος με βολτόμετρο, αμπερόμετρο και βατόμετρο

Με τρία βολτόμετρα

Μία άλλη προσέγγιση για τον υπολογισμό της αέργου ισχύος καταναλωτή μέσω σύγκρισης της απόκρισης του με αυτή πυκνωτή C, είναι η χρήση τριών βολτομέτρων (με τον πυκνωτή συνδεδεμένο σε σειρά στον καταναλωτή) όπως φαίνεται παρακάτω

Τα βολτόμετρα μετρούν τις τάσεις στον καταναλωτή V_K , στον πυκνωτή V_C και την ολική τάση $V_{ολ}$. Στο σχήμα δεξιά φαίνεται το διανυσματικό διάγραμμα των τάσεων όπου έχει υποθεθεί ότι ο καταναλωτής επαγωγική συμπεριφορά. Από το διάγραμμα



Εικόνα 61 Μέτρηση αέργου ισχύος με τρία βολτόμετρα

εμφανίζει

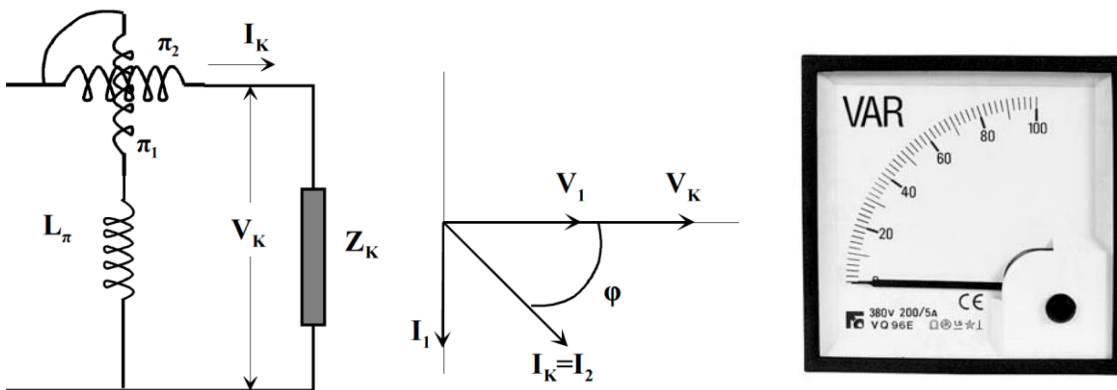
αυτό προκύπτει ότι:

$$Q = \omega C / 2 (V_C^2 + V_K^2 - V_{ολ}^2)$$

Δηλαδή, η άεργος ισχύς μπορεί να υπολογιστεί από τις ενδείξεις των τριών βολτομέτρων και την τιμή της χωρητικότητας

Με βάρμετρο

Ένας βασικός τρόπος μέτρησης αέργου ισχύος είναι η χρήση βάρμετρου. Η λειτουργία και η διάταξη του βάρμετρου είναι ακριβώς η ίδια με αυτές του βατομέτρου με μόνη διαφορά την αντικατάσταση της αντίστασης R_P με ένα πηνίο L_P μεγάλης αυτεπαγωγής ($\omega L_P \gg R_1$, όπου R_1 η ωμική αντίσταση του πηνίου τάσης). Η ένδειξη του οργάνου είναι απ' ευθείας ανάλογη της αέργου ισχύος.



Εικόνα 62 Μέτρηση αέργου ισχύος με βάρμετρο

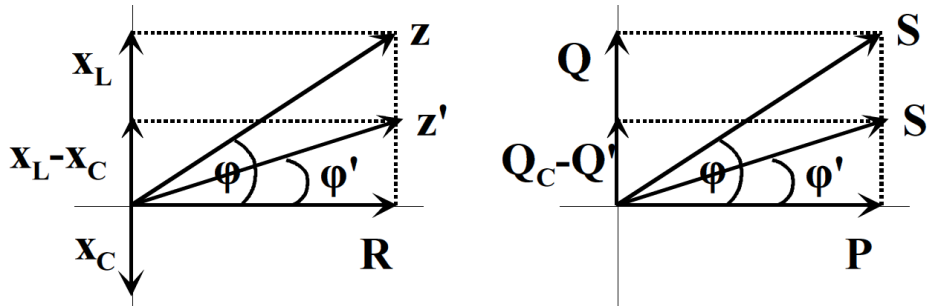
8.5 Διόρθωση συνημίτονου

Πολλοί καταναλωτές εμφανίζουν επαγωγική συμπεριφορά (κινητήρες, μετασχηματιστές κλπ) με αποτέλεσμα, λόγω της συνεπαγόμενης αέργου ισχύος, να υπάρχουν απώλειες στο δίκτυο παραγωγής-διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Εκτός τις απώλειες αυτές όμως, η επαγωγική συμπεριφορά σημαίνει ότι ο συντελεστής ισχύος συνφ θα είναι μικρότερος της μονάδας. Σε δίκτυα ηλεκτρική ενέργειας που λειτουργούν με σταθερή τάση, το ρεύμα σε ένα καταναλωτή ισχύος P δίνεται από: $I = P / (V \text{ συνφ})$, επομένως, το ρεύμα είναι αντιστρόφως ανάλογο του συντελεστή ισχύος. Μικρή τιμή του συντελεστή ισχύος σημαίνει μεγάλο ρεύμα, συνθήκη αντικοινωνική καθώς θα απαιτούνται αγωγοί μεγάλης διαμέτρου για την μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και θα υπάρχουν μεγάλες απώλειες σε αυτούς. Για όλους τους παραπάνω λόγους, η ΔΕΗ επιβάλλει ο συντελεστής ισχύος να έχει τιμή μεγαλύτερη από 0.95.

Η διόρθωση του συντελεστή ισχύος, δηλαδή η μεταβολή της τιμής του συνφ έτσι ώστε να μεγαλώσει η τιμή του, επιτυγχάνεται με την προσθήκη παράλληλα στον καταναλωτή ενός κατάλληλου πυκνωτή. Με αυτόν τον τρόπο, η χωρητική αντίσταση ελαττώνει την γωνία ϕ . Σαν αποτέλεσμα, η πραγματική ισχύς παραμένει η ίδια ενώ ελαττώνεται η άεργος και η φαινόμενη ισχύς.

Σχετικά με τον υπολογισμό της χωρητικότητας του πυκνωτή που απαιτείται για μία συγκεκριμένη διόρθωση συνημιτόνου, αυτή μπορεί να προκύψει ως εξής:

$$C = \frac{P}{V^2 \omega} (\tan \varphi - \tan \varphi')$$



Εικόνα 63 Διόρθωση συνημιτόνου

Δηλαδή, μπορούμε να υπολογίσουμε την χωρητικότητα για μία αλλαγή της γωνίας φάσης από φ σε φ' για καταναλωτή με ισχύ P και τάση V . Στην πράξη, για μία διόρθωση του συντελεστή ισχύος δεν απαιτούνται υπολογισμοί με την παραπάνω εξίσωση αλλά χρησιμοποιούνται ειδικοί πίνακες και διαγράμματα. Σε αυτά, κάθε μεταβολή από ένα δεδομένο $\cos \varphi$ σε ένα συγκεκριμένο $\cos \varphi'$ αντιστοιχεί σε ένα συντελεστή K ο οποίος είναι ίσος με τον λόγο της απαιτούμενης για διόρθωση άεργης ισχύος προς την ενεργό ισχύ του καταναλωτή. Τέλος αξίζει να σημειωθεί ότι το πρόβλημα της διόρθωσης συνημιτόνου είναι ένα ιδιαίτερα δύσκολο εγχείρημα στην βιομηχανία όπου η ύπαρξη μεγάλων μονάδων με επαγωγική συμπεριφορά απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή.

Παράδειγμα

Έστω λάμπα 60 W που λειτουργεί στα 220V/50Hz με συντελεστή ισχύος 0.4. Να βρεθεί η τιμή της χωρητικότητας που πρέπει να συνδεθεί παράλληλα έτσι ώστε ο συντελεστής ισχύος να γίνει 0.9.

Απάντηση

$$\cos \varphi = 0,4 \Rightarrow \varphi = 66,42^\circ$$

$$\cos \varphi = 0,9 \Rightarrow \varphi = 25,84^\circ$$

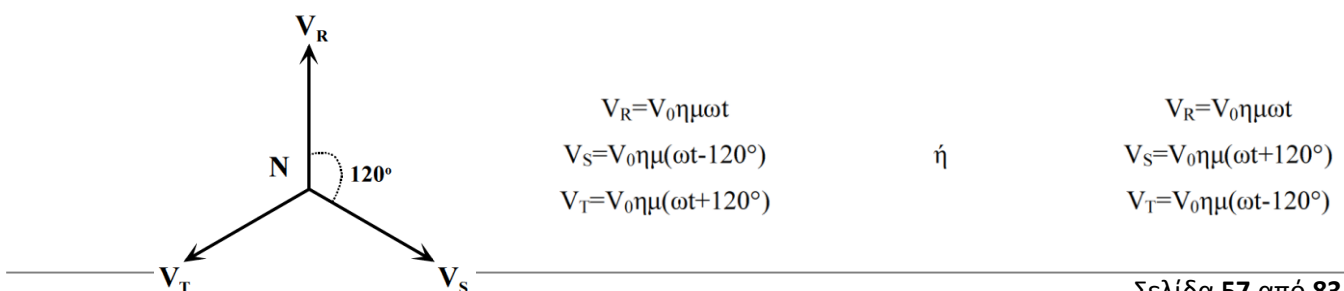
$$C = \frac{P}{V^2 \omega} (\tan \varphi - \tan \varphi') = \frac{60}{220^2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50} (\tan 66,42 - \tan 25,84) = 7,1 \mu F$$

Κεφάλαιο 9 Τριφασικά Συστήματα

Σήμερα, η παραγωγή, μεταφορά, διανομή και χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας πραγματοποιείται με τριφασικά δίκτυα, καθώς αυτά παρουσιάζουν σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τα αντίστοιχα μονοφασικά. Τα πλεονεκτήματα αυτά αφορούν:

- (α) απαιτούνται 25% λιγότερα καλώδια σε τριφασικό δίκτυο απ' ότι σε μονοφασικό για την μεταφορά της ίδια ποσότητας ηλεκτρικής ενέργειας σε ίδια απόσταση και με την ίδια τάση μεταξύ των αγωγών
- (β) σε συμμετρικά τριφασικά δίκτυα η ισχύς είναι σταθερή και ίση με την μέση ισχύ, με αποτέλεσμα σταθερή ροπή σε τριφασικούς κινητήρες, που έτσι λειτουργούν χωρίς κραδασμούς. Σε αντίθεση, σε ένα μονοφασικό δίκτυο υπάρχει μια σταθερή και μία ημιτονοειδής συνιστώσα ισχύος, με αποτέλεσμα, ο άξονας σε μονοφασικούς κινητήρες να δέχεται δυσμενή φόρτιση.
- (γ) οι τριφασικές μηχανές έχουν καλύτερο βαθμό απόδοσης και γενικότερα καλύτερα χαρακτηριστικά λειτουργίας από τις μονοφασικές μηχανές.

Γενικά, ένα τριφασικό δίκτυο βασίζεται σε μία τριφασική γεννήτρια. Αυτή λειτουργεί όμοια με μια απλή γεννήτρια εναλλασσομένου, όμως διαθέτει αντί για ένα τρία όμοια τυλίγματα τοποθετημένα σε γωνία 60° μεταξύ τους. Με βάση την κατασκευή αυτή, η γεννήτρια θα δημιουργεί λόγω επαγωγής τρεις ίδιες τάσεις οι οποίες θα διαφέρουν σε φάση κατά 120° μεταξύ τους (συμμετρικό τριφασικό σύστημα), δηλαδή:



Εικόνα 64 Συμμετρικό τριφασικό σύστημα

Η πρώτη περίπτωση αντιστοιχεί σε αριστερόστροφη περιστροφή του δρομέα, δηλαδή αντίθετη από την φορά περιστροφής των δεικτών του ρολογιού (ευθύ συμμετρικό τριφασικό σύστημα) ενώ η δεύτερη στην αντίστοιχη δεξιόστροφη (ανάστροφο συμμετρικό τριφασικό σύστημα).

9.1 Ορισμοί

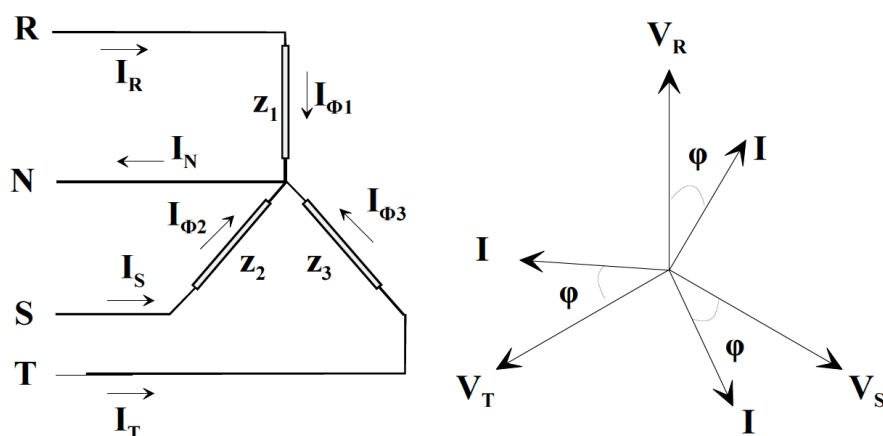
Ας δούμε τώρα τους ορισμούς των ηλεκτρικών μεγεθών που χρησιμοποιούνται σε τριφασικά συστήματα, με τους ορισμούς να ισχύουν είτε το φορτίο είναι συμμετρικό είτε ασύμμετρο.

- (α) Φασική τάση V_{ϕ} : είναι η τάση μεταξύ μιας φάσης και του ουδέτερου
- (β) Πολική τάση V_{π} : είναι η τάση μεταξύ δύο φάσεων
- (γ) Φασικό ρεύμα I_{ϕ} : είναι το ρεύμα στον καταναλωτή
- (δ) Πολικό ρεύμα I_{π} : είναι το ρεύμα της γραμμής

9.2 Σύνδεση αστέρα

Στη σύνδεση αστέρα με ουδέτερο, κάθε καταναλωτής είναι συνδεδεμένος μεταξύ φάσης και ουδέτερου, δηλαδή εφαρμόζεται σε αυτόν η φασική τάση V_{ϕ} , η οποία για το δίκτυο μας είναι 220 V. Παράλληλα, κάθε πολικό ρεύμα εισέρχεται σε ένα καταναλωτή. Επομένως, τα φασικά ρεύματα είναι ίδια με τα πολικά, ενώ το ρεύμα στον ουδέτερο είναι ίσο και αντίθετο με το άθροισμα των φασικών ρευμάτων:

$$\dot{I}_N = -(\dot{I}_{\phi 1} + \dot{I}_{\phi 2} + \dot{I}_{\phi 3}) \quad V_{\phi 1} + V_{\phi 2} + V_{\phi 3} = 0$$



Εικόνα 65 Σύνδεση Αστέρα

Σε συμμετρικό αστέρα, το άθροισμα των φασικών (αλλά και των πολικών) ρευμάτων είναι μηδέν. Στο πλαίσιο αυτό, ο ουδέτερος μπορεί να παραληφθεί. Σε κάθε περίπτωση βέβαια, ο ουδέτερος χρησιμοποιείται καθώς

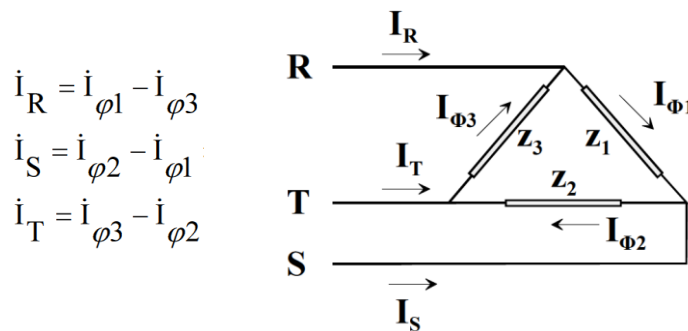
τα φορτία δεν είναι πάντα συμμετρικά, όμως, δεν απαιτούνται τρεις αγωγοί επιστροφής καθώς το συνολικό ρεύμα που επιστρέφει είναι σχετικά μικρό. Έτσι, υπάρχει μόνο μία επιστροφή και μάλιστα με καλώδιο μικρής διαμέτρου που συνεπάγεται οικονομία.

Στην περίπτωση όμως μη συμμετρικού φορτίου, οι σχέσεις φασικών και πολικών μεγεθών είναι διαφορετικές. Επομένως, στην περίπτωση αυτή το ρεύμα του ουδέτερου δεν είναι μηδέν και το μέτρο και η φάση του πρέπει να υπολογιστούν διανυσματικά ή με μιγαδικούς. Φυσικά ισχύουν άλλες σχέσεις όπως:

$$|V_{\pi}| = \sqrt{3}|V_{\phi}|$$

9.3 Σύνδεση τριγώνου

Στη σύνδεση τριγώνου, κάθε καταναλωτής είναι συνδεδεμένος μεταξύ δύο φάσεων, δηλαδή οι φασικές τάσεις είναι ίσες με τις πολικές. Όμως, τα φασικά ρεύματα δεν είναι ίδια με τα πολικά, και δεν υπάρχει ουδέτερος. Σε κάθε περίπτωση, ανεξάρτητα από την συμμετρία του φορτίου ισχύουν οι σχέσεις:



Εικόνα 66 Σύνδεση Τριγώνου

Στην περίπτωση συμμετρικού φορτίου θα ισχύει επίσης: $V_{\phi} = V_{\pi}$, $|I_{\pi}| = \sqrt{3}|I_{\phi}|$ $I_{\phi 1} + I_{\phi 2} + I_{\phi 3} = 0$
 Αν όμως το φορτίο δεν είναι συμμετρικό, τότε θα ισχύουν: $I_{\phi 1} + I_{\phi 2} + I_{\phi 3} \neq 0$

9.4 Παραδείγματα

Παράδειγμα 1

Έστω το φορτίο του σχήματος όπου:

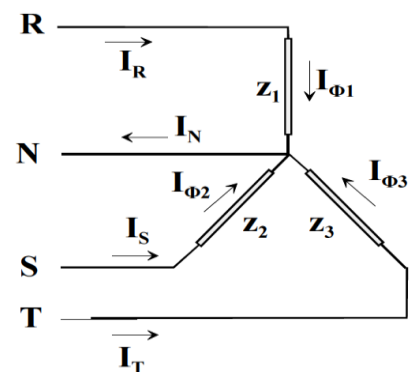
Z1: R=10 Ω

Z2: R=7.79 Ω και C=0.708 mF

Z3: R=9.53 Ω και L=17.5 mH

Αν έχουμε τροφοδοσία στα 380/220 V, 50 Hz να βρεθούν τα ρεύματα του κυκλώματος

Απάντηση



Εμπεδήσεις

$$\begin{aligned} \dot{Z}_1 &= (10 + j0) = (10 \angle 0) \Omega \\ \dot{Z}_2 &= (7.79 - j4.5) = (9 \angle -30) \Omega \\ \dot{Z}_3 &= (9.53 + j5.5) = (11 \angle 30) \Omega \end{aligned}$$

Ρεύματα

$$\begin{aligned} \dot{i}_{\varphi 1} &= \frac{\dot{V}_R}{\dot{Z}_1} = \frac{220 \angle 0}{10 \angle 0} = (22 \angle 0) A = (22 + j0) A \\ \dot{i}_{\varphi 2} &= \frac{\dot{V}_S}{\dot{Z}_2} = \frac{220 \angle -120}{9 \angle -30} = (22.44 \angle -90) A = (0 - j22.44) A \\ \dot{i}_{\varphi 3} &= \frac{\dot{V}_T}{\dot{Z}_3} = \frac{220 \angle 120}{11 \angle 30} = (20 \angle 90) A = (0 + j20) A \end{aligned}$$

$$\dot{i}_N = -(\dot{i}_{\varphi 1} + \dot{i}_{\varphi 2} + \dot{i}_{\varphi 3}) = -[22 + j(20 - 22.44)] = -22 + j2.44 \Rightarrow \dot{i}_N = (22.13 \angle 173.67) A$$

Τάσεις

$$\dot{V}_R = (220 \angle 0) V, \dot{V}_S = (220 \angle -120) V, \dot{V}_T = (220 \angle 120) V$$

Παράδειγμα 2

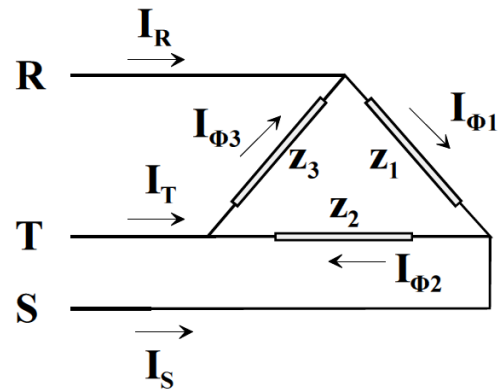
Έστω το φορτίο του σχήματος όπου:

Z1: R=10 Ω και L=31.8 mH

Z2: R=8.66 Ω και L=15.9 mH

Z3: R=12 Ω και L=50.9 mH

Αν έχουμε τροφοδοσία στα 380 V, 50 Hz να βρεθούν τα ρεύματα.



Απάντηση

Εμπεδήσεις

$$\begin{aligned} \dot{Z}_1 &= (10 + j10) = (14.14 \angle 45) \Omega \\ \dot{Z}_2 &= (8.66 + j5) = (10 \angle 30) \Omega \\ \dot{Z}_3 &= (12 + j16) = (20 \angle 53) \Omega \end{aligned}$$

Τάσεις

$$\dot{V}_{RS} = (380 \angle 0) V, \dot{V}_{ST} = (380 \angle -120) V, \dot{V}_{TR} = (380 \angle 120) V$$

Φασικά Ρεύματα

$$\begin{aligned} \dot{i}_{\varphi 1} &= \frac{\dot{V}_{RS}}{\dot{Z}_1} = \frac{380 \angle 0}{14.14 \angle 45} = (26.87 \angle -45) A = (19 - j19) A \\ \dot{i}_{\varphi 2} &= \frac{\dot{V}_{ST}}{\dot{Z}_2} = \frac{380 \angle -120}{10 \angle 30} = (38 \angle -150) A = (-32.91 - j19) A \\ \dot{i}_{\varphi 3} &= \frac{\dot{V}_{TR}}{\dot{Z}_3} = \frac{380 \angle 120}{20 \angle 53} = (19 \angle 67) A = (7.42 + j17.49) A \end{aligned}$$

Πολικά Ρεύματα:

$$\begin{aligned} \dot{I}_R &= \dot{i}_{\varphi 1} - \dot{i}_{\varphi 3} = (19 - 7.42) + j(-19 - 17.49) = 11.58 - j36.47 = (38.28 \angle -72.4) A \\ \dot{I}_S &= \dot{i}_{\varphi 2} - \dot{i}_{\varphi 1} = (-32.91 - 19) + j(-19 + 19) = -51.91 + j0 = (51.91 \angle 180) A \\ \dot{I}_T &= \dot{i}_{\varphi 3} - \dot{i}_{\varphi 2} = (7.42 + 32.91) + j(17.49 + 19) = 40.33 + j36.49 = (54.39 \angle 42.1) A \end{aligned}$$

9.5 Μέτρηση ισχύος σε τριφασικά συστήματα

Επειδή στο τριφασικό έχω τρία φορτία, η συνολική ισχύς θα δίνεται από:

$$P_{ολ} = P_{\varphi 1} + P_{\varphi 2} + P_{\varphi 3} = V_{\varphi 1} I_{\varphi 1} \cos \varphi_1 + V_{\varphi 2} I_{\varphi 2} \cos \varphi_2 + V_{\varphi 3} I_{\varphi 3} \cos \varphi_3$$

Αν ο καταναλωτής είναι συμμετρικός τότε:

$$P_{ολ} = 3 \cdot P_{\varphi 1} = 3 \cdot V_{\varphi 1} I_{\varphi 1} \cos \varphi_1 = 3 \cdot V_{\varphi} I_{\varphi} \cos \varphi$$

Όμως, σε σύνδεση αστέρα έχουμε $V_{\pi} = \sqrt{3} V_{\varphi}$ οπότε η παραπάνω εξίσωση γίνεται:

$$P_{ολ} = 3 \cdot V_{\varphi} I_{\varphi} \cos \varphi = 3 \cdot \frac{V_{\pi}}{\sqrt{3}} I_{\pi} \cos \varphi = \sqrt{3} V_{\pi} I_{\pi} \cos \varphi$$

Αν έχουμε σύνδεση τρίγωνο έχουμε $I_{\pi} = \sqrt{3} I_{\varphi}$ οπότε η παραπάνω εξίσωση γίνεται:

$$P_{ολ} = 3 \cdot V_{\varphi} I_{\varphi} \cos \varphi = 3 \cdot V_{\pi} \frac{I_{\pi}}{\sqrt{3}} \cos \varphi = \sqrt{3} V_{\pi} I_{\pi} \cos \varphi$$

Αντίστοιχα, για την άεργη και την φαινόμενη ισχύ ισχύει:

$$Q_{ολ} = \sqrt{3} V_{\pi} I_{\pi} \sin \varphi \quad S = \sqrt{3} V_{\pi} I_{\pi}$$

Παράδειγμα

Τριφασικός καταναλωτής αποτελείται από τρία όμοια πηνία συνδεδεμένα κατά αστέρα. Μετράμε: $I_{γραμμής}=25A$, $S=20kVA$, $P=11kW$. Να βρεθούν η πολική τάση, η φασική τάση, η άεργος ισχύς και τα R , x_L κάθε φάσης.

Απάντηση

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} = \sqrt{20^2 - 11^2} = 16.7kVAR$$

$$\cos \varphi = P/S = 11/20$$

$$P = \sqrt{3} V_{\pi} I_{\pi} \cos \varphi \Rightarrow V_{\pi} = \frac{P}{\sqrt{3} I_{\pi} \cos \varphi} = \frac{11.000}{\sqrt{3} \times 25 \times (11/20)} = 462V$$

$$R_{\varphi} = Z_{\varphi} \cos \varphi = \frac{V_{\varphi}}{I_{\varphi}} \cos \varphi = \frac{267}{25} \frac{11}{20} = 5.87\Omega$$

$$X_{L\varphi} = Z_{\varphi} \sin \varphi = \frac{V_{\varphi}}{I_{\varphi}} \sqrt{1 - \cos^2 \varphi} = \frac{267}{25} \sqrt{1 - \left(\frac{11}{20}\right)^2} = 8.97\Omega$$

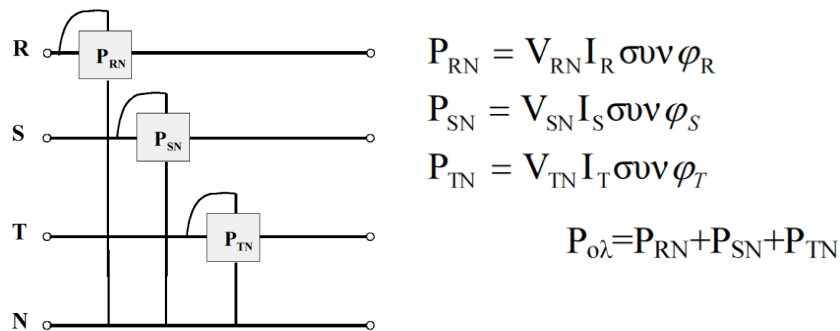
$$V_{\varphi} = \frac{V_{\pi}}{\sqrt{3}} = 267V$$

9.6 Μέτρηση ισχύος σε τριφασικό σύστημα τεσσάρων αγωγών

Σε τριφασικό σύστημα τεσσάρων αγωγών (τρεις φάσεις και ο ουδέτερος) απαιτούνται τρία βαττόμετρα για την μέτρηση της ισχύος. Ως κοινό σημείο για την σύνδεση τους μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε ο ουδέτερος είτε μία από τις φάσεις.

A) Κοινός ουδέτερος

Το κύκλωμα για την περίπτωση αυτή φαίνεται στο παρακάτω, όπου όλα τα πηνία τάσης δέχονται την φασική τάση και το αποτέλεσμα παρουσιάζεται παρακάτω :

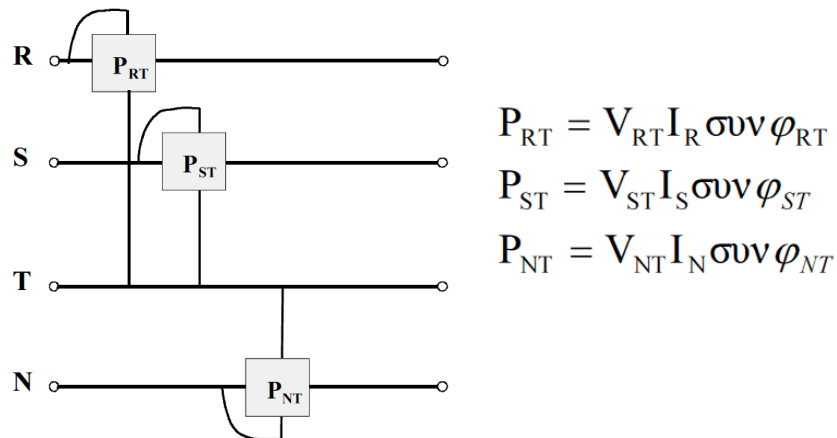


Εικόνα 67 3 βατόμετρα με κοινό σημείο τον ουδέτερο

Επομένως, για να βρούμε την ολική ισχύ προσθέτουμε τις ενδείξεις των τριών βαττομέτρων. Το άθροισμα αυτό όμως είναι αλγεβρικό, δηλαδή, αν ένα βαττόμετρο δείχνει αρνητικά, αντιστρέφουμε την σύνδεση στο πηνίο τάσης και η ένδειξη αφαιρείται.

B) Κοινή φάση

Ας υποθέσουμε τώρα ότι έχουμε την συνδεσμολογία του παρακάτω σχήματος (κοινή η φάση T). Για τα τρία βαττόμετρα θα ισχύουν οι παρακάτω σχέσεις :

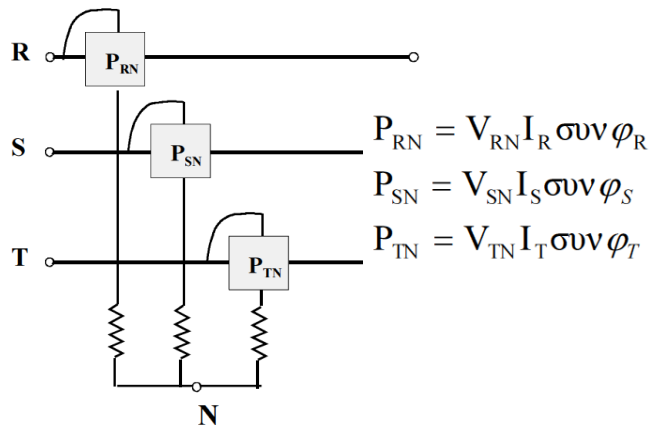


Εικόνα 68 3 βατόμετρα με κοινή φάση

Για να βρούμε την ολική ισχύ προσθέτουμε τις ενδείξεις των τριών βαττομέτρων, οπότε $P_{ολ} = P_{RN} + P_{SN} + P_{TN}$.

9.7 Μέτρηση ισχύος σε τριφασικό σύστημα τριών αγωγών

Η χρήση τριών βαττομέτρων προϋποθέτει ότι τα πηνία τάσης τους συνδέονται μεταξύ κάθε φάσης και ενός τεχνητού ουδέτερου που δημιουργείται Θα ισχύει:



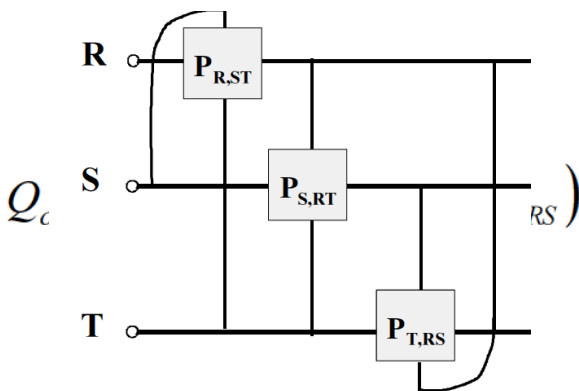
Εικόνα 69 Μέτρηση ισχύος σε τριφασικό σύστημα τριών αγωγών

Οπότε, η ολική ισχύς θα δίνεται από: $P_{ολ} = P_{RN} + P_{SN} + P_{TN}$

Αν το φορτίο είναι συμμετρικό θα απαιτείται μόνο ένα βαττόμετρο για την μέτρηση της ισχύος, με την ένδειξη του να πολλαπλασιάζεται επί 3.

9.8 Μέτρηση άεργης ισχύος

Για την μέτρηση της άεργης ισχύος μπορεί να χρησιμοποιηθεί η συνδεσμολογία του παρακάτω σχήματος, όπου κάθε βαττόμετρο συνδέεται ως εξής: (α) το πηνίο ρεύματος του συνδέεται με μία από τις φάσεις (π.χ. την R) και (β) το πηνίο τάσης του μεταξύ των δύο άλλων φάσεων (δηλαδή των S και T) και η άεργη ισχύς δίνεται από τον παρακάτω τύπο :



Εικόνα 70 Μέτρηση άεργης ισχύος σε τριφασικά συστήματα

Αν έχω συμμετρικό σύστημα, χρησιμοποιώ ένα βαττόμετρο και πολλαπλασιάζω επί τρία. Για επαγωγικό φορτίο, η διάταξη λειτουργεί κανονικά. Για χωρητικό όμως, πρέπει να αναστρέψουμε την σύνδεση.

Κεφάλιο 10 Μέτρηση ηλεκτρικής ενέργειας

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:

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

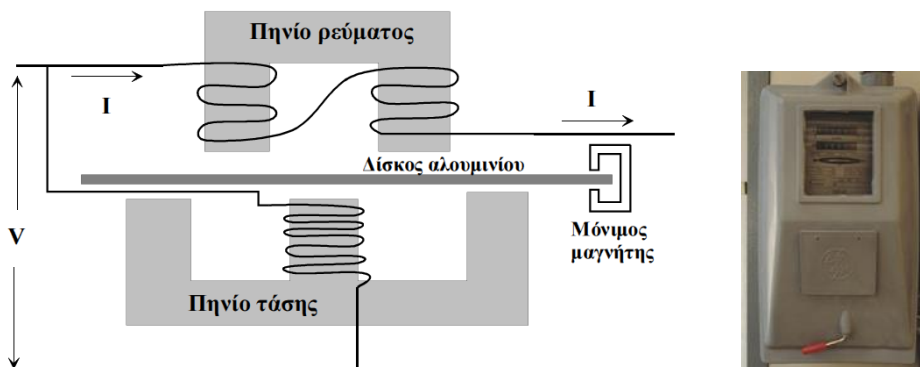
Από την παραπάνω σχέση βλέπουμε ότι η καταναλισκόμενη ενέργεια μπορεί να βρεθεί με δύο τρόπους: με την ολοκλήρωση της ισχύος μέσα στο ζητούμενο διάστημα Δt (βατομετρική μέθοδος) ή με την ολοκλήρωση του ρεύματος $i(t)$ στο διάστημα Δt θεωρώντας ότι η τάση είναι σταθερή (αμπερομετρική μέθοδος). Η πιο συνηθισμένη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

10.1 Μέθοδοι μέτρησης ηλεκτρικής ενέργειας

Επαγωγικοί μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας

Η λειτουργία των επαγωγικών μετρητών ηλεκτρικής ενέργειας βασίζεται στην ίδια αρχή με τα επαγωγικά όργανα. 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. 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.



Εικόνα 71 Επαγωγικοί μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας

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.

Έξυπνοι Ψηφιακοί Μετρητές

Ο ψηφιακός μετρητής είναι μία ηλεκτρονική συσκευή μέτρησης με δυνατότητα επικοινωνίας με άλλες συσκευές. Η συσκευή μετράει την ενέργεια που χρησιμοποιείται και στέλνει τις πληροφορίες στο σύστημα και από εκεί καταλήγουν στον πελάτη/παραγωγό, ενημερώνοντας τον για την εκάστοτε κατανάλωση/παραγωγή και το αντίστοιχο κόστος αυτής.



Εικόνα 72 Ψηφιακοί Μετρητές

Κεφάλαιο 11 Αισθητήρια όργανα μέτρησης άλλων φυσικών μεγεθών

11.1 Αισθητήρες

Οι αισθητήρες (sensors) είναι διατάξεις που διαθέτουν κάποια κατάλληλη ιδιότητα, η οποία μεταβάλλεται ως συνάρτηση του μετρούμενου φυσικού μεγέθους.

Για παράδειγμα, η αντίσταση ορισμένων φωτοαγωγίμων υλικών μειώνεται, καθώς αυξάνει η ποσότητα του φωτός που προσπίπτει σ' αυτά (αισθητήρας φωτός).

Στα μέταλλα, η αντίσταση αυξάνεται καθώς αυξάνει η θερμοκρασία του μετάλλου (αισθητήρας θερμοκρασίας). Μας ενδιαφέρουν αισθητήρες που μπρούν να συνεργαστούν με κάποιο ηλεκτρονικό σύστημα μέτρησης και κατ' επέκταση να συνδεθούν με μικροεπεξεργαστές.

Μια γενική διάκριση ανάμεσα στους αισθητήρες τους χωρίζει σε

- **Ενεργούς:** είναι οι αισθητήρες που απαιτούν εξωτερική διέγερση για να λειτουργήσουν. Για παράδειγμα, ένας αισθητήρας γραμμικής μετατόπισης (LVDT) πρέπει να τροφοδοτείται από κατάλληλη εναλλασσόμενη τάση.
- **Παθητικούς:** είναι οι αισθητήρες που δημιουργούν μόνοι τους μια τάση και δεν χρειάζονται εξωτερική διέγερση. Για παράδειγμα, οι πιεζοηλεκτρικοί κρύσταλλοι, όταν πιεστούν, αναπτύσσουν στα άκρα τους ηλεκτρική τάση.

11.2 Χαρακτηριστικά αισθητήρων

Γραμμικότητα

Όταν οι μεταβολές της μετρούμενης φυσικής ποσότητας (π.χ. της θερμοκρασίας) προκαλούν μεταβολές της ιδιότητας του αισθητήρα (π.χ. της αντίστασης του μετάλλου) με τρόπο αυστηρά ανάλογο, τότε λέμε ότι ο αισθητήρας είναι γραμμικός και την ιδιότητα αυτή την ονομάζουμε γραμμικότητα (linearity).

Αν ο αισθητήρας είναι γραμμικός, τότε η σχέση της εξόδου του αισθητήρα με το μετρούμενο μέγεθος είναι μια ευθεία γραμμή. Άρα, για την βαθμονόμηση του συστήματος μέτρησης αρκούν τιμές της εξόδου σε δύο επιβεβαιωμένες τιμές της εισόδου.

Αν ο αισθητήρας δεν είναι γραμμικός, τότε η σχέση της εξόδου με το μετρούμενο μέγεθος δίνεται από μία καμπύλη γραμμή και η βαθμονόμηση του συστήματος απαιτεί τιμές της εξόδου σε πολλές επιβεβαιωμένες τιμές της εισόδου. Η βαθμονόμηση των συστημάτων γίνεται με τη βοήθεια «προτύπων».

Ευαισθησία

Έστω $x(t)$ το σήμα εισόδου (π.χ. πίεση) και $y(t)$ το σήμα εξόδου, δηλαδή η τάση που βγάζει ο αισθητήρας. Ισχύει γενικά $y(t)=Sx(t)$, όπου S η κλίση της χαρακτηριστικής εισόδου-εξόδου (είναι σταθερή για γραμμικό αισθητήρα).

Η παράμετρος S ονομάζεται **ευαισθησία** (sensitivity) του αισθητήρα και εκφράζει πόσο υψηλό σήμα εξόδου αποδίδει ο αισθητήρας για κάθε μονάδα του μετρούμενου φυσικού μεγέθους.

Π.χ. ένας αισθητήρας πίεσης έχει ευαισθησία 10mV/KPa, ενώ ένας άλλος έχει 5mV/KPa. Ο δεύτερος παράγει πάντα τη μισή τάση εξόδου για κάθε τιμή της πίεσης.

Διακριτική ικανότητα (resolution)

Εκφράζει τη μικρότερη μεταβολή του φυσικού μεγέθους που μπορεί να ανιχνεύσει ο αισθητήρας και να μεταβάλλει την έξοδό του ανάλογα.

Ακρίβεια

Ισούται με το σφάλμα που περιέχει εγγενώς η τιμή που αποδίδει ο αισθητήρας στην έξοδο, δηλώνει δηλαδή την αβεβαιότητα που υπάρχει στην τιμή της εξόδου (π.χ. ± 0.05 °C).

Εύρος τιμών εισόδου (full-scale input)

Ορίζει σε ποια πλαίσια του μετρούμενου φυσικού μεγέθους μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο αισθητήρας.

Εύρος τιμών της εξόδου

Δίνει τα όρια της τάσης ή του ρεύματος εξόδου του αισθητήρα.

11.3 Αισθητήρια φωτός

Φωτοαντιστάσεις

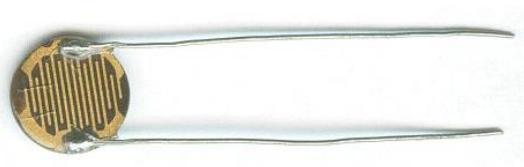
Βασίζονται στην αύξηση αριθμού ελευθέρων ηλεκτρονίων όταν προσπίπτει φως σε ένα φωτοαγωγίμο υλικό. Η αντίσταση του φωτοαγωγίμου υλικού μειώνεται ενώ η σχέση μεταξύ της προσπίπτουσας φωτεινής ισχύος P και της αντίστασης R δεν είναι γραμμική, αλλά λογαριθμική και έχει τη μορφή:

$$R = \frac{a}{P^b}$$

Στο εμπόριο κάποιος μπορεί να βρει φωτοαντίσταση 10 Ω όταν ευρίσκεται σε ένα φωτισμένο χώρο και αντίσταση της τάξης των 20 kΩ εάν τη σκεπάσουμε με το χέρι μας, δημιουργώντας συνθήκες σκότους.

Φωτοαντιστάσεις CdS

Αποτελούνται από πολυκρυσταλλικά υμένα ή μονοκρύσταλλοι του ημιαγωγικού υλικού *θειούχου καδμίου* (CdS). Εμφανίζει μέγιστη ευαισθησία σε μήκος κύματος 1 μm (που εμπίπτει στην περιοχή του κοντινού υπερώθρου).

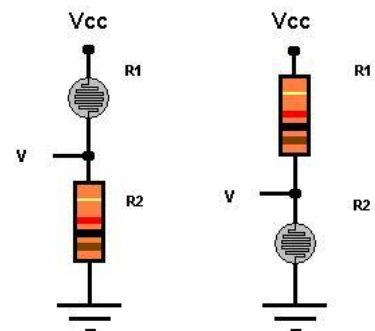


Εικόνα 73 Φωτοαντιστάσεις CdS

Σύνδεση φωτοαντίστασης στο κύκλωμα

Αριστερά, η τάση πάνω στην R2 αυξάνει όσο μεγαλώνει η στάθμη του φωτισμού.

Δεξιά, η τάση πάνω στην φωτοαντίσταση μειώνεται όσο αυξάνει το επίπεδο του φωτισμού (ανιχνευτής σκότους).



Εικόνα 74 Σύνδεση φωτοαντίστασης στο κύκλωμα

Φωτοдиодος

Οι φωτοдиодοι αποτελούνται από μία φωτοευαίσθητη διόδο ημιαγωγού, δηλαδή μία επαφή p-n που έχει στην άνω όψη της ένα φωτοαγωγίμο στρώμα. Η πρόσπτωση φωτός στην επιφάνειά τους δημιουργεί ζεύγη ηλεκτρονίων-οπών στην περιοχή της επαφής, δηλαδή ένα μικρό ρεύμα (φωτόρευμα).

Το φωτόρευμα είναι αμελητέο σε σύγκριση με τα ρεύματα που διαρρέουν τις φωτοδιόδους όταν αυτές είναι ορθά πολωμένες, οπότε άγουν ως κανονικές δίοδοι. Όταν όμως οι φωτοδιόδοι είναι ανάστροφα πολωμένες, το φωτόρευμα καθίσταται σημαντικό και επιτρέπει τη μέτρηση της προσπίπτουσας φωτεινής

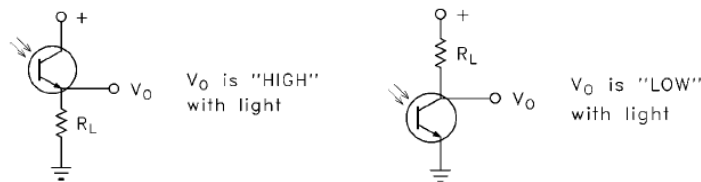


Material	Wavelength range (nm)
Silicon	190–1100
Germanium	400–1700
Indium gallium arsenide	800–2600
Lead sulfide	<1000-3500

Εικόνα 75 Φωτοδιόδος

Φωτοτρανζίστορ

Οι δυνατότητες των φωτοδιόδων επεκτείνονται εάν αντικατασταθούν από φωτοτρανζίστορς, Ενισχύεται το δημιουργούμενο στη φωτοευαίσθητη επαφή $p-n$ φωτόρευμα. Μπορούν να μετρηθούν μικρότερες φωτεινές εντάσεις και επακόλουθα αυξάνει το δυναμικό εύρος του αισθητήρα.



Εικόνα 76 Λειτουργία φωτοτρανζίστορ

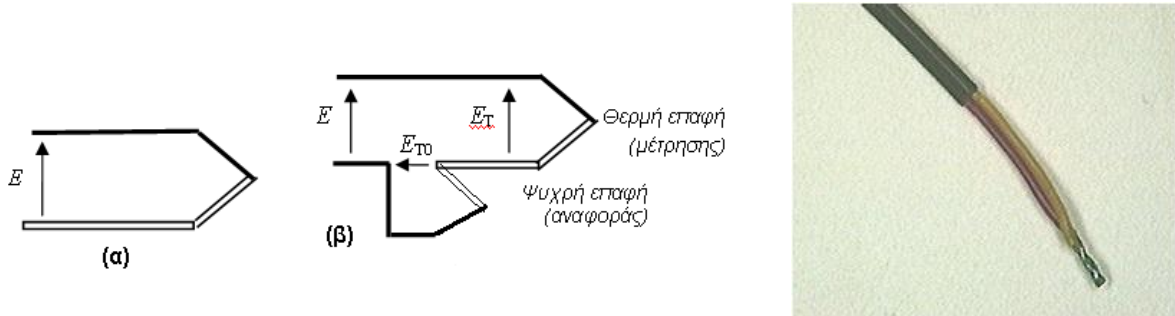
11.4 Αισθητήρες θερμοκρασίας

Τα διάφορα θερμόμετρα στηρίζονται στην αλλαγή, λόγω της θερμοκρασίας, κάποιας χαρακτηριστικής ιδιότητας ενός επιλεγμένου υλικού. Οι ιδιότητες που μπορούν να αξιοποιηθούν για τη μέτρηση της θερμοκρασίας είναι εν γένει οι ακόλουθες:

1. Η γραμμική διαστολή ενός υγρού (θερμόμετρα υδραργύρου)
2. Η γραμμική διαστολή ενός μετάλλου (μεταλλικά θερμόμετρα)
3. Η ηλεκτρική αντίσταση ενός μετάλλου (RTDs)
4. Το φαινόμενο του *θερμοηλεκτρισμού* (ή *θερμοηλεκτρικό φαινόμενο*) (θερμοζεύγη)
5. Η θερμική ακτινοβολία που εκπέμπεται από ένα θερμό σώμα (πυρόμετρα)

Θερμοζεύγος

Όταν δύο διαφορετικά μέταλλα ενώνονται σε ένα σημείο, τότε στο σημείο αυτό αναπτύσσεται μία τάση, η οποία λέγεται θερμοηλεκτρική τάση ή δυναμικό επαφής (contact potential) και οφείλεται στο διαφορετικό έργο εξόδου των μετάλλων.



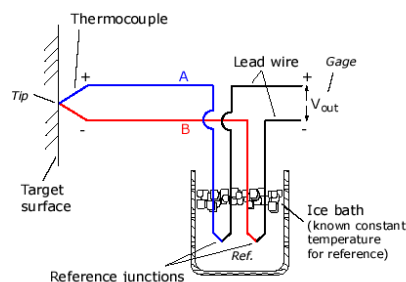
Εικόνα 77 α) Εμφάνιση θερμοηλεκτρικής τάσης όταν δύο μέταλλα ενώνονται β) Δομή ενός θερμοζεύγους. Διακρίνονται η θερμή επαφή και η ψυχρή επαφή και σημειώνονται οι τάσεις που αναπτύσσονται σε αυτό.

Πίνακας
Είδη θερμοζευγών και περιοχές λειτουργίας τους

Είδος Θερμοζεύγους	Θετικό άκρο (+)	Αρνητικό άκρο (-)	Περιοχή Λειτουργίας
B	Λευκόχρυσος 30% Ρόδιο	Λευκόχρυσος 6% Ρόδιο	1370 – 1700 °C
C	W5Re (Βολφράμιο 5% Ρήνιο)	W26Re (Βολφράμιο 26% Ρήνιο)	1650 – 2315 °C
E	Chromel	Κονσταντάνη	-200 – 900 °C
J	Σίδηρος	Κονσταντάνη	0 – 760 °C
K	Chromel	Alumel	-200 – 1260 °C
N	Nicrosil	Nisil	-270 – 1260 °C
R	Λευκόχρυσος 13% Ρόδιο	Λευκόχρυσος	0 – 1450 °C
S	Λευκόχρυσος 10% Ρόδιο	Λευκόχρυσος	0 – 1450 °C
T	Χαλκός	Κονσταντάνη	-200 – 350 °C

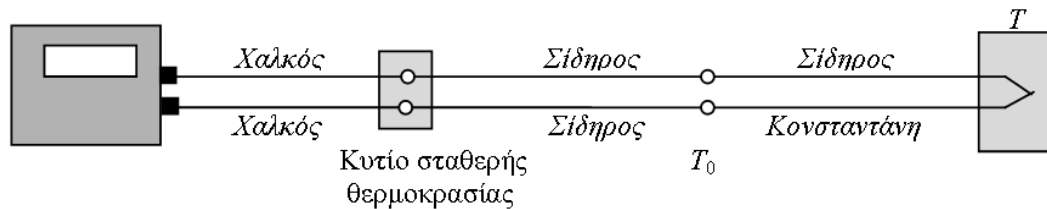
Η ένωση των μετάλλων του θερμοζεύγους με το όργανο μέτρησης δημιουργεί μία ή δύο επιπλέον θερμοηλεκτρικές επαφές (επαφές αναφοράς). Καταρχήν, πρέπει να εξασφαλιστεί η τοποθέτηση της επαφής αναφοράς σε μία γνωστή, σταθερή θερμοκρασία T_0 .

1^{ος} τρόπος : τοποθέτηση της επαφής αναφοράς σε λουτρό πάγου, οπότε η σταθερή θερμοκρασία είναι 0 °C



Εικόνα 78 Λειτουργία θερμοζεύγους α)

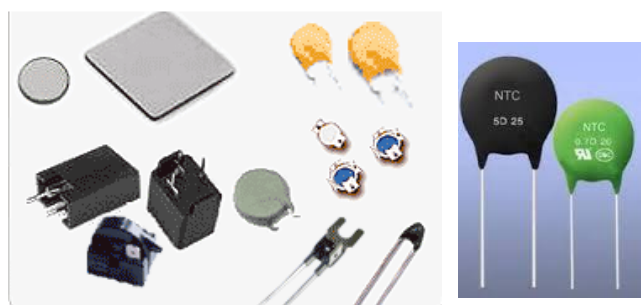
Άλλος τρόπος μπορεί να είναι ένα κυτίο σταθερής θερμοκρασίας (zone-box), το οποίο βρίσκεται συνήθως στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος ($\sim 22\text{ }^{\circ}\text{C}$).



Εικόνα 79 Λειτουργία θερμοζεύγους β)

Θερμίστορες

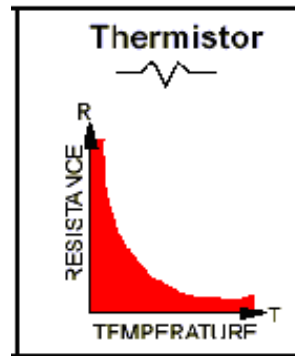
Τα θερμίστορες είναι αντιστάσεις, των οποίων η τιμή μεταβάλλεται με τη θερμοκρασία. Εμφανίζουν μεγάλες μεταβολές στην τιμή της αντίστασης. Τα θερμίστορες είναι κατασκευασμένα από οξειδία των μεταβατικών μετάλλων της σειράς του σιδήρου, όπως το χρώμιο, το μαγγάνιο, ο σίδηρος, το κοβάλτιο και το νικέλιο. Η αντίστασή τους μεταβάλλεται ισχυρά με τη θερμοκρασία αλλά έχει υψηλά όρια ανοχής, με αποτέλεσμα οι μετρήσεις θερμοκρασίας να μην έχουν την ακρίβεια άλλων μεθόδων. Από την άλλη πλευρά, η ισχυρή μεταβολή της αντίστασης επιτρέπει τη χρήση των θερμίστορες ως διακοπών ή περιοριστών ρεύματος. Τα θερμίστορες αποτελούν μία εξαιρετικά διαδεδομένη και οικονομική επιλογή για τη μέτρηση θερμοκρασιών.



Εικόνα 80 Θερμίστορες διαφόρων τύπων

Υπάρχουν δύο είδη θερμίστορες, τα *NTC* (*negative temperature coefficient, αρνητικού θερμοκρασιακού συντελεστή*) και τα *PTC* (*positive temperature coefficient, θετικού θερμοκρασιακού συντελεστή*). Στα *NTC* η αντίσταση μειώνεται όταν αυξάνεται η θερμοκρασία, ενώ στα *PTC* η αντίσταση μεγαλώνει όταν αυξάνεται η θερμοκρασία

θερμοκρασία (°C)	αντίσταση (Ω)
0	32 654
10	19 903
20	12 493
30	8 056
40	5 327
50	3 603
70	1 752
100	680



Εικόνα 81 Τιμές θερμοκρασίας - αντίστασης του θερμίστορ NTC P1H103T

Θερμοηλεκτρικές αντιστάσεις – RTDs

Προσφέρουν υψηλή ακρίβεια στη περιοχή -200 °C έως +850 °C. Παρέχουν ηλεκτρική έξοδο κατάλληλη για εφαρμογές ψηφιακής επεξεργασίας δεδομένων. Εφαρμόζοντας γνωστό ρεύμα μέσω της θερμοηλεκτρικής αντίστασης παράγεται ένα δυναμικό εξόδου που αυξάνει με τη θερμοκρασία. Γνωρίζοντας την ακριβή σχέση ανάμεσα στην αντίσταση και τη θερμοκρασία υπολογίζουμε την θερμοκρασία.

Η αντίσταση του αισθητηρίου πλατίνας PT100 μεταβάλλεται με τη θερμοκρασία ως εξής:

$$R_T = R_0(1 + AT + BT^2 + C(T-100)T^3)$$

where:

$$A = 3.9083 \text{ E-3}$$

$$B = -5.775 \text{ E-7}$$

$$C = -4.183 \text{ E-12 below } 0^\circ\text{C, and zero above } 0^\circ\text{C}$$

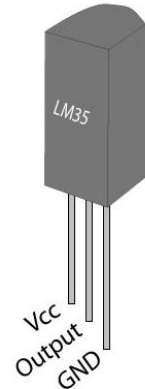


Εικόνα 82 Θερμοηλεκτρική αντίσταση – RTD

Το Ολοκληρωμένο Κύκλωμα LM35

Οι σειρές LM35 είναι ολοκληρωμένα κυκλώματα ακρίβειας τα οποία υπολογίζουν θερμοκρασία παρέχοντας γραμμική τάση εξόδου ανάλογη προς την θερμοκρασία Κελσίου. Παρουσιάζοντας λοιπόν πλεονέκτημα έναντι γραμμικών αισθητηρίων τα οποία είναι βαθμονομημένα σε κλίμακα Kelvin καθώς ο χρήστης δεν χρειάζεται να απορροφήσει μεγάλη σταθερή τάση από την έξοδο για μετασχηματιστεί η βαθμονόμηση σε Κελσίου. Το LM35 δεν απαιτεί καμία εξωτερική βαθμονόμηση ή ψαλιδισμό ώστε να παρέχει τυπική ακρίβεια $\pm 1/4^\circ\text{C}$ σε θερμοκρασία δωματίου και $\pm 1/4^\circ\text{C}$ επί ένα πλήρες -55°C έως $+150^\circ\text{C}$ εύρος θερμοκρασίας.

Η χαμηλή αντίσταση εξόδου, γραμμική απόδοση του και ακριβής βαθμονόμηση του LM35 το κάνουν να διασυνδέεται με κυκλώματα ελέγχου ιδιαίτερα εύκολα. Η συσκευή χρησιμοποιείται με αυτόνομα τροφοδοτικά, ή με συν και πλην παροχές. Καθώς το LM35 αντλεί μόνο 60 μA από το τροφοδοτικό, έχει πολύ χαμηλή αυτό-θέρμανση μικρότερη από $0,1^\circ\text{C}$.



Εικόνα 83 Το Ολοκληρωμένο Κύκλωμα LM35

Σύγκριση αισθητηρί

	Thermocouple	RTD	Thermistor	I. C. Sensor
Πλεονεκτήματα	<ul style="list-style-type: none"> • Αυτό-τροφοδοτούμενο • Απλό • Φθηνό • Σε μεγάλη ποικιλία • Μεγάλη περιοχή θερμοκρασιών 	<ul style="list-style-type: none"> • Πολύ σταθερό • Πολύ ακριβές • Πιο γραμμικό από θερμοζεύγος 	<ul style="list-style-type: none"> • Υψηλή έξοδος • Γρήγορο • Απλό 	<ul style="list-style-type: none"> • Πολύ γραμμικό • Υψηλή έξοδος • Φθηνό
Μειονεκτήματα	<ul style="list-style-type: none"> • Μη γραμμικό • Χαμηλή τάση • Χρειάζεται αναφορά • Ελάχιστα ευαίσθητο 	<ul style="list-style-type: none"> • Ακριβό • Χρειάζεται πηγή ρεύματος • Μικρές μεταβολές R • Αυτόθέρμανση 	<ul style="list-style-type: none"> • Μη-γραμμικό • Μικρή περιοχή θερμοκρασιών • Χρειάζεται πηγή ρεύματος • Αυτόθέρμανση 	<ul style="list-style-type: none"> • $T < 200^\circ\text{C}$ • Χρειάζεται τροφοδοσία • Αργό • Αυτόθέρμανση

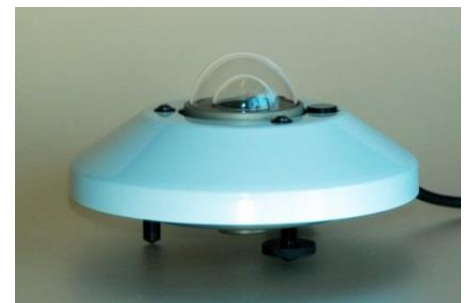
11.5 Αισθητήριο μέτρησης ακτινοβολίας

Πυρανόμετρο

Η αρχή λειτουργίας του πυρανομέτρου είναι το θερμοηλεκτρικό φαινόμενο. Η ακτινοβολία προσπίπτει στην ενεργό επιφάνεια (μαύρη), την θερμαίνει και έτσι δημιουργείται διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της θερμαινόμενης επιφάνειας και μιας άλλης στο εσωτερικό του πυρανομέτρου που είναι σε σταθερή θερμοκρασία.

Η διαφορά θερμοκρασίας οδηγεί σε διαφορά δυναμικού που μετριέται με ένα βολτόμετρο.

Κάθε πυρανόμετρο χαρακτηρίζεται από μια σταθερά, την ευαισθησία του σε ΗΜ ακτινοβολία ($V/W \cdot m^{-2}$)
 $E(\text{Πυκνότητα Ισχύος}) = V(\text{από βολτόμετρο}) / \epsilon$ (ευαισθησία πυρανομέτρου)



Εικόνα 84 Πυρανόμετρο

11.6 Αισθητήρες αιολικών μετρήσεων

Ανεμόμετρα

- **Ημιτονικού σήματος** (χαμηλής AC τάσης εξόδου). Η περιστροφή του άξονα των κυπέλλων, μέσω ενός μαγνήτη, επάγει μία ημιτονοειδή AC τάση εξόδου σε ένα πηνίο, του οποίου η συχνότητα είναι ανάλογη της ταχύτητας του ανέμου.
- **Τύπου REED:** χρησιμοποιούν ένα διακόπτη γλωσσίδας (reed) που ενεργοποιείται μαγνητικά, ο οποίος τοποθετείται σε συσκευασία από οξείδιο του σιδήρου, για να παρέχει ένδειξη της ταχύτητας του ανέμου, διατηρώντας χαμηλή την ταχύτητα εκκίνησης του αισθητήρα.



Εικόνα 85 Ανεμόμετρο Ημιτονικού σήματος



- Η έξοδος του διακόπτη reed είναι διακόπτης off-on και καταγράφεται η συχνότητα αλλαγής κατάστασής του.

Εικόνα 86 Ανεμόμετρο τύπου Reed

- **Οπτικού δίσκου.** Ο ρότορας 3 κυπέλλων χαμηλής αδράνειας περιστρέφεται από τον άνεμο και η περιστροφή διαβάζεται οπτο-ηλεκτρονικά και μετατρέπεται σε ένα τετραγωνικό σήμα. Η συχνότητα του σήματος είναι ανάλογη του αριθμού των περιστροφών.



Εικόνα 87 Ανεμόμετρο Οπτικού δίσκου

Ανεμοδείκτες

- **Ποτενσιομετρικοί,** που είναι και ο συνηθέστερα χρησιμοποιούμενος τύπος. Με την ακριβή τάση διέγερσης, από το καταγραφικό, που εφαρμόζεται στο ποτενσιόμετρο, το σήμα εξόδου είναι μία αναλογική τάση που είναι ανάλογη της γωνίας αζιμουθίου της διεύθυνσης του ανέμου.
- **Δίσκου κωδικού grey.** Η περιστροφή του ανεμοδείκτη διαβάζεται οπτο-ηλεκτρονικά και η έξοδος αποτελείται από 6 bit, των οποίων οι πιθανές τιμές (64) χωρίζουν τον κύκλο σε περιοχές των 5.6 μοιρών. Επομένως, κάθε πιθανή τιμή αντιστοιχεί σε μία ζώνη γωνιών.



Εικόνα 88 Ποτε...



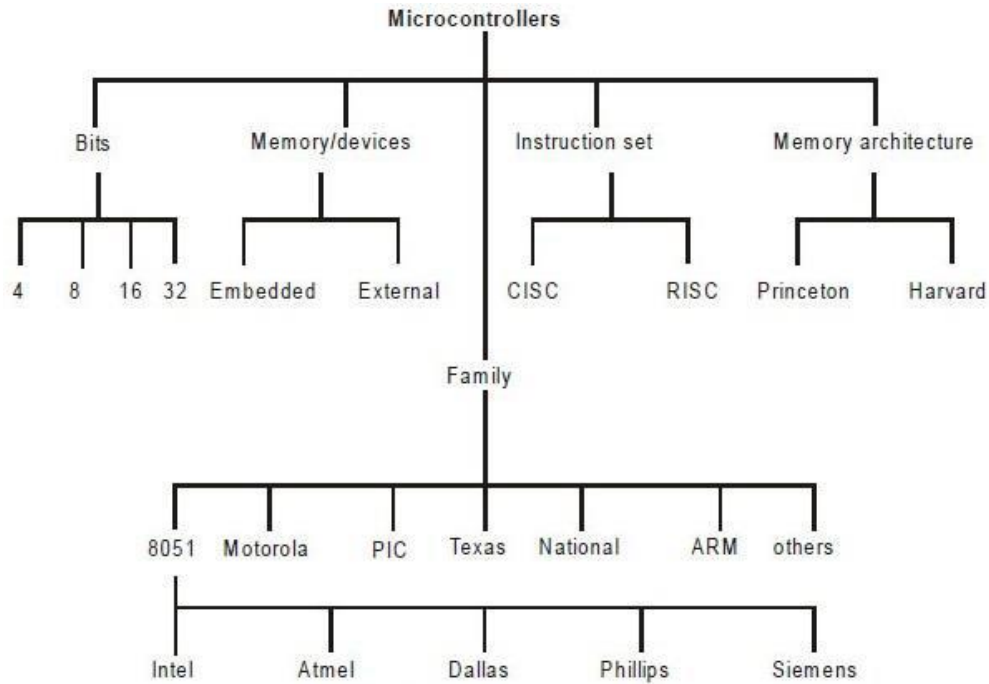
Εικόνα 89 Ανεμοδείκτης Δίσκου Grey

Κεφάλαιο 12 Μικροελεγκτές

Οι μικροελεγκτές συχνά ορίζονται ως ένας μίνι πλήρης υπολογιστής σε ένα ενιαίο ολοκληρωμένο κύκλωμα.. Στον πυρήνα τους, οι μικροελεγκτές έχουν έναν μικροεπεξεργαστή, μία σταθερή ποσότητα μνήμης RAM και ROM και άλλα περιφερειακά όλα ενσωματωμένα σε ένα ολοκληρωμένο. Σήμερα, αρκετοί κατασκευαστές παράγουν μικροελεγκτές με ένα ευρύ φάσμα δυνατοτήτων και είναι διαθέσιμα σε διάφορες εκδόσεις. Κάποιοι από τους κατασκευαστές είναι η ATMEL, η Microchip, η Freescale, η Philips, η Motorola κ.α

Οι μικροελεγκτές είναι σχεδιασμένοι για να εκτελούν συγκεκριμένες λειτουργίες όπου η σχέση μεταξύ της εισόδου και της εξόδου είναι προκαθορισμένη. Αναλόγως την είσοδο, ακολουθεί μία συγκεκριμένη επεξεργασία και έτσι παράγεται η έξοδος. Οι μικροελεγκτές ταξινομούνται αναλόγως, το εύρος διαύλου, το

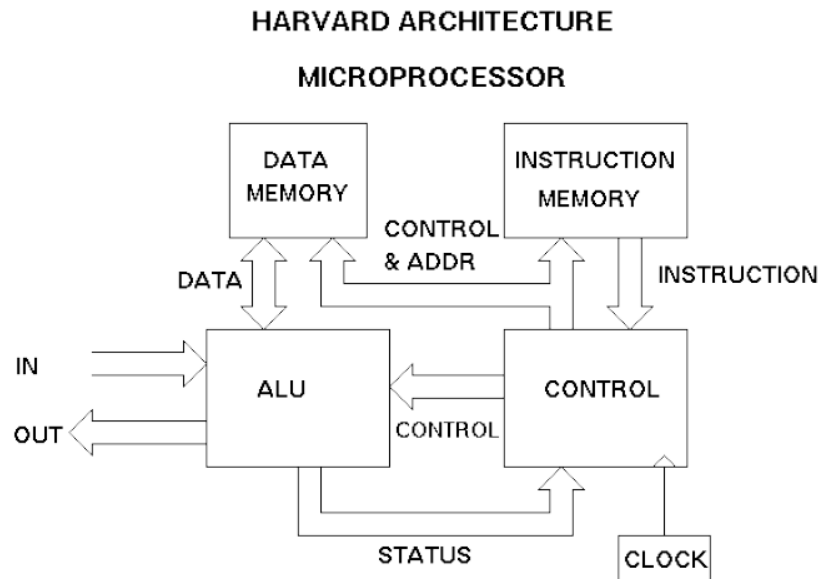
σειε εντολών, την αρχιτεκτονική μνήμης, την γλώσσα προγραμματισμού που χρησιμοποιείται κ.α.



Εικόνα 90 Διάφοροι τύποι μικροελεγκτών

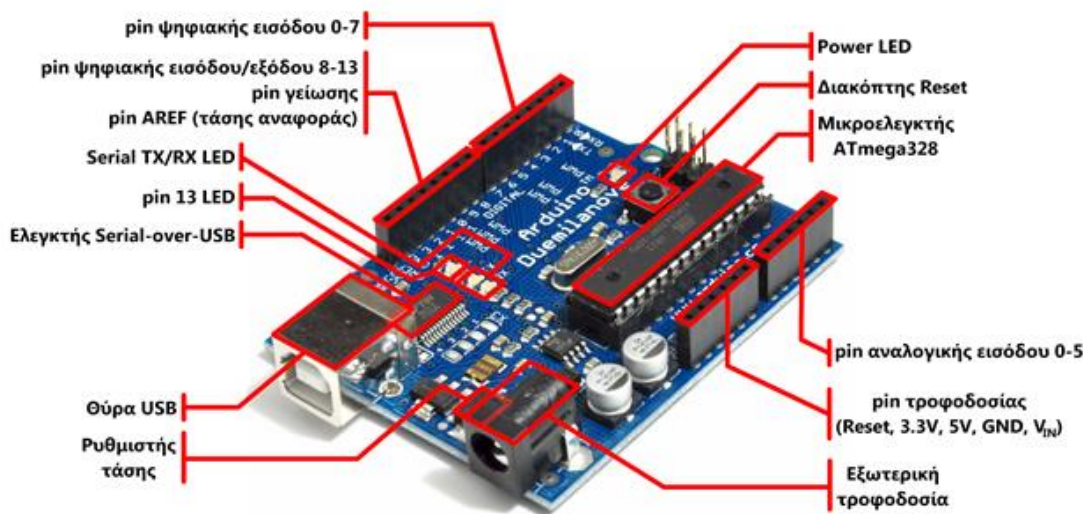
12.1 Τα Χαρακτηριστικά της Αρχιτεκτονικής ενός Μικροελεγκτή

Υπάρχουν κυρίως δύο κατηγορίες επεξεργαστών, με αρχιτεκτονική Von-Neuman (ή Princeton) και αρχιτεκτονική Harvard. Αυτές οι δύο αρχιτεκτονικές διαφέρουν στον τρόπο που γίνεται η αποθήκευση και η προσπέλαση των δεδομένων και του προγράμματος. Η σημερινή τάση είναι υπέρ της λεγόμενης διαμερισμένης κρυφής μνήμης (split cache), όπου οι εντολές βρίσκονται σε μία κρυφή μνήμη και τα δεδομένα σε άλλη. Ο σχεδιασμός αυτός λέγεται και αρχιτεκτονική Harvard. Στην εικόνα 25, παρατηρούμε τον ξεχωριστό δίαυλο για τα δεδομένα και για τις εντολές, πράγμα που επιτρέπει την παράλληλη προσπέλαση. Το κίνητρο που ωθεί τους σχεδιαστές σε αυτή την κατεύθυνση είναι η διαδεδομένη χρήση των μικροεπεξεργαστών με διοχέτευση (pipelined CPU). Η μονάδα προσκόμισης εντολών χρειάζεται να προσπελάζει τις εντολές την ίδια ώρα που η μονάδα προσκόμισης τελεστών χρειάζεται να προσπελάζει τα δεδομένα. Μία διαμερισμένη κρυφή μνήμη, επιτρέπει τις παράλληλες προσπελάσεις, ενώ μία ενοποιημένη δεν τις επιτρέπει. Επίσης αφού οι εντολές κανονικά δεν τροποποιούνται κατά την εκτέλεση, το περιεχόμενο της κρυφής μνήμης εντολών δεν χρειάζεται ποτέ να ξανά γράφεται πίσω στην κύρια μνήμη. Τέλος, να αναφέρουμε πως το ολοκληρωμένο Atmega328 που χρησιμοποιείται στην πλατφόρμα του Arduino βασίζεται στην αρχιτεκτονική Harvard.



Εικόνα 91 Βοηθητικό διάγραμμα της αρχιτεκτονικής Harvard

12.2 Η Υπολογιστική Πλατφόρμα Arduino



Εικόνα 92 Βοηθητικό διάγραμμα της αρχιτεκτονικής Harvard

Το Arduino είναι μία υπολογιστική πλατφόρμα ανοιχτού κώδικα βασισμένη σε μία απλή μητρική πλακέτα με ενσωματωμένο μικροελεγκτή η οποία μπορεί να προγραμματιστεί με τη γλώσσα Wiring, μια παραλλαγή της C/C++ για μικροελεγκτές αρχιτεκτονικής AVR όπως το ATmega, και υποστηρίζει όλες τις βασικές δομές της C καθώς και μερικά χαρακτηριστικά της C++. Θα λέγαμε ότι είναι ένα εργαλείο για να κατασκευάσουμε ένα υπολογιστικό σύστημα με την έννοια ότι αυτό θα ελέγχει συσκευές του φυσικού κόσμου, σε αντίθεση με τον κοινό μας Ηλεκτρονικό Υπολογιστή.

Μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην ανάπτυξη διαδραστικών αντικειμένων, μπορεί να πάρει είσοδο από διάφορους διακόπτες ή αισθητήρες και να ελέγξει φώτα, κινητήρες και άλλες φυσικές εξόδους. Τα project

μπορεί να είναι είτε stand-alone (αυτόνομα), είτε να επικοινωνούν με λογισμικό που τρέχει στον υπολογιστή μας όπως Flash, Processing, MaxMSP. Οι πλακέτες μπορούν να συναρμολογηθούν στο χέρι ή να αγοραστούν έτοιμες. Το περιβάλλον αναπτυξης λογισμικού, το οποίο είναι ανοιχτού κώδικα, μπορεί κάποιος να το κατεβάσει δωρεάν από την επίσημη ιστοσελίδα του Arduino

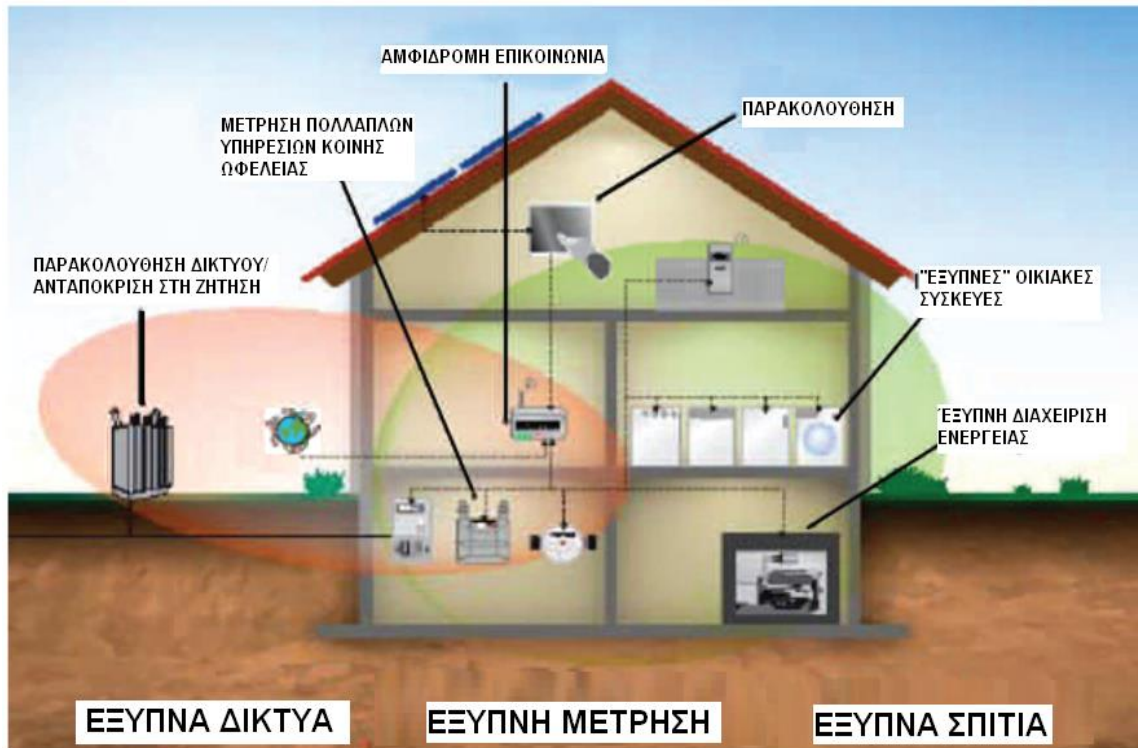
Υπάρχουν αρκετοί μικροελεγκτές διαθέσιμοι στην αγορά.. Κάποιοι από αυτούς είναι ο Basic Stamp της Parallax, ο BX-24 της NetMedia, το Handyboard του MIT, και πολύ άλλοι οι οποίοι προσφέρουν παρόμοιες δυνατότητες. Όλα αυτά τα εργαλεία είναι απλά και για τον αρχάριο χρήστη καθώς «κρύβουν» τις δύσκολες λεπτομέρειες της αρχιτεκτονικής και επιτρέπουν τον άμεσο προγραμματισμό του μικροελεγκτή, προσφέροντας τα πάντα σε ένα και μόνο «πακέτο» έτοιμο για χρήση. Το Arduino διαφέρει από τους προηγούμενους γιατί απλοποιεί την διαδικασία να δουλεύει κάποιος με μικροελεγκτές, αλλά κάποια πλεονεκτήματα που προσφέρει σε σχέση με άλλους μικροελεγκτές για χρήση είναι τα παρακάτω :

- Τρέχει σε διάφορα Λειτουργικά Συστήματα. Οι μηχανικοί λογισμικού, ανέπτυξαν το περιβάλλον προγραμματισμού του Arduino για Windows, Macintosh OSX και για λειτουργικά συστήματα Linux. Τα περισσότερα συστήματα ανάπτυξης μικροελεγκτών περιορίζονται στα Windows.
- Έχει απλό, ξεκάθαρο προγραμματιστικό περιβάλλον
- Είναι ανοιχτού λογισμικού και λογισμικού που επεκτείνεται και παραμετροποιείται. Το Software του Arduino διανέμεται με την μορφή εργαλείων ανοιχτού λογισμικού και είναι διαθέσιμο προς επέκταση για έμπειρους προγραμματιστές. Η γλώσσα προγραμματισμού του μπορεί να επεκταθεί διαμέσου των βιβλιοθηκών της C++.
- Είναι επεκτάσιμη πλατφόρμα υλικού Το Arduino βασίζεται στους μικροελεγκτές της Atmel ATMEGA8, ATMEGA168 και πλέον στο ATMEGA328. Τα σχηματικά για τα αναπτυξιακά είναι κάτω από την άδεια της Creative Commons, επιτρέποντας σε έμπειρους σχεδιαστές να κατασκευάσουν το δικό τους αναπτυξιακό, εξελίσσοντας το ήδη υπάρχον χωρίς να έχουν νομικά προβλήματα.

12.3 Έξυπνο Σπίτι (Smart Home)

Ο Αυτοματισμός στη ζωή μας Το σύνολο των αυτοματισμών που επιτρέπουν την εξελιγμένη κεντρική διαχείριση και τον τεχνολογικά προηγμένο έλεγχο κτιριακών συστημάτων, είτε μιλάμε για μια κατοικία, είτε για έναν επαγγελματικό χώρο, ονομάζεται συνήθως «έξυπνο σπίτι» «έξυπνο κτίριο» ή αλλιώς «smart home». Τι εννοούμε όμως, όταν λέμε ότι ένα σπίτι διαθέτει δείκτη νοημοσύνης; Κυρίως αυτό σημαίνει, ότι χρησιμοποιώντας διάφορα αισθητήρια και μικροελεγκτές στις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις, η διαχείριση γίνεται

όσο το δυνατόν πιο αυτοματοποιημένη και βασίζεται σε αρχές αυτοματισμού, τηλεχειρισμού, χρονοπρογραμματισμού, οπτικοποίησης κ.τ.λ.



Εικόνα 93 Έξυπνο Σπίτι (Smart Home)

Τα «έξυπνα κτίρια» αναλαμβάνουν από μόνα τους πρωτοβουλίες, όπως να ρυθμίσουν την εσωτερική θερμοκρασία του χώρου, να κλείσουν την κεντρική θέρμανση ή τον κλιματισμό όταν έχει ξεχαστεί ανοιχτό κάποιο παράθυρο, να ανεβάσουν μόνα τους τις τέντες όταν φυσάει πολύ, να προσομοιώσουν κάποια λειτουργία στο κτίριο π.χ. ανοιγοκλείνοντας τα φώτα και τα ρολά, ώστε να αποθαρρύνουν τους διαρρήκτες κατά την απουσία των ιδιοκτητών ή απλά να 65 τους ενημερώσουν για την κατάσταση του κτιρίου μέσω κινητού τηλεφώνου ή Internet όσο αυτοί βρίσκονται μακριά. Το γεγονός είναι, ότι η ποιότητα φωτισμού, η σκίαση, η θερμική άνεση, το υγιές περιβάλλον, οι τηλεχειρισμοί, ο κλιματισμός, η πισίνα, τα ρολά, τα ηχητικά συστήματα, το τηλεφωνικό δίκτυο αποτελούν βασικά συστατικά του ίδιου οικιακού συστήματος. Ζητούμενο είναι πάντα η εξασφάλιση υγιεινής και ευχάριστης διαβίωσης. Ένα «έξυπνο σπίτι» μας επιτρέπει, όταν είμαστε μέσα να ενεργούμε εύκολα, χωρίς να πηγαينوερχόμαστε στους χώρους για να προσαρμόσουμε κάποια λειτουργία. Όλα τα συστήματα μπορούν να ελέγχονται εύκολα από μια οθόνη αφής, έναν απλό διακόπτη τοίχου ή ένα τηλεχειριστήριο. Ένα κτίριο με δείκτη νοημοσύνης επιτρέπει να ελέγχονται οι λειτουργίες του από μακριά μέσω τηλεφώνου ή διαδικτύου, τόσο εύκολα σαν να είμαστε εκεί. Σίγουρα αυτή η δυνατότητα δεν ανήκει πλέον στη σφαίρα της φαντασίας, αλλά ανήκει στην καθημερινότητα μας. Ο αυτοματισμός είναι το

πεδίο της επιστήμης και της τεχνολογίας, που ασχολείται με αυτά ακριβώς τα φαινόμενα. Ασχολείται ουσιαστικά με την επιβολή μιας επιθυμητής συμπεριφοράς στα φαινόμενα. Το αντικείμενο του αυτοματισμού είναι γενικό και πολύπλευρο.

Κεφάλαιο 13. Βιβλιογραφία

1. Ν. Μάργαρης, Ανάλυση Ηλεκτρικών Κυκλωμάτων, Τόμοι Α και Β, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, 2000.
2. Hayt & Kemmerly, Ανάλυση Ηλεκτρικών Κυκλωμάτων, 4η Έκδοση, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, 1991.
3. Ηλεκτρικά Μετρήσεις, Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, Ν. Κουσουλας, 2013
4. Ηλεκτρικές Μετρήσεις, Φ. Ι. Δημόπουλος, 1978
5. Ηλεκτρικές Μετρήσεις, Θεωρία και Εφαρμογή, Β. Δ. Μπιτζιώνης, Εκδ. ΤΖΙΟΛΑ 1997
6. Ηλεκτρικές Μετρήσεις, Μ Αρχοντάκης, Εκδ. ΙΩΝ, 1981

8. Σημειώσεις Εργαστηρίου Ηλεκτρικών Μετρήσεων Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών Τ.Ε. ΤΕΙ Κρήτης, Φ. Παπαθεοχάρης, 2009
9. Σημειώσεις Εργαστηρίου Ηλεκτρονικών Ι Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών Τ.Ε. ΤΕΙ Κρήτης, Ε. Κυμάκης, 2014
10. Τεχνολογία Αισθητηρίων, Πανεπιστημιακές Σημειώσεις Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε., Σφακιωτάκης Μιχαάλης, 2014
11. Elgar P. "Αισθητήρες μέτρησης και ελέγχου", 2000.
12. Electronic Instrumentation and Measurement Techniques, W. Cooper, A. Helfrick.
13. An Introduction to Electrical Instrumentation and Measuring Systems, B. Gregorn
14. <https://www.arduino.cc/>