



Τεχνικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης

Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών

Τμήμα Ηλεκτρολογίας

Πτυχιακή εργασία:

Ανάπτυξη εργαστηριακών ασκήσεων για το εργαστήριο Α.Η.Κ.Μ.

Σπουδαστής: Μπούσαϊ Αρτάν Α.Μ. 4038

Εισηγητής: Δημήτρης Πουλής - Καθηγητής Εφαρμογών

Υπεύθυνος εργαστηρίου:

Δημήτρης Πουλής
Καθηγητής Εφαρμογών

Αθήνα 2014

Σημειώσεις εργαστηρίου:

Αρχές Ηλεκτρικών Κυκλωμάτων και Μετρήσεων

Πτυχιακή εργασία:

Μπούσαϊ Αρτάν – Σπουδαστής τμήματος ηλεκτρολογίας Α.Μ. 4038

Επιβλέπων:

κ. Δημήτρης Πουλής – Καθηγητής Εφαρμογών

Το παρόν αποτελεί προϊόν πτυχιακής εργασίας που εκπονήθηκε το διάστημα 2013 - 2014 με τίτλο «*Ανάπτυξη εργαστηριακών ασκήσεων για το εργαστήριο Α.Η.Κ.Μ.*».

Η πτυχιακή αυτή εργασία έχει ως αντικείμενο τη συστηματοποίηση και ενιαία διάταξη εργασιών των εργαστηριακών ασκήσεων του μαθήματος Αρχές Ηλεκτρικών Κυκλωμάτων και Μετρήσεων.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, με οποιοδήποτε τρόπο, για εμπορικό σκοπό.

Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, αν διατηρείται το παρόν μήνυμα.

Αυτό το σύγγραμμα δεν εκφράζει την άποψη του διδάσκοντα και σε καμία περίπτωση δεν εκφράζει απόψεις του *T.E.I. Κρήτης*.

Σημειώσεις εργαστηρίου:

Αρχές Ηλεκτρικών Κυκλωμάτων και Μετρήσεων

Υπεύθυνος εργαστηρίου:

Δημήτρης Πουλής
Καθηγητής Εφαρμογών

Αθήνα 2014

Πίνακας περιεχομένων

Εισαγωγή στο μάθημα.....	17
Περιεχόμενο και εκπαιδευτικοί στόχοι του μαθήματος.....	18
Πόροι, υλική υποδομή εργαστηρίου.....	19
Μέθοδος και Πολιτική αξιολόγησης.....	19
Προαιρετικές ασκήσεις.....	20
Κανόνες λειτουργίας και ασφάλειας του εργαστηρίου.....	21
Εξοικείωση με το εργαστήριο.....	21
Καταμερισμός δυναμικού στο εργαστήριο.....	21
Αρμοδιότητες που έχει ο υπεύθυνος κάθε ομάδας.....	21
Κανονισμός λειτουργίας του εργαστηρίου.....	22
Κανονισμός ασφαλείας του εργαστηρίου.....	24
Κίνδυνοι μέσα σε μία ηλεκτρική εγκατάσταση.....	24
Διατάξεις ασφαλείας στο εργαστήριο.....	25
Άσκηση 1.....	27
Εισαγωγή σε μονάδες, σφάλματα, μεγέθη.....	27
Σύνταξη εργαστηριακής αναφοράς.....	27
1.1 Εισαγωγή.....	29
1.2 Μονάδες φυσικών μεγεθών και το Διεθνές Σύστημα (S.I. - System International).....	29
1.3 Μονάδες ηλεκτρικών μεγεθών.....	30
1.3.1 Έργο.....	30
1.3.2 Ενέργεια.....	31
1.3.3 Ηλεκτρική ενέργεια.....	31
1.3.4 Το ηλεκτρικό φορτίο.....	31
1.3.5 Νόμος του Coulomb.....	32
1.3.6 Ηλεκτρικό πεδίο.....	32
1.3.7 Ηλεκτρικό ρεύμα – ηλεκτρικό πεδίο ροής.....	32
1.3.8 Ηλεκτρική ισχύς.....	33
1.3.9 Τάση και δυναμικό.....	33
1.4 Πρόθεμα - πολλαπλάσια και υποπολλαπλάσια μονάδων.....	33
1.5 Σημαντικά ψηφία - ακρίβεια στις πράξεις.....	35
1.6 Σφάλματα.....	35
1.7 Είδη σφαλμάτων.....	36
1.7.1 Συστηματικά σφάλματα.....	36
1.7.2 Τυχαία ή στατιστικά σφάλματα.....	37
1.7.3 Απόλυτο και σχετικό σφάλμα.....	37

1.8	Διάκριση των ηλεκτρικών μετρήσεων.	37
1.9	Προετοιμασία της εργαστηριακής άσκησης.....	38
1.10	Σύνταξη εργαστηριακής αναφοράς.	38
1.11	Εργαστηριακή άσκηση.	42
1.12	Ερωτήσεις.....	46
Άσκηση 2	49
Όργανα μέτρησης στο εργαστήριο.....		49
2.1	Εισαγωγή.....	51
2.2	Όργανα ηλεκτρικών μετρήσεων.	51
2.2.1	Διαχωρισμός ως προς το σύστημα μέτρησης.....	52
2.2.2	Διαχωρισμός ως προς την αρχή λειτουργίας και κατασκευής.	52
2.3	Σύμβολα κυκλωμάτων και ηλεκτρικών οργάνων.	56
2.4	Ακρίβεια των ηλεκτρικών οργάνων.	58
2.5	Έννοιες και χαρακτηριστικά που αφορούν στην ακρίβεια των ηλεκτρικών οργάνων.....	59
2.6	Ηλεκτρονικά όργανα μέτρησης.	64
2.7	Ψηφιακά όργανα μέτρησης.....	66
2.7.1	Τεχνική ράμπας.....	67
2.7.2	Τεχνική διπλής ράμπας (κλίσης).....	67
2.7.3	Τεχνική διαδοχικών προσεγγίσεων.	67
2.7.4	Προδιαγραφές και χαρακτηριστικά ψηφιακών οργάνων.	68
2.7.5	Σύγκριση αναλογικών και ψηφιακών οργάνων.....	69
2.8	Γενικότερα για τις μετρήσεις με όργανα.	69
2.9	Εργαστηριακή άσκηση.....	71
2.10	Ερωτήσεις.....	73
Άσκηση 3	77
Σύνθεση κυκλωμάτων και μέτρηση ηλεκτρικών μεγεθών.		77
3.1	Εισαγωγή.....	79
3.2	Εισαγωγή στα ηλεκτρικά κυκλώματα - Βασικοί ορισμοί.....	79
3.3	Ηλεκτρικές πηγές.	80
3.3.1	Ιδανική πηγή τάσης και Πραγματική πηγή τάσης.	80
3.3.2	Ιδανική πηγή ρεύματος και Πραγματική πηγή ρεύματος.	81
3.4	Σύνδεση Αντιστάσεων σε σειρά.....	81
3.5	Σύνδεση αντιστάσεων παράλληλα.	82
3.6	Σύνθετη ή μεικτή σύνδεση αντιστάσεων.....	84
3.7	Τάση και δυναμικό.....	86
3.8	Μέτρηση ηλεκτρικής τάσης - διαφοράς δυναμικού.	86
3.9	Το ηλεκτρικό ρεύμα.	87

3.10	Μέτρηση της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος.....	89
3.11	Ηλεκτρική ισχύς και ηλεκτρική ενέργεια.....	90
3.12	Εργαστηριακή άσκηση.....	92
3.13	Ερωτήσεις.....	96
Άσκηση 4.....		101
Νόμος του <i>Ohm</i> (Ω) και κανόνες του <i>Kirchhoff</i> (Κίρχοφ).....		101
4.1	Εισαγωγή.....	103
4.2	Ηλεκτρική αντίσταση - Ειδική ηλεκτρική αντίσταση.....	103
4.3	Αγωγιμότητα - Ειδική αγωγιμότητα.....	104
4.4	Θερμικά αποτελέσματα του ρεύματος.....	104
4.5	Μεταβολή της αντίστασης με την θερμοκρασία.....	104
4.6	Νόμος του Ω (<i>Ohm</i>).....	105
4.7	Μέτρηση ηλεκτρικής αντίστασης.....	106
4.7.1	Χρωματικός κώδικας.....	107
4.7.2	Μέτρηση αντίστασης με ακρίβεια με χρήση γέφυρας <i>Wheatstone</i>	109
4.7.3	Μέτρηση μεγάλων αντιστάσεων.....	110
4.7.4	Μέτρηση αντιστάσεων με ωμόμετρο.....	111
4.7.5	Μέτρηση αντίστασης ανθρώπινου σώματος με ωμόμετρο.....	112
4.7.6	Μέτρηση αντιστάσεων με αμπερόμετρο και βολτόμετρο.....	113
4.8	Εσωτερική αντίσταση και επέκταση κλίμακας οργάνων.....	114
4.9	Κανόνες του <i>Kirchhoff</i>	117
4.10	Εργαστηριακή άσκηση.....	120
4.11	Ασκήσεις.....	124
Άσκηση 5.....		129
Παλμογράφος και γεννήτρια συχνοτήτων.....		129
5.1	Εισαγωγή.....	131
5.2	Παλμογράφος.....	131
5.2.1	Καθοδικός σωλήνας.....	132
5.2.2	Μηχανισμός απεικόνισης.....	133
5.2.3	Δοκιμαστικά (Probes).....	134
5.2.4	Παλμογράφος διπλής δέσμης.....	135
5.3	Χαρακτηριστικά παλμογράφων - ρυθμιστικά μέσα - ενδείξεις.....	135
5.4	Εναλλασσόμενες κυματομορφές.....	137
5.5	Διαφορά φάσης ανάμεσα σε δύο ηλεκτρικά μεγέθη.....	139
5.6	Μετρήσεις με τον παλμογράφο.....	140
5.6.1	Πρώτες ρυθμίσεις του παλμογράφου - προετοιμασία.....	140
5.6.2	Βαθμονόμησης οθόνης.....	140

5.6.3	Μέτρηση Συνεχής Τάσης (D.C).....	141
5.6.4	Μέτρηση Εναλλασσόμενης Τάσης (AC).....	142
5.6.5	Μέτρηση συχνότητας.....	143
5.6.6	Μέτρηση διαφοράς φάσης.....	144
5.7	Γεννήτρια συχνοτήτων.....	145
5.8	Εργαστηριακή άσκηση.....	146
5.9	Ερωτήσεις.....	150
Άσκηση 6	153
Φορτία, ηλεκτρικό πεδίο και δυναμικές γραμμές. Πυκνωτές.....		153
6.1	Εισαγωγή.....	155
6.2	Νόμος του Coulomb.....	155
6.3	Το ηλεκτρικό φορτίο, ηλεκτρισμός.....	157
6.3.1	Κβάντωση του φορτίου.....	157
6.3.2	Ελεύθερα ηλεκτρόνια.....	158
6.4	Ηλεκτρική αγωγιμότητα και κατάταξη των υλικών.....	158
6.5	Ηλεκτρικό πεδίο.....	158
6.5.1	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου.....	159
6.5.2	Δυναμικές γραμμές.....	161
6.5.3	Διάφορες μορφές πεδίων.....	162
6.5.4	Ηλεκτρικό πεδίο και δυναμική ενέργεια.....	163
6.5.5	Δυναμικό.....	164
6.5.6	Δυναμικό ηλεκτροστατικού πεδίου <i>Coulomb</i>	164
6.5.7	Διαφορά δυναμικού.....	165
6.6	Πυκνωτές.....	166
6.6.1	Επίπεδος πυκνωτής.....	166
6.6.2	Φόρτιση και εκφόρτιση.....	167
6.6.3	Χωρητικότητα πυκνωτή.....	168
6.6.4	Χωρητικότητα πυκνωτή με παράλληλους οπλισμούς.....	168
6.6.5	Χωρητικότητα κυλινδρικών πυκνωτών.....	169
6.6.6	Τύποι πυκνωτών.....	169
6.7	Μέθοδοι μέτρησης της χωρητικότητας ενός πυκνωτή.....	170
6.7.1	Μέθοδος σταθεράς χρόνου.....	170
6.8	Εργαστηριακή άσκηση.....	173
6.8.1	Εκθετικά κυκλώματα.....	173
6.8.2	Μέτρηση χωρητικότητας επίπεδου πυκνωτή.....	175
6.8.3	Μέτρηση χωρητικότητας κυλινδρικού πυκνωτή.....	176
6.9	Ερωτήσεις.....	177

Άσκηση 7.....	179
Κύκλωμα αντίστασης και πυκνωτή (RC).....	179
7.1 Εισαγωγή.	181
7.2 Σύνδεση πυκνωτών - συστοιχίες πυκνωτών.	181
7.2.1 Σύνδεση πυκνωτών σε σειρά.....	181
7.2.2 Σύνδεση πυκνωτών παράλληλα.	183
7.3 Μεταβατικό φαινόμενο στον πυκνωτή.....	184
7.4 Κυκλώματα αντίστασης - πυκνωτή (R-C).....	185
7.4.1 Εκφόρτιση του πυκνωτή.....	187
7.5 Απόκριση R-C κυκλώματος σε εναλλασσόμενη τάση.	188
7.6 Μέτρηση της χωρητικής αντίστασης.....	191
7.7 Εργαστηριακή άσκηση.....	193
7.8 Ερωτήσεις.	198
Άσκηση 8.....	201
Πηνίο και μαγνητικό πεδίο.....	201
8.1 Εισαγωγή.	203
8.2 Μαγνητικό πεδίο.	203
8.3 Μορφές μαγνητικών πεδίων γύρω από ρευματοφόρους αγωγούς.....	203
8.3.1 Μαγνητικό πεδίο γύρω από ευθύγραμμο ρευματοφόρο αγωγό.....	204
8.3.2 Μαγνητικό πεδίο κυκλικού και σωληνοειδούς αγωγού - πηνίο.....	204
8.4 Ένταση μαγνητικού πεδίου.	205
8.5 Εξισώσεις Maxwell.....	205
8.5.1 Νόμος του Gauss.	206
8.5.2 Νόμος του Gauss για το μαγνητισμό.....	208
8.5.3 Εξισώσεις Faraday, νόμος της επαγωγής.	209
8.5.4 Νόμος του Ampère (Αμπέρ).	210
8.6 Μαγνητική ροή.	213
8.7 Νόμος του Lenz.....	213
8.8 Η δύναμη του Lorentz.....	215
8.9 Μαγνητικό πεδίο ρευματοφόρου αγωγού.	216
8.10 Μαγνητική επαγωγή.....	216
8.11 Η.Ε.Δ. από αυτεπαγωγή (Επαγωγή).	217
8.12 Μετατροπή μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική.....	218
8.13 Εργαστηριακή άσκηση.....	220
8.14 Ερωτήσεις.	221
Άσκηση 9.....	223
Κύκλωμα αντίστασης και πηνίου (RL).	223

9.1	Εισαγωγή.....	225
9.2	Σύνδεση πηνίων.....	225
9.2.1	Σύνδεση πηνίων σε σειρά.....	225
9.2.2	Σύνδεση πηνίων παράλληλα.....	226
9.3	Κυκλώματα αντίστασης - πηνίου (R-L).....	227
9.4	Απόκριση R-L κυκλώματος σε εναλλασσόμενη τάση.....	228
9.5	Μέτρηση της επαγωγικής αντίστασης.....	231
9.6	Εργαστηριακή άσκηση.....	232
9.6.1	Διαφορά φάσης.....	232
9.6.2	Φόρτιση πηνίου.....	237
9.7	Ερωτήσεις.....	238
	Άσκηση 10.....	241
	Μετρήσεις στο εναλλασσόμενο ρεύμα.....	241
10.1	Εισαγωγή.....	243
10.2	Μέση και ενεργή τιμή.....	244
10.3	Ισχύς στο εναλλασσόμενο ρεύμα.....	245
10.4	Εναλλασσόμενο ρεύμα σε ωμική αντίσταση.....	246
10.5	Εναλλασσόμενο ρεύμα σε ιδανικό πηνίο.....	247
10.6	Εναλλασσόμενο ρεύμα σε ιδανικό πυκνωτή.....	249
10.7	Μετρήσεις για εναλλασσόμενο ρεύμα.....	251
10.8	Όργανα εναλλασσόμενου ρεύματος.....	251
10.9	Εργαστηριακή άσκηση.....	252
10.10	Ερωτήσεις.....	253
	Παράρτημα I.....	255
	Πώς εισάγουμε πρόθεμα για μονάδες στο Casio fx – 82SX.....	255
	Παράδειγμα εκτίμησης σφάλματος μέτρησης.....	256
	Πράξεις με πολλαπλάσια και υποπολλαπλάσια μονάδων.....	256
	Παράρτημα II:.....	259
	Γενικές οδηγίες σύνταξης εργαστηριακών ασκήσεων και τεχνικών μελετών.....	259
	Βιβλιογραφία.....	265

Για τον σπουδαστή από σπουδαστή.

Συγχαρητήρια για την μεγάλη προσπάθεια και την επιτυχία σου για εισαγωγή στη τριτοβάθμια εκπαίδευση. Θα ήθελα με τη σειρά μου να σου παραθέσω κάποια ζητήματα που αφορούν στις σπουδές γενικότερα και στη τριτοβάθμια εκπαίδευση.

Το διάστημα που γράφονται αυτές οι σειρές έχουν επέλθει μεγάλες αλλαγές σε κάθε βαθμίδα της παιδείας γενικότερα και όχι μόνο. Η ιστορία "δεν" θα δείξει γιατί ήδη έχει κάνει ορατό το μέλλον εδώ και πολλά χρόνια. Το μέλλον αυτό προδιαγράφεται με όλο και ποιο εμπορευματικές σχέσεις. Αν έχεις σπουδάσεις, αλλιώς ψευτο-κατάρτιση. Πώς θα έπρεπε να είναι ή τι πρέπει να αναζητήσουμε σαν επόμενη γενιά της βάρδιας της τάξης των εργατών; Πρέπει να απαντήσουμε στο τι πρέπει να κάνουμε ως σπουδαστές και αυριανοί εργαζόμενοι.

Σκοπός και μέτρο της προόδου της Ανώτατης Εκπαίδευσης είναι η συμβολή της στη γενική ευημερία, στην απαλλαγή της ανθρώπινης ζωής από το μόχθο, τη στέρηση, την άγνοια και τις προκαταλήψεις και αυτός είναι ο σκοπός της επιστήμης που τα πανεπιστήμια οφείλουν να υπηρετούν. Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, τελειώνοντας τις σπουδές σου θα είσαι ένας μηχανικός. Δηλαδή, αυτός που θα «μηχανεύει» λύσεις. Η επιστήμη, σαν προϊόν της εργασίας χιλιάδων επιστημόνων και στοχαστών μέσα στους αιώνες, είναι κοινωνικό δημιούργημα και κοινωνική ιδιοκτησία. Κανείς δεν επιτρέπεται να την εκμεταλλεύεται και να την ιδιοποιείται για όφελος ατομικό. Θυμηθείτε τι είπε ο Νεύτωνας σχετικά με το θέμα αυτό "Είδα μακριά γιατί πάτησα σε πλάτες γιγάντων".

Για να εκπληρώσει την κοινωνική της αποστολή, η Ανώτατη Εκπαίδευση πρέπει να διαθέτει στο σύνολό της το υψηλότερο δυνατό επιστημονικό επίπεδο. Χρειάζεται δηλαδή να είναι ενιαία, με ισότιμα ιδρύματα που δεν ανταγωνίζονται, αλλά συνεργάζονται. Εχθρό τους δεν έχουν τα άλλα ιδρύματα, αλλά τους καταναγκασμούς της φυσικής και κοινωνικής πραγματικότητας. Φιλοδοξία τους δεν είναι η εξουδετέρωση του αντιπάλου για να επιβιώσουν ή να ανέβουν στο βάθρο της «αριστείας», αλλά η συνένωση των επιστημονικών τους δυνάμεων για την καταπολέμηση αυτών των καταναγκασμών.

Το στοιχείο που διακρίνει αυτή από τις προηγούμενες βαθμίδες είναι η έρευνα, η παραγωγή νέας γνώσης και όχι μόνον η αναπαραγωγή της παλιάς. Είναι το *ειδοποιό* χαρακτηριστικό της Ανώτατης Εκπαίδευσης. Τα αποτελέσματα της ερευνητικής δουλειάς πρέπει να είναι ελεύθερα και ανοιχτά στον καθένα, για να μπορεί η επιστήμη να προχωρά ανεμπόδιση από τα διάφορα νομικά σύνεργα κατοχύρωσης του μονοπωλιακού ελέγχου της (*πατέντες, άδειες εκμετάλλευσης, ιδιωτικά συμβόλαια κλπ.*). Προπαντός όμως η ελεύθερη διάδοση της επιστήμης είναι αναγκαία για να εμποδιστεί η μονοπωλιακή εκμετάλλευσή της και τα θαυμαστά επιτεύγματά της στην ιατρική, στη βιολογία, στη φαρμακευτική και τους άλλους τομείς, να γίνουν προσιτά σε όλο το λαό και όχι μόνο στους λίγους που μπορούν να τα ακριβοπληρώνουν.

Θεμελιώδης όρος για την επιστημονική υπόσταση των ανώτατων ιδρυμάτων - μαζί με την έρευνα - είναι η διαφύλαξη του επιστημονικού αντικείμενου σπουδών. Σε καμία περίπτωση δεν μπορεί να ανήκουν στην Ανώτατη Εκπαίδευση τα διάφορα προγράμματα ασυνάρτητων μαθήσεων που κατασκευάζει η αγορά και τα αποκαλεί «*γνωστικά αντικείμενα*», ενώ η δική τους συμμαχία, η ΕΕ, «*διεπιστημονικότητα*»! Η εξέλιξη της επιστήμης σε συνδυασμό με τις κοινωνικές ανάγκες είναι οι παράγοντες που πρέπει να καθορίζουν το αντικείμενο των σπουδών και όχι οι εκμεταλλευτικές ανάγκες των επιχειρήσεων για ευέλικτο εργατικό δυναμικό μιας χρήσης. Και όλα αυτά γιατί η επιστημονική γνώση δεν μπορεί ποτέ να είναι προσαρμοσμένη στις εφήμερες ανάγκες της αγοράς, γιατί η επιστήμη είναι η αδιάκοπη προσπάθεια του ανθρώπου να γνωρίσει τα πιο σταθερά και ανθεκτικά στο χρόνο στοιχεία της πραγματικότητας, τις εσωτερικές σχέσεις και τους νόμους που την

κυβερνούν. Η «κατάρτιση», που καλούνται σήμερα να υπηρετήσουν τα Πανεπιστήμια και τα ΤΕΙ, δεν έχει καμία θέση στην Ανώτατη Εκπαίδευση γιατί δεν είναι επιστημονική γνώση, αλλά ένα εμπόρευμα που σαν τ' άλλα εμπορεύματα φθίρεται και χάνει την αξία της, μετατρέποντας τους αποφοίτους σε ισόβιους γυρολόγους των καταρτίσεων και της ψευτοαπασχόλησης .

Η καλλιέργεια επιστημονικής κοσμοθεωρητικής αντίληψης και διαλεκτικού τρόπου σκέψης αποτελεί επίσης βασικό μέλημα της Ανώτατης Εκπαίδευσης. Ιδιαίτερα στην εποχή μας που η τεράστια συσσώρευση γνώσης καθιστά αδύνατη την κατάκτησή της από τον μεμονωμένο επιστήμονα κι ερευνητή, η ανάπτυξη επιστημονικής κοσμοαντίληψης είναι καθοριστικός όρος για να μπορεί ο κάθε επιστήμονας να ξεπεράσει τις διαχωριστικές γραμμές του καταμερισμού του, να δει πέρα από το στενό ορίζοντα του αντικειμένου του τον κόσμο ενιαία, σαν ολότητα, στην κίνηση και στην αλληλεξάρτησή του, όπως πραγματικά είναι .

Η ανταπόκριση των πανεπιστημίων στην κοινωνική τους αποστολή δεν είναι θέμα μηχανισμών επιθεώρησης και μέτρων συμμόρφωσης, που εύσχημα αποκαλούνται «αξιολόγηση» και «κοινωνική λογοδοσία». Πρώτα και κύρια είναι ζήτημα μιας άλλης, συλλογικής οργάνωσης και προγραμματισμού της παραγωγής και της κοινωνίας. Από τη στιγμή που η κοινωνία θα θέτει συλλογικά τους στόχους της, θα πάψει ο έλεγχος του βαθμού εκπλήρωσής τους να είναι μια διαδικασία καταναγκαστική, όπως γίνεται σήμερα, που οι στόχοι καθορίζονται από το συμφέρον της ολιγαρχίας του πλούτου και είναι αντίθετοι και εχθρικοί προς τη μεγάλη πλειονότητα των πανεπιστημιακών, των φοιτητών - σπουδαστών και του λαού.

Σε μια τέτοια προοπτική η πανεπιστημιακή κοινότητα μαζί με την εργατική τάξη και το λαό, όντας συμμετέχοντες στον κοινωνικό σχεδιασμό, θα νιώθουν δική τους υπόθεση την υλοποίησή όλων των παραπάνω. Επομένως, ο αγώνας για την ανασυγκρότηση στην Ανώτατη Εκπαίδευση συνδέεται με τον αγώνα για την ανασυγκρότηση όλης της κοινωνίας. Η ενιαία πάλη για μια άλλη εξουσία, που θα κατευθύνεται από το λαό και προς το λαό, είναι ο μόνος τρόπος για να απελευθερωθούν οι ανεξάντλητες δυνατότητες που έχει η επιστήμη να ανυψώνει την υλική και πνευματική στάθμη όλης της κοινωνίας ανεξαρτήτως.

Χωρίς να μακρηγορήσω άλλο θα ήθελα σε αυτό το σημείο να ευχαριστήσω των επιβλέποντα καθηγητή κ. *Δημήτρη Πουλή*, καθηγητή εφαρμογών, που μου εμπιστεύτηκε ένα τόσο σημαντικό θέμα για πτυχιακή εργασία.

Όλους τους καθηγητές Τ.Ε.Ι. Ηρακλείου Κρήτης και ξεχωριστά τον κ. *Δρ.-Μηχ. Νικόλαος Π. Πολύζος*, τον οποίο θεωρώ μακράν έναν από τους καλύτερους καθηγητές που είχα την τιμή να γνωρίσω. Όπως επίσης και τον κ. *Ιωάννη Καρναβά*.

Όλους τους φίλους και γνωστούς για την αμέριστη αγάπη και συμπαράσταση τους:

Αντώνη Ανδριαδάκη, Χρήστο Μάρκου, Μιχάλη Μαβρουλίδη, Χρήστο Λιάνγκο, Κυριάκο Μουράτη, Γιώργο Καλαϊτζη, Μάνο Κανά, Γλυκερία Τριανταφύλου, Γιάννη Νταγκουνάκη, Γιάννη Ζαχαριουδάκη, Κατερίνα Κουράση, Κατερίνα Πετσάκου, Μιχάλη Σιφουνιό, Αντρέα Κωνσταντινόπουλο, Παναγιώτη Ρούτση, Γιάννη Δράκο, Βαγγέλη Πλακόπουλος, Παναγιώτη Μπαλαμπάνη, Δημήτρη Μάρη,, Δημήτρη Λιοντόγλου, Ορέστη Χαραλαμπάκος, Σταύρο Τσάμη, Κυριάκο Μπουρμπουχάκη, Μαρίνος Ολιτιάνος, Μαρία Σπανού, Αθηνά Πασχάλη, Πέγκυ Μπόκου, Δημήτρη Βουρλιώτη, Άννα Λαγονικού, Κωνσταντίνο Λάμπρου, Μιχάλης Μητσάκος και πολλούς άλλους

Τελευταίους και σημαντικότερους άφησα τους γονείς μου που ήταν ο λόγος που ξεκίνησα και ο λόγος που τελείωσα τις σπουδές μου.

Σαν παιδί βιοπαλαιστών γονιών...

Αφιερώνω τη δουλειά μου αυτή στους γονείς μου, στη πρωτοπόρα νεολαία της τάξης μου....

....και στο Κόμμα της δουλειάς το Κ.Κ.Ε.

*Μη ζηλέψεις να τα μάθεις όλα, μην τελικά δεν μάθεις τίποτα.
Δημόκριτος*

*Όποιος εύκολα πιστεύει στις συκοφαντίες, ή ο ίδιος είναι κακός στο χαρακτήρα, ή έχει μυαλό εντελώς μικρού παιδιού.
Μένανδρος*

*Φόβου τη μισή αλήθεια. Μπορεί να κρατάς τη λανθασμένη μισή.
Αγνώστου*

*Μορφωμένος είναι εκείνος που νιώθει τη χαρά και τη λύπη το ίδιο.
Αριστοτελής*

Εισαγωγή στο μάθημα.

Οι σημειώσεις αυτές απευθύνονται στους σπουδαστές του *Α' εξαμήνου* του τμήματος *Ηλεκτρολόγων Μηχανικών* του *ΤΕΙ Ηρακλείου* και περιέχουν *10* εργαστηριακές ασκήσεις για το εργαστηριακό μάθημα "*Αρχές Ηλεκτρικών Κυκλωμάτων και Μετρήσεων - Α.Η.Κ.Μ.*". Οι εργαστηριακές ασκήσεις πραγματοποιούνται στο εργαστήριο *Ηλεκτρικών Μετρήσεων και Ηλεκτροτεχνίας*, μια φορά την εβδομάδα και η διάρκεια κάθε εργαστηριακής άσκησης καθορίζεται από το πρόγραμμα σπουδών.

Αρχίζοντας γενικά από ένα χώρο που πραγματοποιούνται εργαστηριακά μαθήματα, θα μπορούσαμε να δώσουμε τον ορισμό του ως εξής:

Είναι ο χώρος που είναι κατάλληλα διαμορφωμένος, διαρρυθμισμένος και εξοπλισμένος με τα κατάλληλα όργανα, συσκευές και μηχανήματα, για την πραγματοποίηση εφαρμογών.

Συνεπώς για το ηλεκτρολογικό εργαστήριο θα μπορούσαμε να πούμε ότι είναι ένας κατάλληλα διαμορφωμένος χώρος για την πραγματοποίηση ηλεκτρικών εφαρμογών. Τέτοια εργαστήρια χρησιμοποιούνται όχι μόνο στη διαδικασία «*μαθήτευσης*» επαγγελματιών ηλεκτρολόγων. Ένα ανάλογο εργαστήριο χρειάζεται ένας επιστήμονας ερευνητής για να επαληθεύσει πειραματικά την έρευνα του, διάφορες βιομηχανίες ηλεκτρολογικού υλικού για τον έλεγχο των προϊόντων τους, όπως επίσης και η εταιρίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για την παρακολούθηση της λειτουργίας του δικτύου μεταφοράς αλλά και για την ρύθμιση των οργάνων τους. Σε τέτοιου είδους εργαστήρια που αναφέρονται παραπάνω, εργάζονται ηλεκτρολόγοι κάθε κατηγορίας.

Είναι σημαντικό να γνωρίζουμε ότι με την πρακτική εφαρμογή της θεωρίας του ηλεκτρισμού, ένας ηλεκτρολόγος μηχανικός μπορεί να ελέγχει, να συντηρεί και να προλαβαίνει βλάβες και ατυχήματα που οφείλονται στη χρήση συσκευών, οργάνων, μηχανών και γενικότερα των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων. Οπότε είναι εύκολο να δει κανείς ότι, με την βοήθεια των εργαστηριακών μαθημάτων, θα είσαι ικανός για την ορθή σύνδεση, χρήση, ρύθμιση και συντήρηση πληθώρας βασικών ηλεκτρικών οργάνων, συσκευών και μηχανημάτων.

Με άλλα λόγια, όσο αφορά το συγκεκριμένο εργαστηριακό μάθημα (*Α.Η.Κ.Μ.*), είναι ένα από τα πιο σημαντικά μαθήματα της σχολής μας. Είναι αυτό που λέμε «*Η αρχή είναι το ήμισυ του παντός*». Σε αυτό το μάθημα, κατά την διάρκεια του εξαμήνου και με τη βοήθεια των εργαστηριακών ασκήσεων θα μπορέσεις επίσης να κατανοήσεις και να εμπεδώσεις σημαντικούς θεωρητικούς νόμους και κανόνες του ηλεκτρισμού. Αφετέρου, μιας και ένα από τα σημαντικότερα εισαγωγικά μαθήματα της σχολής, βοηθάει τον σπουδαστή στην ανάπτυξη δεξιοτήτων μέσα από την άμεση επαφή με το πείραμα. Επίσης, αναπτύσσει στον σπουδαστή την κριτική ικανότητα στη λήψη συστηματικών μετρήσεων και το σφάλμα μέτρησης. Γι' αυτό το λόγο μην σταματάς ποτέ να ρωτάς τους υπεύθυνους του εργαστηρίου για οποιαδήποτε απορία σου. Καμιά απορία δεν είναι "*χαζή*".

Για μία πρώτη επαφή με το χώρο του εργαστηρίου, κατά τη διάρκεια του πρώτου μαθήματος θα διεξαχθεί μια σύντομη παρουσίαση του εργαστηριακού εξοπλισμού. Κύριος του σταθερού εξοπλισμού που υπάρχει σε κάθε πάγκο εργασίας.

Πριν προχωρήσουμε παρακάτω, πρέπει να θυμάσαι. Ένας μηχανικός δεν διαχωρίζει στο πόσα μπορεί να αποστηθίσει αλλά στο πώς και πού θα βρει τις κατάλληλες πληροφορίες για να λύσει ένα πρόβλημα.

Περιεχόμενο και εκπαιδευτικοί στόχοι του μαθήματος.

Το μάθημα *A.H.K.M.* εντάχθηκε στο πρόγραμμα σπουδών το 2011 ως εισαγωγικό της θεωρίας κυκλωμάτων. Η εμπειρία πολλών ετών έδειξε πως πολύ σπουδαστές προερχόμενοι από διαφορετικές κατευθύνσεις της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, γενικό και επαγγελματικό λύκειο, αντιμετώπιζαν δυσκολίες στο να καταλάβουν βασικές αρχές στην θεωρία των ηλεκτρικών κυκλωμάτων με ποιο βασικό την σύνθεση κυκλωμάτων και την λήψη μετρήσεων. Τις δυσκολίες αυτές θα προσπαθήσει να αντιμετωπίσει αυτό το εργαστήριο.

Ειδικότερα, το συγκεκριμένο εργαστήριο διεξάγεται με βάση τις παρακάτω στοχεύσεις :

I. Δεξιότητες:

- I. Διαδικασίες και μέτρα ασφάλειας στο εργαστήριο και το επάγγελμα.
- II. Χειρισμός των βασικών οργάνων εργαστηρίου (*πολύμετρο, ψηφιακό και αναλογικό, τροφοδοτικό*).
- III. Σύνθεση κυκλώματος.
- IV. Χειρισμός παλμογράφου και γεννήτριας συχνοτήτων.
- V. Συστηματική λήψη μετρήσεων.
- VI. Συγγραφή εργαστηριακής αναφοράς.
- VII. Προφορική παρουσίαση (-)

II. Αριθμητικές δεξιότητες:

- I. Υπολογισμοί δυνάμεων.
- II. Σωστή χρήση μονάδων (*προθέματα, εφαρμογή στους υπολογισμούς*).
- III. Συσχετισμένη κατανόηση της ακρίβειας, του σφάλματος μετρήσεων, του πλήθους δεκαδικών ψηφίων κατά τους υπολογισμούς, στρογγυλοποίηση.
- IV. Ευχέρεια απλών αριθμητικών υπολογισμών.
- V. Ευχέρεια επίλυσης πρωτοβάθμιων εξισώσεων.

III. Θεμελιακές γνώσεις κυκλωμάτων:

- I. Υπολογισμοί αντιστάσεων.
- II. Νόμος του Ωμ.
- III. Διαίρετης τάσεως – ρεύματος.
- IV. Ισχύς σε ηλεκτρικά κυκλώματα.
- V. Έννοιες και μεγέθη εναλλασσομένου ρεύματος.
- VI. Θεμελιακή παρουσίαση της συμπεριφοράς πηνίων και πυκνωτών.
- VII. Έννοια πεδίου και εξισώσεις *Maxwell* (-)

IV. Αύξηση της συνειδητοποίησης των φοιτητών σε σχέση με τις απαιτήσεις των σπουδών, του επαγγέλματος, του φόρτου εργασίας που απαιτείται. Η ωριμότητα στην προσέγγιση των σπουδών είναι σημαντικότερη από τις τυχόν ελλείψεις σε γνώσεις. Η συνολική διεξαγωγή του μαθήματος συντείνει στην απομάκρυνση από μαθητικές νοοτροπίες και την ανάπτυξη "επαγγελματισμού".

Να σημειώσουμε εδώ ότι, ένας από τους βασικούς λόγους που κάποιος μπορεί να οφείλει την αποτυχία του στο μάθημα είναι η έλλειψη ενδιαφέροντος. Γι' αυτό το λόγο μην "χασομεράς" στη επεξήγηση του θεωρητικού μέρους και γενικότερων λεπτομερών στοιχείων που αφορούν την άσκηση. Είναι εξίσου σημαντικά. Επίσης, αν το μάθημα σου είναι βαρετό είναι προτιμότερο μην ενοχλείς τους άλλους. Βγες για λίγο έξω και ξαναέλα σε λίγα λεπτά. Δεν θα στο απαγορεύσει κανείς.

Στη συνέχεια και επειδή το μάθημα αυτό έχει να κάνει με ηλεκτρισμό, είναι πολύ σημαντικό να αναφέρουμε και τους κανόνες λειτουργίας και ασφαλείας του εργαστηρίου. Η αυστηρή τήρηση των κανόνων αυτών είναι υπόθεση όλων. Η μη τήρηση των κανόνων ασφαλείας ισούται με αποβολή από το εργαστήριο. Ο λόγος είναι ο ποιο απλός κανόνας που θα ισχύει για όλους, ακόμη και όταν αποφοιτήσετε και πάρετε το πτυχίο σας, «*Το ρεύμα ποτέ δεν προειδοποιεί*».

Πόροι, υλική υποδομή εργαστηρίου.

Οι πόροι που διατίθενται στο εργαστήριο για την υλοποίηση των παραπάνω είναι :

- a. Γενικό τεύχος σημειώσεων (και σε ηλεκτρονική μορφή).
- b. Διδασκαλία στον πίνακα.
- c. Φύλλα έργου (10 ασκήσεων για όλο το εξάμηνο).
- d. Υλικά, όργανα, εργαστηριακός χώρος.
- e. Προγράμματα προσομοίωσης και υπολογισμού για διάφορες ασκήσεις (παλμογράφος, υπολογισμοί EP, υπολογισμός Ηλ Πεδίου).

Μέθοδος και Πολιτική αξιολόγησης.

Η αξιολόγηση στο εργαστήριο γίνεται με τεστ (γραπτά, υπολογισμοί σε πρακτικά κυκλώματα), με ατομική αξιολόγηση στον πάγκο, με εργασίες σε συγκεκριμένες ασκήσεις, με τελικό τεστ και δυνατότητα προφορικής εξέτασης.

Η πολιτική αξιολόγησης σε προηγούμενα εξάμηνα ήταν να εξασφαλίσει (όσο είναι δυνατό αυτό αντικειμενικά) ότι οι φοιτητές είχαν κατανοήσει το 70 - 80 % από τις θεμελιακές γνώσεις και στόχους του μαθήματος. Εδώ και αρκετό διάστημα, το βασικό κριτήριο μετακινήθηκε στην ικανότητα των σπουδαστών να παρακολουθήσουν τα μαθήματα που ακολουθούν (κυρίως Θ.Η.Κ. και Ηλεκτρονικά Ι). Οι λόγοι για την μετάπτωση αυτή αφορούν κυρίως τις αντικειμενικές προϋποθέσεις διεξαγωγής του εργαστηρίου και το γενικό εξωτερικό περιβάλλον.

Το εργαστήριο *A.H.K.M.* για τους φοιτητές που το δηλώνουν δεύτερη φορά:

- I. Φοιτητές που έχουν παρακολουθήσει πλήρως το εργαστήριο χωρίς να το περάσουν, έχουν διδαχθεί τις απαιτούμενες δεξιότητες (όργανα κ.λπ.).
- II. Οι κύριοι λόγοι αποτυχίας, είναι ελλείψεις σε γνώσεις υποδομής (βασική φυσική, χειρισμοί απλών υπολογισμών), γενική ανωριμότητα (αταξία, μη συγκροτημένη σκέψη), έλλειψη ενδιαφέροντος.
- III. Η μεγαλύτερη καθυστέρηση (δεύτερη αποτυχία) καταδικάζει τους φοιτητές σε σημαντική απώλεια χρόνου σπουδών.

Με βάση τις παραπάνω παρατηρήσεις, η διεξαγωγή του εργαστηρίου για τους φοιτητές αυτούς πρέπει να ακολουθήσει διαφορετική πορεία:

- I. Οι φοιτητές αναλαμβάνουν συγκεκριμένο έργο που παραδίνουν (*σχεδόν*) κάθε εβδομάδα.
- II. Παραδίνεται στους φοιτητές θεωρητικό υλικό για μελέτη (*από τις σημειώσεις, από άλλα βιβλία, από τις προσομοιώσεις, παραπομπές*) με έλεγχο αποτελέσματος.
- III. Επαναλαμβάνονται με αυτενέργεια των φοιτητών, συγκεκριμένες ασκήσεις στον πάγκο.
- IV. Οι φοιτητές (*με την ευχέρεια του χρόνου που υπάρχει*) παρουσιάζουν τις εργασίες τους.

Ο καθηγητής της θεωρίας του μαθήματος μπορεί να συμπληρώσει το περιεχόμενο που προσδοκά από το εργαστήριο (*π.χ. με αναφορά στο Ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο*).

Προαιρετικές ασκήσεις.

Ειδικά για τις ασκήσεις που είναι υποχρεωτικές για να ολοκληρώσει μέσα σε μια εβδομάδα ο σπουδαστής, μέχρι την πραγματοποίηση του επόμενου εργαστηρίου, θα έχει την δυνατότητα επιλογής ανάμεσα σε κάποιες ασκήσεις προαιρετικές. Η παράδοση τους δεν είναι υποχρεωτική όπως είναι κατανοητό. Μέσω αυτών των ασκήσεων όμως, δίνεται η δυνατότητα να εξασφαλίσει ένας σπουδαστής ένα αυξημένο βαθμό για το τέλος του εργαστηρίου. Το πρόσθετο αυτό ποσοστό θα διαμορφωθεί κάθε εξάμηνο από τον υπεύθυνο του εργαστηρίου σε συνεννόηση με τον διδάσκοντα στο θεωρητικό μέρος του μαθήματος.

Κανόνες λειτουργίας και ασφάλειας του εργαστηρίου.

Εξοικείωση με το εργαστήριο.

Κοιτάξτε γύρω σας το εργαστήριο. Δείτε προς τα πού είναι η έξοδος κινδύνου. Παρατηρήστε και εξοικειωθείτε με τους πάγκους εργασίας. Ζητήστε από τους υπεύθυνους του εργαστηρίου να σας δείξουν τις διατάξεις ασφαλείας. Απαιτήστε να σας εξηγήσουν τι κάνει το κάθε τι. Θα πρέπει να είστε σε ετοιμότητα να αντιδράσετε σωστά σε κάθε τι που θα συμβεί και θα κινδυνεύει η ζωή σας ή κάποιου συνάδελφου στο εργαστήριο. Αύριο θα πρέπει να είσαι το ίδιο ικανός και έτοιμος να το πράξεις κατά την διάρκεια εργασίας σου σε κάποιο χώρο σαν επαγγελματίας. Ακούστε προσεκτικά τους υπεύθυνους του εργαστηρίου όταν θα σας ξεναγήσουν στο εργαστήριο. Είναι πολύ σημαντικό να γνωρίζεται το χώρο εργασίας σας. Προσπαθήστε να εντοπίσετε τα κεντρικά σημεία διακοπής της παροχής ηλεκτρικής τάσης του πάγκου σας. Ακόμη και των γύρω πάγκων.

Ο πάγκος εργασίας είναι αριθμημένος. Αν για οποιοδήποτε λόγο ο αριθμός αυτός έχει σβηστεί τότε ζητά από τον υπεύθυνο να σου πει τον αριθμό. Αν για οποιοδήποτε λόγο χρειαστεί να αδειάσει ο χώρος του εργαστηρίου θα πρέπει με την φωνητική ανάκληση του υπεύθυνου του εργαστηρίου, ανά πάγκο εργασίας να αποχωρείται με τάξη και χωρίς να προκαλούμε τον πανικό, ώστε να μην τραυματιστεί κανείς. Να ξέρετε ότι το αστείο πρέπει να λείπει όταν τα πράγματα γίνονται σοβαρά. Επίσης ο πανικός προκαλεί τα περισσότερα ατυχήματα.

Καταμερισμός δυναμικού στο εργαστήριο.

Για την καλύτερη λειτουργία, πραγματοποίηση και κατανόηση των πειραματικών ασκήσεων προτείνεται ο αριθμός των σπουδαστών ανά πάγκο εργασίας να μην υπερβαίνει τους τρεις (3). Μια ομάδα των τριών ατόμων είναι πιο ευέλικτη και μπορεί αν ανταποκριθεί καλύτερα σε θέματα που αφορούν την άσκηση, στην υλοποίηση, τον καταμερισμό ευθυνών, αλλά και στη συζήτηση και επίλυση των αποριών. Αλλά το πιο σημαντικό είναι θέμα ασφάλειας.

Επίσης θα πρέπει σε κάθε ομάδα να υπάρχει ένας υπεύθυνος σπουδαστής για την ομάδα, ο οποίος θα παραλαμβάνει τα όργανα για την πραγματοποίηση της εργαστηριακής άσκησης και θα τα παραδίδει στο τέλος. Οι ομάδες κατά την διάρκεια της εργαστηριακής άσκησης θα εξετάζονται συλλογικά αλλά και μεμονωμένα. Αν η ερώτηση αφορά όλη την ομάδα, αυτό σημαίνει ότι οι απάντηση σε οποιαδήποτε ερώτηση θα πρέπει να βρίσκει σύμφωνη όλη την ομάδα. Επίσης, για να βοηθηθεί το πνεύμα συνεργασίας και ομαδικότητας, μπορεί μία ομάδα να ζητήσει κάποιο χρονικό διάστημα, έτσι ώστε να μπορέσει να συζητήσει την ερώτηση που τους έγινε και στη συνέχεια να μπορέσει να απαντήσει. Ποτέ μην φοβάσαι να ζητήσεις. Το μόνο σίγουρο είναι ότι δεν έχεις τίποτα να χάσεις. Να κερδίσεις ίσως!

Αρμοδιότητες που έχει ο υπεύθυνος κάθε ομάδας.

Ο σκοπός που επιδιώκουν οι εργαστηριακές ασκήσεις επιτυγχάνεται με την σωστή εκτέλεση τους. Για να επιτευχθεί αυτό πρέπει να υπάρχει τάξη και καλή οργάνωση του εργαστηρίου, τήρηση των κανόνων ασφαλείας και λειτουργίας του εργαστηρίου, ορθή και προσεκτική χρήση των οργάνων και

συσκευών, καθώς επίσης και το πιο σημαντικό απ' όλα, μελέτη του θεωρητικού μέρους κάθε άσκησης και καλή προετοιμασία της άσκησης από την προηγούμενη μέρα.

Για να υπάρξει ένας καλός συντονισμός, καθοδήγηση και σωστή επίβλεψη από τους υπεύθυνους του εργαστηρίου πρέπει ένα εργαστήριο να είναι μοιρασμένο σε ομάδες. Κάθε ομάδα πρέπει να έχει έναν υπεύθυνο κάθε φορά που θα πραγματοποιεί μια εργαστηριακή άσκηση. Όλοι οι σπουδαστές της ομάδας θα αναλάβουν διαδοχικά την θέση αυτή στη διάρκεια του εξαμήνου σύμφωνα με το πρόγραμμα που θα αναρτήσει ο υπεύθυνος καθηγητής του εργαστηρίου. Με τον τρόπο αυτό αναπτύσσεται το αίσθημα της υπευθυνότητας και επιτυγχάνεται η πειθαρχημένη εργασία μέσα στην ομάδα. Επίσης προσελκύει το ενδιαφέρον όλων στην ομάδα.

Οι βασικές αρμοδιότητες που έχει να φέρει εις πέρας ο υπεύθυνος της ομάδας για να επιτευχθούν τα παραπάνω είναι:

- Παραλαμβάνει από τον υπεύθυνο του εργαστηρίου τα όργανα, τις συσκευές και το υλικό που θα χρησιμοποιήσει η ομάδα του στη συγκεκριμένη άσκηση (*συνήθως πρώτη ομάδα*).
- Καθορίζει με την βοήθεια του υπεύθυνου καθηγητή τα καθήκοντα για τα μέλη της ομάδας του σε ότι αφορά την εκτέλεση της άσκησης και επιβλέπει την προετοιμασία της.
- Ειδοποιεί τον υπεύθυνο καθηγητή για τον έλεγχο της συνδεσμολογίας της άσκησης και μόνο μετά την έγκριση του εφαρμόζει τότε και μόνο τότε τάση στο κύκλωμα.
- Αναφέρει στον υπεύθυνο καθηγητή περιπτώσεις κακής λειτουργίας οργάνων ή συσκευών και τυχών αποκλείσεις που μπορεί να εντοπιστούν στις μετρήσεις.
- Μετά το πέρας της άσκησης απ' όλα τα μέλη της ομάδας τακτοποιεί τα όργανα και το πάγκο εργασίας ή επιστρέφει τα όργανα και τις συσκευές που χρησιμοποίησε η ομάδα του στον υπεύθυνο του εργαστηρίου σημειώνοντας ενδεχόμενες βλάβες οργάνων (*συνήθως τελευταία ομάδα*).

Κανονισμός λειτουργίας του εργαστηρίου.

Αρμοδιότητες μέσα στο εργαστήριο έχουμε όλοι. Όπως έχουμε δικαιώματα έχουμε και υποχρεώσεις. Και οι υποχρεώσεις όλων των σπουδαστών απέναντι στο εργαστήριο που θα διατυπωθούν παρακάτω αφορούν στην ομαλή διεξαγωγή του εργαστηρίου και είναι απαραίτητο να τηρηθεί από όλους τους σπουδαστές που παρακολουθούν το εργαστήριο *A.H.K.M.* Είτε αυτό είναι για πρώτη φορά είτε αυτό είναι για δεύτερη είτε...

Ο κανονισμός αυτός είναι πλήρως συμμορφωμένος με τον *εσωτερικό κανονισμό*¹ του *T.E.I. Ηρακλείου Κρήτης* και ισχύει για τα περισσότερα εργαστήρια του τμήματος ηλεκτρολογίας.

- I. Οι σπουδαστές είναι υποχρεωμένοι να έχουν μαζί τους τετράδιο σημειώσεων, βιβλίο, αριθμομηχανή και οτιδήποτε τους είναι απαραίτητο για την υλοποίηση της άσκησης όσο αφορά την γραφιστική ύλη.
- II. Απαγορεύεται αυστηρά η χρήση κινητού τηλεφώνου μέσα στο εργαστήριο για οποιοδήποτε λόγο. Ακόμα κι αν πρόκειται για αριθμητικές πράξεις.
- III. Την ώρα που γίνεται επεξήγηση του θεωρητικού μέρους του μαθήματος δεν αποσπάμε την προσοχή των υπόλοιπων στο εργαστήριο. Δεν ασχολούμαστε επίσης με οτιδήποτε αποσπά την προσοχή ακόμα και την δική μας.
- IV. Η πλήρης παρακολούθηση κάθε εργαστηριακής άσκησης είναι υποχρεωτική για όλους τους σπουδαστές της εκάστοτε εργαστηριακής ομάδας.

¹ Είναι αναρτημένο στην ιστοσελίδα του *T.E.I. Κρήτης* <http://www.teicrete.gr> στην ενότητα *Εκπαίδευση > Σπουδαστικά θέματα > Κανονισμός σπουδών*.

- V. Ο σπουδαστής οφείλει να παρακολουθεί την εργαστηριακή άσκηση μόνο με την ομάδα στην οποία ανήκει και όχι με όποια ομάδα αυτός διευκολύνεται.
- VI. Κάθε σπουδαστής έχει το δικαίωμα να κάνει το πολύ μέχρι δύο (2) απουσίες καθ' όλη τη διάρκεια του εκπαιδευτικού εξαμήνου. Σε περίπτωση που κάποιος σπουδαστής κάνει περισσότερες απουσίες (*χάσει πάνω από δυο εργαστηριακές ασκήσεις ή αν χάσει πάνω από το 15% του εργαστηρίου σύμφωνα με το κανονισμό σπουδών*) δεν έχει δικαίωμα εξέτασης και θα πρέπει να επαναλάβει πλήρως το εργαστήριο.
- VII. Σπουδαστής που έχει κάνει περισσότερες από δύο απουσίες χωρίς σοβαρό και τεκμηριωμένο λόγο, θα θεωρείται ότι «εγκατέλειψε» το εργαστήριο και στις βαθμολογίες αυτό θα διακρίνεται με «Ε». Για να μπορέσει ο σπουδαστής να επαναλάβει την παρακολούθηση του εργαστηρίου, θα πρέπει να υπάρχει σχετική αίτησή του προς το Συμβούλιο του Τμήματος. Περιπτώσεις που η εγκατάλειψη του εργαστηρίου οφείλεται σε σοβαρό και τεκμηριωμένο λόγο, θα εξετάζονται από το Συμβούλιο του Τμήματος ανά περίπτωση.
- VIII. Η χρονική διάρκεια της εργαστηριακής άσκησης είναι δύο ώρες, χωρίς ενδιάμεσο διάλυμα. Καθυστερημένη είσοδο του σπουδαστή στο χώρο του εργαστηρίου θεωρείται ως απουσία. Παρόντες θα θεωρούνται οι σπουδαστές που είναι παρόντες στην ακριβή ώρα έναρξης του εργαστηριακού μαθήματος (π.χ. 8:15 για την ομάδα 8:00 - 10:00).
- IX. Κάθε σπουδαστής οφείλει να έρχεται προετοιμασμένος ως προς τη θεωρία της άσκησης που θα παρακολουθήσει.
- X. Κάθε εργαστηριακή άσκηση μπορεί να ξεκινάει με ολιγόλεπτη εξέταση με σκοπό να διαπιστωθεί ο βαθμός προετοιμασίας των σπουδαστών. Η εξέταση μπορεί να είναι προφορική ή γραπτή και μπορεί να αφορά την προηγούμενη άσκηση, προηγούμενες ασκήσεις ή ακόμα και την τρέχουσα άσκηση. Σε σπουδαστές που θα διαπιστωθεί ότι δεν έχουν προετοιμαστεί κατάλληλα θα ζητείται η αποχώρησή τους από το εργαστήριο και θα παίρνουν απουσία. Ο μέσος όρος των βαθμών που θα λαμβάνουν οι σπουδαστές από τις ολιγόλεπτες εξετάσεις θα μετράει με κάποιο ποσοστό (%) στον τελικό βαθμό. Το ποσοστό αυτό θα το αποφασίζει ο υπεύθυνος καθηγητής.
- XI. Επίσης, κατά την διάρκεια του εξαμήνου θα ζητηθεί από τους σπουδαστές ένας αριθμός εργασιών. Οι εργασίες αυτές θα είναι η εργαστηριακή αναφορά που πρέπει να παραδώσει το αργότερα μετά από μία εβδομάδα από την πραγματοποίηση της εργαστηριακής άσκησης. Μπορεί να είναι επιπλέον εργασίες η οποίες μπορεί και να μην είναι υποχρεωτικές. Σε οποιαδήποτε περίπτωση, εργασίες που θα παραδίδονται καθυστερημένα ή δεν θα παραδίδονται καθόλου θα βαθμολογούνται με μηδέν (0). Ο μέσος όρος του βαθμού των εργασιών θα μετράει σε ποσοστό 50% στη διαμόρφωση του τελικού βαθμού.
- XII. Η τελική εξέταση του εργαστηρίου θα είναι κοινή για όλους και θα αποφασιστεί από τον διδάσκοντα. Θα υπάρχει σχετική ανακοίνωση για το μέρος, την ώρα και τον τρόπο ή τους τρόπους εξέτασης.
- XIII. Οι πιο πάνω κανονισμοί ισχύουν ακόμα και για σπουδαστές που έχουν παρακολουθήσει (*είτε πλήρως, είτε ελλιπώς*) το εργαστήριο κατά το παρελθόν και έχουν ζητήσει με την εγγραφή τους να το επαναλάβουν.
- XIV. Κατά την διάρκεια των εργαστηριακών ασκήσεων πρέπει να συμμετέχουν ενεργά όλα τα μέλη της ομάδας. Ακόμη και κατά την πειραματική διαδικασία και όχι να τα φορτώνουν όλα στον υπεύθυνο της ομάδας τους ή σε αυτόν που ξέρει.
- XV. Κάθε άτομο έχει τον δικό του τρόπο σκέψης και κυρίως τον δικό του τρόπο έκφρασης. Συνεπώς όμοιες εργασίες θεωρούνται προϊόν αντιγραφής και παράβασης του όρου της ατομικής εργασίας και θα μηδενίζονται και οι δύο.
- XVI. Για οτιδήποτε άλλο ζήτημα θα πρέπει να απευθύνεστε στον υπεύθυνο καθηγητή ή να ενημερώνεστε από την ιστοσελίδα του τμήματος ή από το πίνακα ανακοινώσεων έξω από το εργαστήριο. Πάντα θα υπάρχει σχετική ανακοίνωση.

Κανονισμός ασφαλείας του εργαστηρίου.

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, η ύπαρξη τάσης εγκυμονεί κινδύνους όσο αφορά την σωματική ακεραιότητα όλων των παρευρισκόμενων στο χώρο. Για το λόγο αυτό έχουν θεσπιστεί ένα σύνολο από κανόνες ασφαλείας για πολλών ειδών εργαστηρίων. Όσο αφορά ένα ηλεκτρολογικό εργαστήριο θα αναφέρουμε συνοπτικά παρακάτω μέρος αυτών των κανόνων που μας αφορούν. Τους κανόνες αυτούς πρέπει να γνωρίζει και να ακολουθεί πάντα ο οποιοσδήποτε εισέρχεται στο εργαστήριο.

Θέλει μεγάλη προσοχή γιατί η αμέλεια και η απροσεξία συνεπάγεται πιθανό κίνδυνο ηλεκτροπληξίας. Η ηλεκτροπληξία μπορεί να προκαλέσει ανεπανόρθωτες βλάβες μέχρι και το θάνατο.

- I. Η είσοδος των σπουδαστών θα πρέπει να γίνεται φρόνιμα και χωρίς καθυστέρηση.
- II. Κατά την είσοδο μίας στο χώρο του εργαστηρίου δεν έχουμε μαζί μας καφέδες και χυμούς ή ακόμα και μπουκάλι με νερό που δεν έχει καπάκι και υπάρχει ο κίνδυνος να χυθεί.
- III. Εργαζόμαστε στην προκαθορισμένη από την αρχή του εξαμήνου θέση εργασίας και δεν ενοχλούμε τους υπόλοιπους.
- IV. Όταν χρειάζεται να επισημανθεί κάτι (*ίσως κάτι θεωρητικό*) προς όλους τους σπουδαστές, ακόμα κι αν αυτό γίνει κατά την ώρα που έχει ξεκινήσει η εργαστηριακή άσκηση, σταματάμε οποιαδήποτε εργασία και δίνουμε την προσοχή μας στον διδάσκοντα.
- V. Χρησιμοποιούμε τα κατάλληλα όργανα και συσκευές για την εργασία. Αν κάποιο όργανο ή συσκευή παρουσιάζει κάποιο πρόβλημα, τότε ο υπεύθυνος της ομάδας το αναφέρει στον υπεύθυνο καθηγητή. Περιμένουμε υπομονετικά μέχρι ο υπεύθυνος του εργαστηρίου να έρθει κοντά και δεν φωνάζουμε.
- VI. Διατήρησε τα όργανα, τις συσκευές και τα εργαλεία σε καλή κατάσταση, σαν να ήταν δικά σου. Το μόνο σίγουρο είναι ότι θα τα χρειαστείς στα επόμενα εξάμηνα. Και επίσης πρέπει να σεβαστείς ότι και άλλοι συνάδελφοι τα χρειάζονται για να περατώσουν τις εργαστηριακές ασκήσεις τους.
- VII. Μην ενεργείς ποτέ ριψοκίνδυνα. Αυτό βάζει σε κίνδυνο την ζωή σου και των υπολοίπων συναδέλφων σου. Φροντίζουμε η δουλειά μας να είναι σωστή και προσεκτική. Πρέπει να γίνει κατανοητό ότι η απροσεξία δεν δικαιολογείται.
- VIII. Κατά την πραγματοποίηση της συνδεσμολογίας της εργαστηριακής άσκησης, προσέχουμε ώστε τα όργανα και οι συσκευές να είναι τοποθετημένα στο πάγκο εργασίας με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι εύκολος ο χειρισμός και η ανάγνωση των ενδείξεών τους άνετη από όλους.
- IX. Αν δεν είμαστε σίγουροι για κάτι ζητάμε πάντα την βοήθεια των υπόλοιπων συναδέλφων ή ακόμα καλύτερα του υπευθύνου καθηγητή.
- X. Θα πρέπει να έχουμε στο νου μας ότι οποιοδήποτε λάθος μπορεί να κοστίζει από μία καμένη αντίσταση που κοστίζει περίπου 0,01 ευρώ και μπορεί εύκολα να αντικατασταθεί, μέχρι και μία ζωή
- XI. Και το σημαντικότερο απ' όλα, όταν τελειώσουμε την εργασία μας αφήνουμε το μέρος του εργαστηρίου, όπως ακριβώς θα θέλαμε να το βρούμε. Τακτοποιημένο και καθαρό.

Κίνδυνοι μέσα σε μία ηλεκτρική εγκατάσταση.

Οι εγκαταστάσεις κατασκευάζονται πάντα με τέτοιο τρόπο ώστε να ελαχιστοποιείται ο κίνδυνος που απειλεί τις συσκευές αλλά προπάντων τους ανθρώπους. Πέρα από σημαντικούς κινδύνους που

αφορούν κυρίως στη πρόκληση πυρκαγιάς από βραχυκυκλώματα υπάρχουν και σημαντικοί κίνδυνοι που αφορούν την ανθρώπινη παρουσία στο χώρο. Οι σημαντικοί κίνδυνοι είναι δυο.

I. Εγκαύματα στο σώμα λόγω επίδρασης του ηλεκτρικού τόξου.

Αυτό εμφανίζεται συνήθως σε ατυχήματα σε εγκαταστάσεις που επικρατεί τάση μεγαλύτερη από **230 Volt**. Τέτοιες εγκαταστάσεις είναι για παράδειγμα ένας υποσταθμός, οι γραμμές μεταφοράς μέσης τάσης **20/24 KV**, αλλά ακόμα και το εργαστήριο υψηλών τάσεων που θα παρακολουθήσετε σε άλλο εξάμηνο.

II. Επικίνδυνα ρεύματα που ρέουν μέσα από το ανθρώπινο σώμα.

Αυτές μπορούν να προκαλέσουν σοβαρές βλάβες ακόμα και το θάνατο. Αυτός είναι ο κίνδυνος που εμφανίζεται πιο συχνά και αποτελεί την βάση για τα μέτρα προστασίας κατά της ηλεκτροπληξίας.

Η επίδραση του ρεύματος στον άνθρωπο διαμορφώνεται από τους πιο κάτω παράγοντες:

- Ένταση του ρεύματος
- Χρονική διάρκεια
- Συχνότητα ή μορφή του ρεύματος (*E.P.*, *Σ.Ρ.*, *κρουστικό ρεύμα*)
- Δρόμος του ρεύματος δια του σώματος

Ειδικά για το δρόμο δια του σώματος, γνωρίζουμε ότι ο πιο επικίνδυνος δρόμος είναι από το αριστερό χέρι προς ή από άλλες κατευθύνσεις. Με άλλα λόγια οποιοσδήποτε δρόμος περνάει από την καρδιά και μπορεί να της προκαλέσει περιοδική αρρυθμία μέχρι και την μαρμαρυγή, και ταυτόχρονα αυξάνονται και η πιθανότητες θανάτου.

Υπάρχουν και ποιο υποκειμενικοί παράγοντες που συμπροσδιορίζουν το αποτέλεσμα που θα έχει μια ηλεκτροπληξία.

- Υπάρχουν λιγότερο ή περισσότερα ανθεκτικά άτομα
- Η φυσική και ψυχική κατάσταση παίζουν μεγάλο ρόλο

Ειδικά για το δεύτερο, θα αναφερθούμε αργότερα, μιας και είναι υπεύθυνη για την μεταβολή της ηλεκτρικής αντίστασης του ανθρώπινου σώματος.

Διατάξεις ασφαλείας στο εργαστήριο.

Στο εργαστήριο έχουν ληφθεί όλα τα απαραίτητα μέτρα ασφαλείας που επιδεικνύονται για ένα ηλεκτρικό εργαστήριο. Τα μέτρα αυτά έχουν σκοπό την ασφαλή εκτέλεση πειραματικών ασκήσεων. Παρόλα αυτά, θα πρέπει να έχουμε υπόψη μας ένα πολύ σημαντικό παράγοντα. Όλα τα όργανα για την ασφάλεια του εργαστηρίου δεν παύουν να είναι κατασκευασμένες από διακριτά υλικά και μηχανικά μέσα ανταπόκρισης. Αυτό σημαίνει ότι δεν μπορούμε να έχουμε **100%** εμπιστοσύνη σε αυτά. Συνεπώς, θα πρέπει να βάλουμε από πάνω και τη δικιά μας προσοχή και να μην είμαστε αμελείς. Τηρώντας τους κανόνες ασφαλείας και λειτουργίας επιδιώκουμε να επιτύχουμε στο **100%** την ασφάλεια των σπουδαστών και του προσωπικού στο εργαστήριο.

Άσκηση 1

Εισαγωγή σε μονάδες, σφάλματα, μεγέθη.
Σύνταξη εργαστηριακής αναφοράς.

1.1 Εισαγωγή.

Όπως αναλογεί σε μία καλή αρχή, στο πρώτο κεφάλαιο θα δούμε μια συνοπτική και περιεκτική ανασκόπηση κάποιων βασικών εννοιών και ορισμών που έχουμε ακούσει ή έχουμε δει μέχρι τώρα. Η αναφορά σε τέτοιες βασικές έννοιες κρίνεται απαραίτητη για την μελέτη θεωριών ηλεκτρικών κυκλωμάτων ενώ και η κατανόηση τους είναι το ίδιο σημαντική καθώς τα αναφερόμενα στο κεφάλαιο αυτό θα είναι πιλοτικά για την συνέχεια του συγκεκριμένου μαθήματος και όχι μόνο.

Η αναφορά στις μονάδες θα γίνει με έμφαση στα ηλεκτρικά μεγέθη και μονάδες που αφορούν το μάθημα μας και γενικότερα το πεδίο της ηλεκτρολογίας. Σημαντικό κομμάτι θα έχουν τα σφάλματα. Ειδικότερα όσο αυτό αφορά την συστηματική λήψη μετρήσεων και την μεθοδολογία που ακολουθούμε για τη λήψη των μετρήσεων.

Αυτό το μάθημα δεν έχει σκοπό να καλύψει σε πλήρη βαθμό όσο αφορούν τα σφάλματα, τον υπολογισμό, τον εντοπισμό, την μεταφορά καθώς και άλλα σχετικά. Η εμβάθυνση στα προαναφερθέντα είναι αντικείμενο άλλου μαθήματος, για πιο εκτενή αναφορά και μελέτη (π.χ. *στο μάθημα φυσικής στο εργαστήριο*).

Στη συνέχεια θα αναφερθούμε στις απαραίτητες προετοιμασίες για μια εργαστηριακή άσκηση και πως συντάσσουμε την εργαστηριακή αναφορά για την άσκηση που πραγματοποιήσαμε. Η όσο γίνεται καλύτερη σύνταξη μίας τέτοιας αναφοράς αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι του έργου που επιτελεί ένας μηχανικός. Είναι απαραίτητο και αναπόσπαστο εργαλείο του ερευνητή.

1.2 Μονάδες φυσικών μεγεθών και το Διεθνές Σύστημα (S.I. - System International).

Όπως όλοι γνωρίζουμε από το λύκειο ή ακόμα και το γυμνάσιο, οι φυσικές ποσότητες χρησιμοποιούνται για την περιγραφή των φυσικών φαινομένων ή όπως θα λέγαμε «τη ποσοτική περιγραφή ενός φαινομένου». Αυτό επιτυγχάνεται με τις πιο απλές και προσιτές στον άνθρωπο έννοιες, τις θεμελιώδεις ποσότητες. Οι θεμελιώδεις ποσότητες αποτελούν τις βασικές μονάδες ενός συστήματος μέτρησης. Εκτός του *Διεθνούς Συστήματος* υπάρχουν και άλλα συστήματα μέτρησης, τα οποία κατά βάση έχουν αντικατασταθεί από το προαναφερθέν σύστημα, όπως το *Τεχνικό Σύστημα (Τ.Σ.)*, όπως το *Μετρικό Σύστημα Μονάδων (MKS – Meter, Kilogram, Second)* και το *CGS (Centimeter, Gram, Second)*. Συνηθίζεται να αποκαλούμε το «*Διεθνές Σύστημα Μονάδων*» για λόγους συντομίας απλά «*S.I.*» από το *System International*.

Οι μονάδες όλων των φυσικών μεγεθών στο σύστημα *S.I.* παράγονται από τις επτά *θεμελιώδεις μονάδες*¹ που παρουσιάζονται στο παρακάτω πίνακα:

Μέγεθος	Όνομα μονάδας	Σύμβολο μον. μέτρησης
Μήκος	Metre	m
Μάζα	Kilogram	kg
Χρόνος	Second	s
Ένταση ηλεκτρικού ρεύματος	Ampere	A
Θερμοκρασία	Kelvin	K
Φωτεινή ένταση	Candela	cd
Ποσότητα ύλης	Mole	mol

Πίνακας 1.1: Βασικές μονάδες του S.I.

¹ **Ιστορικό:** Το S.I. υιοθετήθηκε το 1961 κατά την 11^η Γενική Διάσκεψη Μέτρων και Σταθμών και αντικατέστησε τα παλαιότερα συστήματα μονάδων της φυσικής. Τέτοιες μονάδες δεν ήταν πάντα δεκαδικό σύστημα αλλά και σε άλλα συστήματα π.χ. το δεκαεξαδικό σύστημα μέτρησης.

1.3 Μονάδες ηλεκτρικών μεγεθών.

Στο συγκεκριμένο μάθημα, θα μας απασχολήσουν τόσο τα θεμελιώδη μεγέθη όσο τα παράγωγα τους που αφορούν το μάθημα και το επάγγελμα του ηλεκτρολόγου μηχανικού.

Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται ένα σύνολο παράγωγων μονάδων του *S.I.* Παράγωγες είναι οι μονάδες εκείνες που προκύπτουν από τις θεμελιώδεις. Τα ηλεκτρικά μεγέθη που κύρια μας ενδιαφέρουν είναι το ηλεκτρικό φορτίο, η μαγνητική ροή, το ηλεκτρικό ρεύμα, η ηλεκτρική τάση, η ισχύς και η ενέργεια.

Μέγεθος	Όνομα μονάδας	Σύμβολο μον. μέτρησης
Ισχύς	Watt	W
Ηλεκτρικό φορτίο	Coulomb	C
Διαφορά δυναμικού	Volt	V
Χωρητικότητα	Farad	F
Ηλεκτρική αντίσταση	Ohm	Ω
Αγωγιμότητα	Siemens	S
Συχνότητα	Hertz	Hz
Δύναμη	Newton	N
Επιφανειακή δύναμη	Newton per metre	N/m
Ενέργεια, έργο, ποσό θερμότητας	Joule	J
Μαγνητική ροή	Weber	Wb
Μαγνητική επαγωγή	Tesla	T
Αυτεπαγωγή	Henry	H
Πυκνότητα ενέργειας	Joule per cubic metre	J/m ³

Πίνακας 1.2 : Παράγωγα μονάδων του *S.I.*

Σε όλες τις λειτουργίες της καθημερινότητας μας, μπορούμε να παρατηρήσουμε μια ανταλλαγή της ύλης και μια ανταλλαγή της ενέργειας. Μερικές φορές μάλιστα (όταν π.χ. καθόμαστε στον ήλιο) η ενέργεια μεταφέρεται χωρίς κίνηση ύλης. Η ροή ενέργειας είναι λοιπόν ένα καθολικό φαινόμενο, ενώ ήδη από καιρό γνωρίζουμε ότι αυτή δεν δημιουργείται ούτε καταστρέφεται αλλά μεταφέρεται, αλλάζει μορφή, αποθηκεύεται. Παρακάτω, έχουν συγκεντρωθεί βασικά στοιχεία που αφορούν το θέμα. Γίνετε σημαντική προσπάθεια να μην ξεφύγει από τις ανάγκες ενός εισαγωγικού μαθήματος. Όμως, όπως θα διαπιστώσετε στη συνέχεια των σπουδών και της επαγγελματικής σας ζωής, η ενέργεια και τα συναφή θέματα θα επανέρχονται στο προσκήνιο. Ένας μηχανικός οφείλει να έχει σφαιρική εικόνα για όλα τα θέματα που σχετίζονται με το αντικείμενό του. Στην ανάγκη θα καταφύγει σε ειδικότερα εγχειρίδια για συγκεκριμένα θέματα.

1.3.1 Έργο.

Η αρχική σύλληψη του έργου προέρχεται από την εργασία. Κόβουμε ένα ξύλο, οργώνουμε ένα χωράφι, μεταφέρουμε υλικά. Σε όλες αυτές τις ενέργειες ασκούνται δυνάμεις. Αλλά δύναμη ασκείται (από το βάρος μας) και στην καρέκλα που καθόμαστε, χωρίς να παράγεται έργο. Συνεπώς, ορίζουμε λοιπόν το έργο σαν το γινόμενο της δύναμης F επί την απόσταση S .

$$W = F \cdot S$$

Το έργο είναι ένα μονόμετρο μέγεθος. Αυτό σημαίνει ότι δεν είναι διάνυσμα και ότι καθορίζεται από ένα αριθμό. Επίσης, σαν μονόμετρο μέγεθος δεν μπορεί να είναι αρνητικό. Ο ορισμός και η σημασία του έργου σχετίζεται άμεσα με την ενέργεια όπως θα δούμε παρακάτω.

1.3.2 Ενέργεια.

Η ροή ενέργειας είναι ένα καθολικό φαινόμενο, που χαρακτηρίζει κάθε κίνηση στη ζωή μας. Επίσης γνωρίζουμε και αναφέραμε πιο πριν ότι, η ενέργεια δεν δημιουργείται, ούτε καταστρέφεται αλλά μεταφέρεται, αλλάζει μορφή και υπάρχει η δυνατότητα αποθήκευσης του. Υπό αυτούς τους όρους λοιπόν, μπορούμε να δώσουμε έναν πολύ απλό ορισμό για την ενέργεια.

«Ενέργεια είναι η δυνατότητα παραγωγής έργου»

Η ιστορία της τεχνολογίας και της επιστήμης, έχει αναδείξει πολλές μορφές και διαφορετικούς φορείς αποθήκευσης της ενέργειας. Η μελέτη των μορφών και ο τρόπος που η ενέργεια μπορεί να αποθηκευτεί έχει συνεισφέρει στη βελτίωση των συνθηκών ζωής.

Θα μπορούσαμε να γράφουμε επί ώρες αλλά θα αρκεστούμε σε ένα παράδειγμα μόνο. Ένα τόσο παλιό όσο και η ιστορία του ανθρώπου. Όταν καίμε² ξύλα, μετατρέπουμε πολύπλοκες χημικές ενώσεις σε απλούστερες. Με άλλα λόγια, η θερμότητα που παίρνουμε πηγάζει από χημικές αντιδράσεις. Πρέπει να πούμε ότι η χημική ενέργεια είναι εξαιρετικά κατάλληλη για αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας. Τέτοια είναι η περίπτωση της μπαταρίας.

1.3.3 Ηλεκτρική ενέργεια.

Η ενέργεια του ηλεκτρισμού είναι διαφορετική στον ορισμό της από της άλλες, αλλά εντελώς προβλέψιμη στη διαχείρισή της. Λέγεται καθαρή ενέργεια γιατί μετατρέπεται ευκολότερα σε άλλες μορφές (π.χ. θερμική, χημική, μηχανική) και με τις λιγότερες απώλειες. Για την βαθύτερη κατανόηση της ηλεκτρικής ενέργειας χρειάζεται να ορίσουμε το ηλεκτρικό φορτίο και το ηλεκτρικό πεδίο.

1.3.4 Το ηλεκτρικό φορτίο.

Για να εξηγήσουμε την προέλευση των ηλεκτρικών φαινομένων αναγκαζόμαστε να δεχτούμε την ύπαρξη μιας φυσικής οντότητας που ονομάζουμε ηλεκτρικό φορτίο. Έτσι οι ηλεκτρικές δυνάμεις και γενικότερα τα ηλεκτρικά φαινόμενα οφείλονται στην παρουσία ηλεκτρικών φορτίων.

Το ηλεκτρικό φορτίο είναι μια εγγενής ιδιότητα της ύλης (όπως είναι π.χ. η μάζα). Στις σύγχρονες αντιλήψεις για την δομή του ατόμου, υπάρχουν "σωματίδια"³ που έχουν θετικό (πρωτόνιο, ποζιτρόνιο) ή αρνητικό (ηλεκτρόνιο) φορτίο, ή καθόλου φορτίο (νετρόνιο, νεutrίνο). Αυτή η ιδιότητα είναι ενσωματωμένη, δεν μπορεί δηλαδή το φορτίο να εξαφανιστεί. Όμως, τα σώματα εμφανίζονται ηλεκτρικά ουδέτερα επειδή κάθε άτομο έχει (στην φυσική του κατάσταση) ίδιο αριθμό θετικών και αρνητικών φορτίων. Τα ηλεκτρόνια όμως, είναι πιο κινητικά, γιατί είναι πολύ μικρότερα και σχετικά μακριά από την έλξη του πυρήνα. Όταν λοιπόν με κάποιο τρόπο ένα άτομο χάσει ένα (1) ηλεκτρόνιο, αυτό είναι θετικά φορτισμένο ενώ εκεί που "τριγυρίζει" το ηλεκτρόνιο έχουμε αρνητικό φορτίο.

Χρησιμοποιώντας την έννοια του ηλεκτρικού φορτίου μπορούμε να ονομάζουμε ηλεκτρισμένα η φορτισμένα τα σώματα που φέρουν, έστω και σε μια περιοχή τους ηλεκτρικό φορτίο.

² Μυθολογικό: Η φωτιά ήταν δώρο του Προμηθέα στους θνητούς κατά την ελληνική μυθολογία.

³ Στην κλίμακα που αναφερόμαστε τα σωματίδια δεν είναι σαν μπίλιες αλλά κάτι ανάμεσα σε σφαίρα και δίνη.

1.3.5 Νόμος του Coulomb⁴.

Ο νόμος του *Coulomb* μας λέει ότι, το μέτρο της δύναμης (*ελκτική ή απωστική*) που επενεργεί σε δύο σημειακά φορτία που βρίσκονται στο κενό, είναι ανάλογο με το γινόμενο των φορτίων καθώς και αντίστροφα ανάλογο με το τετράγωνο της απόστασης τους και δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$F = k \cdot \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{|Q \cdot q|}{r^2} = \frac{|Q \cdot q|}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

Όπου: F το μέτρο της δύναμης
 Q και q τα μέτρα των σημειακών φορτίων
 r η απόσταση μεταξύ των κέντρων των φορτίων σε μέτρα
 $\frac{1}{4\pi\epsilon_0}$ είναι ένας συντελεστής αναλογίας που εξαρτάται από το σύστημα των μονάδων που χρησιμοποιούνται για την εξίσωση.
 ϵ_0 διηλεκτρική σταθερά του κενού και έχει τιμή: $\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^9} \frac{\text{farad}}{\text{metre}} \left(\frac{\text{F}}{\text{m}}\right)$

Με μεγάλη προσέγγιση η τιμή ϵ_0 ισχύει και για τον αέρα.

Το ηλεκτρικό φορτίο λοιπόν, είναι ακέραιο πολλαπλάσιο του φορτίου του ηλεκτρονίου και η μονάδα του είναι το *Coulomb*.

1.3.6 Ηλεκτρικό πεδίο.

Όταν δεχτούμε την έννοια του φορτίου βρίσκουμε μπροστά μας την επόμενη έννοια του ηλεκτρικού πεδίου. Στην αρχική σύλληψη, το ηλεκτρικό φορτίο ασκούσε δυνάμεις σε άλλα ηλεκτρικά φορτία (*τα ομώνυμα απωθούνται, τα ετερόνυμα έλκονται*). Η μαθηματική διατύπωση της δύναμης δίνεται από τον γνωστό τύπο του *Coulomb*.

Σήμερα, αν και οι δυνάμεις εξακολουθούν να ασκούνται μεταξύ φορτίων προτιμούμε μια διαφορετική νοητική αναπαράσταση που ταιριάζει καλύτερα και σε άλλα φυσικά φαινόμενα. Χρησιμοποιούμε την έννοια του πεδίου, που είναι ο φυσικός χώρος, σε κάθε σημείο του οποίου ένα φυσικό μέγεθος παίρνει μια ορισμένη τιμή.

Το ηλεκτρικό πεδίο είναι ο χώρος σε κάθε σημείο του οποίου ασκείται δύναμη σε φορτίο. Η δύναμη αυτή είναι:

$$F = E \cdot q$$

Ο ορισμός αυτός είναι γενικός, καλύπτει π.χ. το μαγνητικό πεδίο, το πεδίο ταχυτήτων, το πεδίο δυνάμεων σε υλικά κ.α.

1.3.7 Ηλεκτρικό ρεύμα – ηλεκτρικό πεδίο ροής.

Ρεύμα ονομάζεται η προσανατολισμένη κίνηση των ηλεκτρικών φορτίων. Όταν το ηλεκτρικό ρεύμα ρέει μέσα από ένα συγκεκριμένο αγωγίμο δρόμο, όπως είναι ένας μεταλλικός αγωγός, τότε ορίζεται με δυο χαρακτηριστικές ιδιότητες: την ένταση και την φορά.

⁴ Charles - Augustin de Coulomb (14 Ιουνίου 1736 - 23 Αυγούστου 1806) Γάλλος φυσικός..Γνωστός για την ανάπτυξη του νόμου του Coulomb, τον ορισμό της ηλεκτροστατικής δύναμης έλξης και απώθησης των σωματιδίων, αλλά και την σημαντική διατριβή και προσφορά του όσο αφορά την τριβή.

Άλλος ορισμός είναι ο μαθηματικός τρόπος που λέει ότι:

Ρεύμα είναι η ροή φορτίων από κάποια διατομή αγωγού στη μονάδα του χρόνου.

$$i = \frac{dq}{dt}$$

Η παραπάνω διατύπωση είναι ο γνωστός νόμος του *Ampère*⁵ (*Αμπέρ*) και είναι πειραματικά επαληθευμένος.

1.3.8 Ηλεκτρική ισχύς.

Βλέποντας τον γενικό ορισμό της ισχύος, θα δούμε ότι είναι το έργο που παράγει η δύναμη στη μονάδα του χρόνου. Με άλλα λόγια, θα λέγαμε "ότι είναι ο ρυθμός μεταβίβασης οποιασδήποτε ενέργειας" ή «ισχύς είναι ο ρυθμός παραγωγής έργου».

Αφού το έργο παράγεται στη μονάδα του χρόνου, τότε, διαιρώντας την παραπάνω σχέση με τον χρόνο παίρνουμε τον θεμελιακό νόμο για την ισχύ του ηλεκτρικού φαινομένου :

$$P = U \cdot I$$

Όσο αφορά το ηλεκτρικό ρεύμα που διαρρέει μια αντίσταση ορίζεται το ποσό ενέργειας που μετατρέπεται σε θερμότητα.

1.3.9 Τάση και δυναμικό.

Ορίζουμε στη συνέχεια ένα ακόμα μέγεθος, το δυναμικό. Το δυναμικό σε ένα σημείο του ηλεκτρικού πεδίου είναι η ενέργεια που χρειάζεται για να μεταφέρουμε ένα μοναδιαίο φορτίο από το "άπειρο" στη θέση αυτή. Επειδή η ενέργεια δεν χάνεται, η ίδια ενέργεια θα μας αποδοθεί αν το φορτίο κινηθεί από το σημείο αυτό στο "άπειρο". Η έννοια του δυναμικού είναι σημαντική γιατί με αυτή πλέον συσχετίζουμε τα μεγέθη δυναμικό και ηλεκτρικό ρεύμα με την ισχύ.

Έτσι, όταν ένα φορτίο κινηθεί από ένα σημείο με δυναμικό V_1 σε ένα άλλο με δυναμικό V_2 , η ενέργεια είναι:

$$E = Q \cdot (V_2 - V_1)$$

Όπου V_1 και V_2 η διαφορά δυναμικού από το σημείο 1 στο σημείο 2 αντίστοιχα.

1.4 Πρόθεμα - πολλαπλάσια και υποπολλαπλάσια μονάδων.

Αυτό που το *Διεθνές Σύστημα* έκανε πιο χρήσιμο είναι ότι καθιέρωσε το δεκαδικό σύστημα μέτρησης για τις φυσικές μονάδες όπου είναι μεγαλύτερη η ευκολία κατανόησης του σε σχέση με ένα π.χ. δωδεκαδικού συστήματος. Άλλο ζήτημα που έλυσε είναι η διευκόλυνση διεξαγωγής πράξεων. Όταν

⁵ André - Marie Ampère (20 Ιαν., 1775 - 10 Ιουνίου, 1836) Γάλλος φυσικός και μαθηματικός που θεωρείται γενικά ως ένας από τους κύριους ιδρυτές της επιστήμης του κλασικού ηλεκτρομαγνητισμού, το οποίο αναφέρεται ως "Ηλεκτροδυναμική". Η μονάδα μέτρησης του ηλεκτρικού ρεύματος στο SI, πείρε το όνομά του από αυτόν.

όλες οι μονάδες είναι στο ίδιο σύστημα μέτρησης δεν χρειάζεται να γίνονται περαιτέρω μετατροπές. Μεγαλύτερης σημασίας ήταν η ευκολία πρόσθεσης προθέματος στις μονάδες. Τα προθέματα αυτά μπορούν να προστεθούν δίπλα στις μονάδες μέτρησης και να είναι ανάλογα με τις απαιτήσεις πολλαπλάσια ή υποπολλαπλάσια. Το πρόθεμα είναι σε δυνάμεις του δέκα (10) και η τάξη του είναι η δύναμη που είναι υψωμένη. Δηλαδή, με τον τρόπο αυτό μπορούμε να αλλάξουμε το πως θα παρουσιάσουμε μία μονάδα δηλώνοντας απλά την τάξη μεγέθους του.

Τα βασικότερα προθέματα που μας ενδιαφέρουν εμφανίζονται στον παρακάτω πίνακα με έντονη γραφή (**Bold**) και μέσα σε ένα έντονο τετράγωνο πλαίσιο. Τα υπόλοιπα προθέματα είναι αρκετά μεγάλα ή αρκετά μικρά για να εξυπηρετήσουν το σκοπό των ασκήσεων μας.

Αριθμητικός παράγοντας	Όνομα μονάδας	Σύμβολο
10^{24}	Yotta	Y
10^{21}	Zetta	Z
10^{18}	Exa	E
10^{15}	Peta	P
10^{12}	Tera	T
10^9	Giga	G
10^6	Mega	M
10^3	Kilo	k
10^0	1.	μέτρο
10^{-3}	Mili	m
10^{-6}	Micro	μ
10^{-9}	Nano	n
10^{-12}	Pico	p
10^{-15}	Femto	f
10^{-18}	Atto	a
10^{-21}	Zepto	z
10^{-24}	Yocto	y

Πίνακας 1.3 : Πολλαπλάσια και υποπολλαπλάσια μονάδων⁶.

Η ευκολία που προσφέρεται είναι να παρουσιάζεται μια μονάδα με την παρακάτω μορφή:

$$A = |A| \cdot 10^{\pm x}$$

Όπου: A = μονάδα προς χαρακτηρισμό
 $|A|$ = μέτρο μονάδας
 $10^{\pm x}$ = τάξη μεγέθους

Το παραπάνω πρόσημο αφορά στο πολλαπλάσιο και στο υποπολλαπλάσιο.

Καθοριστικής σημασίας θα είναι να κατανοήσουμε την χρήση των προθεμάτων για τις μονάδες μέτρησης. Αυτό θα διευκολύνει και της πράξεις μας. Συνεπώς πρέπει να μάθετε πέρα από την χρήση τους, τον τρόπο που μετατρέπουμε υποπολλαπλάσια ή πολλαπλάσια σε κανονικές μονάδες, και τον τρόπο που εισάγουμε δυνάμεις στην αριθμομηχανή⁷ (*κομπιουτεράκι*).

Ένα παράδειγμα, και πολύ συνηθισμένο μάλιστα, είναι η μονάδα μέτρησης της χωρητικότητας των πυκνωτών, το *Farad* (F). Πολύ σπάνια θα χρησιμοποιήσουμε αυτή τη μονάδα στην δεκαδική του μορφή. Τις περισσότερες φορές θα το συναντήσουμε σαν υποπολλαπλάσιο του *Farad*. Δηλαδή σαν *mF*

⁶ Οποιοσδήποτε αριθμός υψώνετε στη δύναμη του 0, ισούται με 1.

⁷ Στο Παράρτημα I θα βρείτε ένα παράδειγμα για το πώς εισάγουμε πρόθεμα για μονάδες στο *Casio fx-82SX*.

(*mili-Farad*), μF (*micro-Farad*) ή pF (*pico-Farad*). Το ίδιο σπάνιο είναι να συναντήσουμε μικρότερες μονάδες από το *pico*. Αν ταιριάξουμε σύμφωνα με τον πίνακα τις παραπάνω μονάδες θα δούμε ότι μπορούμε να παρουσιάσουμε την μονάδα στη δεκαδική του μορφή, αλλάζοντας μόνο το πρόθεμα. Έτσι, αν έχω μια τιμή ενός πυκνωτή $C_1=5 \mu F$, σύμφωνα με τον πίνακα μπορώ να το εμφανίσω ως $C_1 = (5 \cdot 10^{-6}) F$. Αντίστοιχα αν είχαμε έναν πυκνωτή $C_2=15 pF$ αυτό θα γίνει $C_2 = (15 \cdot 10^{-12}) F$.

Πρέπει να γνωρίζουμε ότι τα προθέματα δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν πάνω από μία φορά μπροστά από μία μονάδα. Δηλαδή, αν έχουμε το παρακάτω συμβολισμό μmF αυτό συνηθίζεται να το γράφουμε pF .

1.5 Σημαντικά ψηφία - ακρίβεια στις πράξεις.

Η ακρίβεια των πράξεων που πραγματοποιούμε κατά την διάρκεια επίλυσης μιας άσκησης, έχει να κάνει με την ακρίβεια που επιδιώκουμε να πετύχουμε. Σχετίζεται με την απαλοιφή δεκαδικών στοιχείων από τις πράξεις μας. Όλοι μας την γνωρίζουμε αυτή τη διαδικασία σαν στρογγυλοποίηση. Η καλύτερη διαδικασία υπολογισμού είναι να λαμβάνονται όλες οι μονάδες ως σημαντικές. Αυτό όμως κάνει πολύ δύσκολη την γραφή ακόμη και τις κοινές απλές πράξεις. Για σκεφτείτε τι θα γινόταν αν χρειαζόταν σε απλές μαθηματικές πράξεις που απαιτείται η χρήση του π^8 (η γνωστή σε όλους μαθηματική σταθερά 3,14), να γίνεται με ακρίβεια 10 ψηφίων που τη δίνει το $fx - 82SX$, δηλαδή $\pi=3,141592654$. Η ακόμα και με ακρίβεια 15 στοιχείων που μας τη δίνει, και το χρησιμοποιεί επίσης, το *Office Excel*, δηλαδή $\pi=3,14159265358979^9$. Επίσης γνωρίζουμε ότι το π είναι άπειρο. Αυτό σημαίνει ότι η δεκαδική απεικόνιση δεν τελειώνει ποτέ και ποτέ δεν εγκαθίσταται σε μια μόνιμη και επαναλαμβανόμενη παράσταση.

Εδώ λοιπόν, τίθεται ένα ζήτημα που είναι η ακρίβεια ή αλλιώς σημαντικά ψηφία. Από δω και στο εξής θα θεωρούμε ότι μια καλή προσέγγιση της ακρίβειας μετρήσεων και πράξεων θα είναι με τρία σημαντικά ψηφία, θεωρώντας ότι αποκλείσεις που θα σχετίζονται με τα ψηφία πέρα από το τρίτο σημαντικό, ελάχιστα επηρεάζουν το αποτέλεσμα των πράξεων. Αυτό σημαίνει ότι, αν για παράδειγμα, έχουμε να μετρήσουμε μια τάση όπου το όργανο απεικονίζει την εξής μέτρηση $2,23471 Volt$, τότε μπορούμε απλά να γράψουμε ότι ισούται με $2,24 Volt$. Ή ένα ρεύμα όπου ένα ψηφιακό αμπερόμετρο την απεικονίζει για παράδειγμα $0,003726 A$, με ακρίβεια τεσσάρων (4) ψηφίων δεν χρειάζεται να κάνουμε καμία στρογγυλοποίηση. Ενώ με ακρίβεια τριών (3) ψηφίων η μέτρηση μας γίνεται $0,00373 A$, ή $3,73 mA$, ή $3,73 \times 10^{-3} A$.

1.6 Σφάλματα.

Σε όλες των ειδών τις μετρήσεις, όπως και στις ηλεκτρικές, παρουσιάζονται σφάλματα. Δεν μπορούνε ποτέ να έχουμε απόλυτη ακρίβεια λόγω των διακριτών και πεπερασμένων δυνατοτήτων που έχουν όλα τα υλικά. Οι κύριοι παράγοντες που μπορεί να επηρεάζουν την ακρίβεια μίας μέτρησης, καταγράφονται παρακάτω:

- Η ακρίβεια που παρουσιάζει ο τρόπος ή οι τρόποι που επιλέχθηκαν για την μέτρηση. Συνεπώς την ακρίβεια την επηρεάζει σε πολύ μεγάλο βαθμό ή μέθοδος που επιλέγεται.
- Η ακρίβεια που έχουν τα υλικά ή τα όργανα μέτρησης ή αλλιώς ακρίβεια των υλικών προτύπων.

⁸ Ιστορικό: Η υπέρβαση του π συνεπάγεται ότι είναι αδύνατο να λυθεί η αρχαία πρόκληση του τετραγωνισμού του κύκλου με μια πυξίδα και ευθύ-άκρα.

⁹ Υπάρχουν επιστημονικές εφαρμογές που απαιτούν μέχρι και 40 ψηφία του π .

- Η ακρίβεια έχει να κάνει επίσης και με σφάλματα στην ακρίβεια υπολογισμών που αφορούν έμμεσες μέτρησης, όπως είναι για παράδειγμα η άεργος ισχύ μιας μηχανής.
- Ακόμα ένας παράγοντας, είναι το σφάλμα παρατηρήσεως, το οποίο οφείλεται στο πρόσωπο που εκτελεί την μέτρηση.

Ο λόγος που αναλύουμε και υπολογίζουμε το σφάλμα σε μια μέτρηση, είναι για να μπορούμε να καθορήσουμε τα ανεκτά όρια που πραγματοποιήθηκε μία μέτρηση. Αν το δούμε από την αντίθετη πλευρά, ένας μηχανικός μπορεί να εξετάζει αν ένα αποτέλεσμα είναι σωστό ή όχι, ξέροντας τα ανεκτά όρια μιας μέτρησης.

Θα πρέπει να γνωρίζουμε ότι όσο μεγαλύτερη ακρίβεια επιδιώκουμε να έχουμε στις μετρήσεις μας, τόσο αυξάνει το κόστος της μέτρησης. Αρχίζοντας από το κόστος αγοράς των στοιχείων, μέχρι και την εγκατάστασή τους, όπου σε αρκετές περιπτώσεις απαιτείται ειδικός εξοπλισμός εγκατάστασης αλλά και υποστήριξης.

1.7 Είδη σφαλμάτων.

Είναι πολύ πιθανόν, κατά την διάρκεια της πειραματικής εργασίας, να συμβούν ακούσια σφάλματα ή λάθη. Αυτά συνήθως προέρχονται από λανθασμένη ανάγνωση ή καταγραφή των μετρήσεων και από αβλεψίες κατά εκτέλεση αριθμητικών πράξεων. Τέτοια λάθη μπορούν και πρέπει να περιορίζονται με προσεκτικότερη εκτέλεση των μετρήσεων και των σχετικών αριθμητικών πράξεων, ακολουθώντας απλούς κανόνες:

- Να γίνεται συγκριτική αξιολόγηση των μετρήσεων.
Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να ελέγχεται σωστά η μετρούμενη τιμή ως προς την τάξη μεγέθους, την σωστή παρατήρηση του οργάνου.
- Να καταγράφονται αμέσως οι μετρήσεις.
Πρέπει να αποφεύγουμε να απομνημονεύσουμε της μετρήσεις. Το πιθανότερο είναι ότι όταν θα της καταγράψουμε θα κάνουμε λάθη ή δεν θα τα θυμόμαστε. Συνεπώς οι μετρήσεις πρέπει να καταγράφονται κατευθείαν στο πρόχειρο.
- Να γίνεται μία μέτρηση διαδοχικά απ' όλα τα μέλη της ομάδας.
Επαναλαμβάνοντας την πειραματική εργασία βελτιώνουμε την δεξιότητα να εκτελούμε την πράξη και επίσης εξαλείφουμε η ελαχιστοποιούμε τη δυνατότητα εμφάνισης τυχαίων σφαλμάτων μέτρησης.

Τα συνυφασμένα με τη μέτρηση σφάλματα είναι δύο ειδών. Τα συστηματικά σφάλματα και τα τυχαία σφάλματα.

1.7.1 Συστηματικά σφάλματα.

Τέτοιου είδους σφάλματα οφείλονται συνήθως σε κατασκευαστικές ατέλειες των οργάνων μέτρησης ή ακόμα και σε μη βαθμονομημένο όργανο. Η εκτίμηση ενός τέτοιου σφάλματος δεν είναι εύκολη υπόθεση. Αρκετές φορές μπορεί να βοηθήσει στην μερική αντιμετώπιση τέτοιων προβλημάτων, οι οδηγίες του κατασκευαστή (*data sheet*).

1.7.2 Τυχαία ή στατιστικά σφάλματα.

Τα τυχαία σφάλματα, από την άλλη, οφείλονται σε διάφορους αστάθμητους παράγοντες όπως είναι η περιορισμένη δυνατότητα του οφθαλμού να εκτιμήσει και να προσδιορίσει ακριβώς την ένδειξη του οργάνου. Στο γενικότερο ηλεκτρικό θόρυβο που δέχονται από το περιβάλλοντα χώρο οι συσκευές μέτρησης. Στη μεταβολή των συνθηκών πραγματοποίησης του πειράματος.

Τα τυχαία σφάλματα περιορίζονται με την εκτέλεση πολλών μετρήσεων. Στην περίπτωση αυτή σαν τελική τιμή λαμβάνουμε το μέσο όρο των μετρήσεων.

1.7.3 Απόλυτο και σχετικό σφάλμα.

Το μέγιστο σφάλμα που μπορεί να παρουσιάσει ένα όργανο μέτρησης, αναφέρεται επίσης και σαν *απόλυτο σφάλμα*. Το απόλυτο σφάλμα καθορίζει τα όρια του μεγέθους, μεταξύ των οποίων βρίσκεται η αληθής τιμή του μετρούμενου μεγέθους.

Για παράδειγμα, θα δούμε σε επόμενο μάθημα, ότι ένας κατασκευαστής ωμικών αντιστάσεων σου «πουλάει» μια αντίσταση συγκεκριμένης X τιμής, ενώ ταυτόχρονα σου δίνει και ένα ποσοστό $\pm x$ ανεκτό όριο που θα κυμαίνεται η πραγματική τιμή της συγκεκριμένης αντίστασης. Δηλαδή, αν μία αντίσταση έχει τιμή $10,0 \Omega$ και ανοχής $\pm 0,5 \Omega$ τότε αν μετρήσουμε αυτήν την αντίσταση με ένα όργανο ακριβείας (π.χ. *Γέφυρα Wheatstone*), τότε η τιμή που θα λάβουμε θα κυμαίνεται από $9,5 \Omega - 10,5 \Omega$.

Οπότε ορίζουμε σαν απόλυτο σφάλμα τη διαφορά μιας αναμενόμενης τιμής ή δοσμένης τιμής σε σχέση με μια μετρούμενη:

$$\sigma_{\alpha} = X \pm x_{\text{μετρ.}}$$

Ο απόλυτος προσδιορισμός ενός σφάλματος, δεν μπορεί να μας δώσει ένα μέτρο σύγκρισης της ακρίβειας που έγινε μια μέτρηση. Για να προκύψει συμπέρασμα ως προς την ακρίβεια των μετρήσεων θα πρέπει να συγκρίνουμε τα απόλυτα σφάλματα ίσων μέτρων ενός μεγέθους. Αυτή η διαδικασία είναι ο υπολογισμός του απόλυτου σφάλματος ένα μονάδα μετρούμενου μεγέθους. Με άλλα λόγια, ένα μέγεθος που να είναι σχετικό με την προς μέτρηση μονάδα. Ένα τέτοιο μέγεθος είναι το *σχετικό σφάλμα* και είναι το πηλίκο του απόλυτου σφάλματος προς το μετρούμενο μέγεθος ή την *μέση τιμή (όταν πρόκειται για δειγματοληψία)* του μετρούμενου μεγέθους.

$$\sigma_{\text{σχ.}} = \frac{\sigma_{\alpha}}{X}$$

Το σχετικό σφάλμα είναι πάντα καθαρός αριθμός (\pm) και συνηθίζεται να εκφράζεται σε ποσοστό επί τοις εκατό (%) ή και τοις χιλίοις (‰).

1.8 Διάκριση των ηλεκτρικών μετρήσεων.

Συνοψίζοντας όλα τα παραπάνω, η κατηγοριοποίηση των ηλεκτρικές μετρήσεων γίνεται στις παρακάτω τρεις κατηγορίες:

- Μετρήσεις μεγάλης ακρίβειας.
Τέτοιες μετρήσεις γίνονται στα Εθνικά Εργαστήρια Προτύπων. Γενικά σε εργαστήρια πιστοποίησης οργάνων μέτρησης (π.χ. *ΕΛ.Ο.Τ.*). Στις μετρήσεις αυτές χρησιμοποιούνται όλα τα μέσα που παρέχει η τεχνολογία ανεξάρτητα από το κόστος που απαιτείται. Στις

μετρήσεις αυτές το κόστος είναι μεγάλο αλλά το σφάλμα είναι αντίστροφο. Χαρακτηριστικά, το σφάλμα σε πολλές περιπτώσεις μπορεί να είναι μικρότερο από 10^{-4} .

- Τεχνικές μετρήσεις ακριβείας.
Αυτές οι μετρήσεις γίνονται σε κατάλληλα εξοπλισμένα εργαστήρια όπως είναι στο Πανεπιστήμιο Αθηνών, στο Μετσόβιο Πολυτεχνείο ή ακόμη και τα τεχνικά εργαστήρια της Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε. (Διαχειριστής Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας -πρώην Δ.Ε.Η.). Στις μετρήσεις αυτές οι δαπάνες περιορίζονται στο ελάχιστο δυνατό. Επίσης, το σφάλμα κυμαίνεται μεταξύ 10^{-2} - 10^{-4} .
- Βιομηχανικές μετρήσεις.
Στη κατηγορία αυτή μπαίνουν οι μετρήσεις που γίνονται στις βιομηχανίες που κυρίως γίνονται με ελάχιστες δαπάνες. Το σφάλμα μέτρησης δεν είναι μικρότερο από 10^{-2} ή ακόμα και 1%.

Οι μετρήσεις που θα πραγματοποιήσουμε στο εργαστήριο του Α.Η.Κ.Μ. θα είναι στην ίδια κατηγορία με τις Βιομηχανικές Μετρήσεις.

1.9 Προετοιμασία της εργαστηριακής άσκησης.

Η επιτυχία της εργαστηριακής άσκησης έχει να κάνει και σε μεγάλο βαθμό με την προετοιμασία που έχει γίνει. Ο σπουδαστής οφείλει, όπως έχουμε πει και προηγούμενα, να είναι κατάλληλα προετοιμασμένος για το μάθημα που θα παρακολουθήσει. Επίσης, πρέπει να είναι κατάλληλα προετοιμασμένος για την εργαστηριακή άσκηση που θα πραγματοποιήσει στο εργαστήριο.

Η προετοιμασία πρέπει να γίνει από τις προηγούμενες μέρες και όχι μετά την είσοδο στο χώρο του εργαστηρίου. Έχοντας διαβάσει προσεκτικά το θεωρητικό μέρος της άσκησης. Σημειώνοντας στο πρόχειρο του ανάλογες απορίες ακόμη και παρατηρήσεις που ίσως να έχουν γίνει σε κάποια λανθασμένη διατύπωση του βιβλίου. Στο μάθημα θα δίνεται πάντα η δυνατότητα να διατυπώνονται οι απορίες. Στην αρχή του μαθήματος θα λύνονται απορίες από την προηγούμενη άσκηση. Στο τέλος της αφήγησης θα επιλύονται απορίες που σχετίζονται με την τρέχουσα άσκηση αν αυτές δεν λύθηκαν κατά τη διάρκεια του θεωρητικού μέρους.

Σημαντικό μέρος της προετοιμασίας αφορά και την εργαστηριακή άσκηση. Αυτό σημαίνει ότι ο σπουδαστής θα πρέπει να έχει προετοιμάσει στο σύνολο του από πριν το σχέδιο ή τα σχέδια για το ηλεκτρικό κύκλωμα που καλείτε να υλοποιήσει. Τις αντίστοιχες μετρήσεις που θα κάνει και να έχει μια εκτίμηση για τις αναμενόμενες τιμές των μεγεθών που πρόκειται να μετρήσει. Αυτό προϋποθέτει ότι ο σπουδαστής πρέπει να έχει επιλύσει το προς μέτρηση κύκλωμα εφαρμόζοντας της αντίστοιχες τεχνικές επίλυσης που έχει διδαχτεί στη θεωρία αλλά ακόμα και στο εργαστήριο.

Εξίσου σημαντικό είναι να κρατάμε σημειώσει κατά την διάρκεια της εργαστηριακής άσκησης γιατί όπως θα δούμε θα χρειαστούν για την προετοιμασία της εργαστηριακής αναφοράς την οποία παραδίδουμε το αργότερο στο επόμενο μάθημα. Δηλαδή, μέγιστη διάρκεια παράδοσης είναι μια εβδομάδα.

1.10 Σύνταξη εργαστηριακής αναφοράς.

Μία πειραματική επαλήθευση, πρέπει πάντα να ακολουθείται από μία εργαστηριακή έκθεση καταγραφής όλων των ασκήσεων και των μεθόδων που ακολουθήθηκαν στο εργαστήριο. Η εργαστηριακή έκθεση αυτή δεν είναι άλλο από την «τεχνική έκθεση» εργασιών ή όπως εμείς θα την

αποκαλούμε από 'δω και στο εξής, εργαστηριακή αναφορά. Αυτή, πρέπει να περιγράφει σύντομα και περιεκτικά το θεωρητικό υπόβαθρο που απαιτείται για την πραγματοποίηση της συγκεκριμένης άσκησης και να έχει χαρακτήρα «ιχνηλασιμότητας». Δηλαδή, οποιοσδήποτε πάρει αυτή την αναφορά στα χέρια του, και προταθεί να ακολουθήσει τα ίδια βήματα με αυτά που έχετε καταγράψει εσείς, θα είναι σε θέση να βρει ακριβώς τα ίδια αποτελέσματα.

Μία τέτοια έκθεση πρέπει να παρουσιάζουν όλοι οι σπουδαστές σε εβδομαδιαία βάση, όπως γίνεται και το εργαστήριο. Όσο αφορά τον τρόπο που θα αξιολογούνται έχει ήδη αναφερθεί από την αρχή του ακαδημαϊκού εξαμήνου αλλά πρωτίτερα στο παρόν σύγγραμμα.

Μια τεχνική έκθεση πρέπει να είναι επίσης ευπαρουσίαστη και κατανοητή. Εκείνος που θα την επιμεληθεί, πρέπει να παρουσιάζει με ευκατανόητο τρόπο τα βήματα και τις μεθόδους που ακλούθησε, καθώς και να μπορεί κάποιος να κατανοεί εύκολα τα αποτελέσματα των μετρήσεων του.

Στο τέλος, η αναφορά πρέπει να περιλαμβάνει και της εκτιμήσεις του σπουδαστή για ενδεχόμενες παρατηρήσεις σε σχέση με την διαδικασία αλλά και σφάλματα που έγιναν.

Η εργαστηριακή αναφορά ξεκινάει από το εξώφυλλο της που περιλαμβάνει στοιχεία όπως ο φορέας που εμπλέκεται σε αυτή ακολουθούμενο από την επικεφαλίδα που είναι ο τίτλος, ημ/νια πραγματοποίησης του εργαστηρίου, ημ/νια παράδοσης και στοιχεία του σπουδαστή. Μπορεί κάποιος να φτιάξει δικό του αν και από το εργαστήριο ήδη προτείνονται δυο εξώφυλλα. Γενικότερα το εξώφυλλο είναι προτιμότερο να είναι λιτό.

Ποιο συγκεκριμένα, το περιεχόμενο της αναφοράς πρέπει να περιλαμβάνει τις παρακάτω ενότητες:

I. Θεωρητικό μέρος.

Ως θεωρητικό μέρος πρέπει να έχουμε κατά νου ότι, δεν χρειάζεται να γράφουμε πάνω από μισή με μία σελίδα. Πρέπει απλά να γίνεται μία σύντομη αναφορά στο θεωρητικό υπόβαθρο που απαιτείται για τη διεξαγωγή της άσκησης, σύντομο σχολιασμό και αιτιολόγηση αν αυτό απαιτείτε και χωρίς αναλύσεις.

II. Κυκλωματικό διάγραμμα.

Εδώ θα καταγράφονται όλες οι συνδεσμολογίες και τοπολογίες κυκλωμάτων που πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο. Ακόμα και αν ζητηθεί από σπουδαστή να σχεδιάσει κάποιο εργαστηριακό κύκλωμα που δεν πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο. Ένα τέτοιο κύκλωμα μπορεί να είναι ζητούμενο από κάποια άσκηση.

III. Απαραίτητα όργανα και συσκευές.

Η πραγματοποίηση της εργαστηριακής άσκησης απαιτεί τη χρήση οργάνων και συσκευών. Όλα αυτά καταγράφονται σε αυτή την ενότητα. Η καταγραφή γίνεται σύντομα και με τεχνικούς όρους. Για παράδειγμα, όταν χρειάζεται να χρησιμοποιήσουμε την τροφοδοσία του πάγκου εργασίας ($V = 230 \text{ Volt}$) δεν χρειάζεται να αναλύσουμε λεπτομέρειες και να αρκεστούμε στην απλή τεχνική ορολογία που είναι "πηγή τάσης 230 Volt".

IV. Πειραματική διαδικασία.

Αυτή έχει την μεγαλύτερη σημασία, μιας και είναι κύριο μέρος του έργου μας. Εδώ θα περιγράφονται τα βήματα της πειραματικής εργασίας μας. Απλά, κατανοητά και χωρίς να πλατειάζουμε. Όταν χρειάζεται να αναφερθούμε σε μετρήσεις, κυκλώματα και υπολογισμούς,

παραπέμπουμε τον αναγνώστη στις ανάλογες ενότητες όπου βρίσκετε με κατάλληλο τρόπο σημειωμένα η παραπομπή. Η κατάλληλη σημείωση μπορεί να είναι η λεζάντα μιας εικόνας ή η ίδια η επικεφαλίδα.

V. Πειραματικές μετρήσεις.

Κάθε φορά που το εργαστηριακό μάθημα περιλαμβάνει μετρήσεις, πρέπει να περιλαμβάνονται στην τεχνική έκθεση. Στην ενότητα αυτή θα καταγράφουμε τα αποτελέσματα των μετρήσεων μας σε συγκεκριμένους πίνακες. Πέρα από αυτό δεν θα περιέχει τίποτα άλλο. Αν μέσα στις πειραματικές μετρήσεις χρειάζεται να έχουμε και τιμές που πρέπει να υπολογίσουμε μέσω μαθηματικών πράξεων, τότε οι πράξεις αυτές θα περιλαμβάνονται στην ανάλογη ενότητα.

VI. Υπολογισμοί.

Θα καταγράφουμε με αναλυτικό τρόπο αντίστοιχες πράξεις και υπολογισμούς. Όταν οι πράξεις είναι επαναλαμβανόμενες δεν χρειάζεται και να τις επαναλαμβάνουμε συνέχεια. Δηλαδή, αν σε ένα πίνακα, σε μια σειρά από πέντε (5) επαναλαμβανόμενες μετρήσεις, χρειάζεται για κάθε μέτρηση να υπολογίσω μία τιμή για κάθε μια από αυτές, τότε γράφω αναλυτικά όλες τις πράξεις για τον πρώτο υπολογισμό και έπειτα συνεχίζω χωρίς να τις επαναλαμβάνω γραπτώς.

VII. Ερωτήσεις - προβλήματα.

Στο τέλος κάθε εργαστηριακής άσκησης, στο βιβλίο θα υπάρχουν προβλήματα και ασκήσεις για επίλυση. Αυτές οι εργασίες θα σχετίζονται με την άσκηση του εργαστηρίου και θα έχουν χαρακτήρα επαλήθευσης και προβληματισμού. Οι ασκήσεις δεν θα περιορίζονται μόνο στο βιβλίο αλλά θα μπορεί να δίνονται από τον διδάσκοντα ακόμα και επιπλέον ασκήσεις. Επίσης μπορεί να περιλαμβάνονται και ασκήσεις ερευνητικής φύσης ή ακόμα και εξέτασης προσωπικής κρίσης.

VIII. Σχόλια - συμπεράσματα.

Το τελευταίο μέρος έχει να κάνει με διάφορα σχόλια και συμπεράσματα που έχει συγκεντρώσει ο σπουδαστής σχετικά με την διαδικασία της εργαστηριακής άσκησης, σφάλματα που ίσως γίνανε και αντιλήφτηκε αργότερα κατά την διάρκεια των υπολογισμών, αλλά και σχετικά με το μάθημα και την πραγματοποίησή του. Εδώ περιλαμβάνεται και ο σχολιασμός τυχόν αποκλίσεων από τις αναμενόμενες τιμές που έχουμε υπολογίσει πιο πριν από την προετοιμασία μας.

Πρέπει να γνωρίζουμε ότι η βαθμολόγηση της εργαστηριακής αναφοράς δεν έχει χαρακτήρα καταδίκης του σπουδαστή που δεν έχει κάνει μια μέτρηση σωστά, αλλά να αναδείξει αν ο σπουδαστής έχει καταλάβει που έγινε το σφάλμα. Αυτό έχει μεγαλύτερη σημασία από το να είναι ολόσωστες οι μετρήσεις.

IX. Παρατηρήσεις.

Το τελευταίο μέρος έχει να κάνει με παρατηρήσεις του διδάσκοντα σε σχέση με την καταγραφή και περιγραφή της εργαστηριακής άσκησης και της αναφοράς.

Στο τέλος του βιβλίου, στο **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II**, παρέχεται ένα εκτενές κείμενο με γενικές οδηγίες που έχουν να κάνουν με την σύνταξη μιας τεχνικής μελέτης. Μπορείτε να προμηθευτείτε σε συνεννόηση με τον διδάσκοντα, το προτεινόμενο σχέδιο πρότυπου αναφοράς.

Για την πραγματοποίηση των εργαστηριακών αναφορών προτείνεται η χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή¹⁰ (Η/Υ) για την πραγματοποίηση των εργασιών. Σε διαφορετική περίπτωση, μπορείτε να διαμορφώσετε ανάλογα το εξώφυλλο με το όνομα σας και τα απαραίτητα στοιχεία που είναι πάντα ίδια (*υπεύθυνος εργαστηρίου, e-mail, ομάδα, τηλ. και αριθμό μητρώου*), και να το έχετε σε φωτοτυπίες¹¹ όπου θα συμπληρώνεται μόνο αυτά που αλλάζουν κάθε φορά (*Τίτλος, ημ/νια πραγματοποίησης, ημ/νια παράδοσης*).

Τέλος, μαζί με το πρότυπο αναφοράς, όπως προαναφέρθηκε, θα σας δοθεί σε ηλεκτρονική μορφή και ένα «πυλοτικό» κείμενο αναφοράς που έχει σχετικά παραδείγματα για το πώς συμπληρώνεται η κάθε ενότητα της αναφοράς.

¹⁰ Σε ότι αφορά την χρήση Η/Υ και διαδικτύου, στο σύγγραμμα αυτό, υπάρχει η εξής παραδοχή: Ότι όλοι έχουν την δυνατότητα πρόσβασης στα παραπάνω. Σε διαφορετική περίπτωση το Ίδρυμα προσφέρει χώρους ελεύθερης χρήσης για όλους τους σπουδαστές. Επίσης, στο χώρο του Τ.Ε.Ι. Ηρακλείου Κρήτης, υπάρχει διαθέσιμη βιβλιοθήκη με πλούσια ποικιλία συγγραμμάτων και κατάλληλους χορούς για ανάγνωση και περαιώση εργασιών.

¹¹ Όχι πάνω από δέκα (10) μιας και οι εργασίες κατά τη διάρκεια του εξαμήνου θα είναι περίπου δέκα.

1.11 Εργαστηριακή άσκηση.

1. Έχετε διαβάσει τον κανονισμό λειτουργίας και ασφάλειας του εργαστηρίου ;

ΝΑΙ	
ΌΧΙ	

(δεν επιτρέπεται η διεξαγωγή άλλης άσκησης χωρίς να απαντήσετε ΝΑΙ στο ερώτημα αυτό!)

2. Καταγράψτε με λεπτομέρεια την παρουσίαση του εξοπλισμού. Ποια όργανα βρίσκονται σταθερά στο πάγκο εργασίας και ποιά η χρήση τους.

3. Συμπληρώστε την παρακάτω λίστα ελέγχου(Συμπληρώστε με ναι ή όχι).

Γνωρίζετε το σημείο των παρακάτω διατάξεων?

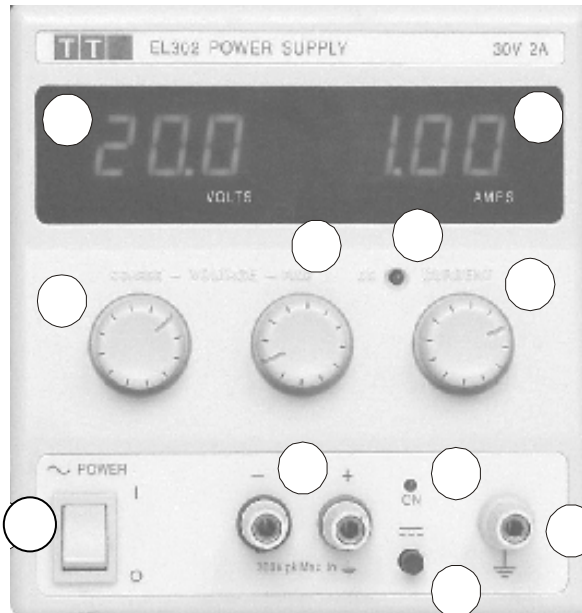
1	Θέση διακοπών φωτισμού του εργαστηρίου.	
2	Γενικός Ηλεκτρικός πίνακας εργαστηρίου.	
3	Γενικός διακόπτης παροχής εργαστηρίου.	
4	Γενικές διατάξεις πάγκου εργασίας.	
5	Διακόπτης τροφοδοσίας συσκευών.	
6	Αντιηλεκτροπληξιακός διακόπτης.	

4. Φτιάξτε ένα μικρό σχέδιο του χώρου του εργαστηρίου. Σχηματοποιήστε και αριθμήστε τους κύριους χώρους του εργαστηρίου. Σημειώστε τον αντίστοιχο αριθμό από τη προηγούμενη άσκηση, στην αντίστοιχη τοποθεσία στο χώρο του εργαστηρίου.

5. Ποιες διαφορές μπορείτε να εντοπίσετε ανάμεσα στα δύο όργανα, ψηφιακό και αναλογικό; Σημειώστε οτιδήποτε θεωρείτε διαφορετικό.

6. Καταγράψτε πιθανόν άλλα όργανα μέτρησης που θα σας δοθούν και καταγράψτε διάφορα στοιχεία όπως: ονομασία, «τι κάνει» - αρχή λειτουργίας και οποιαδήποτε πληροφορία σας δοθεί. Ρωτήστε τους υπευθύνους για οποιαδήποτε απορία.

7. Συμπληρώστε τους κατάλληλους αριθμούς στο παρακάτω σχήμα .



1	Ρυθμιστής τάσης (coarse)
2	Μικρομετρικός ρυθμιστής τάσης (fine)
3	Ρυθμιστής ρεύματος
4	Ένδειξη τάσης
5	Ένδειξη ρεύματος
6	Διακόπτη on-off
7	Διακόπτης ενεργοποίησης εξόδου
8	Ενδεικτικό περιορισμού ρεύματος
9	Ακριδέκτες εξόδου
10	Ακροδέκτης γείωσης

8. Παρατηρήστε το αναλογικό πολύμετρο και προσπαθήστε να εντοπίσετε – αναγνωρίσετε τα σημεία που ζητούνται στο πίνακα που ακολουθεί.



Την περιοχή μετρήσεων (βελόνα)	
Τον επιλογέα περιοχής μέτρησης	
Το κουμπί βαθμονόμησης των μηδέν (0) Ωμ	
Το κουμπί επιλογής AC – DC	
Τις θέσεις σύνδεσης «+» και γης	
Τις θέσεις σύνδεσης για μεγάλο ρεύμα	
Τις θέσεις σύνδεσης για μικρό ρεύμα	
Τις θέσεις σύνδεση τάση	

9. Παρατηρήστε το παρακάτω ψηφιακό πολύμετρο και προσπαθήστε να εντοπίσετε – αναγνωρίσετε τα σημεία που ζητούνται στο πίνακα που ακολουθεί.



Την περιοχή μετρήσεων (ένδειξη)	
Τον επιλογέα περιοχής μέτρησης	
Το κουμπί επιλογής AC – DC	
Τις θέσεις σύνδεσης «+» και γης	
Τις θέσεις σύνδεσης για μεγάλο ρεύμα	
Τις θέσεις σύνδεσης για μικρό ρεύμα	
Τις θέσεις σύνδεσης για μέτρηση τάσης	

10. Παρατηρήστε και αυτό το ψηφιακό πολύμετρο και προσπαθήστε να εντοπίσετε – αναγνωρίσετε και εδώ τα σημεία που ζητούνται στο πίνακα που ακολουθεί.



Την περιοχή μετρήσεων (ένδειξη)	
Τον επιλογέα περιοχής μέτρησης	
Το κουμπί επιλογής AC – DC	
Τις θέσεις σύνδεσης «+» και γης	
Τις θέσεις σύνδεσης για μεγάλο ρεύμα	
Τις θέσεις σύνδεσης για μικρό ρεύμα	
Τις θέσεις σύνδεσης για μέτρηση τάσης	

11. Επαλήθευση μετρήσεων, συσκευών.

I. Ανοίξτε τον διακόπτη πάγκου και το τροφοδοτικό (πρώτα πρέπει να σας το ζητήσει ο υπεύθυνος του εργαστηρίου).

II. Ρυθμίστε το τροφοδοτικό σε τάση **1 V** και ρεύμα **0,01 A**.

III. Ρυθμίστε το αναλογικό πολύμετρο σε μέτρηση τάσης με κλίμακα **1000V**.

IV. Συνδέστε το πολύμετρο.

V. Αλλάξτε κλίμακα στο πολύμετρο ώστε να μετρήσετε το **1 V**.

VI. Ρυθμίστε το τροφοδοτικό σε διαφορετικές τάσεις, όπως στον παρακάτω πίνακα, και μετρήστε τις με το αναλογικό πολύμετρο και έπειτα με το ψηφιακό. Συμπληρώστε τον πίνακα με τις ενδείξεις που θα λάβετε.

Τάση τροφοδοτικού (V)	2,5	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0
Αναλογικό πολύμετρο (V)							
Ψηφιακό πολύμετρο (V)							

Καταγράψτε τις παρατηρήσεις σας:

.....

.....

.....

.....

.....

VII. Απενεργοποιήστε την έξοδο του τροφοδοτικού (*μπουτόν ON*), ρυθμίστε την τάση σε *1V*, την ένταση σε *0,25 A*. Ρυθμίστε το αναλογικό πολύμετρο στην κλίμακα *250mA*. Συνδέστε το πολύμετρο στο τροφοδοτικό και ανοίξτε το. **Προσοχή, ένα λάθος μπορεί να καταστρέψει το όργανο!** Ρυθμίστε προσεκτικά την ένταση στο τροφοδοτικό σε *0.20A*, *0.15A*, *0.10A* και *0.05A*. Συμπληρώστε τις μετρήσεις σας στον παρακάτω πίνακα:

Ένδειξη στο τροφοδοτικό (A)	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25
Ένδειξη αναλογικού πολύμετρου (A)					
Ένδειξη ψηφιακού πολύμετρου (A)					

1.12 Ερωτήσεις.

1. Αναφέρατε τρία (3) μέτρα προστασίας σχετικά με το εργαστήριο.
2. Αναφέρατε τρία (3) μέτρα προστασίας που αφορούν τον ηλεκτρολόγο μηχανικό.
3. Ποιος είναι ο πιο συχνά εμφανιζόμενος κίνδυνος σε μια εγκατάσταση και τι με τι σχετίζεται;
4. Από τι διαμορφώνεται η επίδραση του ηλεκτρικού ρεύματος στον άνθρωπο. Ποιον θεωρείται ότι είναι ο σημαντικότερος παράγοντας για την επίδρασή του στον άνθρωπο και τι μπορείτε να πείτε για αυτό;
5. Ποιές διατάξεις ασφαλείας διαθέτει το εργαστήριο; Πόσες "δικλίδες" ασφαλείας έχει;
6. Τι κοινό και τι πλεονεκτήματα έχει ένα ηλεκτρονικό τροφοδοτικό, σαν αυτό που μελετήσατε στο εργαστήριο, σε σχέση με έναν συσσωρευτή αυτοκινήτου;
7. Δώστε τον ορισμό των παρακάτω θεμελιωδών φυσικών μεγεθών:
 - α) Χρόνος
 - β) Φωτοβολία
 - γ) Έντασης ηλεκτρικού ρεύματος
8. Ηλεκτρόνιο και πρωτόνιο βρίσκονται ακίνητα σε απόσταση $r=4.6 \text{ mm}$. Να υπολογιστεί το μέτρο της ελκτικής δύναμης που ασκεί το ένα στο άλλο. Τα ηλεκτρικά φορτία του πρωτονίου και του ηλεκτρονίου είναι απολύτως ίσα $q_e=q_p=1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$.
9. Από μια διατομή ενός αγωγού σε χρόνο $t=4 \text{ min}$ διέρχεται φορτίο $q=240 \text{ C}$. Να βρείτε την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει τον αγωγό.
10. Η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει ένα αγωγό είναι $I=40 \text{ mA}$. Πόσο φορτίο περνάει από μια διατομή του αγωγού σε χρόνο $t=250 \text{ s}$; Θεωρήστε αυθαίρετα την διατομή όσο θέλετε.
11. Εκφράστε τις παρακάτω μονάδες, σε μορφή τέτοια που να αντιστοιχεί στην μονάδα¹² μέτρησης και όχι σε πολλαπλάσιο ή υποπολλαπλάσιο της μονάδας. Επίσης να δοθεί σημασία στα σημαντικά ψηφία.
 - α) 0,3358 mV
 - β) 13,6812 $\mu\Omega$
 - γ) 0,254 KV
 - δ) 5689,2 n Ω
 - ε) 0,000032756 MV
 - στ) $482 \times 10^{-2} \mu\Omega$

¹² Όταν αναφερόμαστε στη μονάδα μέτρησης, εννοούμε πάντα την βασική μονάδα η οποία δεν έχει πρόθεμα, π.χ. Ohm ή Volt, και όχι mVolt ή MOhm (M Ω μ).

12. Με τα μεγέθη που σας δόθηκαν από την προηγούμενη άσκηση, πραγματοποιήστε τις παρακάτω πράξεις. Τα αποτελέσματα να εκφραστούν με πρόθεμα και στην μονάδα μέτρησης που είναι το *Ampere* (A).

$$\text{I. } \left(\frac{\alpha+\gamma}{\sigma\tau} \right) \quad \text{II. } \left(\frac{\varepsilon}{\beta+\delta+\sigma\tau} \right) \quad \text{III. } \left(\frac{\alpha+\gamma+\varepsilon}{\beta+\delta+\sigma\tau} \right)$$

13. Σε τι ωφελεί η μελέτη των σφαλμάτων;

14. Με ποιο είδος σφάλματος σχετίζεται η ολίσθηση ενός οργάνου μέτρησης;

15. Ποια είναι η αξία σε *Volt* της μικρής υποδιαίρεσης της κλίμακας όταν ο επιλογέας κλίμακας είναι στη θέση *10 V* ;

16. Ποια είναι η σημασία των χρωμάτων των αγωγών σύνδεσης και σε τι χρησιμεύει ;

Προαιρετικές ερωτήσεις - ασκήσεις.

Π.1. Προσπαθήστε να εκπονήσετε μία μικρή έρευνα γύρο από τα σφάλματα και δείτε τι μπορείτε να βρείτε σχετικά με αυτά και την εξάλειψη ή την πρόληψη τους. Πρέπει να παρουσιάσετε και τις πηγές πληροφόρησης.

Π.2. Προσπαθήστε μέσω του διαδικτύου ή ανάλογων συγκραμάτων που σχετίζονται με το θέμα αυτό, να βρείτε στοιχεία που αφορούν ηλεκτρικές διατάξεις ασφαλείας. Όχι μόνο διατάξεις προφύλαξης της ανθρώπινης ζωής. Οτιδήποτε είναι αυτό. Πρέπει η έρευνα σας να είναι αρκετά εκτενής για να την παρουσιάσετε αν χρειαστεί την επόμενη φορά.

Π.3. Βρείτε σχετικά στοιχεία για της πρώτες βοήθειες που παρέχουμε σε κάποιον που έχει πάθει ηλεκτροπληξία. Στην σύντομή έρευνα σας να δείξετε τις πηγές προέλευσης των στοιχείων που συγκεντρώσατε.

Άσκηση 2

Όργανα μέτρησης στο εργαστήριο.

2.1 Εισαγωγή.

Προχωρώντας στη δεύτερη αυτή άσκηση, θα δούμε μία παρουσίαση των βασικών οργάνων και συσκευών, με την βοήθεια των οποίων, επιτυγχάνετε η πραγματοποίηση διάφορων ηλεκτρικών εφαρμογών καθώς και ηλεκτρικών μετρήσεων. Θα δούμε μια εκτενής αναφορά στις αρχές λειτουργίας των οργάνων μέτρησης καθώς και διαφοροποίησης τους ως προς το σύστημα μέτρησης και την αρχή λειτουργίας.

Θα μας απασχολήσουν επίσης, και γενικοί όροι που αφορούν στον προσδιορισμό εννοιών για την ακρίβεια των οργάνων μέτρησης όπως ευαισθησία και κλάση ακρίβειας. Είναι σημαντικό να γνωρίζουμε τα χαρακτηριστικά των οργάνων μέτρησης, κατά την διαδικασία επιλογής τους, για να μπορέσουμε να προσαρμόσουμε το όργανο μέτρησης στην μετρούμενη μονάδα αλλά και μέγεθος. Υπάρχουν πολλά όργανα μέτρησης με διάφορων ειδών χαρακτηριστικών αλλά δεν είναι όλα κατάλληλα για οποιαδήποτε μέτρηση.

Με την κατάλληλη γνώση των οργάνων μέτρησης, και την συνδεσμολογία κυκλωματικών στοιχείων θα προχωρήσουμε στην μέτρηση διάφορων ηλεκτρικών μεγεθών όπως είναι το ηλεκτρικό δυναμικό ή η διαφορά δυναμικού ανάμεσα σε δύο σημεία (*τάση*), η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος σε ένα κύκλωμα, ακόμη και την ηλεκτρική αντίσταση ωμικών στοιχείων.

2.2 Όργανα ηλεκτρικών μετρήσεων.

Τα όργανα ηλεκτρικών μετρήσεων, χρησιμοποιούνται για την μέτρηση ηλεκτρικών μεγεθών και όχι μόνο. Η μέτρηση της ηλεκτρικής τάσης, της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος, της ηλεκτρικής αντίστασης, είναι κάτι εύκολο να συμπεράνει κανείς για χρήση τέτοιων οργάνων αλλά επίσης και πιο κατανοητό στον μέσο άνθρωπο. Η λειτουργίες και οι ιδιότητές τους δεν περιορίζονται όμως μόνο εκεί, αφού μπορούμε να μετρήσουμε και μη ηλεκτρικά μεγέθη. Η πιο χαρακτηριστική μορφή μιας τέτοιας διάταξης είναι η μέτρηση θερμοκρασίας με την βοήθεια μίας ειδικής αντίστασης που μεταβάλλει την τιμή του σύμφωνα με την θερμοκρασία (*Thermistor*). Όπως καταλαβαίνετε, μια τέτοια διαδικασία επιτυγχάνεται με την κατάλληλη αναγωγή των προς μέτρηση μεγεθών σε ηλεκτρικό μέγεθος. Με την χρήση ηλεκτρικών οργάνων επίσης, ελέγχουμε την σωστή λειτουργία συγκεκριμένων μηχανημάτων αλλά ακόμα και ολόκληρων εγκαταστάσεων.

Η απεικόνιση μιας μετρούμενης τιμής έχει να κάνει με το σήμα εισόδου του οργάνου και την έξοδο. Η έξοδος των περισσότερων ηλεκτρικών συσκευών έχει την μορφή ενός ηλεκτρικού σήματος. Η λέξη σήμα αποτελεί έναν γενικό όρο, που αναφέρεται σε κάτι που μεταφέρει πληροφορία. Η πληροφορία αυτή μπορεί να είναι μια σειρά παλμών σε έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή, είτε είναι ένα ραδιοσήμα τηλεοπτικού καναλιού ή ακόμα και μια ηλεκτρική τάση.

Στα συστήματα μέτρησης συναντάμε δύο ειδών σήματα, το αναλογικό και το ψηφιακό σήμα. Αναλογικό ονομάζεται ένα σήμα όταν μεταβάλλεται χρονικά με τρόπο ανάλογο προς τη μετρούμενη ποσότητα. Ενώ, ψηφιακό ονομάζεται η αναπαράσταση ενός αριθμού με μία σειρά διακριτών παλμών ή με την παρουσία και απουσία ενός σήματος σε κάποιες θέσεις.

Με την πρόοδο της τεχνολογίας, τα όργανα μέτρησης έχουν βελτιωθεί παρά πολύ. Η ανάπτυξη των ψηφιακών οργάνων, ελαχιστοποίησε τα σφάλματα ανάγνωσης της μέτρησης, καθώς και σφάλματα που οφείλονται στον τρόπο τοποθέτησης του οργάνου.

Παρά την πρόοδο αυτή, είναι σημαντικό να δούμε όλους τους τρόπους μέτρησης αλλά και την κατηγοριοποίησή τους. Όπως θα δούμε παρακάτω, τα όργανα των ηλεκτρικών μετρήσεων, διακρίνονται σε δύο σημαντικές κατηγορίες. Ως προς το σύστημα μέτρησης και ως προς την αρχή λειτουργίας.

2.2.1 Διαχωρισμός ως προς το σύστημα μέτρησης.

Ο διαχωρισμός των οργάνων ως προς το σύστημα μέτρησης αφορά τον τρόπο που λαμβάνει μια μέτρηση και στη συνέχεια τον τρόπο που παρουσιάζεται αυτή η μέτρηση. Στην κατηγορία αυτή μπορούμε να καταγράψουμε τα εξής όργανα:

- *Ενδεικτικά όργανα.*

Στα όργανα αυτά, λαμβάνουμε την ένδειξη του μετρούμενου μεγέθους αμέσως κατά την λειτουργία του οργάνου. Ένα τέτοιο όργανο μπορεί να είναι ένα βολτόμετρο, αμπερόμετρο, θερμόμετρο, ωμόμετρο κ.α. Επίσης τα όργανα αυτά μπορεί να είναι αναλογικά αλλά και ψηφιακά. Ως γενικός όρος, ενδείκτης ονομάζεται μία συσκευή που απεικονίζει μία στιγμιαία ορατή ένδειξη ενός σήματος δεν την αποθηκεύει για μετέπειτα χρήση ή για αναφορά. Οι ενδείκτες είναι συσκευές που λειτουργούν σε πραγματικό χρόνο.

- *Καταγραφικά όργανα.*

Τέτοια όργανα είναι εκείνα που λαμβάνουν συνεχείς μετρήσεις ενός μεγέθους. Κατά την διάρκεια αυτή, οι μεταβολές ή οι επαναλαμβανόμενες μετρήσεις που λαμβάνουμε, αποτυπώνονται σε χαρτί ή σε κάποια μέσω αποθήκευσης που μπορεί να είναι ένας ηλεκτρονικός υπολογιστής. Συνήθως, τέτοιου είδους όργανα έχουν δικό τους μέσο αποθήκευσης δεδομένων και θύρα επικοινωνίας με ηλεκτρονικό υπολογιστή. Ένα τέτοιο όργανο, που μας είναι πολύ συνηθισμένο, είναι ο σειсмоγράφος.

- *Αθροιστικά όργανα.*

Είναι εκείνα τα όργανα που μια μέτρηση προστίθεται στην προηγούμενη μέτρηση που έλαβε το όργανο. Τέτοια όργανα είναι το γνωστό σε όλους μας "Ρολόι της ΔΕΔΔΗΕ" ή ακόμα και το "Ρολόι της ΕΥΔΑΠ". Στην πραγματικότητα τα "ρολόγια" αυτά δεν είναι τίποτα άλλο από αθροιστικά όργανα.

- *Παλμογράφοι.*

Είναι ηλεκτρονικά όργανα τα οποία έχουν την δυνατότητα να μετράνε και να δείχνουν ένα μετρούμενο μέγεθος και να το απεικονίζουν την ίδια στιγμή με την μορφή φωτεινής εικόνας. Έχει τη δυνατότητα να εμφανίζει τα ηλεκτρικά σήματα ως κυματομορφές με εξαιρετική ακρίβεια και δίνει έτσι την δυνατότητα μελέτης μιας πολύ μικρής σε διάρκεια φαινομένου όπως είναι τα μεταβατικά φαινόμενα. Υπάρχουν απλοί παλμογράφοι μονής δέσμης και πολλαπλής δέσμης. Ανάλογα με την απαιτούμενη ακρίβεια των μετρήσεων και την πολυπλοκότητα της εργασίας, υπάρχει αντίστοιχα μεγάλη διαφοροποίηση.

2.2.2 Διαχωρισμός ως προς την αρχή λειτουργίας και κατασκευής.

Όπως είδαμε, ο διαχωρισμός των οργάνων ως προς το σύστημα μέτρησης αφορά τον τρόπο λήψης και απεικόνισης της μέτρησης. Όμως, τα όργανα μέτρησης τα διακρίνουμε και ως προς την αρχή λειτουργίας που σχετίζεται με τον τρόπο κατασκευής του οργάνου και πάντα αναγράφεται πάνω στο όργανο με συγκεκριμένο συμβολισμό.

Τα διάφορα όργανα που χρησιμοποιούνται για την μέτρηση ηλεκτρικών μεγεθών, αποτελούνται από έναν βασικό ηλεκτροτεχνικό μηχανισμό, ο οποίος δίνει την δυνατότητα μετατροπής της ηλεκτρικής

ενέργειας του μετρούμενου μεγέθους σε μηχανική ενέργεια στροφής ή μετατόπισης ενός κινητού μέρους. Ανάλογα λοιπόν με την αρχή αυτής της μετατροπής, η κατηγοριοποίηση στα όργανα με βάση την αρχή λειτουργίας γίνεται όπως παρακάτω:

❖ *Ηλεκτρομαγνητικά όργανα - Όργανα κινητού σιδήρου ή βυθιζόμενου πυρήνα.*

Γενικά στα ηλεκτρομαγνητικά όργανα μέτρησης, η λειτουργία τους στηρίζεται στην επίδραση του μαγνητικού πεδίου ενός σταθερού μέρους προς το κινούμενο μέρος το οποίο με την σειρά του μετατοπίζει και την ενδεικτική βελόνη ή οτιδήποτε χρησιμεύει για την ένδειξη του μετρούμενου μεγέθους. Τέτοιου είδους όργανα είναι και τα όργανα κινητού σιδήρου ή βυθιζόμενου πυρήνα.

Βασικά εξαρτήματα ενός τέτοιου οργάνου είναι το πηνίο, ένα κατάλληλα διαμορφωμένο κομμάτι μαλακός σίδηρος και ο άξονας περιστροφής. Με την διέλευση ρεύματος από το πηνίο, ο σίδηρος έλκετε προς το εσωτερικό του πηνίου προκαλώντας την περιστροφή του άξονα και της βελόνας που είναι στερεωμένη σε αυτόν. Ο μαλακός σίδηρος έλκεται πάντα προς το εσωτερικό του πηνίου. Η έλξη αυτή είναι ανεξάρτητη από την φορά ρεύματος που διαρρέει το πηνίο. Αυτή η ιδιότητα καθιστά αυτά τα όργανα κατάλληλα για μέτρηση συνεχούς αλλά και εναλλασσόμενου ρεύματος. Λόγο της απλής κατασκευής τους, και η απαίτηση για μεγάλα ρεύματα ανταπόκρισης, θεωρούνται κατάλληλοι για βιομηχανική χρήση.

Συνοψίζοντας τα μειονεκτήματα μπορούμε να πούμε ότι είναι ένα μη γραμμικό όργανο (*αν και διορθώνεται με κατάλληλη κατασκευή*), απορροφά περισσότερη ισχύ από ένα όργανο μόνιμου μαγνήτη άρα έχει χαμηλή ευαισθησία, παρουσιάζει προβλήματα από παραμένοντα μαγνητισμό (*υστέρηση*) και είναι ογκώδη όργανα. Στα πλεονεκτήματα μπορούμε να πούμε ότι είναι ένα φθινό στην κατασκευή και ανθεκτικό.

Τυπικές δυνατότητες οργάνων κινητού σιδήρου:

- *Ρεύματα της τάξης των 50 mA.*
- *Εσωτερική αντίσταση (τυπική) 10 kΩ.*
- *Εύρος για τάσεις από 10 V έως 750 V.*
- *Εύρος συχνοτήτων από 15 έως 150 Hz.*
- *Σφάλμα της τάξης του 0,5 %.*

❖ *Ηλεκτρομαγνητικά όργανα - στρεφόμενου πηνίου ή κινητού πηνίου - μόνιμου μαγνήτη, μαγνητο-ηλεκτρικά ή όργανα πλαισίου.*

Αποτελούν μία υποκατηγορία των ηλεκτρομαγνητικών οργάνων επειδή η αρχή λειτουργίας τους είναι ακριβώς ίδια αλλά διαφοροποιείται στην κατασκευή. Ποιο συγκεκριμένα, η λειτουργία τους στηρίζεται στις δυνάμεις που ασκούνται σε ένα ρευματοφόρο αγωγό όταν βρεθεί μέσα σε ένα μαγνητικό πεδίο. Την ανάπτυξη ενός τέτοιου μαγνητικού πεδίου σε αυτά τα όργανα αναλαμβάνει να το δημιουργήσει ένας μόνιμος μαγνήτης. Κινητό μπορεί να είναι ένα από τα δύο κάθε φορά με πιο συνηθισμένη περίπτωση να θέλει το ρευματοφόρο αγωγό ως κινούμενο μέρος. Η περιέλιξη του είναι σε σχήμα πλαισίου απ' όπου και η ονομασία του σαν όργανο κινητού πλαισίου ή κινητού πηνίου.

Ρυθμίζοντας ανάλογα την ευαισθησία του οργάνου αυτού μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μέτρηση τάσης και ρεύματος. Για την κατασκευή τέτοιων οργάνων με μεγάλη ευαισθησία χρησιμοποιούνται ισχυροί μαγνήτες και ταυτόχρονα ο κατασκευαστής μεριμνάει για την ελάττωση των τριβών. Άλλο ένα στοιχείο που είναι πολύ σημαντικό, είναι ότι τα όργανα με μόνιμο μαγνήτη έχουν πολικότητα. Αυτή η ιδιότητα περιορίζει την άμεση χρήση τους μόνο για μέτρηση στο συνεχές

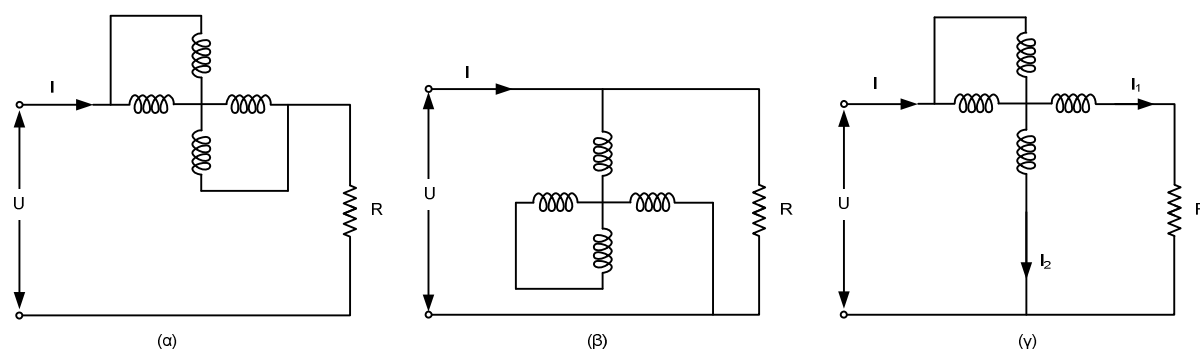
ρεύμα. Η χρήση τους για μετρήσεις στο εναλλασσόμενο ρεύμα γίνεται με την βοήθεια ηλεκτρονικών διατάξεων που "μετατρέπουν" το εναλλασσόμενο σε συνεχές ρεύμα.

Τυπικές δυνατότητες οργάνων στρεφόμενου πηνίου με μόνιμο μαγνήτη:

- Ρεύματα από $5 \mu A$ έως $50 \mu A$
- Εσωτερική αντίσταση (πηνίου) από $1 k\Omega$ έως $50 k\Omega$
- Από τα παραπάνω προκύπτει ένα εύρος για τάσεις από $5 mV$ έως $250 mV$.

❖ Ηλεκτρομαγνητικά όργανα - Ηλεκτροδυναμικά όργανα.

Τα ηλεκτροδυναμικά όργανα αποτελούν επίσης μία υποκατηγορία των ηλεκτρομαγνητικών οργάνων. Οι δυνάμεις εδώ ασκούνται μεταξύ δύο ρευματοφόρων πλαισίων (πηνίων), όπου το ένα αποτελεί το σταθερό μέρος και το δεύτερο το κινητό μέρος το οποίο μετακινεί και την ενδεικτική βελόνα. Με άλλα λόγια, η λειτουργία τους στηρίζεται στην ανάπτυξη δυνάμεων μεταξύ μαγνητικών πεδίων. Είναι πολύ πιο ευαίσθητα όργανα από τα ηλεκτρομαγνητικά όργανα και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή αμπερομέτρων, βολτομέτρων ακόμη και βαττομέτρων. Επίσης είναι κατάλληλα για μετρήσεις στο συνεχές όσο και στο εναλλασσόμενο ρεύμα. Για να μπορέσει να λειτουργήσει το συγκεκριμένο όργανο ως βολτόμετρο, αμπερόμετρο ή βαττόμετρο, θα πρέπει τα πηνία να συνδεθούν ανάλογα σε κάθε περίπτωση. Παρακάτω δίνεται μία σχηματική αναπαράσταση για ανάλογη χρήση:



Εικόνα 2.1: Σύνδεση πηνίων ηλεκτροδυναμικού οργάνου για λειτουργία ως (α) αμπερόμετρο, (β) βολτόμετρο και (γ) βαττόμετρο.

Στο κύκλωμα (α) κατά την λειτουργία του οργάνου ως αμπερόμετρο, τα τυλίγματα είναι συνδεδεμένα παράλληλα μεταξύ τους αλλά παρεμβάλλονται σε σειρά με το κύκλωμα. Στο κύκλωμα (β) τα πηνία του οργάνου είναι συνδεδεμένα σε σειρά μεταξύ τους αλλά παρεμβάλλονται παράλληλα με το κύκλωμα. Αυτή είναι η λειτουργία του οργάνου σαν βολτόμετρο. Κατά την λειτουργία του οργάνου σαν βαττόμετρο, το ακίνητο πηνίο με τις λιγότερες σπείρες συνδέεται σε σειρά με το κύκλωμα. Αυτό ονομάζεται πηνίο ρεύματος. Το κινητό πηνίο, το συνδέουμε παράλληλα με το κύκλωμα και το ονομάζουμε πηνίο τάσης. Πρέπει να σημειωθεί ότι, στη περίπτωση του βαττόμετρου, η ροπή στρέψης είναι ανάλογη με το γινόμενο των ρευμάτων που διαρρέουν τα δύο πηνία.

Τυπικές δυνατότητες ηλεκτροδυναμικών οργάνων:

- Ρεύματα από $0,02 A$ έως $0,1 A$.
- Εσωτερική αντίσταση (τυπική) $7,5 k\Omega$.
- Εύρος για τάσεις από $30 V$ έως $600 V$.
- Εύρος συχνοτήτων από 25 έως $500 Hz$.

- Σφάλμα της τάξης του 0,1 έως 0,25 %.

❖ Επαγωγικά όργανα.

Τα συγκεκριμένα όργανα, χρειάζονται τουλάχιστον δύο ακίνητα πηνία, σε τέτοια διάταξη μάλιστα, που όταν τροφοδοτηθούν με εναλλασσόμενο ρεύμα να δημιουργήσουν ένα συνιστάμενο στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο. Το πεδίο αυτό επιδρά σε ένα μεταλλικό δίσκο αλουμινίου, το οποίο είναι και το κινητό μέρος του οργάνου, δημιουργώντας δινορρεύματα¹. Μεταξύ των ρευμάτων αυτών και του μαγνητικού πεδίου αναπτύσσονται δυνάμεις *Laplace*, οι οποίες προκαλούν περιστροφή του δίσκου.

Τα επαγωγικά όργανα χρησιμοποιούνται μόνο ως μετρητές ενέργειας στο εναλλασσόμενο ρεύμα και ο λόγος είναι επειδή μόνο στο εναλλασσόμενο ρεύμα μπορούμε να έχουμε μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο. Το μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο είναι προϋπόθεση για την δημιουργία στρεφόμενου μαγνητικού πεδίου.

Για την δημιουργία στρεφόμενου μαγνητικού πεδίου, χρειάζονται δύο τουλάχιστον μαγνητικά πεδία που να δημιουργούνται από διαφορετικά πηνία που επίσης πρέπει να διαρρέονται από δύο διαφορετικά ρεύματα που διαφορά φάσης μεταξύ τους. Η ανάλυση του δεν αφορά το κεφάλαιο αυτό και θα αρκестούμε να πούμε ότι, πετυχαίνουμε τα παραπάνω με κατάλληλη κατασκευή των σιδηροπυρίνων των πηνίων και κατάλληλη διάταξη.

Για την συγκράτηση της ροπής στρέψης του κινητού μέρους του οργάνου, υπάρχει ένας μόνιμος μαγνήτης που ασκεί μία αντίθετη ροπή, που προέρχεται από την δράση του μόνιμου μαγνήτη πάνω στα δινορρεύματα που έχουν δημιουργηθεί. Η αντίθετη ροπή αυτή, είναι ανάλογη της ταχύτητας περιστροφής του δίσκου σε σχέση με την ροπή στρέψης, που είναι ανάλογη με την πραγματική² ισχύ στο εναλλασσόμενο ρεύμα.

❖ Θερμικά όργανα.

Η λειτουργία των θερμικών οργάνων βασίζεται στην γραμμική διαστολή ενός μεταλλικού νήματος όταν αυτό θερμανθεί. Στην προκειμένη περίπτωση η θέρμανση προκαλείται από την ροή ρεύματος. Εδώ όμως υπάρχει μία διαφοροποίηση. Αφού η θερμότητα που αναπτύσσεται στο νήμα, προκαλείται από το ρεύμα που το διαρρέει, μπορούμε να πούμε ότι αυτή η θερμότητα είναι ανάλογη προς την αντίσταση και το τετράγωνο του ρεύματος ($R \cdot I^2$). Συνηθισμένη περίπτωση είναι η κατασκευή τέτοιων οργάνων με νήμα από άργυρο ή λευκόχρυσου που έχουν πολύ μικρή αντίσταση. Αν λοιπόν, θεωρήσουμε αμελητέα την μεταβολή της αντίστασης λόγω της θερμοκρασίας σε ένα τέτοιο όργανο, μπορούμε να πούμε ότι η θερμότητα που αναπτύσσεται στο νήμα είναι κάθε φορά ανάλογη του τετραγώνου του ρεύματος. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι η μετατόπιση του νήματος λόγω θερμότητας δεν είναι γραμμική. Κατά συνέπεια και η κλίμακα ένδειξης των θερμικών οργάνων δεν είναι γραμμική.

Η αναπτυσσόμενη θερμότητα δεν σχετίζεται με την φορά του ρεύματος που διαρρέει το νήμα. Αυτή τους η ιδιότητα τα καθιστά ικανά να λειτουργούν και στο συνεχές και στο εναλλασσόμενο όπου έχουν την ιδιαιτερότητα να δείχνουν κατευθείαν την ενεργή τιμή του ρεύματος. Επίσης τέτοια όργανα, είναι κατάλληλα για την μέτρηση εναλλασσόμενων ρευμάτων υψηλών συχνοτήτων. Ο λόγος είναι επειδή από κατασκευής τους δεν έχουν πηνία και ως γνωστόν το νήμα παρουσιάζει αμελητέα αυτεπαγωγή, καθιστούν την ένδειξη του οργάνου ανεξάρτητη από της συχνότητες.

¹ Είναι ρεύματα που δημιουργούνται σε μεταλλικά μέρη όταν βρίσκονται εντός μαγνητικού πεδίου και η κίνηση τους έχει μορφή δίνης (όπως το νερό στην άκρη των ποταμών).

² Όπως θα δείτε στα επόμενα εδάμνα, στο εναλλασσόμενο ρεύμα υπάρχουν τριών ειδών ισχύεις. Η φαινόμενη (S), η πραγματική (P), και η άεργη (Q). Μαζί και τα τρία σχηματίζουν ένα τρίγωνο που ονομάζεται τρίγωνο ισχύος.

❖ Ηλεκτροστατικά όργανα.

Η λειτουργία τους στηρίζεται στις δυνάμεις που αναπτύσσονται μεταξύ των οπλισμών ενός φορτισμένου πυκνωτή. Η μια πλάκα είναι σταθερή ενώ η άλλη μπορεί να μετακινείται. Χρησιμοποιούνται κυρίως για μέτρηση υψηλών τάσεων. Με κατάλληλο σχεδιασμό της στρεφόμενης επιφάνειας, η σχέση χωρητικότητας-απόκλισης μπορεί να γίνει γραμμική. Ουσιαστικά όμως ένα τέτοιο όργανο είναι μη γραμμικό. Τα όργανα αυτά είναι χαμηλής ευαισθησίας και ογκώδη.

Τυπικές δυνατότητες ηλεκτροστατικών οργάνων:

- Εύρος για τάσεις από 30 V έως 50 kV
- Εύρος συχνοτήτων από 15Hz έως 300 kHz
- Σφάλμα της τάξης του 0,5 %























Να σημειωθεί ότι, συνήθως, η ονομασία των οργάνων ηλεκτρικών μετρήσεων προκύπτει από το ηλεκτρικό μέγεθος που μετράνε ή την μονάδα μέτρησης του μεγέθους. Για παράδειγμα, λέμε ότι θέλουμε ένα βολτόμετρο στη περίπτωση που θέλουμε να μετρήσουμε το δυναμικό ανάμεσα σε δύο σημεία ή αλλιώς για την μέτρηση τάσης. Έτσι, για την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος χρησιμοποιούμε αμπερόμετρα, για την ηλεκτρική αντίσταση ωμόμετρα, για την ισχύ βαττόμετρα, για την συχνότητα συχνόμετρα, για τον συντελεστή ισχύος σε μία εγκατάσταση τα συνημιτονόμετρα κτλ. Καμιά φορά όμως μπορεί να συναντήσουμε και την ονομασία του οργάνου σύμφωνα με μια συγκεκριμένη μέτρηση που μπορεί να κάνει. Για παράδειγμα ένα όργανο που μετράει την τιμή της αντίστασης της θεμελιακής γείωσης σε μία εγκατάσταση, συνηθίζεται να το αποκαλούμε γειωσόμετρο³.

2.3 Σύμβολα κυκλωμάτων και ηλεκτρικών οργάνων.

Το σχέδιο είναι ένας απαραίτητος οδηγός για την εκτέλεση ηλεκτρολογικών εργασιών. Είτε πρόκειται για ηλεκτρολογικές εγκαταστάσεις, είτε οποιαδήποτε ηλεκτρολογική ή ηλεκτρονική κατασκευή, είτε αυτό πρόκειται για μία εφαρμογή στο εργαστήριο. Οι συμβολισμοί κάνουν πιο εύκολο και πιο γρήγορο το σχέδιο. Επιτυγχάνει την σωστή παρουσίαση των οργάνων, διάφορων ηλεκτρικών συσκευών και μηχανών σε μία ηλεκτρολογική συνδεσμολογία. Για να γίνει όμως ένα σχέδιο κατανοητό σε κάποιον άλλον, ο οποίος μπορεί να είναι και ο αυτός που θα κληθεί να υλοποιήσει το σχέδιο, θα πρέπει να έχει ένα κοινό κώδικα. Παρακάτω θα δούμε μία μικρή και σύντομη παρουσίαση τέτοιων συμβόλων που βρίσκουν κοινή χρήση από όλους τους ηλεκτρολόγους. Να σημειωθεί εδώ ότι το σωστό πάντα σε ένα σχέδιο (π.χ. *αρχιτεκτονικό*) υπάρχει πάντα ένα υπόμνημα συμβόλων που υπαγορεύει την χρήση κάθε συμβόλου στο σχέδιο.











Προτείνεται στους σπουδαστές του εργαστηρίου, κατά των σχεδιασμό των κυκλωμάτων τους να χρησιμοποιούν τα κυκλωματικά σύμβολα που παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες.

³ Η πραγματική ονομασία ενός τέτοιου οργάνου είναι γέφυρα μέγγερ (megger).

	Συνεχές ρεύμα (Σ.Ρ. – D.C.).		Ρυθμιστική αντίσταση.
	Εναλλασσόμενο ρεύμα (Ε.Ρ. – A.C.).		Επαγωγή - πηνίο (L).
	Συνεχές και εναλλασσόμενο ρεύμα.		Ρυθμιζόμενη επαγωγή.
	Εναλλασσόμενο με ένδειξη φάσεων και συχνότητας.		Πυκνωτής (C) (γενικά).
	Πηγή παροχής συνεχής τάσης ή πηγή τάσης.		Ηλεκτρολυτικός πυκνωτής.
	Πηγή παροχής συνεχής τάσης ή πηγή τάσης.		Ρυθμιζόμενος πυκνωτής.
	Πηγή εναλλασσόμενου ρεύματος.		Δίοδος.
	Πηγή παροχής συνεχούς ρεύματος ή πηγή ρεύματος.		Επαγωγή με σιδηροπυρήνα.
	Διακόπτης (γενικά).		Σημείο μηδενικού δυναμικού - Γείωση.
	Ωμική αντίσταση (R).		Ανορθωτική διάταξη με διόδους.
	Ρυθμιστική αντίσταση.		Άγνωστη διάταξη.

Πίνακας 2.1: Συνηθισμένα κυκλωματικά σύμβολα.

Στον επόμενο πίνακα, θα βρείτε τα πιο συνηθισμένα σύμβολα που χρησιμοποιούνται σε σχεδιασμό ηλεκτρικών κυκλωμάτων και αφορούν τα όργανα μέτρησης.

	Γενικά ενδεικτικό όργανο.		Γενικά καταγραφικό όργανο.
	Βολτόμετρο.		Βολτόμετρο καταγραφικό.
			Αμπερόμετρο καταγραφικό.
	Αμπερόμετρο.		Μετρητής γενικά.
			Μετρητής αμπερωρίων.

Πίνακας 2.2: Σύμβολα ηλεκτρικών οργάνων μέτρησης.

Εκτός από των συμβολισμό των ηλεκτρικών οργάνων μέτρησης σε ένα κύκλωμα, υπάρχουν και συμβολισμοί που σχετίζονται με την αρχή λειτουργίας καθώς και με διάφορα χαρακτηριστικά που έχουν τα όργανα. Αυτά τα χαρακτηριστικά δίνονται πάντα από τον κατασκευαστή και συνηθίζεται να είναι σημειωμένα στο μπροστινό μέρος του οργάνου.

	Μηχανισμός οργάνου με πηνίο τάσεως.		Μηχανισμός αθροιστικού ή διαφορικού οργάνου με δύο πηνία τάσεως.
	Μηχανισμός οργάνου με πηνίο εντάσεως.		Μηχανισμός αθροιστικού ή διαφορικού οργάνου με δύο πηνία εντάσεως.
	Μηχανισμός αθροιστικού ή διαφορικού οργάνου με πηνίο τάσεως και με πηνίο εντάσεως.		Διμεταλλικό.
	Ηλεκτροστατικό όργανο		Όργανο στρεφόμενου πηνίου με μόνιμο μαγνήτη.
	Θερμικό όργανο.		Όργανο διασταυρωμένων πηνίων με μόνιμο μαγνήτη.
	Επαγωγικό όργανο.		Όργανο κινητού μαγνήτη.
	Επαγωγικό όργανο πηλίκου.		Όργανο κινητού μαγνήτη με διασταυρωμένα πηνία.
	Ηλεκτροδυναμικό όργανο.		Όργανο με παλλόμενα ελάσματα.
	Όργανο κινητού σιδήρου.		Σιδερένιο
	Όργανο κινητού σιδήρου πηλίκου.		Ηλεκτροστατικός κλωβός.
	Όργανο κινητού σιδήρου πηλίκου.		Όργανο που χρειάζεται να ρυθμιστεί το μηδέν.
	Τάση δοκιμής οργάνου 500 V	ast	Αστατικός μηχανισμός.
	Τάση δοκιμής οργάνου 5 kV	2,5	Κλάση ακριβείας.
	Τοποθέτηση οργάνου σε όρθια θέση.		Τοποθέτηση οργάνου σε οριζόντια θέση.
	Τοποθέτηση οργάνου σε πλάγια θέση ή υπό γωνία.		Προσοχή διαβάστε τις οδηγίες.

Πίνακας 2.3: Σύμβολα αρχής λειτουργίας ηλεκτρικών οργάνων μέτρησης.

2.4 Ακρίβεια των ηλεκτρικών οργάνων.

Η μέτρηση ενός μεγέθους είναι η άμεση ή έμμεση σύγκρισή του με ένα ομοειδές μέγεθος που αυθαίρετα θεωρείται ως μονάδα του μεγέθους αυτού. Όπως έχουμε προαναφέρει σε προηγούμενη άσκηση, για την ποσοτική περιγραφή ενός φαινομένου, εδώ μπορούμε να πούμε ότι η μέτρηση γίνεται για να προσδιορίσουμε μια αριθμητική τιμή που θα περιγράψει ποσοτικά το φαινόμενο. Με άλλα λόγια για να μπορέσουμε να προσδιορίσουμε το μέτρο του μεγέθους.

Μας είναι γνωστό επίσης ότι το αποτέλεσμα μίας μέτρησης δεν μπορεί να είναι απόλυτα ακριβής. Ένας από τους πολλούς λόγους που ξέρουμε είναι ότι τα όργανα μέτρησης δεν είναι τέλεια αλλά κατασκευασμένα από διακριτά υλικά. Την διαφορά που εισάγεται σε μια μέτρηση σε σχέση με την πραγματική τιμή μιας ποσότητας την ονομάσαμε απόλυτο σφάλμα.

Συνοψίζοντας, μπορούμε να θεωρήσουμε την ακρίβεια ως αντίστροφο του σφάλματος. Είναι προφανές ότι αντικειμενικός σκοπός οποιουδήποτε που εκτελεί κάποια μέτρηση αποτελεί η όσο το δυνατόν ακριβέστερη διεξαγωγή της. Εδώ δεν πρέπει να παραβλέπεται το γεγονός ότι κάθε προσπάθεια μείωσης του σφάλματος μιας μέτρησης συνεπάγεται και αύξηση της δαπάνης διεξαγωγής της.

Όλα τα προηγούμενα αφορούν την ακρίβεια μετρήσεων. Η ακρίβεια των ηλεκτρικών οργάνων μέτρηση εκφράζεται με το μέγιστο σφάλμα που μπορεί να κάνει ένα όργανο κατά την μέτρηση ενός μεγέθους. Το σφάλμα αυτό δίνεται σε ποσοστό επί τοις εκατό (%) της τελικής τιμής της κλίμακας μετρήσεως του οργάνου. Αυτή η ποσοστιαία έκφραση είναι το σχετικό σφάλμα που έχουμε αναλύσει στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Είναι σημαντικό να έχουμε μια βασική κατανόηση του σφάλματος γι' αυτό και κρίνεται απαραίτητο να εισάγουμε κάποιες έννοιες που σχετίζονται με τα σφάλματα των ηλεκτρικών οργάνων μέτρησης αλλά και με τα χαρακτηριστικά κατασκευής του οργάνου και γενικότερα τον μηχανισμό λήψης μετρήσεων. Πολλές από τις έννοιες που αναφέρονται παρακάτω μπορεί να σας είναι ήδη γνωστές από την καθημερινότητα μας. Παρ' όλα αυτά, χρειάζεται να εξετάσουμε προσεκτικά του ορισμούς, γιατί ενδέχεται η σημασία τους να είναι διαφορετική όταν αναφερόμαστε στο πεδίο των ηλεκτρικών οργάνων μέτρησης.

Να σημειωθεί ότι, δεν σχετίζονται οπωσδήποτε όλα τα χαρακτηριστικά σε κάποιο δεδομένο όργανο. Επίσης, όλα αυτά που θα αναφερθούν στη συνέχεια αφορούν και τα ψηφιακά όργανα. Ανά περίπτωση μπορεί να αφορούν μονό κλασικά όργανα ή μόνο ψηφιακά.

2.5 Έννοιες και χαρακτηριστικά που αφορούν στην ακρίβεια των ηλεκτρικών οργάνων.

❖ Προδιαγραφές.

Οι προδιαγραφές μίας συσκευής είναι η τεχνική περιγραφή χαρακτηριστικών, της κατασκευής και της απόδοσης, καθώς και κάθε άλλη σχετικής πληροφορίας.

❖ Μεταβλητή.

Ως μεταβλητή μπορεί να θεωρηθεί οτιδήποτε. Συνήθως αποκαλούμε μεταβλητή μία μετρούμενη ποσότητα, που μπορεί να λάβει διαφορετικές τιμές. Αυτό είναι ένα φυσικό μέγεθος.

❖ Κατανάλωση οργάνου.

Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό για ένα όργανο είναι η κατανάλωση ενέργειας από το ίδιο το όργανο. Η κατανάλωση του οργάνου είναι η ηλεκτρική ισχύς που αντιστοιχεί στην ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείτε για την λειτουργία του. Ανάλογα με το όργανο, συνήθως δεν υπερβαίνει κάποιες δεκάδες *mWatt*. Αρκετές φορές μπορεί να διατυπώνεται και σε *mVA*⁴.

❖ Κλάση ακρίβειας οργάνου - Ακρίβεια - Ανοχή.

Η κλάση ακρίβειας είναι μια τυποποίηση της κατασκευής οργάνων με συγκεκριμένο ποσοστό σφάλματος. Αν θέλετε, είναι μία όσο γίνετε πιο συνολική προσέγγιση του σφάλματος που δημιουργεί το όργανο. Αν σε ένα όργανο αναγράφεται η ένδειξη κλάσης ακρίβειας *2,5* αυτό σημαίνει αυτομάτως ότι η ακρίβεια του οργάνου είναι $\pm 2,5\%$.

Τα όργανα μετρήσεως υπάγονται σε επτά κλάσεις ακρίβειας. Οι τυποποιημένες τιμές κατά τον Γερμανικό κανονισμό *VDE* φαίνονται παρακάτω:

⁴ VA - Βολταμπέρ, μονάδα μέτρησης φαινόμενης ισχύος στο εναλλασσόμενο ρεύμα.

	Κλάση ακριβείας του οργάνου	Ποσοστιαίο σφάλμα (%)	Χαρακτηριστικές εφαρμογές
Όργανα εργαστηριακής ακριβείας ή λεπτά όργανα.	0,05	$\pm 0,05$	Πρότυπα όργανα.
	0,1	$\pm 0,1$	
	0,2	$\pm 0,2$	Φορητά όργανα μεγάλης ακριβείας για ειδικές εργαστηριακές μετρήσεις.
	0,3	$\pm 0,3$	Φορητά όργανα ακριβείας για εργαστηριακές μετρήσεις.
	0,5	$\pm 0,5$	
Όργανα βιομηχανικής ακριβείας ή όργανα λειτουργίας.	1	± 1	Φορητά όργανα ελέγχου λειτουργίας ηλεκτρικών εγκαταστάσεων.
	1,5	$\pm 1,5$	Όργανα ακριβείας ηλεκτρικών πινάκων και κανονικά φορητά όργανα.
	2,5	$\pm 2,5$	Κανονικά όργανα ηλεκτρικών πινάκων.
	5	± 5	

Πίνακας 2.4: Διαχωρισμός οργάνων σε σχέση με την κλάση ακριβείας.

Κατά τους Βρετανικούς Κανονισμούς υπάρχουν μόνο δύο κατηγορίες οργάνων. Η μία κατηγορία είναι τα όργανα ακριβείας με κλάση ακριβείας 0,30 - 1,00 και τα βιομηχανικά όργανα με κλάση ακριβείας 0,75 - 3,00.

Η κλάση ακριβείας δίνεται πάντα από τον κατασκευαστή και στα κλασικά αναλογικά όργανα, αναγράφεται συνήθως στο κάτω αριστερό μέρος της κλίμακας του οργάνου. Σε διαφορετική περίπτωση θα αναφέρετε στις προδιαγραφές του.

❖ **Ευαισθησία οργάνου.**

Με τον όρο ευαισθησία ενός οργάνου ονομάζουμε το πηλίκο της μεταβολής της εξόδου του οργάνου ως προς μια μικρή μεταβολή της εισόδου του. Η μεταβολή αυτή θεωρείται ότι γίνεται από κάποια θέση ισορροπίας και βέβαια γίνεται αντιληπτή μόνο από όργανα που έχουν πολύ μεγάλη ευαισθησία.

❖ **Απόκριση οργάνου.**

Μια σημαντική ιδιότητα ενός οργάνου είναι η δυναμική του απόκριση. Αυτή καταδεικνύει την ποιότητα, με την οποία χαρακτηρίζεται η ικανότητα μιας μετρητικής διάταξης να αποκρίνεται γρήγορα σε αλλαγές στην είσοδο. Είναι επιθυμητό τα διάφορα μετρητικά όργανα να παρουσιάζουν υψηλή δυναμική απόκριση, ιδιαίτερα σε συστήματα ελέγχου ή λήψης αποφάσεων πραγματικού χρόνου.

❖ **Επαναληψιμότητα.**

Η επαναληψιμότητα μιας συσκευής ή ενός οργάνου, είναι η ικανότητά του να παράγει το ίδιο αποτέλεσμα όταν σε διαφορετικές χρονικές στιγμές θα τροφοδοτηθεί με την ίδια ακριβώς είσοδο. Δηλαδή, όσες φορές μετρήσουμε το ίδιο μέγεθος και μάλιστα άσχετα αν η μετρούμενη τιμή είναι κοντά στο στόχο της μέτρησης.

❖ **Βαθμονόμηση.**

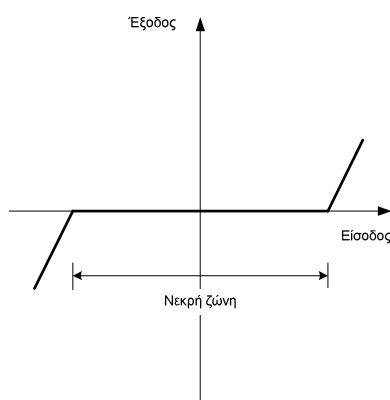
Η έννοια της βαθμονόμησης μιας συσκευής ή ενός οργάνου αναφέρεται στις μονάδες, στις οποίες βαθμολογείται η κλίμακα εμφάνισης ή καταγραφής ενός οργάνου. Επίσης, με την ορολογία

αυτή υπονοούμε αρκετές φορές και το καλιμπράρισμα ενός οργάνου. Για παράδειγμα η ρύθμιση του μηδέν σε ένα πολύ ευαίσθητο όργανο.

❖ *Νεκρή ζώνη.*

Όταν οι προδιαγραφές ενός οργάνου μέτρησης αναφέρονται σε μία νεκρή ζώνη, αυτή δηλώνει το μέγιστο ποσό αλλαγής της μετρούμενης ποσότητας που δεν προκαλεί αλλαγή στην έξοδο. Με άλλα λόγια μπορούμε να πούμε ότι, μία νεκρή ζώνη είναι μία περιοχή τιμών ή αν θέλετε ένα εύρος τιμών, που δεν μπορεί να προκαλέσει αλλαγή στην έξοδο του οργάνου.

Η εικόνα που ακολουθεί δείχνει σχηματικά την λειτουργία της εισόδου σε σχέση με την μεταβολή της ένδειξης στην έξοδο στην περιοχή που χαρακτηρίζεται ως νεκρή ζώνη.



Εικόνα 2.2: Νεκρή ζώνη οργάνων μέτρησης.

Η νεκρές ζώνες προκύπτουν λόγω στατικής τριβής ή υστέρησης⁵. Δεν πρέπει να βιαστούμε και να συνδέσουμε την νεκρή ζώνη με την ευαισθησία του οργάνου. Δεν είναι απαραίτητο να υπάρχει νεκρή ζώνη καθ' όλο το εύρος ενός οργάνου. Εξάλλου, πρέπει να γνωρίζουμε ότι οι υπολογίσιμες νεκρές ζώνες εμφανίζονται κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες.

❖ *Ολίσθηση.*

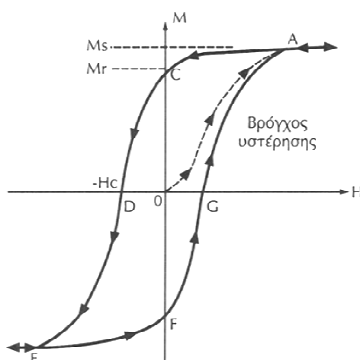
Η ολίσθηση είναι η φυσική τάση μιας συσκευής ή συστήματος να μεταβάλλει τα ονομαστικά του χαρακτηριστικά κυρίως λόγω περιβαλλοντικών αλλαγών αλλά λόγω χρόνου ή αλλιώς γήρατος. Η σημαντικότερη αιτία ολίσθησης είναι οι αλλαγές των συνθηκών και επηρεάζουν τα στατικά χαρακτηριστικά των οργάνων. Η διακρίβωση και τα τεχνικά χαρακτηριστικά κάθε οργάνου ισχύουν σε καθορισμένες περιβαλλοντικές συνθήκες τις τιμές των οποίων παρέχει ο κατασκευαστής όπως το εύρος θερμοκρασιών, πίεση, επιτάχυνση, θέση λειτουργίας κ.α.

❖ *Υστέρηση.*

Η υστέρηση, σαν φαινόμενο, επιδρά στις ενδείξεις του οργάνου. Η διαφορά αυτή που προκαλείται στην έξοδο, έχει να κάνει με την κατεύθυνση μεταβολή της εισόδου, όταν αυτή στην ουσία αντιστραφεί. Δηλαδή ένα όργανο λέμε ότι παρουσιάζει υστέρηση όταν υπάρχει διαφορά στις μετρήσεις, που εξαρτώνται από το αν η τιμή του μετρούμενου μεγέθους προσεγγίζεται αυξάνοντας ή φθίνοντας. Με τον τρόπο αυτό εισάγεται σφάλμα κατά την μέτρηση.

⁵ Υστέρηση είναι ιδιότητα που παρουσιάζουν τα μαγνητικά υλικά κατά την μαγνήτιση και απομαγνήτιση τους.

Αν για παράδειγμα η μετρούμενη τιμή αυξάνει με σταθερό βήμα από μηδέν μέχρι μια μέγιστη τιμή και μετά ακολουθήσουμε την αντίθετη πορεία, θα παρατηρήσουμε ότι, κατά τις προηγούμενες μετρήσεις στην ίδια ακριβώς μέτρηση, το όργανο θα μας δείξει διαφορετική τιμή. Η έννοια της υστέρησης μπορεί να κατανοηθεί καλύτερα με την βοήθεια της παρακάτω εικόνας.



Εικόνα 2.3 : Καμπύλη μαγνήτισης - Βρόγχος υστέρησης μαγνητικών υλικών.

Οι γραμμές δείχνουν την φορά μαγνήτισης του υλικού, που μπορεί να είναι ο σιδηροπυρίνας ενός οργάνου μέτρησης. Αν συνδυάσουμε το παραπάνω παράδειγμα με τον εικόνα αυτή θα καταλάβουμε ότι, τραβώντας μία κάθετη ευθείς στον άξονα $+H$, οι τιμές που λαμβάνουμε στον άξονα $+B$ είναι δύο.

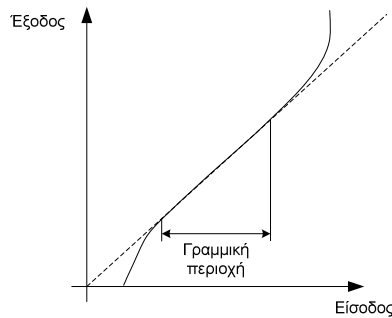
Δεν εμφανίζουν όλα τα συστήματα μέτρησης υστέρηση. Το φαινόμενο αυτό προκαλείται από διάφορους παράγοντες, ειδικότερα την παραμένουσα μηχανική τάση και την τριβή.

❖ **Καθυστέρηση.**

Ονομάζεται η χρονική καθυστέρηση που παρουσιάζει η αλλαγή της ένδειξης του οργάνου σε σχέση με την μεταβολή της μετρούμενης τιμής στην είσοδο. Η καθυστέρηση μετριέται σε δευτερόλεπτα (s), αν και συνηθέστερα δίνεται σε κλάσματα του δευτερολέπτου.

❖ **Γραμμικότητα.**

Η γραμμικότητα ενός οργάνου σχετίζεται με την ανάλογη μεταβολή της ένδειξης του οργάνου σε σχέση με την είσοδο. Αν σχηματίσουμε μία γραφική παράσταση για τις τιμές εισόδου - εξόδου ενός οργάνου, όπως αυτό στο παρακάτω σχήμα, θα δούμε ότι η λειτουργία ενός οργάνου δεν είναι πάντα γραμμική, αλλά έχει και περιοχές όπου, παρά τη σταθερή και γραμμική μεταβολή της εισόδου η ένδειξή του δεν συμπεριφέρονται με τον ίδιο τρόπο. Υπάρχουν όργανα που η όλη λειτουργία τους είναι μη γραμμική ενώ υπάρχουν και όργανα όπου η γραμμικότητα μπορεί να αναφέρεται σε μια συγκεκριμένη περιοχή μέτρησης όπου εκεί μόνο το όργανο λειτουργεί γραμμικά ή όχι.



Εικόνα 2.4: Γραφική παράσταση εισόδου - εξόδου - γραμμικότητα.

Επιδιώκουμε πάντα, ένα όργανο να λειτουργεί μέσα στα όρια της γραμμικής περιοχής. Σε αντίθετη περίπτωση ο κατασκευαστής φροντίζει να έχει βαθμονομήσει κατάλληλα την κλίμακα του οργάνου. Ένα τέτοιο παράδειγμα μη γραμμικού οργάνου είναι το αναλογικό ωμόμετρο.

❖ *Χρόνος λειτουργίας - Αξιοπιστία.*

Οι δύο όροι αυτοί είναι σχεδόν ίδιοι και έχουν να κάνουν με το χρόνο λειτουργίας όπου προβλέπεται το όργανο να λειτουργεί χωρίς να αλλοιωθούν τα χαρακτηριστικά του. Εκφράζεται πάντα σε μονάδες χρόνου ή ένας πιο συνηθισμένος τρόπος είναι ο κύκλος λειτουργίας.

❖ *Εύρος.*

Το εύρος λειτουργίας του οργάνου ισούται με τα όρια των μετρούμενων τιμών, όπου η μετρητική συσκευή θα λειτουργήσει με αξιοπιστία. Αρκετές φορές, οι κατασκευαστές αναγράφουν στις προδιαγραφές το εύρος θερμοκρασιών λειτουργίας, πίεσης, υγρασίας ή άλλων παραμέτρων που μπορεί να επηρεάσουν την λειτουργία του οργάνου.

❖ *Διακριτική ικανότητα.*

Είναι η μικρότερη μετρήσιμη ποσότητα ή αλλιώς η μικρότερη μεταβολή που μπορεί να προκαλέσει μεταβάλε της ένδειξης του οργάνου. Εκφράζεται συνήθως ως προς το μικρότερο βήμα που μπορεί να ανιχνεύσει ένα όργανο. Η διακριτική ικανότητα αφορά και εξαρτήματα μεταβλητής τιμής. Για παράδειγμα μία μεταβλητή αντίσταση ή ένα μεταβλητό πηνίο. Ακόμα και το τροφοδοτικό που έχετε στο εργαστήριο έχει συγκεκριμένη διακριτική ικανότητα. Συνήθως δίνεται από τον κατασκευαστή σε ποσοστό επί τοις εκατό.

❖ *Ευαισθησία.*

Η ευαισθησία από την άλλη, εκφράζει τη σχέση ανάμεσα στην αλλαγή στην έξοδο και την αντίστοιχη αλλαγή στην είσοδο που την προκαλεί. Μπορούμε να ορίσουμε την ευαισθησία ίση με την διαφορά του εύρους των τιμών εξόδου προς το αντίστοιχο εύρος τιμών εισόδου.

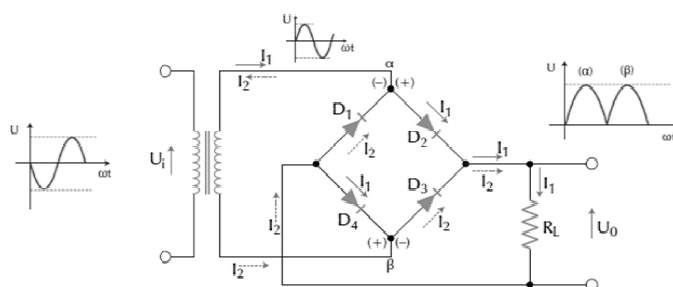
$$\text{Ευαισθησία} = \frac{\text{μέγιστη τιμή εξόδου} - \text{ελάχιστη τιμή εξόδου}}{\text{μέγιστη τιμή εισόδου} - \text{ελάχιστη τιμή εισόδου}}$$

Αν η σχέση στη μετρούμενη ποσότητα και την ένδειξη είναι γραμμική, η ευαισθησία μπορεί να εκφράζεται ως προς το όλο εύρος. Εάν όμως η σχέση αυτή δεν είναι γραμμική, τότε η ευαισθησία

θα διαφέρει από περιοχή σε περιοχή και θα αναφέρεται ως προς διαφορετικές περιοχές τιμών εισόδου.

2.6 Ηλεκτρονικά όργανα μέτρησης.

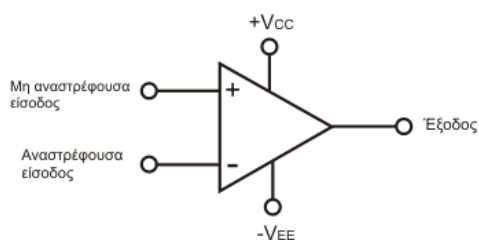
Αρκετά πιο σύγχρονα όργανα αν και σε σχέση με τα κλασικά όργανα. Με πληθώρα πλεονεκτημάτων και βελτιώσεων σε επίπεδο απόδοσης ακρίβειας ακόμα και θέματα μεταφοράς των οργάνων. Η πρώτη εφαρμογή των ηλεκτρονικών διατάξεων αφορούσε την μετατροπή αρκετών οργάνων σε όργανα μέτρησης στο εναλλασσόμενο ρεύμα. Η πιο συνηθισμένη μετατροπή γίνεται με την. Μια τέτοια γέφυρα έχει την δυνατότητα να μετατρέπει το εναλλασσόμενο σήμα εισόδου σε συνεχές.



Εικόνα 2.5: Γέφυρα ανόρθωσης με διόδους.

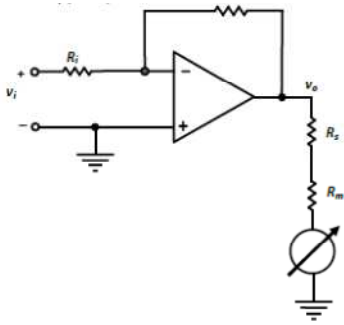
Με αντίστοιχη βαθμονόμηση της κλίμακας μπορούμε να πετύχουμε μετρήσεις που αντιστοιχούν στις τιμές των εναλλασσόμενων μεγεθών.

Οι πράξεις σε τέτοια όργανα πραγματοποιούνται με τη βοήθεια τελεστικών ενισχυτών οι οποίοι ανάλογα με τον τρόπο σύνδεσης τους πραγματοποιούν τις απαιτούμενες πράξεις όπως πρόσθεση, αφαίρεση, ολοκλήρωση ή διαφόριση αλλά και πληθώρα άλλων λειτουργιών και πράξεων.

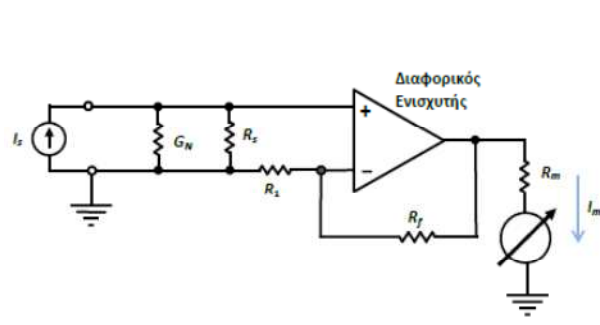


Εικόνα 2.6: Τελεστικός ενισχυτής.

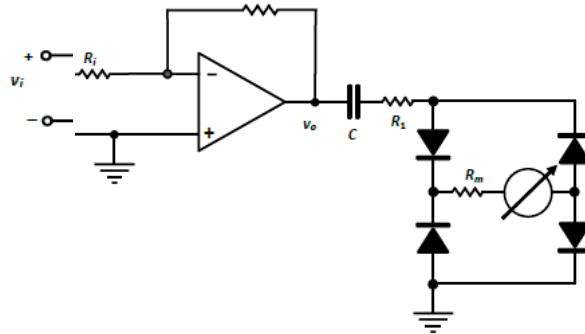
Παρακάτω εμφανίζονται διάφορα παραδείγματα τέτοιων κυκλωμάτων όπως και οργάνων μέτρησης στο συνεχές και στο εναλλασσόμενο.



Εικόνα 2.7: Ηλεκτρονικό βολτόμετρο συνεχούς.

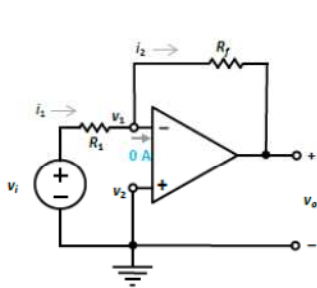


Εικόνα 2.8: Ηλεκτρονικό αμπερόμετρο συνεχούς.

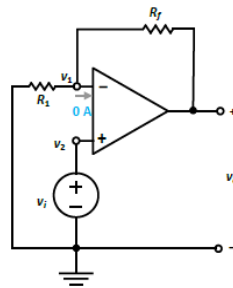


Εικόνα 2.9: Ηλεκτρονικό βολτόμετρο εναλλασσόμενου.

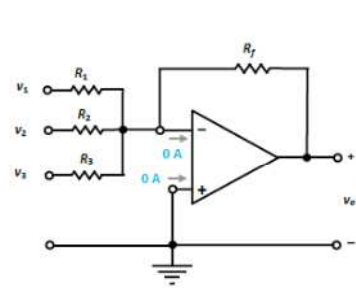
Διάφορες λειτουργίες που αναφέρθηκαν πρωτίτερα για τους τελεστικούς ενισχυτές, αλλά και διάφορες συνδεσμολογίες παρουσιάζονται στη συνέχεια σχηματικά. Η λειτουργία τους είναι πεδίο τεράστιο για τον ηλεκτρολόγο μηχανικό, καθώς οι τελεστικοί ενισχυτές εμπλέκονται πλέον σε όλο το φάσμα του πεδίου επαγγελματικής ενασχόλησης της μετρολογίας.



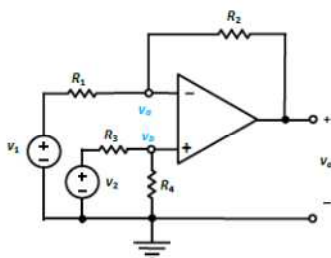
Εικόνα 2.10: Αναστρέφων ενισχυτής.



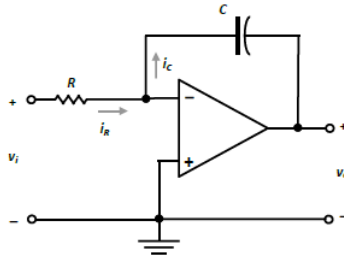
Εικόνα 2.11: Μη αναστρέφων ενισχυτής.



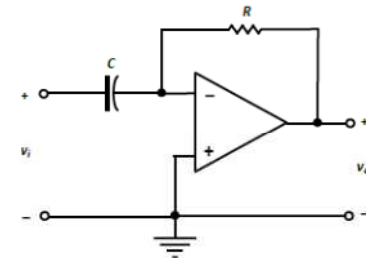
Εικόνα 2.12: Αθροιστής.



Εικόνα 2.13: Διαφορικός ενισχυτής.

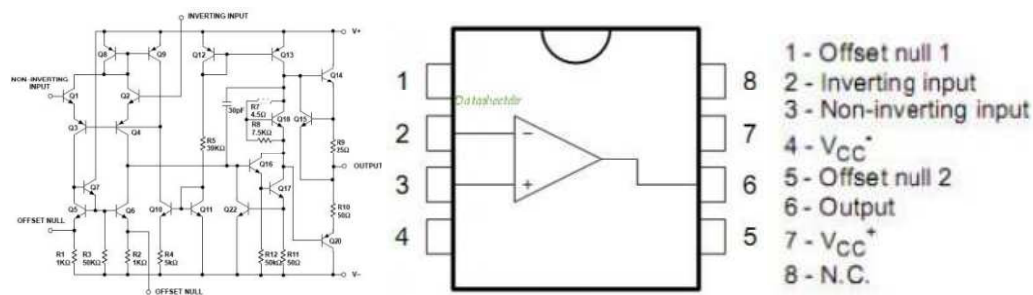


Εικόνα 2.14: Ολοκληρωτής.



Εικόνα 2.15: Διαφοριστής.

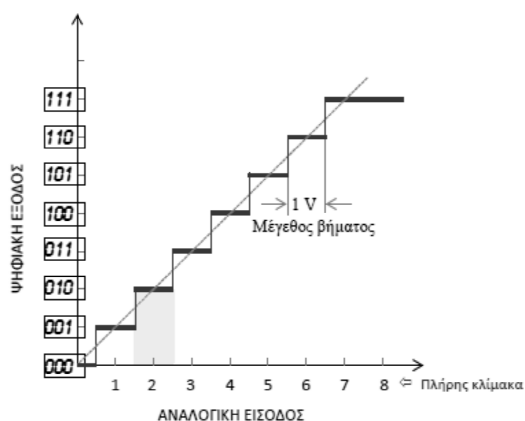
Η υλοποίηση των παραπάνω, στην πράξη παίρνει τη μορφή ενός ολοκληρωμένου κυκλώματος και βρίσκονται στην αγορά έτοιμα προς χρήση από διάφορες κατασκευαστικές εταιρίες του κλάδου των ηλεκτρονικών κυκλωμάτων.



Εικόνα 2.16: Σύνθεση τελεστικού ενισχυτή σε ολοκληρωμένο κύκλωμα.

2.7 Ψηφιακά όργανα μέτρησης.

Είναι καθαρά μόνο ηλεκτρονικά όργανα όπου οι ενδείξεις των μετρήσεων παριστάνονται αριθμητικά κατάλληλη οθόνη. Για τη λειτουργία του ψηφιακού οργάνου, είναι απαραίτητη η μετατροπή τού αναλογικού σήματος σε ψηφιακό. Στη προκειμένη περίπτωση το έργο αυτό το αναλαμβάνει ένας μετατροπέας αναλογικού σήματος σε ψηφιακό. Ένας τέτοιος μετατροπέας ονομάζεται “*analog-to-digital converter*” (*A/D Converter*) και ουσιαστικά είναι η τεχνική του ονομασία. Η βασική παράμετρος του *A/D* είναι ο αριθμός των δυαδικών ψηφίων που είναι διαθέσιμα για τη μετατροπή. Όταν υπάρχουν *N* διαθέσιμα δυαδικά ψηφία, οι δυνατοί συνδυασμοί αυτών των ψηφίων είναι συνολικά 2^N . Αυτό σημαίνει ότι μπορούμε να αναπαραστήσουμε $(2^N - 1)$ στάθμες σήματος και το μηδέν. Αυτή η ενέργεια λέγεται ποσοτικοποίηση και είναι βέβαια αντίστοιχη με την αναπαράσταση των πραγματικών αριθμών στον ηλεκτρονικό υπολογιστή (*H/Y*). Ας υποθέσουμε για παράδειγμα ότι έχουμε ένα αναλογικό σήμα που παίρνει τιμές από $0 - 8\text{ V}$ και υπάρχουν τρία (*3*) διαθέσιμα δυαδικά ψηφία. Τότε η έξοδος του *A/D* θα έχει την εξής μορφή:



Εικόνα 2.17: Μέθοδος μέτρησης *A/D* οργάνων.

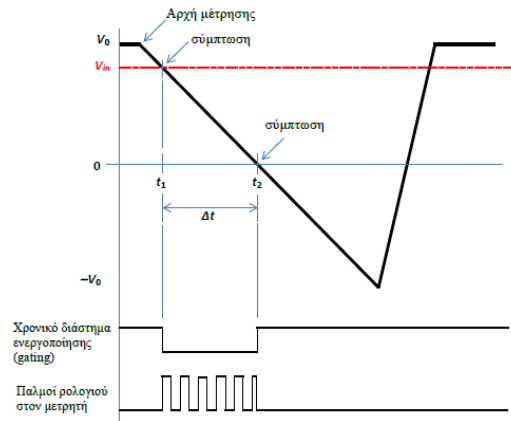
Στην πιο πάνω εικόνα, είναι φανερό ότι οποιαδήποτε τιμή τάσης από $1,5 - 2,5\text{ V}$, θα ανακοινωθεί στην ψηφιακή ένδειξη του οργάνου σαν 2 V (010_2). Για πιο ακριβή ένδειξη των μετρήσεων χρειάζονται περισσότερα δυαδικά ψηφία καθώς και πιο σύνθετα κυκλώματα. Φανταστείτε ότι, αν απαιτείται πρόσημο, ένα επιπρόσθετο ή ένα από τα υπάρχοντα δυαδικά ψηφία πρέπει να χρησιμοποιηθεί για τον σκοπό αυτό.

Όλα τα παραπάνω, δείχνουν μια βασική αρχή για την ποσοτικοποίηση ενός αναλογικού σήματος. Ωστόσο, υπάρχουν πολλοί πρακτικοί τρόποι για να φθάσουμε από την αναλογική μετρούμενη τιμή στην τελική ψηφιακή έξοδο. Οι τρεις επόμενοι τρόποι που θα αναφερθούν είναι ιδιαίτερα διαδεδομένοι.

2.7.1 Τεχνική ράμπας.

Η βασική αρχή λειτουργίας αυτής της τεχνικής είναι να μετράμε τον χρόνο που χρειάζεται μια τάση με μορφή ράμπας για να ανυψωθεί από τα μηδέν βολτ (0 Volt) έως τη στάθμη της μετρούμενης τάσης ή αντίστροφα, να μειωθεί από τη στάθμη της μετρούμενης στάθμης στα 0 Volt .

Η μέτρηση του χρόνου γίνεται με έναν ηλεκτρονικό μετρητή χρονικών διαστημάτων. Το πιο κάτω σχήμα δείχνει πως δουλεύει η τεχνική αυτή (*η τάση - ράμπα μειώνεται προς το 0*).



Εικόνα 2.18: Σχηματική αναπαράσταση τεχνικής ράμπας.

Για την υλοποίηση των παραπάνω είναι απαραίτητη η χρήση ενός στοιχείου που ονομάζεται «συγκριτής» (*comparator*). Πρόκειται για έναν τελεστικό ενισχυτή που έχει την εξής λειτουργία:

Η έξοδος του "παίρνει" την ανώτερη τιμή τάσης (*ψηφιακή τιμή "1"*) όταν μια συγκεκριμένη είσοδος είναι μεγαλύτερη από την άλλη και την χαμηλότερη τιμή τάσης (*ψηφιακή τιμή "0"*) σε αντίθετη περίπτωση.

2.7.2 Τεχνική διπλής ράμπας (κλίσης)

Εδώ η βασική αρχή είναι λίγο διαφορετική από την απλή τεχνική ράμπας. Στη προκειμένη περίπτωση με τη βοήθεια ενός τελεστικού ενισχυτή ολοκληρώνουμε τη μετρούμενη τάση για ένα προκαθορισμένο σταθερό χρονικό διάστημα και μετά μετράμε τον χρόνο που χρειάζεται για να επιστρέψει το αποτέλεσμα στο μηδέν. Η μέτρηση του χρόνου γίνεται με έναν ηλεκτρονικό μετρητή χρονικών διαστημάτων.

Η απόκριση ενός τέτοιου οργάνου μπορεί να είναι αργή επειδή σε αρκετές περιπτώσεις μπορεί να απαιτηθεί μεγάλος χρόνος φόρτισης και εκφόρτισης. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα της τεχνικής αυτής είναι ότι ο ολοκληρωτής που λειτουργεί κατά το πρώτο στάδιο, ολοκληρώνει και τον τυχόν υπάρχοντα θόρυβο εξουδετερώνοντάς τον (*συνήθως ο θόρυβος έχει μέσο όρο μηδέν*).

2.7.3 Τεχνική διαδοχικών προσεγγίσεων.

Η τεχνική των διαδοχικών προσεγγίσεων αφορά μια αρκετά σύνθετη διαδικασία μέτρησης και συνεχόμενων συγκρίσεων. Η ψηφιακή έξοδος "χτίζεται" βαθμιαία καθώς η κατάλληλη τιμή για κάθε δυαδικό ψηφίο καθορίζεται μετά από σύγκριση της μετρούμενης τάσης με κλάσματα της τάσης αναφοράς.

Για την ολοκλήρωση μιας μέτρησης απαιτούνται πολλές συγκρίσεις οι οποίες είναι όσα τα δυαδικά ψηφία της ψηφιακής εξόδου και κάθε μια σύγκριση απαιτεί μια περίοδο ρολογιού. Αυτό με τη

σειρά του σημαίνει ότι η όλη διαδικασία μετατροπής παίρνει συγκεκριμένο χρόνο, που τυπικά είναι της τάξης των μερικών δεκάδων μs (περίπου 10 - 20 μs).

2.7.4 Προδιαγραφές και χαρακτηριστικά ψηφιακών οργάνων.

Τα ψηφιακά όργανα γενικότερα, χαρακτηρίζονται από τρία βασικά μεγέθη:

- ❖ Τη διακριτική ικανότητα.

Η διακριτική ικανότητα, που μπορεί να είναι ανώτερη από την ορθότητα, είναι ίση με την ποσότητα που αντιστοιχεί στο τελευταίο ψηφίο της ένδειξης στην οθόνη και πιο συγκεκριμένα με την ελάχιστη αλλαγή τού τελευταίου αυτού ψηφίου. Ο γενικός και βασικότερος χαρακτηρισμός των ψηφιακών οργάνων γίνεται με βάση τα ψηφία ένδειξης. Τυπικά, το μέσο όργανο είναι τύπου $N\frac{1}{2}$ ψηφίων, εννοώντας ότι η ένδειξη έχει $N+1$ ψηφία εκ των οποίων το πρώτο από αριστερά, που αντιστοιχεί στο « $\frac{1}{2}$ », μπορεί να είναι μόνο 0 ή 1, χωρίς όμως αυτό να είναι δυαδικό. Αυτό το πρώτο ψηφίο για λόγους οικονομίας υλοποιείται μόνο σαν «1» και σαν «0» απλά δεν αναγράφεται ποτέ. Έτσι, ένα όργανο $3\frac{1}{2}$ ψηφίων έχει εύρος δυνατών τιμών από 0,000 έως 1,999, πράγμα που σημαίνει ότι η διακριτική του ικανότητα είναι 1 μέρος στα 2000 (2×10^3). Ένα όργανο $5\frac{1}{2}$ ψηφίων θα έχει διακριτική ικανότητα 1 μέρος στα 200.000 (2×10^5).

- ❖ Την ορθότητα.

Η ορθότητα στη προκειμένη περίπτωση καθορίζεται διαφορετικά. Τυπικά, παίρνει τη παρακάτω μορφή:

$$\pm(X\% \text{ της ένδειξης} + K \text{ ψηφία [LSD]})$$

ή εναλλακτικά

$$\pm(Y\% \text{ της πλήρους κλίμακας} + K \text{ ψηφία [LSD]})$$

Όπου: LSD^6 (Least Significant Digit) είναι το τελευταίο ψηφίο της ένδειξης.

Το τελευταίο ψηφίο της ένδειξης σε ένα όργανο, "συσσωρεύει" όλη την αριθμητική, συστημική και μετρητική αβεβαιότητα. Για παράδειγμα, ας υποθέσουμε ότι ένα ψηφιακό όργανο έχει $3\frac{1}{2}$ ψηφία και την εξής προδιαγραφή $\pm(0,7\% \text{ της ένδειξης} + 1)$. Ας σημειωθεί ότι συχνά η έκφραση «της ένδειξης», αλλά και το σύμβολο %, μπορεί να λείπουν. Αν το όργανο δείχνει 20 V, τι μπορούμε να πιστέψουμε; Επειδή το όργανο είναι $3\frac{1}{2}$ ψηφίων, αυτό σημαίνει ότι η ακριβής ένδειξη είναι 20,0 V (τα περισσότερα όργανα «σβήνουν» το μηδέν στην πρώτη θέση, αν υπάρχει), οπότε το "1" στην προδιαγραφή μεταφράζεται σε 0,1 V. Τελικά, το σφάλμα που προκύπτει είναι $\pm(0,7 \times 20/100 + 0,1) = \pm 0,24$ V. Το εύρος τιμών θα γίνει 19,86 - 20,24 V.

- ❖ Την ταχύτητα ανάγνωσης.

Τέλος, η ταχύτητα ανάγνωσης έχει να κάνει με τον χρόνο που απαιτείται για να ολοκληρωθεί η διαδικασία της μέτρησης και παίζει ιδιαίτερο ρόλο όταν το όργανο αποτελεί μέρος ενός αυτομάτου συστήματος μετρήσεων. Αν υπάρξει ανάγκη για μεγαλύτερη ταχύτητα μέτρησης δηλαδή μεγαλύτερη συχνότητα δειγματοληψίας (sampling), που μετριέται σε αριθμό δειγμάτων ανά δευτερόλεπτο (Sa/s -

⁶ Η ανάγνωση των αριθμών στο δυαδικό σύστημα γίνεται από δεξιά και ως εκ τούτου το LCD είναι το πρώτο από δεξιά ψηφίο που μπορεί να παίρνει τιμές 0 και 1.

Samples per second), τότε είναι απαραίτητο να μειωθεί η διακριτική ικανότητα του οργάνου και να πέσει κατά ένα τουλάχιστον ψηφίο.

Κρίνεται σημαντικό να ξεκαθαρίσουμε το εξής. Οι προδιαγραφές και τα χαρακτηριστικά του ίδιου ψηφιακού οργάνου, όπως για παράδειγμα το πολύμετρο που θα χρησιμοποιήσετε, μπορεί να διαφέρουν σημαντικότερα ανάλογα με το μέγεθος που μετράει (*τάση, ρεύμα, κλπ.*) και το είδος (*συνεχούς, εναλλασσομένου*). Οι προδιαγραφές που δημοσιεύει ο κατασκευαστής πρέπει να μελετώνται αναλυτικά σε κάθε περίπτωση. Επίσης, οι κλιματικές συνθήκες παίζουν σημαντικό ρόλο καθώς ακραίες θερμοκρασίες μπορούν να αλλοιώσουν τα αποτελέσματα ενώ υψηλή υγρασία (*πάνω από 85%*) θα μειώσει σημαντικά την ορθότητα των μετρήσεων.

2.7.5 Σύγκριση αναλογικών και ψηφιακών οργάνων

Όντως τα ψηφιακά όργανα έχουν επιφέρει μεγάλη ευκολία στις μετρήσεις και γενικότερα στο πεδίο της μετρολογίας. Οι βασικότερες αυτών των διαφορών διατυπώνονται στον παρακάτω πίνακα:

ΨΗΦΙΑΚΑ	ΑΝΑΛΟΓΙΚΑ
Καμιά αμφιβολία για την τιμή που διαβάζεται	Δυνατότητα για κακή ανάγνωση ή λανθασμένη επιλογή κλίμακας
Αυτόματος και τέλειος μηδενισμός	Δύσκολο να είμαστε απόλυτα σίγουροι
Καλύτερη διακριτική ικανότητα και ορθότητα ($\pm 0,5\%$)	Υστερούν και στα δυο ($\pm 3\%$)
Δείχνουν κατευθείαν τις αρνητικές ποσότητες	«Χτυπάει» η βελόνα
Συνήθως δεν χαλάει από κακομεταχείριση	Μετά από σοβαρό ατυχές συμβάν, συνήθως απαιτείται αντικατάσταση

Πίνακας 2.5: Διαφορές ανάμεσα στα ψηφιακά και αναλογικά όργανα.

Μια αλήθεια είναι πως και τα δυο είδη ένδειξης έχουν τους φανατικούς τους οπαδούς. Είναι λανθασμένη όμως η εντύπωση που δημιουργείται κάποιες φορές και λέει πως "*αφού υπάρχουν ψηφιακά όργανα δεν είναι αναγκαία η εκμάθηση των κλασικών οργάνων*". Η αναλογική ένδειξη ίσως υπερτερεί επί της ψηφιακής ένδειξης στο ότι δίνει και μια αίσθηση εντοπισμού στο εύρος μιας κλίμακας. Έχεις δηλαδή, μια άμεση αντίληψη αν κάτι είναι μεγάλο ή μικρό, κανονικό ή μη κανονικό κλπ. Επίσης, η συνειδητοποίηση του γεγονότος αυτού, γίνεται αντιληπτή σε μικρότερο χρόνο απ' ότι ένα ψηφιακό.

2.8 Γενικότερα για τις μετρήσεις με όργανα.

Κάθε όργανο μέτρησης έχει συγκεκριμένο τρόπο λειτουργίας. Κυρίως όμως η λειτουργία και η θέση τους στο κύκλωμα, καθορίζεται και από απλούς κανόνες. Για παράδειγμα, αν ένα όργανο θα τοποθετηθεί παράλληλα με κάποιο εξάρτημα ή σε σειρά με αυτό, έχει να κάνει σχετικά με τι έχουμε να μετρήσουμε. Σε περίπτωση που θέλουμε να μετρήσουμε τη διαφοράς δυναμικού στα άκρα μιας συσκευής (*Τάση*) ή αν έχουμε να μετρήσουμε ροή ηλεκτρονίων που ρέει σε έναν αγωγό στη μονάδα του χρόνου (*Ένταση ηλεκτρικού ρεύματος*). Στις πιο πολλές περιπτώσεις και κυρίως στην επαγγελματική μας σταδιοδρομία, θα χρειαστεί να χρησιμοποιούμε όργανα τα οποία

παρέχουν πάνω από μία λειτουργία. Τα όργανα αυτά είναι γνωστά σαν πολύμετρα. Η απαιτούμενη από την εφαρμογή λειτουργία ενός τέτοιου οργάνου μπορεί να επιλεγεί από επιλογές.

Παρά τη πρόοδο της τεχνολογίας και την αυτοματοποίηση των διαδικασιών, πολλές φορές μπορεί να συναντήσουμε όργανα με βαθμίδες μέτρησης. Η βαθμίδες αυτές αφορούν την ευαισθησία του οργάνου και την τελική ένδειξη. Για παράδειγμα όταν χρειάζεται να μετρήσουμε ένα μέγεθος *35 Volt*, και το όργανο μας διαθέτει κλίμακες μέτρησης *20 V*, *100 V*, *500V* και *1000 V*, τότε θα επιλέξουμε οποιαδήποτε είναι μεγαλύτερη και πιο κοντά στην μετρούμενη τιμή.

Στη περίπτωση τώρα που έχουμε ένα άγνωστο μέγεθος προς μέτρηση, για την αποφυγή της καταστροφή του οργάνου, ακολουθούμε την παρακάτω μέθοδο. Επιλέγουμε πάντα την μεγαλύτερη κλίμακα και τότε μόνο συνδέουμε το όργανο για μέτρηση. Στη συνέχεια και αν η ένδειξη είναι αρκετά μικρή ώστε να μετρηθεί με την επόμενη πιο μικρή κλίμακα τότε μετακινούμε τον επιλογές μας προς την επόμενη μικρότερη κλίμακα. Γενικά σε τέτοιες περιπτώσεις πρέπει να είμαστε σε εγρήγορση. Αν εκτιμήσουμε λάθος των μετρούμενη τιμή και αποφασίσουμε να μετακινηθούμε σε μικρότερη κλίμακα αυτό μπορεί να αποβεί μοιραίο για το όργανο. Έχει σημασία αν αυτό γίνει γρήγορα αντιληπτό να αλλάξουμε και πάλι τη θέση του επιλογέα στη προηγούμενη κλίμακα.

Η αντίληψη της δυσλειτουργίας του οργάνου γίνεται εύκολα ορατή από την ένδειξη του. Κατά την σύνδεση ενός οργάνου με λάθος πολικότητα θα έχουμε μετατόπιση της βελόνης προς την αντίθετη κατεύθυνση. Όσο αφορά τα ψηφιακά δεν υπάρχουν προβλήματα με την πολικότητα καθώς μας δείχνουν κατευθείαν την μέτρηση χρησιμοποιώντας ανάλογο πρόσημο. Να σημειώσουμε εδώ ότι η σύνδεση των οργάνων με πολικότητα γίνεται μέσω της πολικότητας που δίνει ο κατασκευαστής για το συγκεκριμένο όργανο. Κατά κανόνα ως θετικό ακροδέκτη χρησιμοποιούμε το κόκκινο καλώδιο (+), ενώ για αρνητικό ή κοινό αγωγό (*common*) χρησιμοποιούμε το μαύρο καλώδιο (-).

Όσο αφορά τις κλίμακες μέτρησης που αναφερθήκαμε πριν από λίγο, καταλαβαίνουμε αν το μετρούμενο μέγεθος είναι μεγαλύτερο απ' ότι μπορεί να μετρήσει η κλίμακα από το τερματισμό της βελόνης ένδειξης. Γενικά πρέπει να γνωρίζουμε ότι μία καλή μέτρηση σε ένα όργανο απόκλισης (*αναλογικό όργανο*) γίνεται ανάμεσα στα $2/3$ και $3/3$ της περιοχής της κλίμακας του.

Μεγάλη προσοχή πρέπει να δίνεται κατά την διαδικασία ανάγνωσης των ενδείξεων. Κυρίως όσο αφορά τα αναλογικά όργανα. Η διαδικασία είναι ιδιαίτερη και πολύ σημαντική. Η παρατήρηση του πρέπει να γίνεται μόνο κάθετα εκτός κι αν διαφορετικά ορίζεται από τον κατασκευαστή.

Παρατηρώντας την πρόσοψη όπου είναι τυπωμένη η κλίμακα μέτρησης, υπάρχει επίσης ένας καθρέπτης. Η λήψη της ένδειξης πρέπει να γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να έχουμε τη βελόνα κάθετα με το είδωλο της στο καθρέπτη. Σε οποιαδήποτε άλλη θέση παρατήρησης της βελόνας, η ανάγνωση της μέτρησης θα είναι λανθασμένη.

Σε κάθε περίπτωση η οδηγίες του κατασκευαστή πάντα είναι ο καλύτερος τρόπος για την όσο γίνεται πιο σωστή χρήση κάθε οργάνου και γενικότερα κάθε συσκευής.

2.9 Εργαστηριακή άσκηση.

1. Έχετε στη διάθεση σας μία μεταβλητή αντίσταση.

- I. Μετρήστε την συνολική τιμή της αντίστασης και σημειώστε αντίστοιχα τα χαρακτηριστικά του (π.χ. μέθοδος μεταβολής, ακροδέκτες σύνδεσης). Δώστε μία σχηματική αναπαράσταση του κυκλώματος που πραγματοποιήσατε για την επιτυχία της μέτρησης σας.

$$R_{ολ.} = \dots\dots\dots \Omega$$

- II. Βρείτε κατάλληλη σύνδεση ανάμεσα στο αναλογικό πολύμετρο και τη μεταβλητή αντίσταση ώστε να "βλέπετε" κατά την μετακίνηση του ρυθμιστή, μεταβολή τις τιμές της αντίστασης. Καταγράψτε την συνδεσμολογία που πραγματοποιήσατε.

- III. Αρχίστε να μεταβάλλετε την τιμή της αντίστασης από την ελάχιστη τιμή έως την μέγιστη, με μια σχετικά γρήγορη ταχύτητα (όχι απότομα). Παρατηρήστε αν το όργανο έχει κάποια νεκρή ζώνη.

- IV. Με τη βοήθεια μιας μεταβλητής αντίστασης κιβωτίου, με κατάλληλους και προσεκτικούς χειρισμούς προσπαθήστε να πετύχετε τις τιμές που δίνονται στο παρακάτω πίνακα από την ελάχιστη προς τη μέγιστη. Σημειώστε τη μετρούμενη τιμή της αντίστασης στον παρακάτω πίνακα. Χωρίς να αποσυνδέσετε το κύκλωμα σας ακολουθήστε την αντίστροφη διαδικασία.

Προσοχή: Δεν πρέπει να ξεπεράσουμε τη ζητούμενη τιμή της αντίστασης που δίνεται στο πίνακα. Τουλάχιστον στην αντίστροφη διαδικασία.

a. Μέτρηση αντίστασης από το ελάχιστο έως το μέγιστο:

Τιμή αντίστασης κιβωτίου (Ω)	50	100	150	200
Μετρούμενη τιμή (Ω)				

b. Μέτρηση αντίστασης από το μέγιστο έως το ελάχιστο:

Τιμή αντίστασης κιβωτίου (Ω)	200	150	100	50
Μετρούμενη τιμή (Ω)				

Ελέγξτε τα αποτελέσματα σας και προσπαθήστε να δείτε αν το όργανο που πραγματοποιήσατε τις μετρήσεις παρουσιάζει υστέρηση. Δικαιολογήστε τα συμπεράσματα σας.

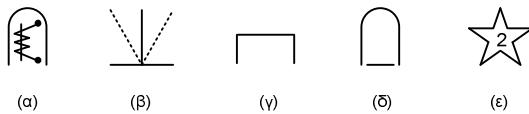
2. Προσπαθήστε να εξακριβώσετε αν το όργανο της προηγούμενης άσκησης παρουσιάζει επαναληψιμότητα. Καταγράψτε την διαδικασία που ακολουθήσατε στο τετράδιο σας. Στην αναφορά σας να κάνετε μία σχετικά εκτενής περιγραφή και να δικαιολογήσετε την επιλογή σας να ακολουθήσατε τη συγκεκριμένη τακτική.

3. Παρατηρήστε αν κάποιο από τα όργανα που έχετε στη διάθεση σας έχει μη γραμμική περιοχή ή μη γραμμική κλίμακα μέτρησης. Σε περίπτωση που διαπιστώσετε κάτι από τα παραπάνω καταγράψτε τα πλήρη στοιχεία του.

4. Βρείτε κάποια τακτική ώστε να προσπαθήσετε να εντοπίσετε αν κάποιο από τα όργανα που έχετε στη διάθεση σας παρουσιάζει κάποια καθυστέρηση. Δικαιολογήστε την απάντησή σας. Σε περίπτωση που εντοπίσατε κάποια καθυστέρηση σε πιο όργανο είναι αυτό. Τι μπορείτε να πείτε για το συγκεκριμένο όργανο. Μπορείτε να μετρήσετε έστω και στο περίπου αυτή τη καθυστέρηση.

2.10 Ερωτήσεις.

1. Τι σημαίνουν τα παρακάτω σύμβολα οργάνων.



2. Περιγράψτε με σύμβολα ένα όργανο εναλλασσομένου ρεύματος κλάσεως ακριβείας $1,5$ για τοποθέτηση σε πλάγια θέση. Το όργανο αυτό είναι ηλεκτροδυναμικό και έχει τάση δοκιμής 2 kV .
3. Επιλέξτε το κατάλληλο όργανο, σε σχέση με την αρχή λειτουργίας, για να μετρήσετε τα παρακάτω μεγέθη:
- Τάση 20 V
 - Ρεύμα 0.06 A
 - Τάση 10 kV
 - Αντίσταση $10\ \Omega$
 - Τάση συχνότητας 50 Hz
 - Τάση 1000 V με συχνότητα 1 kHz
 - Αντίσταση $5\text{ k}\Omega$
4. Αν η τάση που θέλουμε να μετρήσουμε είναι περίπου $9\ \Omega$, ποιά κλίμακα πρέπει να επιλέξουμε στα όργανα που χρησιμοποιήσατε; Δικαιολογήστε την απάντησή σας.
5. Αν η βελόνα του αναλογικού πολυμέτρου, είναι στη θέση 40^7 , και ο επιλογέας κλίμακας είναι στη θέση $250\ \Omega$, ποια είναι τότε η μετρούμενη τάση;
6. Ποια είναι η μετρούμενη τάση αν η βελόνη βρίσκεται στο μέσο της κλίμακας και ο επιλογέας κλίμακας είναι στη θέση $100\ \Omega$;
7. Σχετικά με τις μετρήσεις που έχετε στη διάθεσή σας από την [Άσκηση 3.2](#), να βρείτε το αντίστοιχο σχετικό και απόλυτο σφάλμα μέτρησης.
8. Δεδομένου των σφαλμάτων μπορείτε να κρίνετε πιο όργανο είναι κατάλληλο για τη κάθε μέτρηση; Με τι νομίζετε ότι σχετίζετε η διαφοροποίηση στις μετρούμενες τιμές.
9. Υπάρχει άλλη μια μορφή χαρακτηρισμού με κώδικα χρωμάτων για τις αντιστάσεις. Μπορείτε να βρείτε κάτι σχετικό με αυτό. Περιγράψτε τη διαδικασία που αφορά το τρόπο ανάγνωσης για το συγκεκριμένο μοντέλο κώδικα.

⁷ Εννοείται ότι η βελόνη βρίσκεται στη θέση αυτή κατά τη διαδικασία της μέτρησης.

Προαιρετικές ερωτήσεις - ασκήσεις.

- Π.1.** Υπολογίστε την αντίσταση ενός καλωδίου 16 mm^2 , από χαλκό με μήκος 50 m . Υπολογίστε την πτώση τάσης για ρεύμα 20 A .
- Π.2.** Βρείτε τον λόγο δύο αντιστάσεων συρμάτων ίσου μήκους από χαλκό και αλουμίνιο που έχουν το ίδιο βάρος.
Υπόδειξη: βρείτε πρώτα τις ειδικές αντιστάσεις και πυκνότητες των δύο υλικών και μετά θεωρήστε ένα τυπικό μήκος π.χ. 100 m και υπολογίστε τις ζητούμενες αναλογίες.
- Π.3.** Το ρεύμα που διαρρέει τον κλάδο ενός ηλεκτρικού δικτύου μετρήθηκε με ηλεκτρονικό πολύμετρο και προέκυψαν οι εξής μετρήσεις :

Μέτρηση	Τιμή (mA)
1	4.5
2	4.6
3	5.0
4	4.8
5	5.3
6	4.9
7	5.0
8	4.4
9	4.8
10	4.7

Ζητούνται να εκτιμηθούν:

- α) η πραγματική ένταση,
β) η τυπική απόκλιση των εντάσεων που μετρήθηκαν,
γ) το τυπικό σφάλμα
δ) το μέγιστο σχετικό σφάλμα
- Π.4.** Ένα αισθητήριο πίεσης καταγράφει την πίεση του νερού του υδραγωγείου μιας πόλης ανά μία ώρα. Οι τιμές που καταγράφηκαν μέσα σε μία ημέρα δίνονται στον παρακάτω πίνακα.

0.53	0.55	0.34	0.64	0.55	0.78	0.12	0.96	0.56	0.48	0.09	0.67
0.33	0.56	0.25	0.62	0.92	0.28	0.36	0.60	0.44	0.48	0.39	0.76

Για την πιο παραστατική παρουσίαση των μετρήσεων ζητείται να τις παρουσιάσετε με μορφή γραφικής παράστασης και να υπολογίσετε τη μέση τιμή των μετρήσεων.

Άσκηση 3

Σύνθεση κυκλωμάτων και μέτρηση ηλεκτρικών μεγεθών.

3.1 Εισαγωγή.

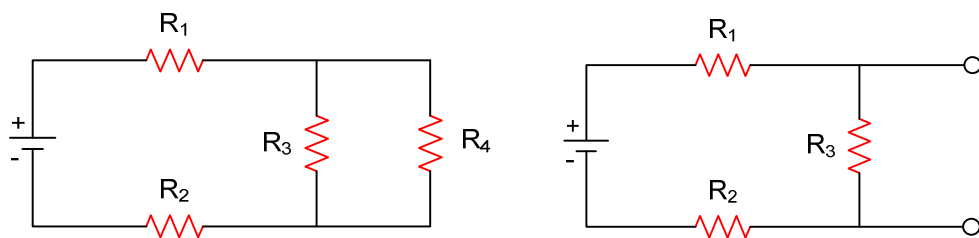
Η σύνθεση των ηλεκτρικών κυκλωμάτων, είναι ένα από τα βασικότερα πρακτικά ζητήματα που αφορούν την ηλεκτρολογία. Αρχίζοντας από το πεδίο των σπουδών μέχρι και στην επαγγελματική μας σταδιοδρομία. Έννοιες και όροι όπως σύνδεση σε σειρά ή παράλληλη σύνδεση θα μας απασχολήσουν επανειλημμένα από 'δω και πέρα. Ακόμα και ποιο σύνθετα ζητήματα. Προτού προχωρήσουμε στη σύνθεση κυκλωμάτων ας δούμε κάποιους βασικούς ορισμούς που αφορούν στην σύνθεση και στις τοπολογίες των ηλεκτρικών κυκλωμάτων άλλα και στα διάφορα στοιχεία που θα συναντήσουμε παρακάτω.

3.2 Εισαγωγή στα ηλεκτρικά κυκλώματα - Βασικοί ορισμοί.

Πριν προχωρήσουμε στη μελέτη των ηλεκτρικών κυκλωμάτων είναι χρήσιμο να αναφερθούμε σε κάποιους βασικούς και χρήσιμους ορισμούς, όπως:

❖ *Κύκλωμα.*

Είναι το σύνολο των ηλεκτρικών πηγών ρεύματος ή τάσης καθώς και των άλλων στοιχείων που έχουν συνδεθεί μεταξύ τους. Απαραίτητη προϋπόθεση του κυκλώματος είναι να περνάει ηλεκτρικό ρεύμα από κάθε στοιχείο του, δηλαδή όλα τα στοιχεία ανήκουν σε κάποιο κλειστό δρόμο.



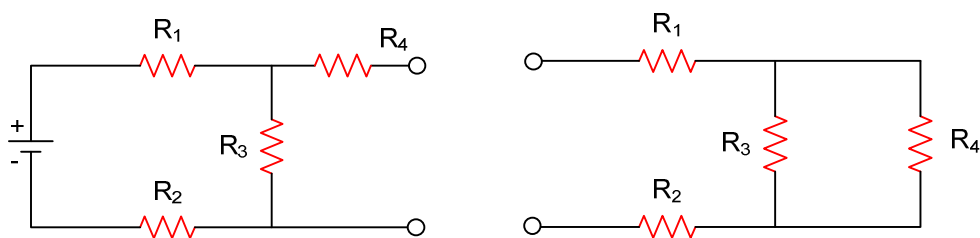
Εικόνα 3.1: Κυκλώματα.

❖ *Δίκτυο.*

Είναι συνήθως ένα πολύπλοκο κύκλωμα.

❖ *Δικτύωμα.*

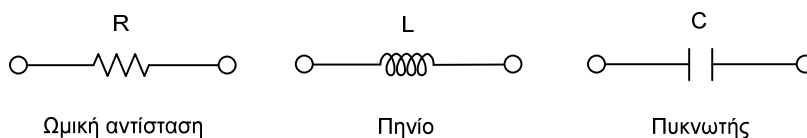
Είναι συνδυασμός πηγών και άλλων στοιχείων έτσι ώστε από ένα τουλάχιστον στοιχείο να μην περνάει ηλεκτρικό ρεύμα.



Εικόνα 3.2: Δικτύωμα.

❖ *Παθητικά στοιχεία.*

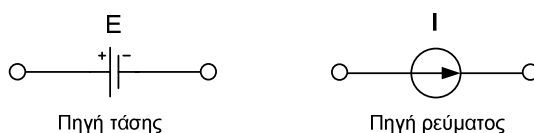
Είναι τα στοιχεία που καταναλώνουν ηλεκτρική ενέργεια ή που αποθηκεύουν ενέργεια και την ανταποδίδουν και πάλι στο κύκλωμα. Τέτοια στοιχεία είναι η ωμική αντίσταση (R) η οποία μόνο καταναλώνει ενέργεια με την μετατροπή της σε θερμική, ενώ στοιχεία όπως ο πυκνωτής (C) και το πηνίο (L) λειτουργούν σαν ανοιχτό κύκλωμα και βραχυκύκλωμα στο συνεχές ενώ με την αύξηση της συχνότητας (εναλλασσόμενο) μπορούν να αποθηκεύσουν ενέργεια και να την ανταποδώσουν στο κύκλωμα και πάλι.



Εικόνα 3.3: Παθητικά στοιχεία.

❖ Ενεργητικά στοιχεία.

Είναι τα στοιχεία εκείνα που προσφέρουν ενέργεια στο κύκλωμα, δηλαδή οι πηγές του κυκλώματος.



Εικόνα 3.4: Ενεργητικά στοιχεία.

3.3 Ηλεκτρικές πηγές.

Ηλεκτρική πηγή συνεχούς ρεύματος ($\Sigma.P.$) είναι μία συσκευή ή μηχανή, που είναι σε θέση να διατηρεί μία σταθερή διαφορά δυναμικού ανάμεσα σε δύο αγωγούς που ονομάζονται «πόλοι» της πηγής.

Ηλεκτρεγερτική δύναμη ($H.E.D.$) μιας ηλεκτρικής πηγής, ονομάζουμε την τάση (*διαφορά δυναμικού*), που μετριέται μεταξύ των πόλων της πηγής, χωρίς να κλείσει κύκλωμα μεταξύ τους μέσω ενός εξωτερικού κυκλώματος. Η τάση αυτή ονομάζεται αλλιώς τάση εν κενό.

Η $H.E.D.$ είναι σταθερό μέγεθος, που χαρακτηρίζει την ηλεκτρική πηγή και σ' αυτή οφείλεται το ρεύμα που δίνει η πηγή σ' ένα εξωτερικό κύκλωμα.

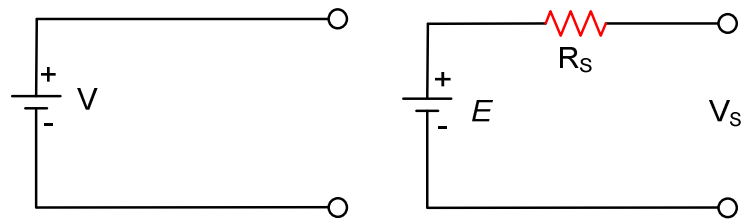
Οι ηλεκτρικές πηγές που θα χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια θα είναι δύο ειδών όπως είδαμε και ποιο πάνω. Πηγές ρεύματος και πηγές τάσης. Στη πραγματικότητα οι πηγές δεν διαχωρίζονται αλλά για να μας διευκολύνει στους υπολογισμούς μας τις θεωρούμε.

Άλλος ένας διαχωρισμός των πηγών είναι σε ιδανικές πηγές και σε πραγματικές. Εξετάζουμε και τις δυο περιπτώσεις ξεχωριστά.

3.3.1 Ιδανική πηγή τάσης και Πραγματική πηγή τάσης.

Η ιδανική πηγή τάσης χαρακτηρίζεται από την τάση που επικρατεί στα άκρα της, δηλαδή στους πόλους τις, και είναι ανεξάρτητη από το ρεύμα που παρέχει η πηγή. Διαφορετικά, μία ιδανική πηγή τάσης μπορεί να μας παρέχει άπειρο ρεύμα ενώ η τάση στα άκρα της παραμένει σταθερή.

Μια πηγή τάσης όμως, κατασκευάζεται από τεχνικά ή αλλιώς από διακριτά μέσα και η τάση στα άκρα της μεταβάλλεται σε συνάρτηση με το φορτίο. Αυτό οφείλεται στην εσωτερική αντίσταση της πηγής την οποία την συμβολίζουμε με R_s .



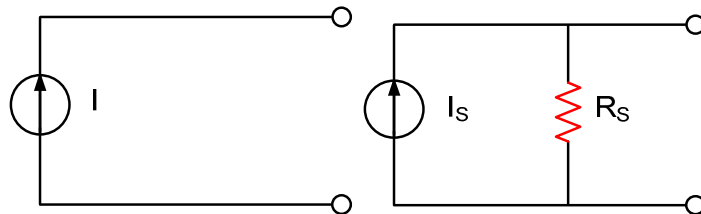
Εικόνα 3.5: Ιδανική πηγή τάσης και Πραγματική πηγή τάσης.

Όπως φαίνεται στο ισοδύναμο κύκλωμα της πραγματικής πηγής τάσης έχει ηλεκτρεγερτική δύναμη (Η.Ε.Δ.) ίση με E και εσωτερική αντίσταση ίση με R_s . Αν συνδέσουμε ένα ηλεκτρικό φορτίο στα άκρα αυτής της πηγής, δηλαδή στους πόλους της και παράλληλα με την αντίσταση ένα βολτόμετρο, η τάση που θα μετρήσει το όργανο θα είναι μικρότερη από την ηλεκτρεγερτική δύναμη της πηγής. Αυτό συμβαίνει γιατί η τάση της πραγματικής πηγής είναι συνάρτηση του φορτίου.

3.3.2 Ιδανική πηγή ρεύματος και Πραγματική πηγή ρεύματος.

Όπως και στη περίπτωση της ιδανικής πηγής τάσης, έτσι και η ιδανικής πηγής ρεύματος, είναι μία πηγή που δίνει σταθερό ρεύμα χωρίς αυτό να εξαρτάται από την τάση στους πόλους της πηγής.

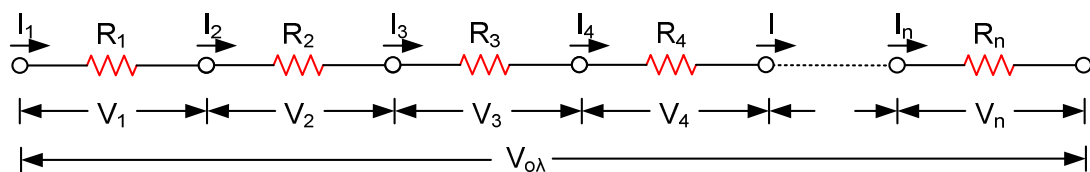
Στη περίπτωση της πραγματικής πηγής ρεύματος η εσωτερική αντίσταση R_s παρουσιάζεται παράλληλα με την ιδανική πηγή.



Εικόνα 3.6: Ιδανική πηγή τάσης και Πραγματική πηγή ρεύματος.

3.4 Σύνδεση Αντιστάσεων σε σειρά.

Όταν διάφορες αντιστάσεις συνδέονται όπως στο παρακάτω σχήμα, τότε λέμε ότι είναι συνδεδεμένες στη σειρά.



Εικόνα 3.7: Αντιστάσεις σε σειρά.

Στη σύνδεση αντιστάσεων σε σειρά, το ένα άκρο της μίας αντίστασης συνδέεται με το άκρο της επόμενης αντίστασης, ενώ η άλλη άκρη της συνδέεται με το άκρο της επόμενης αντίστασης κ.λπ. Σαν αποτέλεσμα αυτού του τρόπου σύνδεσης έχουμε μόνο το ένα άκρο της πρώτης αντίστασης και το ένα άκρο της τελευταίας αντίστασης ελεύθερα.

Η σύνδεση των αντιστάσεων στη σειρά έχει τρεις βασικές ιδιότητες.

Η πρώτη είναι ότι η συνολική αντίσταση $R_{ολ}$ σε ένα τέτοιο κύκλωμα είναι ίση με το άθροισμα των αντιστάσεων που έχουν συνδεθεί στη σειρά.

$$R_{ολ} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + \dots + R_n$$

Είναι κατανοητό αυτό, αφού το ρεύμα θα πρέπει να περάσει από όλες τις αντιστάσεις. Συνεπώς η ολική αντίσταση που προβάλλει το κύκλωμα στο ρεύμα που το διαρρέει είναι το σύνολο των επιμέρους αντιστάσεων.

Η δεύτερη ιδιότητα λέει ότι όλες οι αντιστάσεις διαρρέονται από το ίδιο ρεύμα.

$$I_{ολ} = I_{R_1} = I_{R_2} = I_{R_3} = I_{R_4} = \dots = I_{R_n}$$

Και εδώ, εύκολα μπορεί να καταλάβει κάποιος ότι το ρεύμα δεν έχει άλλη διαδρομή που μπορεί να ακολουθήσει.

Και η τρίτη ιδιότητα αναφέρεται στη διαφορά δυναμικού και λέει ότι, η τάση στα άκρα μίας αντίστασης είναι σε κάθε αντίσταση διαφορετική και δίνεται από το νόμο του $\Omega\mu$, για κάθε αντίσταση ξεχωριστά. Οι επιμέρους τάσεις συνιστούν την συνολική τάση που εφαρμόζεται στα άκρα του κυκλώματος από τη πηγή.

$$V_{ολ} = V_{R_1} + V_{R_2} + V_{R_3} + V_{R_4} + \dots + V_{R_n}$$

Αν αντικαταστήσουμε τη προηγούμενη σχέση τότε θα ισχύει για κάθε αντίσταση χωριστά:

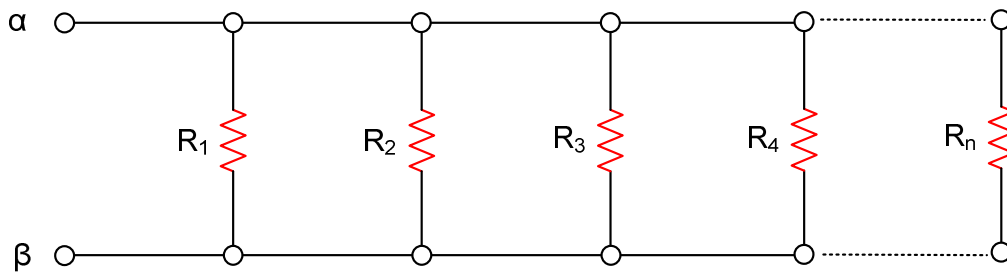
$$\begin{aligned} V_{ολ} &= (I \cdot R_1) + (I \cdot R_2) + (I \cdot R_3) + (I \cdot R_4) + \dots + (I \cdot R_n) \\ &= I \cdot (R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + \dots + R_n) = I \cdot R_{ολ} \end{aligned}$$

Το παραπάνω σημαίνει ότι, σε κάθε σημείο του κυκλώματος, η διαφορά δυναμικού είναι πάντα διαφορετική. Και μάλιστα, να σημειώσουμε ότι, είναι πάντα όλο και μικρότερη από την αρχική τάση της πηγής όσο προχωράμε από τη πηγή προς το υπόλοιπο κύκλωμα.

Η σύνδεση αντιστάσεων σε σειρά εφιστά μεγάλη προσοχή σχετικά με την κατανάλωση ισχύος. Σε ένα τέτοιο κύκλωμα όταν έχουμε αντιστάσεις με διαφορετική ισχύ, στο όλο κύκλωμα δεν μπορούμε να υπερβούμε την ισχύ που έχει η χαμηλότερη αντίσταση. Συνεπώς σε ένα τέτοιο κύκλωμα δεν μπορούμε να έχουμε μέγιστη ισχύ στο κύκλωμα.

3.5 Σύνδεση αντιστάσεων παράλληλα.

Στο παράλληλο κύκλωμα όλες οι αντιστάσεις έχουν δύο κοινά σημεία. Τα κοινά αυτά σημεία λέγονται κόμβοι του κυκλώματος.



Εικόνα 3.8: Αντιστάσεις παράλληλα.

Η παράλληλη σύνδεση έχει τρεις βασικές ιδιότητες.

Η πρώτη ιδιότητα λέει ότι η ισοδύναμη αντίσταση του κυκλώματος δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$\frac{1}{R_{ολ.}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

Στη πραγματικότητα ο τύπος αυτός μας λέει ότι η ισοδύναμη αντίσταση του κυκλώματος δίνεται από το άθροισμα των αγωγιμοτήτων. Αν το αναλύσουμε λίγο και το δούμε και πιο πρακτικά αμέσως πρέπει να καταλάβουμε ότι αθροίζοντας τις αγωγιμότητες στην ουσία αθροίζουμε τους δρόμους που έχει ευκολία να περάσει το ρεύμα. Το αντίθετο του συνόλου αυτών των αγωγιμοτήτων είναι η συνολική αντίσταση.

Όταν έχουμε να απλοποιήσουμε δυο αντιστάσεις τότε είναι πιο εύκολο να χρησιμοποιήσουμε τον παρακάτω τύπο:

$$R_{ολ.} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

Η δεύτερη ιδιότητα αφορά τη τάση που επικρατεί στα άκρα των αντιστάσεων και είναι ίδια σε όλες.

$$V_{ολ.} = V_{R_1} = V_{R_2} = V_{R_3} = V_{R_4} = \dots = V_{R_n}$$

Και η Τρίτη ιδιότητα αφορά τα ρεύματα και λέει ότι, το ρεύμα που διαρρέει την κάθε αντίσταση είναι πάντα διαφορετική και δίνεται από το νόμο του $\Omega\mu$, για κάθε αντίσταση ξεχωριστά.

$$I_{ολ.} = I_{R_1} + I_{R_2} + I_{R_3} + I_{R_4} + \dots + I_{R_n}$$

Όπου ισχύει για κάθε αντίσταση:

$$I_{ολ.} = \left(\frac{V}{R_1}\right) + \left(\frac{V}{R_2}\right) + \left(\frac{V}{R_3}\right) + \left(\frac{V}{R_4}\right) + \dots + \left(\frac{V}{R_n}\right) = \frac{V}{R_{ολ.}*}$$

Σημείωση: Το $R_{ολ.}$ σε αυτή τη περίπτωση δεν είναι το άθροισμα των αντιστάσεων αλλά των αγωγιμοτήτων τους ή αλλιώς, συνεχείς απλοποίηση αντιστάσεων με τη χρήση του τύπου για δύο αντιστάσεις. Γιατί στην πραγματικότητα ο παραπάνω τύπος θα γίνει:

$$I_{ολ.} = \left(V \cdot \frac{1}{R_1}\right) + \left(V \cdot \frac{1}{R_2}\right) + \left(V \cdot \frac{1}{R_3}\right) + \left(V \cdot \frac{1}{R_4}\right) + \dots + \left(V \cdot \frac{1}{R_n}\right)$$

Αν από το παραπάνω βγάλουμε κοινό παράγοντα την τάση V τότε θα έχουμε:

$$I_{ολ.} = V \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + \dots + \frac{1}{R_n} \right) = V \cdot \frac{1}{R_{ολ.}}$$

Συνεπώς όπως βλέπετε, στη προκειμένη περίπτωση ισχύει ότι αναφέραμε προηγουμένα για τον υπολογισμό στη σύνδεση αντιστάσεων παράλληλα. Αν ανατρέξουμε σε προηγούμενο κεφάλαιο θα δούμε την αγωγιμότητα. Η ευκολία που παρουσιάζει η αντιστροφή των αντιστάσεων σε αγωγιμότητες είναι η απλοποίηση των πράξεων. Το αρνητικό της υπόθεσης είναι ότι κατά την αντιστροφή αν δεν τηρηθεί ο κανόνας για τα σημαντικά ψηφία, ενδέχεται να έχουμε στο τέλος των υπολογισμών μεγάλο σφάλμα. Το πιθανότερο είναι, αυτό να συμβεί κατά την μετατροπή μεγάλων αντιστάσεων.

3.6 Σύνθετη ή μεικτή σύνδεση αντιστάσεων.

Όταν σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα υπάρχουν αντιστάσεις και ηλεκτρικές πηγές συνδεδεμένες σε σειρά και παράλληλα τότε ονομάζεται κύκλωμα με σύνθετη σύνδεση ή μεικτή σύνδεση.

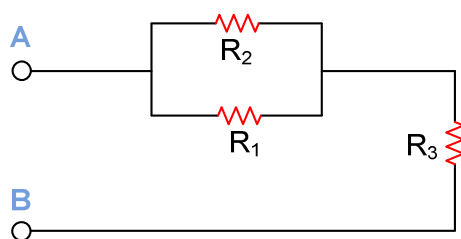
Σε ένα μικτό κύκλωμα, προσδιορίζουμε τα τμήματα σε σειρά και τους παράλληλους κλάδους. Στη συνέχεια εφαρμόζουμε όλους τους κανόνες της εν σειρά και της παράλληλης σύνδεσης αντιστάσεων για την απλοποίηση τους.

Οι πρακτικοί κανόνες υπολογισμού που ακολουθούμε για κύκλωμα σύνθετης συνδεσμολογίας αντιστάσεων είναι:

Σε μια συνδεσμολογία σε σειρά, όπου υπάρχει και μια συνδεσμολογία παράλληλη, όπως και στο παρακάτω κύκλωμα μεικτής σύνδεσης, υπολογίζουμε πρώτα τη παράλληλη συνδεσμολογία για την εύρεση της ισοδύναμης αντίστασης και μετά συνθέτουμε τις αντιστάσεις σε σειρά. Η ισοδύναμη αντίσταση του κυκλώματος είναι:

$$R_{AB} = (R_1 // R_2) + R_3 = \left(\frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \right) + R_3 = R_{ολ.}$$

Προσπαθήστε να συνδυάσετε το τύπο με το αντίστοιχο από κάτω κύκλωμα:

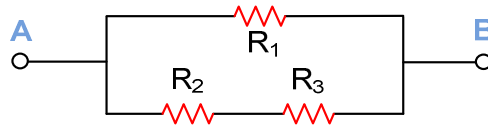


Εικόνα 3.9: Μεικτή σύνδεση αντιστάσεων (1).

Σε μια συνδεσμολογία παράλληλη, αν υπάρχει μια συνδεσμολογία σειράς, υπολογίζεται πρώτα η συνδεσμολογία σειράς για την εύρεση της ισοδύναμης αντίστασης και μετά συνθέτουμε τις αντιστάσεις εν παραλλήλω. Δηλαδή:

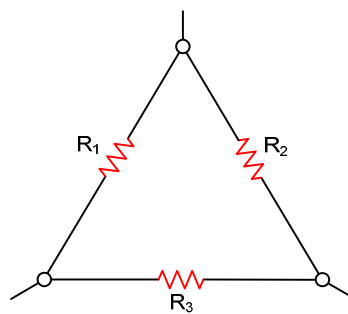
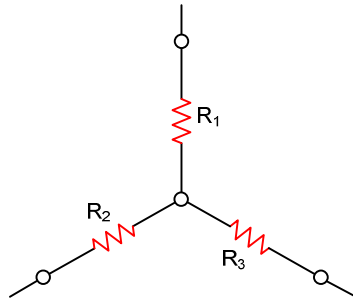
$$R_{AB} = R_1 // (R_2 + R_3) = R_1 // R_{2,3} = \left(\frac{R_1 \cdot R_{2,3}}{R_1 + R_{2,3}} \right) = R_{ολ.}$$

Το αντίστοιχο κύκλωμα είναι το παρακάτω:



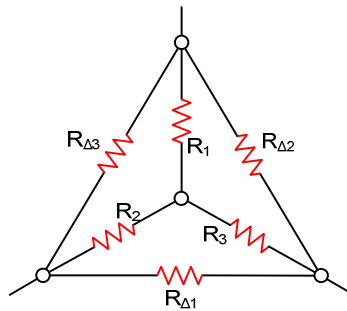
Εικόνα 3.10: Μεικτή σύνδεση αντιστάσεων (2).

Αρκετές φορές τυχαίνει οι αντιστάσεις να μην μπορούν να προσδιοριστούν σε σειρά ή παράλληλη σύνδεση μεταξύ τους. Αυτό μπορεί να συμβεί μόνο σε δύο περιπτώσεις, όταν οι αντιστάσεις είναι συνδεδεμένες σε αστέρα ή σε τρίγωνο.



Εικόνα 3.11: Σύνδεση αντιστάσεων σε αστέρα. Εικόνα 3.12: Σύνδεση αντιστάσεων σε αστέρα.

Τέτοιες περιπτώσεις σύνδεσης των αντιστάσεων δυσκολεύουν την επίλυση του κυκλώματος μας. Σε αυτές τις περιπτώσεις είναι απαραίτητο πάντα να κάνουμε έναν μετασχηματισμό από αστέρα σε τρίγωνο ή από τρίγωνο σε αστέρα. Η υπόθεση επίλυσης ενός τέτοιου κυκλώματος γίνεται πιο εύκολη με την χρήση του θεωρήματος *Kennelly*. Αυτό γίνεται ακολουθώντας τους παρακάτω διατυπωμένους κανόνες μετασχηματισμού σύμφωνα με το επόμενο σχήμα που ακολουθεί:



Εικόνα 3.13: Μετατροπή αστέρα σε τρίγωνο και αντίστροφα.

Μετατροπή από αστέρα σε τρίγωνο:

$$R_{\Delta 1} = \frac{(R_1 \cdot R_2) + (R_2 \cdot R_3) + (R_3 \cdot R_1)}{R_1}$$

$$R_{\Delta 2} = \frac{(R_1 \cdot R_2) + (R_2 \cdot R_3) + (R_3 \cdot R_1)}{R_2}$$

$$R_{\Delta 3} = \frac{(R_1 \cdot R_2) + (R_2 \cdot R_3) + (R_3 \cdot R_1)}{R_3}$$

Μετατροπή από τρίγωνο σε αστέρα:

$$R_1 = \frac{R_{\Delta 2} \cdot R_{\Delta 3}}{R_{\Delta 1} + R_{\Delta 2} + R_{\Delta 3}}$$

$$R_2 = \frac{R_{\Delta 3} \cdot R_{\Delta 1}}{R_{\Delta 1} + R_{\Delta 2} + R_{\Delta 3}}$$

$$R_3 = \frac{R_{\Delta 1} \cdot R_{\Delta 2}}{R_{\Delta 1} + R_{\Delta 2} + R_{\Delta 3}}$$

3.7 Τάση και δυναμικό.

Η ηλεκτρική τάση προϋποθέτει τουλάχιστον δύο σημεία ηλεκτροστατικού πεδίου ή τουλάχιστον ένα τέτοιο σημείο και ένα σημείο αναφοράς (*Δυναμικό μηδέν*).

Γνωρίζουμε ότι ηλεκτρική τάση δυο σημείων ηλεκτροστατικού πεδίου ονομάζεται το πηλίκο του έργου που παράγεται ή δαπανάται από το πεδίο κατά την μετακίνηση από το πρώτο σημείο στο δεύτερο, δια του φορτίου q .

$$U_{12} = \frac{W_{12}}{q}$$

Εναλλαγή στη διαδοχή των σημείων 1 και 2 θα προκαλέσει και αλλαγή στο πρόσημο της τάσης. Ή αυτό που αποκαλούμε στην καθημερινότητα μας σαν ηλεκτρολόγοι, πολικότητα. Δηλαδή:

$$U_{12} = -U_{21}$$

Η σχέση ανάμεσα στην ένταση του ηλεκτρικού πεδίου (E) και στην τάση που επικρατεί μεταξύ των δύο σημείων (U) σε ομοιογενές πεδίο θα είναι:

$$U = \frac{W}{Q} \Rightarrow \frac{E \cdot Q \cdot \ell}{Q} = E \cdot \ell$$

Μονάδα μέτρησης της ηλεκτρικής τάσης είναι το *Volt* και συμβολίζεται με V . Το όργανο που μετράει αυτή τη ποσότητα είναι το βολτόμετρο.

$$U = \frac{W}{Q} \Rightarrow \frac{joule (j)}{coulomb (C)} = volt (V)$$

Για να μπορέσουμε να σχηματίσουμε μία ιδέα για το μέγεθος αυτό που αποκαλούμε τάση, αρκεί να αναφέρουμε μερικά παραδείγματα που συναντάμε στη καθημερινή μας ζωή. Η απλές μπαταρίες που χρησιμοποιούμε σε διάφορες συσκευές έχουν τάση $1,5 V$. Για να μπορέσουμε να πραγματοποιήσουμε εκκίνηση του αυτοκινήτου κάνουμε χρήση του συσσωρευτή του που έχει τάση $12 V$. Η τάση που παρέχεται από το δίκτυο διανομής και τη χρειαζόμαστε στο σπίτι μας για να λειτουργήσουν οι διάφορες οικιακές συσκευές, είναι $230 V$ ενώ η μεταφορά από τους σταθμούς παραγωγής γίνεται με τάση $150 kV$.

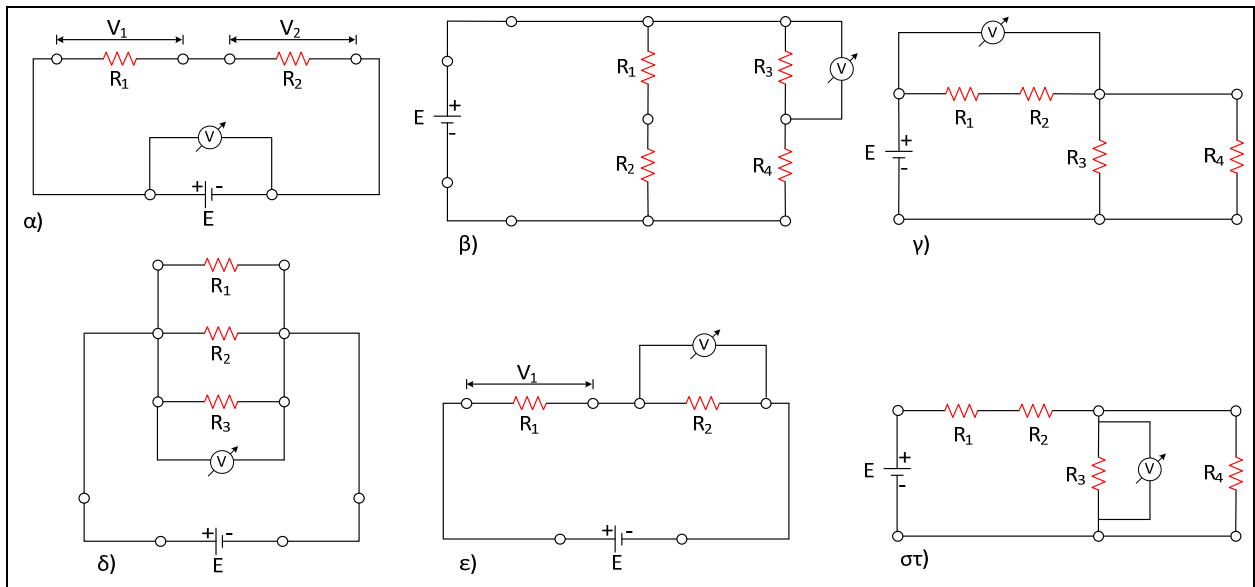
3.8 Μέτρηση ηλεκτρικής τάσης - διαφοράς δυναμικού.

Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω, όταν μιλάμε για διαφορά δυναμικού ή ηλεκτρική τάση, αυτό προϋποθέτει τουλάχιστον δύο σημεία ένα σημείο A και ένα σημείο B . Αυτά τα δύο σημεία πρέπει σε σχέση με κάποιο σημείο αναφοράς έχουν διαφορετικό δυναμικό ή το ένα από τα δύο να είναι το σημείο αναφοράς. Σχετικά με τη διαφορά δυναμικού ισχύει πάντα:

$$V_{AB} = V_A - V_B$$

Για να μετρήσουμε το μέγεθος αυτό που αποκαλούμε διαφορά δυναμικού ή τάση, χρησιμοποιούμε ειδικά όργανα που ονομάζονται βολτόμετρα. Εφόσον η ηλεκτρική τάση παρουσιάζετε πάντα μεταξύ δυο σημείων, αυτό σημαίνει ότι η μέτρηση με βολτόμετρο γίνεται πάντα ανάμεσα σε

δύο σημεία και πάντα μα πάντα παράλληλα με την προς μέτρηση κατανάλωση. Με λίγα λόγια, ποτέ δεν διακόπτουμε το κύκλωμα για να παρεμβάλουμε το βολτόμετρο. Στη συνέχεια παρουσιάζονται πρακτικά παραδείγματα συνδέσεις του βολτομέτρου σε ηλεκτρικό κύκλωμα.



Εικόνα 3.14: Σύνδεση βολτομέτρου σε ηλεκτρικό κύκλωμα.

Χρειάζεται εδώ να επισημάνουμε ότι, όταν έχουμε να μετρήσουμε μία άγνωστη τιμή τάσης με ένα όργανο που έχει κλίμακες μέτρησης, πρέπει να ακολουθήσουμε συγκεκριμένη τακτική την οποία έχουμε αναλύσει σε προηγούμενο κεφάλαιο. Επίσης πρέπει πάντα να προσέχουμε την πολικότητα σύνδεσης των αναλογικών οργάνων. Η μέτρηση στο συνεχές απαιτεί μεγάλη προσοχή στο θέμα αυτό και στη περίπτωση αυτή το όργανο πάντα πρέπει να συνδέεται σύμφωνα με την πολικότητα του.

Προσοχή: Πάντα πρέπει να ελέγχετε τον σωστό τρόπο σύνδεσης του βολτομέτρου προτού τροφοδοτήσετε το κύκλωμα με τάση.

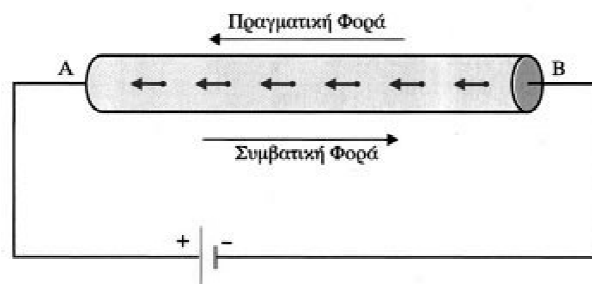
3.9 Το ηλεκτρικό ρεύμα.

Έχουμε ήδη αναφερθεί στο ηλεκτρικό φορτίο και με τη βοήθεια του νόμου του *Coulomb* την ορίσαμε σαν προσανατολισμένη κίνηση των ηλεκτρικών φορτίων. Επίσης, όταν αυτή η προσανατολισμένη κίνηση φορτίων ρέει μέσα σε έναν αγωγίμο δρόμο όπως είναι οι αγωγοί ενός κυκλώματος, τότε είναι απαραίτητο να ορίσουμε δύο χαρακτηριστικές ιδιότητες: *την ένταση και τη φορά του*.

Ως ένταση του ηλεκτρικού φορτίου ορίζουμε την ποσότητα του ηλεκτρικού φορτίου που διέρχεται μέσα από την διατομή ενός αγωγού στη διάρκεια του χρόνου.

$$i = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta q}{\Delta t} \right) = \frac{dq}{dt}$$

Η φορά του ηλεκτρικού ρεύματος ορίζεται με δύο τρόπους. Ο πρώτος τρόπος είναι η συμβατική φορά του ηλεκτρικού ρεύματος. Σύμφωνα με αυτόν, ορίζεται η φορά της κίνησης των θετικών φορτίων. Όσο αφορά τους μεταλλικούς αγωγούς όμως, η συμβατική φορά δεν ανταποκρίνεται στη πραγματική κίνηση των φορτίων. Στους μεταλλικούς αγωγούς έχουμε κίνηση ηλεκτρονίων, που όπως είναι γνωστό έχουν αρνητικό φορτίο. Έτσι, ο δεύτερος τρόπος ορισμού της φορά του ηλεκτρικού ρεύματος είναι η πραγματική φορά και αναφέρεται στη φορά της κίνησης των αρνητικών φορτίων.

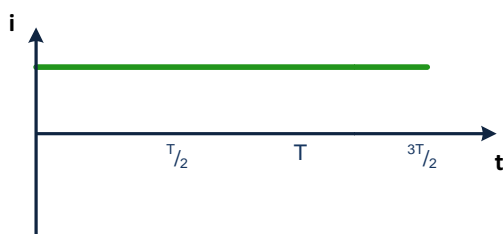


Εικόνα 3.15: Πραγματική και συμβατική φορά ηλεκτρικού ρεύματος.

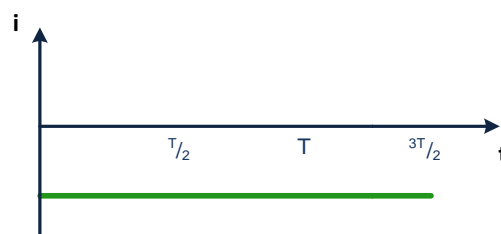
Αναλόγως των παραπάνω προϋποθέσεων, διακρίνουμε τρεις διαφορετικές καταστάσεις:

❖ Πρώτη περίπτωση.

Αν το ρεύμα μένει πάντα θετικό ή πάντα αρνητικό σε σχέση με το χρόνο και η ένταση του είναι σταθερή, τότε το ονομάζουμε συνεχές ρεύμα (Σ.Ρ. - D.C.).



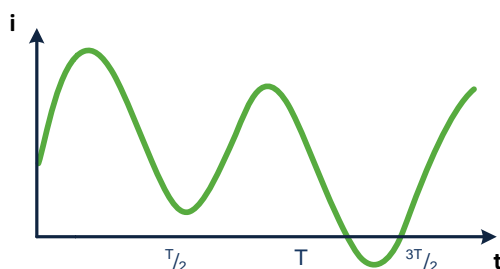
Εικόνα 3.16: Συνεχές ρεύμα θετικής πολικότητας.



Εικόνα 3.17: Συνεχές ρεύμα αρνητικής πολικότητας.

❖ Δεύτερη περίπτωση.

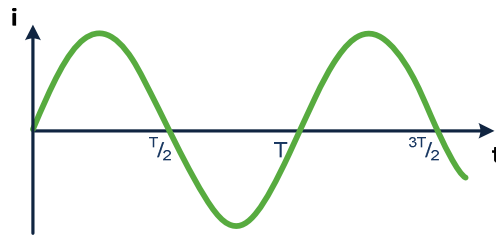
Αν το ρεύμα δεν έχει σταθερή ένταση, ανεξάρτητα αν μένει πάντα θετικό ή πάντα αρνητικό σε σχέση με το χρόνο, τότε το ονομάζουμε μεταβαλλόμενο. Μία τυχαία μορφή τέτοιου μεταβαλλόμενου ρεύματος παρουσιάζετε στη παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 3.18: Μορφή μεταβαλλόμενου ρεύματος.

❖ Τρίτη περίπτωση.

Όταν το ρεύμα επαναλαμβάνεται περιοδικά, δεν έχει σταθερή ένταση, και η καμπύλη του περικλείει εναλλακτικά με τον οριζόντιο άξονα ίσες θετικές και αρνητικές επιφάνειες, τότε ονομάζεται εναλλασσόμενο ρεύμα.



Εικόνα 3.19: Μορφή εναλλασσόμενου ρεύματος.

Μονάδα μέτρησης της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος είναι το αμπέρε και συμβολίζεται με A. Για να δημιουργηθεί ηλεκτρικό ρεύμα σ' ένα χώρο απαιτούνται δύο προϋποθέσεις:

- I. Να υπάρχουν ελεύθεροι φορείς ηλεκτρικού φορτίου στο χώρο που μπορούν να κινηθούν
- II. Να υπάρχει επίσης ηλεκτρικό πεδίο που θα ασκεί δυνάμεις στους ηλεκτρικούς φορείς, ώστε αυτοί να εκτελούν προσανατολισμένη κίνηση.

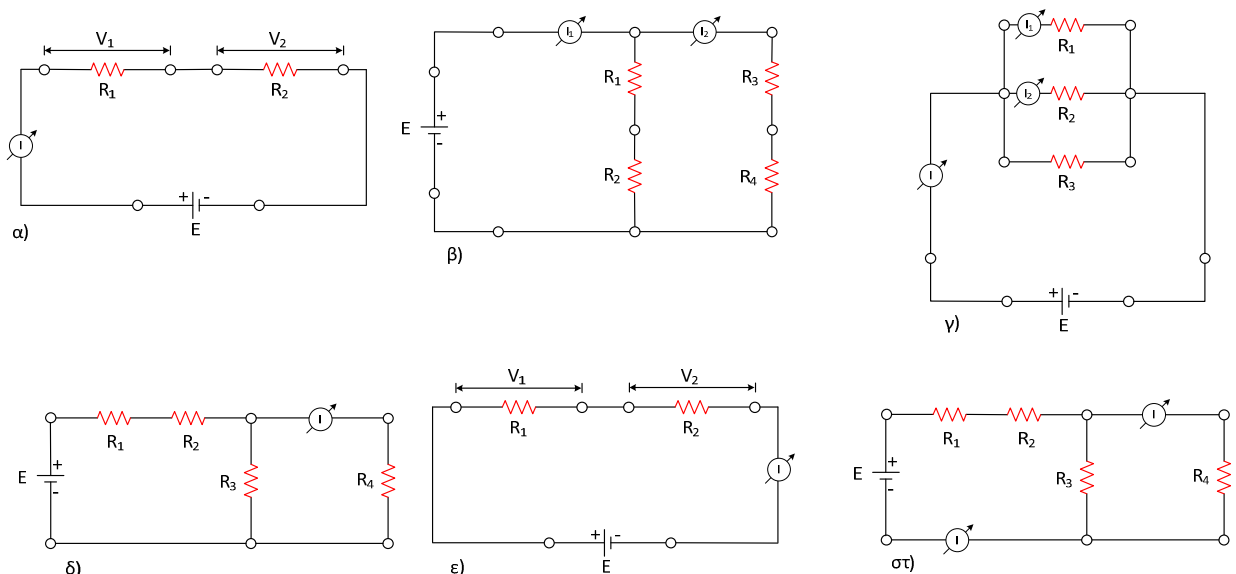
Το ηλεκτρικό πεδίο που απαιτείται δεν είναι τίποτε άλλο από την ηλεκτρική τάση που μελετήσαμε πιο πριν, ενώ ο αγώγιμος χώρος που καλούνται να ισχύουν οι παραπάνω προϋποθέσεις, το ονομάζουμε ηλεκτρικό πεδίο ροής.

3.10 Μέτρηση της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος.

Αντίστοιχα και εδώ, το όργανο που χρησιμοποιούμε για τη μέτρηση της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος, είναι το αμπερόμετρο. Αφού το ηλεκτρικό ρεύμα είναι προσανατολισμένη ροή ηλεκτρονίων συμπεραίνουμε ότι για την καταμέτρηση τους απαιτείται η διακοπή του κυκλώματος. Συνεπώς το αμπερόμετρο συνδέεται πάντα σε σειρά με τον αντίστοιχο καταναλωτή.

Και εδώ ισχύουν οι κανόνες που έχουμε αναφέρει για την μέτρηση άγνωστης τιμής όπως επίσης και το ζήτημα της πολικότητας. Όταν δηλαδή, έχουμε να μετρήσουμε συνεχή ένταση τότε πρέπει να φροντίσουμε η πολικότητα του οργάνου να συμπίπτει με την πολικότητα του κυκλώματος.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται διάφοροι τρόποι σύνδεσης του αμπερομέτρου σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα για την μέτρηση της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος:



Εικόνα 3.20: Σύνδεση αμπερομέτρου σε ηλεκτρικό κύκλωμα.

Όπως βλέπετε, σε όλα τα παραπάνω παραδείγματα, για να μπορέσουμε να μετρήσουμε την ροή του ρεύματος ήταν απαραίτητο να διακοπεί το κύκλωμα.

Προσοχή: λόγω της μικρής εσωτερικής αντίστασης το αμπερόμετρο δεν μπορεί να συνδεθεί παράλληλα με κάποιο φορτίο γιατί θα καταστραφεί από το υπερβολικά μεγάλο ρεύμα που θα το διαρρεύσει. Γι' αυτό το λόγο πρέπει πάντα να ελέγχετε τον σωστό τρόπο σύνδεσης του αμπερομέτρου προτού τροφοδοτήσετε το κύκλωμα με τάση.

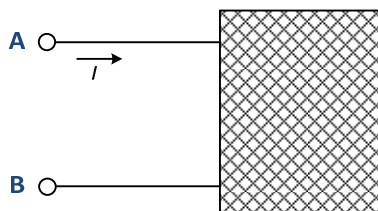
3.11 Ηλεκτρική ισχύς και ηλεκτρική ενέργεια.

Κάθε ηλεκτρικό κύκλωμα μπορεί να θεωρηθεί σαν ένα κλειστό ενεργειακό σύστημα όπου η παρεχόμενη ηλεκτρική ισχύ είναι ακριβώς ίση μ' αυτή που καταναλώνετε.

Σαν ηλεκτρική ισχύς (P) ονομάζουμε το γινόμενο της εφαρμοζόμενης τάσης σε μια κατανάλωση και του ρεύματος που διαρρέει την κατανάλωση. Στο σύνολο ενός κυκλώματος η συνολική ισχύς είναι το σύνολο των επιμέρους ή το γινόμενο της συνολικής τάσης με το συνολικό ρεύμα που απορροφά το κύκλωμα. Δηλαδή, όταν στα άκρα μίας κατανάλωσης (πχ. *ωμική αντίσταση*) επικρατεί διαφορά δυναμικού V_R και απορροφά από την πηγή που την τροφοδοτεί ένταση ηλεκτρικού ρεύματος I_R , τότε η ισχύς που καταναλώνεται είναι :

$$P = V \cdot I$$

Σε προηγούμενο κεφάλαιο διατυπώσαμε την ισχύ ως ρυθμό παραγωγής έργου και για την ηλεκτρική ισχύ που καταναλώνει μία αντίσταση είπαμε ότι είναι το ποσό της ενέργειας που μετατρέπεται σε θερμότητα. Ας υποθέσουμε ότι έχουμε την παρακάτω ηλεκτρική διάταξη αγνώστων στοιχείων:



Εικόνα 3.21: Ηλεκτρικό κύκλωμα αγνώστων στοιχείων.

Αν δεχτούμε ότι το συγκεκριμένο στοιχείο διαρρέεται από ρεύμα το οποίο εισέρχεται από το άκρο A και εξέρχεται από το B , τότε σύμφωνα με τα προηγούμενα πρέπει να δεχτούμε ότι για το σκοπό αυτό σπαταλάτε ενέργεια. Πιο συγκεκριμένα, η δύναμη που χρειάστηκε για την μεταφορά των φορτίων από το σημείο A στο σημείο B , είναι αριθμητικά ίση με τη διαφορά δυναμικού V_{AB} . Η διαφορά δυναμικού είναι ή ίδια που ορίστηκε και πιο πάνω:

$$V_{AB} = V_A - V_B$$

Προηγουμένως αναφερθήκαμε στο ρυθμό μεταβολής της ενέργειας όπου το ονομάσαμε ισχύ. Η ενέργεια από την άλλη είναι ο αριθμητικός προσδιορισμός αυτού του ρυθμού σε βάθος χρόνου. Στην ουσία η συνολική ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνει ένα στοιχείο είναι ίση με:

$$A = \int_0^t p \cdot dt = \int_0^t (u \cdot i) \cdot dt$$

Όπου t είναι η διάρκεια που έχουμε ισχύ στο στοιχείο. Ενώ με μικρά (p , u και i) συμβολίζουμε τη στιγμιαία ισχύ, στιγμιαία τάση και στιγμιαίο ρεύμα αντίστοιχα. Όταν η ισχύ είναι σταθερή όπως ισχύ στο συνεχές ρεύμα η ενέργεια υπολογίζεται από τη παρακάτω σχέση.

$$W = P \cdot t = V \cdot I \cdot t$$

Η πιο συνηθισμένη μονάδα μέτρηση είναι η κιλοβατώρα (kWh). Η ερμηνεία της είναι η εξής: η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ισχύος $1 kW$ για διάρκεια μιας ώρας ($1h$).

Πολλές φορές είναι ανάγκη να συνδυάσουμε περισσότερες αντιστάσεις προκειμένου να επιτύχουμε μια επιθυμητή τιμή συνολικής αντίστασης ή ικανότητας ισχύος. Όλες οι αντιστάσεις στο εμπόριο υπάρχουν σε τυποποιημένες τιμές ωμικής τιμής και ισχύος.

Για παράδειγμα υπάρχει η αντίσταση 220Ω σε ισχύ $\frac{1}{8} W$, $\frac{1}{4} W$, $\frac{1}{2} W$, $1 W$, $2 W$, $3 W$ και $5 W$. Για μεγαλύτερες τιμές ισχύος (π.χ. $10 - 50 Watt$), μπορούμε να αναζητήσουμε σε ειδικά καταστήματα ή για πολύ μεγαλύτερη ακόμα ισχύ (π.χ. $100, 200, 500 Watt$) συνήθως βρίσκονται μόνο κατόπιν παραγγελίας σε κατασκευαστές που υπάρχουν και στην Ελλάδα.

Είναι γνωστό ότι οι πολλές αντιστάσεις στη σειρά επιμερίζονται την τάση που εφαρμόζουμε στα άκρα του συστήματός τους, ενώ διαρρέονται από το ίδιο ρεύμα.

Επίσης πολλές αντιστάσεις παράλληλα, επιμερίζονται το ολικό ρεύμα που τους διατίθεται ενώ βρίσκονται υπό την ίδια τάση.

Μια αντίσταση των $100\Omega/1 W$ μπορεί να αντέξει ρεύμα :

$$P_{max} = 1 W \Rightarrow P = V \cdot I \Rightarrow P = I^2 \cdot R \Rightarrow I_{max} = \sqrt{\frac{P}{R}} = \sqrt{\frac{1}{100}} = 0,1 A = 100 mA$$

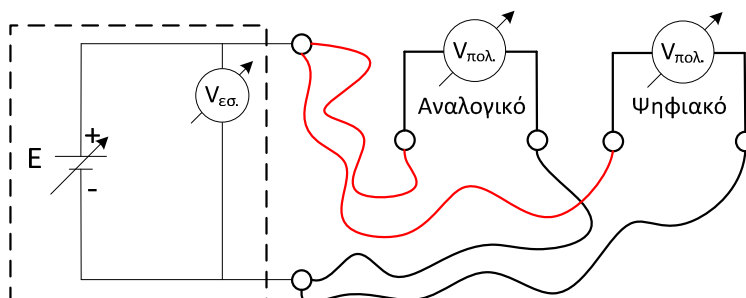
και μπορεί επίσης να αντέξει τάση μέχρι:

$$P_{max} = 1 W \Rightarrow P = V \cdot I \Rightarrow P = \frac{V^2}{R} \Rightarrow V_{max} = \sqrt{P \cdot R} = \sqrt{100} = 10 Volt$$

3.12 Εργαστηριακή άσκηση.

1. Καταγράψτε τα όργανα που σας έχουν δοθεί. Σημειώστε σχετικά κατασκευαστικά χαρακτηριστικά που αναγράφονται (κατασκευαστής, αριθμός κατασκευής κ.α.).
2. Διακριτική ικανότητα και υστέρηση.

i. Πραγματοποιήστε το παρακάτω κύκλωμα συνδέοντας το αναλογικό βολτόμετρο στο τροφοδοτικό. Τοποθετήστε τα όργανα σε σημείο που να έχετε την δυνατότητα να παρατηρείτε και τα τρία όργανα.



Πραγματοποιήστε πέντε (5) διαφορετικές μετρήσεις ακολουθώντας των εξής κανόνα. Μεταβάλετε την τάση εξόδου του τροφοδοτικού μέχρι να δείτε μεταβολή της μετρούμενης τιμής και στα τρία όργανα. Σημειώστε κάθε φορά την κάθε μέτρηση στον επόμενο πίνακα. Ξεκινήστε την μέτρηση σας από εκεί που θεωρείτε ότι είναι πιο βολικό για τις κλίμακες μέτρησης του αναλογικού και ψηφιακού οργάνου που διαθέτετε.

Μέτρηση με όργανο:	Τροφοδοτικό (V)	Αναλογικό (V)	Ψηφιακό (V)
Αρχική μέτρηση			
1 ^η μέτρηση			
2 ^η μέτρηση			
3 ^η μέτρηση			
4 ^η μέτρηση			
5 ^η μέτρηση			

Υπάρχουν διαφοροποιήσεις στις τιμές που λάβατε. Πιο όργανο είχε πιο γρήγορη ανταπόκριση στις μεταβολές τις τάσης. Τι συμπεράσματα μπορείτε να βγάλετε από τη διαδικασία λήψης των μετρήσεων και από τα αποτελέσματα αυτών.

ii. Απενεργοποιήστε την έξοδο του τροφοδοτικού και μηδενίστε τους ρυθμιστές. Ρυθμίστε και τα δύο όργανα έτσι ώστε να μετρήσετε μέγιστη τάση 30 Volt. Συμπληρώστε τις μετρήσεις του επόμενου πίνακα διατηρώντας αυστηρά τη διαδικασία λείψης των μετρήσεων.

Προσοχή: Ένα λάθος σημαίνει ότι η διαδικασία πρέπει να επαναληφθεί από τη αρχή. Για το λόγο αυτό η μεταβολή της τάσης πρέπει να γίνεται με προσοχή και μόνο προς μια κατεύθυνση.

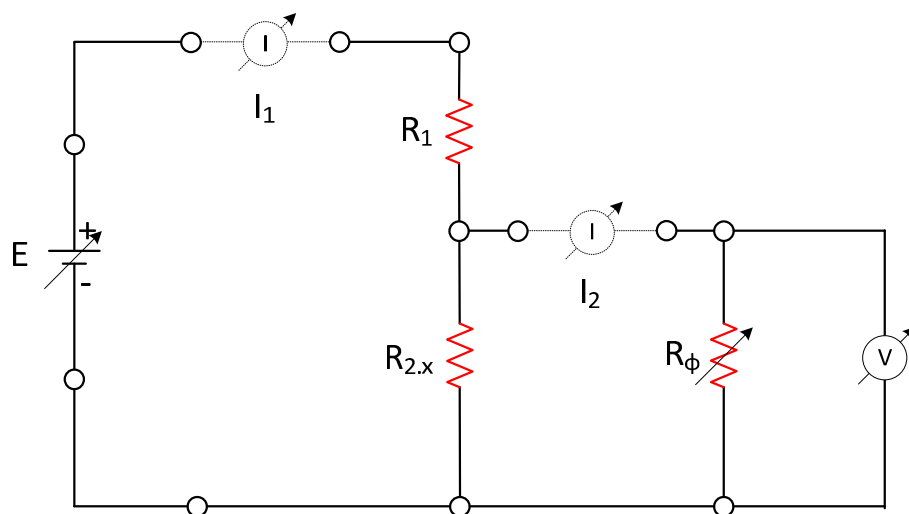
Χρησιμοποιήστε για την διαδικασία αυτή μόνο τον κεντρικό ρυθμιστή τάσης (*coarse*) και όχι το *fine*.

Μέτρηση με όργανο:	0 - 30 Volt			30 - 0 Volt		
	Τροφ. (V)	AMM (V)	DMM (V)	Τροφ. (V)	AMM (V)	DMM (V)
0 Volt						
5 Volt						
10 Volt						
15 Volt						
20 Volt						
25 Volt						
30 Volt						

Τι διαπιστώνετε από τις μετρήσεις αυτές. Υπάρχουν διαφορές και αν ναι που νομίζετε ότι οφείλονται; Μπορείτε να πείτε αν κάποιο από τα τρία όργανα παρουσιάζει κάποιο φαινόμενο υστέρησης;

3. Επίδραση του φορτίου και των οργάνων κατά τη διαδικασία μέτρησης.

Σας έχουν δοθεί κάποιες αντιστάσεις για να συνθέσετε το παρακάτω κύκλωμα. Η αντίσταση $R_1=220 \Omega$, ενώ για την αντίσταση R_2 θα χρειαστείτε τρεις διαφορετικές αντιστάσεις με τιμές $R_{2,1}=33 \Omega$, $R_{2,2}=47 \Omega$ και $R_{2,3}=68 \Omega$. Συνδέστε το παρακάτω κύκλωμα συνδέοντας αρχικά το αμπερόμετρο στη θέση I_1 και χρησιμοποιήστε αρχικά την αντίσταση R_2 .



Στη συνέχεια ακολουθήστε τα παρακάτω βήματα που ακολουθούν:

Ρυθμίστε το μέγιστο ρεύμα του τροφοδοτικού σε $0,25 A$. Θα πρέπει να πάρετε μετρήσεις για τις τρεις διαφορετικές τιμές της R_2 , ενώ το κύριο ζητούμενο είναι να μετρήσετε την τάση και το ρεύμα στο φορτίο (R_ϕ) για πέντε (5) διαφορετικές τιμές του R_ϕ . Η αντίσταση φορτίου θα κυμανθεί από $\frac{1}{4}R_2$, $\frac{1}{2}R_2$, R_2 , $2xR_2$, $4xR_2$.

Τεχνική υπόδειξη:

- Χρησιμοποιήστε για φορτίο τον ροοστάτη. Όπου η αντίσταση του ροοστάτη δεν είναι αρκετή προσθέστε μια άλλη αντίσταση σε σειρά.
- Η αντίσταση του ροοστάτη θα ρυθμιστεί με μέτρηση από ψηφιακό πολύμετρο πριν συνδεθεί στο κύκλωμα.

Τοποθετήστε τις μετρήσεις σε πίνακα με στήλες, R_{ϕ} , $R_{\phi}\%$ ($R_{\phi}=f(R_2)$), V_{ϕ} , I_1 (mA), I_{1+v} (mA), I_{ϕ} (mA), P_{ϕ} (υπολογιζόμενη ισχύς). Μετρήστε το ρεύμα στη θέση I_1 πριν τοποθετήσετε το βολτόμετρο και πραγματοποιήστε άλλη μια μέτρηση αφού τοποθετήσετε το βολτόμετρο στο κύκλωμα.

Σημείωση: Δεν χρειάζεστε να το αποσυνδέσετε για να πραγματοποιήσετε την δεύτερη μέτρηση. Απλά τοποθετήστε το βολτόμετρο στο κύκλωμα σας.

Προσοχή: Η διαφορά μπορεί να είναι πολύ μικρή. Προσπαθήστε να πραγματοποιήσετε τις μετρήσεις σας με ακρίβεια περισσότερων ψηφίων αν χρειαστεί για να δείτε κάποια διαφορά.

Για αντίσταση $R_{2.1} = 33 \Omega$.

Για αντίσταση φορτίου:	R_{ϕ} (Ω)	R_{ϕ} (%)	V_{ϕ} (V)	I_1 (mA)	I_{1+v} (mA)	I_{ϕ} (mA)	P_{ϕ} (mW)
$\frac{1}{4}R_2$							
$\frac{1}{2}R_2$							
R_2							
$2 \times R_2$							
$4 \times R_2$							

Για αντίσταση $R_{2.2} = 47 \Omega$.

Για αντίσταση φορτίου:	R_{ϕ} (Ω)	R_{ϕ} (%)	V_{ϕ} (V)	I_1 (mA)	I_{1+v} (mA)	I_{ϕ} (mA)	P_{ϕ} (mW)
$\frac{1}{4}R_2$							
$\frac{1}{2}R_2$							
R_2							
$2 \times R_2$							
$4 \times R_2$							

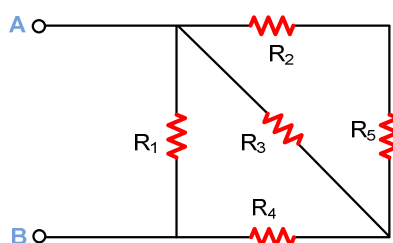
Για αντίσταση $R_{2.3} = 68 \Omega$.

Για αντίσταση φορτίου:	R_{ϕ} (Ω)	R_{ϕ} (%)	V_{ϕ} (V)	I_1 (mA)	I_{1+v} (mA)	I_{ϕ} (mA)	P_{ϕ} (mW)
$\frac{1}{4}R_2$							
$\frac{1}{2}R_2$							
R_2							
$2 \times R_2$							
$4 \times R_2$							

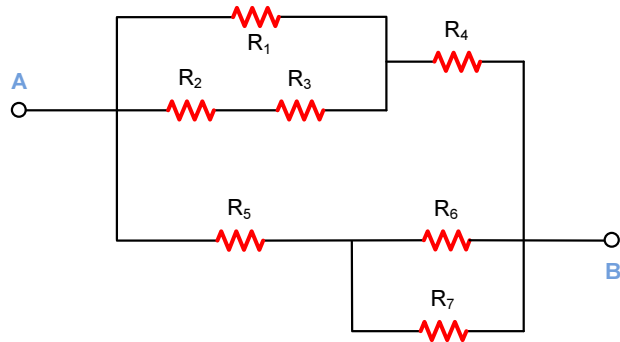
- a. Τοποθετήστε τις μετρήσεις ισχύος και τάσης της εργαστηριακής *Άσκησης Ν^ο2* σε γράφημα με οριζόντιο άξονα $R_{\phi}\%$ και κατάλληλες κλίμακες. Χαράξτε με καμπυλόγραμμο (ή με ελεύθερο χέρι) την καμπύλη $P_{\phi}=f(R_{\phi}\%)$, και εντοπίστε το μέγιστο της καμπύλης αυτής (για ποιο $R\%$ συμβαίνει) να έχουμε μέγιστη ισχύ στην R_{ϕ} . Μετατρέψτε την ποσοστιαία τιμή σε ωμική τιμή (Ω) και δώστε μια τιμή $R_{\rho max}$.
- b. Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων που πραγματοποιήσατε στο σημείο I_1 πριν τοποθετήσετε το βολτόμετρο στο κύκλωμα για μέτρηση και μετά την τοποθέτηση παρατηρείτε κάποια διαφορά; Αν ναι σχολιάστε την και προσπαθήστε να εξηγήσετε. Που νομίζεται ότι οφείλεται ή θα οφειλόταν μια τυχών διαφοροποίηση των ενδείξεων κατά τη διάρκεια προσθήκης ενός επιπλέον οργάνου μέτρησης στο κύκλωμα.
Σημείωση: Η διαφορά θα μπορούσε να είχε διαπιστωθεί στην ένδειξη του βολτομέτρου τη στιγμή που θα τοποθετήσουμε ένα αμπερόμετρο στο κύκλωμα.

3.13 Ερωτήσεις.

1. Ποιος είναι ο τεχνικά σωστός τρόπος σχεδίασης ηλεκτρικών κυκλωμάτων σε σχέση με τα δυναμικά που εμφανίζονται στο κύκλωμα; Ποια είναι η σημασία των χρωμάτων των αγωγών σύνδεσης και σε τι χρησιμεύει ;
2. Να υπολογίσετε το μήκος ενός σύρματος χαλκού με διατομή 1.5mm^2 ώστε να κατασκευαστεί μια αντίσταση τιμής $0,3 \Omega$.
Δίνεται η ειδική αντίσταση του χαλκού σε θερμοκρασία 20°C : $\rho = 0,01725 \Omega \cdot \text{m}$.
3. Η αντίσταση ενός χάλκινου πηνίου στην αρχή ενός θερμικού τεστ ήταν 173Ω , ενώ η θερμοκρασία του ήταν 16°C . Στο τέλος του τεστ η αντίσταση βρέθηκε 212Ω .
Να υπολογίσετε πόση ήταν η άνοδος της θερμοκρασίας του σύρματος στο τέλος του τεστ.
4. Θερμάστρα που λειτουργεί υπό τάση 2300V απορροφά ρεύμα $4,5 \text{ A}$. Υπολογίστε την αντίστασή της και την ισχύ που απορροφά. Υπολογίστε πόση ενέργεια καταναλώνει σε 6 ώρες λειτουργίας και πόσο κοστίζει η λειτουργία του για τις ώρες αυτές αν η τιμή της κιλοβατώρας είναι $0,1 \text{ €/kWh}$.
5. Υπολογίστε το μέγεθος $R1//R2$ (τρεις αριθμοί) και συγκρίνετε με την τιμή του μεγίστου ($R_{\rho\text{max}}$) της προηγούμενης εργασίας. Σχολιάστε τα αποτελέσματά σας.
6. Απλοποιήστε το κύκλωμα του παρακάτω σχήματος και υπολογίστε την ισοδύναμη αντίσταση μεταξύ ακροδεκτών A και B .
Δίνεται: $R_1=800 \Omega$, $R_2=400 \Omega$, $R_3=300 \Omega$, $R_4=200 \Omega$, $R_5=100 \Omega$

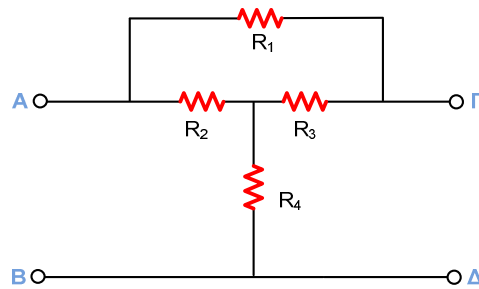


7. Αν η κάθε μια αντίσταση του παρακάτω σχήματος έχει τιμή $R=38 \Omega$:
 - α) Να υπολογίσετε την ολική αντίσταση του κυκλώματος ανάμεσα στα άκρα A και B ,
 - β) Πως πρέπει να συνδεθούν οι αντιστάσεις έτσι ώστε η τιμή της ολικής αντίστασης να πάρει την μέγιστη τιμή,
 - γ) Πως πρέπει να συνδεθούν οι αντιστάσεις έτσι ώστε η τιμή της ολικής αντίστασης να πάρει την ελάχιστη τιμή,
 - δ) Στις περιπτώσεις β και γ, πόση θα είναι η τιμή της ολικής αντίστασης.



8. Στο παρακάτω κύκλωμα εφαρμόζουμε τάση ανάμεσα στα άκρα *A* και *B*. ποια είναι η συνολική αντίσταση του κυκλώματος.

Δίνονται: $R_1=25 \Omega$, $R_2=50 \Omega$, $R_3=50 \Omega$, $R_4=40 \Omega$.



Προαιρετικές ερωτήσεις - ασκήσεις.

Π.1. Να βρεθεί η αντίσταση μιας γραμμής μεταφοράς μήκους $L= 10 \text{ km}$ με δύο αγωγούς που είναι χάλκινοι και έχουν διατομή $S = 120 \text{ mm}^2$ στις θερμοκρασίες $\theta_1=20^\circ\text{C}$ και $\theta_2=35^\circ\text{C}$. Δίνεται η ειδική αντίσταση του χαλκού και ο θερμοκρασιακός συντελεστής του:

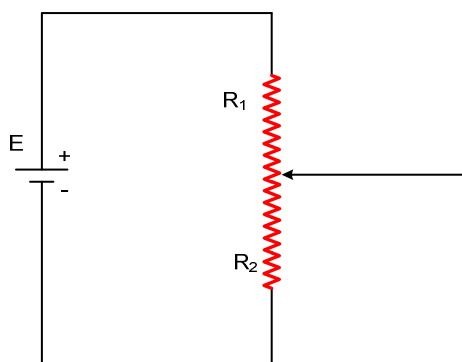
$$\rho_{20} = 0,0175 (\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}).$$

$$\alpha_{20} = 0,004 / ^\circ\text{C}.$$

Αν το ρεύμα στη γραμμή είναι 10 A ποια είναι η πτώση τάσης στη γραμμή;

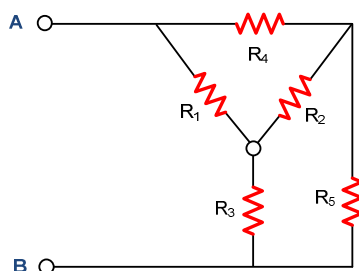
Π.2. Ένα αυτοκίνητο έμεινε από μπαταρία σε ένα απομακρυσμένο χωριό. Είναι γνωστό ότι για να ξεκινήσει το αυτοκίνητο (η μίζα) χρειάζεται ρεύμα 20 A και τάση πάνω από 10 Volt . Στο μπακάλικο του χωριού βρήκατε (ισχυρές αλκαλικές) μπαταρίες που παρέχουν 2 A και διατηρούν τάση $1,25 \text{ Volt}$ όταν δίνουν αυτό το ρεύμα. Πόσες μπαταρίες θα αγοράσετε και πως θα τις συνδέσετε για να ξεκινήσετε το αυτοκίνητο;

Π.3. Το ποτενσιόμετρο του διαιρέτη τάσης στο παρακάτω σχήμα έχει $N=300$ σπείρες, και συνδέεται σε πηγή με ηλεκτρεγερτική δύναμη $E=30 \text{ Volt}$. Υπολογίστε σε ποιο αριθμό σπείρων πρέπει να βρίσκεται ο δρομέας ώστε η τάση εξόδου να είναι 10 Volt .



Π.4. Σε ένα σύνθετο κύκλωμα όπως είναι το παρακάτω, εκτός από τις αντιστάσεις συνδεδεμένες σε σειρά και παράλληλα υπάρχουν επίσης τρεις αντιστάσεις συνδεδεμένες σε αστέρα. Οι αριθμητικές τιμές των αντιστάσεων είναι: $R_1=R_2=R_3=30 \Omega$, $R_4=10 \Omega$, $R_5=110 \Omega$.

- α) Απλοποιήστε το κύκλωμα, και
- β) υπολογίστε την ισοδύναμη αντίσταση του κυκλώματος.



Άσκηση 4

Νόμος του Ohm^1 ($\Omega\mu$) και κανόνες του $Kirchhoff^2$ (Κίρχοφ).

¹ Georg Simon Ohm (16 Μάρτη 1789 - 6 Ιουλίου, 1854) - Γερμανός φυσικός και μαθηματικός.

² Gustav Robert Kirchhoff (12 Μαρ. 1824 - 17 Οκτ. 1887) - Γερμανός φυσικός που συνέβαλε στην ουσιαστική κατανόηση των ηλεκτρικών κυκλωμάτων.

4.1 Εισαγωγή.

Συνοψίζοντας ότι έχουμε μάθει μέχρι στιγμής από τα προηγούμενα κεφάλαια, θα προσπαθήσουμε να δώσουμε σε όλα αυτά μια πιο στερεή βάση. Η προσπάθεια αυτή θα ολοκληρωθεί με τη επαλήθευσή του νόμου του $\Omega\mu$ και με τους κανόνες του *Κίρχοφ*. Καθώς θα δούμε ότι οι δύο προαναφερθέντες είναι οι βασικότεροι κανόνες που διέπουν τα ηλεκτρικά κυκλώματα και στο συνεχές και στο εναλλασσόμενο.

Όπως θα αποδειχτεί και στο υπόλοιπο των σπουδών όλα τα κυκλώματα υπόκεινται σε αναλύσεις με βάση τους παραπάνω νόμους. Έτσι, κρίνεται απαραίτητη η βαθύτερη κατανόηση τους. Η χρήση αυτών των νόμων και κανόνων απαιτεί και γνώσεις μαθηματικών αλλά κυρίως πρέπει να κατανοηθεί η εφαρμογή τους στο σύνολο των κυκλωμάτων που θα αναλύσουμε στα μαθήματα αλλά και ως επαγγελματίες.

4.2 Ηλεκτρική αντίσταση - Ειδική ηλεκτρική αντίσταση.

Η ηλεκτρική αντίσταση είναι η φυσική ιδιότητα που παρουσιάζουν τα αγωγικά υλικά, και σαν μονάδα εκφράζει την δυσκολία που παρουσιάζει το ηλεκτρικό ρεύμα για το διαπεράσει. Συνηθίζεται να αποκαλούμε αυτή την ιδιότητα ωμική αντίσταση του υλικού και συμβολίζετε με το γράμμα R όταν αναφερόμαστε σε καθαρά ωμικά στοιχεία ή ιδιότητες ενός υλικού. Για παράδειγμα, όσο θα μας απασχολεί το συνεχές ρεύμα, θα έχουμε να κάνουμε μόνο με ωμική συμπεριφορά. Θα μάθουμε αργότερα ότι διάφορα υλικά, όταν τροφοδοτηθούν με εναλλασσόμενο ρεύμα, παρουσιάζουν και διαφορετικές ιδιότητες πέρα από την ωμική αντίσταση. Επίσης η μεταβατική λειτουργία των ηλεκτρικών φορτίων δεν θα μας απασχολήσει σε αυτό το μάθημα.

Πέρα από την καθαρά ηλεκτρική αντίσταση, ένα άλλο πολύ χρήσιμο μέγεθος είναι και η ειδική ηλεκτρική αντίσταση. Αυτή, σχετίζεται καθαρά με τις διαστάσεις ενός σώματος, δηλαδή με τις φυσικές ιδιότητες που έχει το υλικό κατασκευής. Η ποιο άμεση εφαρμογή τους είναι με το παρακάτω τύπο και κάτι σχετικό με το επόμενο παράδειγμα. Ας υποθέσουμε ότι η συνολική αντίσταση R ενός αγωγού, που έχει μορφή σύρματος με σταθερή διατομή S , εξαρτάται από τις διαστάσεις του και από το ίδιο το υλικό κατασκευής. Το υλικό κατασκευής έχει μια συγκεκριμένη τιμή ειδικής αντίστασης το οποίο αντιστοιχεί σε κάθε μέτρο υλικού. Η συνολική αντίσταση ενός τέτοιου στοιχείου λοιπόν, δίνεται από τη παρακάτω σχέση:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S}$$

Όπου: l το μήκος του αγωγού
 S η διατομή του αγωγού
 ρ η ειδική αντίσταση του υλικού

Ο συντελεστής ρ , ονομάζεται ειδική αντίσταση του υλικού και όπως προαναφέρθηκε εξαρτάται κατά κύριο λόγο από το ίδιο το υλικό, αλλά και από άλλες παραμέτρους όπως είναι η θερμοκρασία κ.λπ. Η μονάδα μέτρησης της ειδικής αντίστασης ρ είναι το $ohm \cdot metre$ (Ωm). Συχνά χρησιμοποιούνται μονάδες όπως $ohm \cdot centimetre$ (Ωcm) για τα μονωτικά υλικά ή $ohm \cdot \frac{millimetre^2}{metre}$ ($\Omega \cdot \frac{mm^2}{m}$) για τους αγωγούς.

4.3 Αγωγιμότητα - Ειδική αγωγιμότητα.

Ο ένας τρόπος περιγραφής για το πόσο δυσκολεύετε να διαπέρνα το ηλεκτρικό ρεύμα ένα υλικό το είδαμε πιο πριν. Αυτή η φυσική ιδιότητα μπορεί να περιγραφεί και από την αντίθετη ή αλλιώς από την αντίστροφη διαδικασία. Έτσι λέμε αγωγιμότητα την φυσική ιδιότητα των υλικών να είναι αγωγίμα στο ηλεκτρικό ρεύμα. Σε σχέση με την ηλεκτρική αντίσταση όμως θα μπορούσαμε να πούμε ότι είναι η φυσική ιδιότητα των υλικών να τα διαπερνά το ηλεκτρικό ρεύμα. Η αγωγιμότητα είναι το αντίστροφο της ηλεκτρικής αντίστασης και το συμβολίζουμε με το γράμμα G ενώ τα συνδέει η παρακάτω σχέση.

$$G = \frac{1}{R}$$

Η μονάδα μέτρησης της αγωγιμότητας είναι το *Siemens* και συμβολίζεται με S .

Το αντίστροφο της ειδικής αντίστασης, ονομάζεται ειδική αγωγιμότητα, που συνήθως συμβολίζεται με γ , και δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$\gamma = \frac{1}{\rho}$$

4.4 Θερμικά αποτελέσματα του ρεύματος.

Όταν ένας αγωγός διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα, αναπτύσσεται σ' αυτών θερμότητα που οφείλεται στη μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας σε θερμική. Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό σαν φαινόμενο *Joule* και τα αποτελέσματα του μπορεί να είναι χρήσιμα ή όχι. Η μονάδα μέτρησης της ηλεκτρικής ενέργειας είναι το *joule* και συμβολίζεται με J , ενώ ποιο γνωστή μονάδα μέτρησης της ενέργεια είναι *Kilowatt-hour (KWh)* και ισχύει ότι:

$$1 \text{ Kilowatt – hour (KWh)} = 36 \cdot 10^5 \text{ joule (J)}$$

4.5 Μεταβολή της αντίστασης με την θερμοκρασία.

Επειδή η ειδική αντίσταση των αγωγίμων υλικών εξαρτάται από τη θερμοκρασία κατά συνέπεια και η αντίσταση της. Αυτό οφείλεται στις αλλαγές που παρατηρούνται στην ευκινησία των ελεύθερων ηλεκτρονίων με την μεταβολή της θερμοκρασίας. Η τιμή της προσδιορίζεται σε κάποια σταθερή θερμοκρασία που συνήθως είναι οι $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Η σχέση που δίνει τη μεταβολή της αντίστασης με τη θερμοκρασία είναι:

$$R_{\theta_2} = R_{\theta_1} \cdot [1 + \alpha \cdot (\theta_2 - \theta_1)]$$

Όπου:	R_{θ_1}	η τιμή της αντίστασης σε θερμοκρασία θ_1
	R_{θ_2}	η τιμή της αντίστασης σε θερμοκρασία θ_2
	α	θερμοκρασιακός συντελεστής μεταβολής της αντίστασης
	θ_1	αρχική θερμοκρασία μέτρησης
	θ_2	τελική θερμοκρασία μέτρησης (<i>αυξημένη ή μειωμένη</i>)

Πρέπει να σημειωθεί ότι ο θερμοκρασιακός συντελεστής μπορεί να είναι θετικός ή αρνητικός. Στα μέταλλα η κίνηση των ελεύθερων ηλεκτρονίων εμποδίζεται με την αύξηση της θερμοκρασίας.

Σύμφωνα με την διατύπωση που είναι πάνω, αυτό σημαίνει ότι η ειδική τους αντίσταση μεγαλώνει όσο μεγαλώνει η θερμοκρασία. Η ειδική αντίσταση άλλων υλικών, όπως οι ημιαγωγοί, ο άνθρακας κ.λπ. μικραίνει όσο μεγαλώνει η θερμοκρασία.

Στα μέταλλα, για μία μεγάλη περιοχή θερμοκρασιών που μας ενδιαφέρει στη πράξη, η μεταβολή της ειδικής αντίστασης με την θερμοκρασία είναι γραμμική.

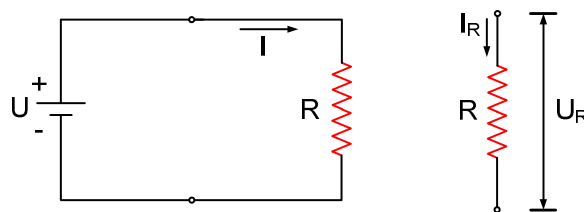
4.6 Νόμος του Ωμ (Ohm).

Για να υπερνικηθεί η αντίσταση που προβάλλουν τα υλικά στην προσανατολισμένη κίνηση των ηλεκτρονίων μέσα από τη μάζα τους θα πρέπει να αυξηθεί η δύναμη που τα ωθεί. Η δύναμη αυτή είναι η ηλεκτρική τάση και λειτουργεί σαν "ηλεκτρική πίεση" στο σύστημα για να τα βάλει σε κίνηση. Όσο αυξάνεται η προαναφερθείσα αντίσταση των σωμάτων στη διέλευση του ρεύματος, τόσο πρέπει να αυξηθεί ανάλογα αυτή η "ηλεκτρική πίεση" για να την υπερνικήσει. Αντίστοιχα, ο μηχανισμός αυτός λειτουργεί ως προς την αύξηση της ηλεκτρικής τάσης στα άκρα μιας αντίστασης με άμεσο αποτέλεσμα την αύξηση του ρεύματος.

Από τη προηγούμενη ανάλυση είναι προφανές ότι σε περίπτωση που διατηρήσουμε σταθερή την ηλεκτρική τάση και αυξηθεί η αντίσταση, τότε το ρεύμα θα μειωθεί, γιατί ενώ αυξάνεται το εμπόδιο (η *ηλεκτρική αντίσταση*) δεν αυξάνεται ανάλογα η πίεση (η *ηλεκτρική τάση*) που θα τα βοηθήσει να υπερνικήσουν το εμπόδιο. Όλα τα παραπάνω συνοψίζει ο νόμος του Ωμ ο οποίος διατυπώνεται ως εξής:

Η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει ένα ηλεκτρικό κύκλωμα είναι ανάλογη της τάσης που εφαρμόζεται στα άκρα του κυκλώματος και αντιστρόφως ανάλογη της αντίστασης του κυκλώματος.

Όπως φαίνεται και στη σχηματική αναπαράσταση στη παρακάτω εικόνα, ο νόμος του Ωμ συνδέει πρακτικά τα τρία μεγέθη: τάση, ρεύμα, αντίσταση.



Εικόνα 4.1: Σχηματική αναπαράσταση του νόμου του Ωμ και συμβολισμός της ωμικής αντίστασης.

Η προηγούμενη διατύπωση εκφράζεται μαθηματικά από τη παρακάτω σχέση:

$$I = \frac{U}{R} \Rightarrow \left[\frac{\text{volt (V)}}{\text{ohm } (\Omega)} = \text{ampere (A)} \right]$$

Αφού στη συνέχεια θα αναφερόμαστε σε ωμικές αντιστάσεις και ηλεκτρικά κυκλώματα αναλύοντας την ηλεκτρική τάση και το ρεύμα που διαρρέει το κύκλωμα ή ένα μέρος του κυκλώματος, θα χρειάζεται ο νόμος του Ωμ να διατυπωθεί και με τις εξής παρακάτω παραλλαγές:

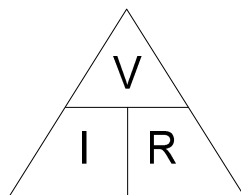
$$U = I \cdot R \Rightarrow [\text{ampere (A)} \cdot \text{ohm } (\Omega) = \text{volt (V)}]$$

Στη περίπτωση αυτή λέμε ότι, η τάση στα άκρα μιας αντίστασης R είναι ανάλογη του ρεύματος I που το διαρρέει.

$$R = \frac{U}{I} \Rightarrow \left[\frac{\text{volt (V)}}{\text{ampere (A)}} = \text{ohm } (\Omega) \right]$$

Ενώ εδώ λέμε ότι, η ηλεκτρική αντίσταση ενός στοιχείου είναι ανάλογη της τάση στα άκρα του και αντιστρόφως ανάλογη του ρεύματος που τη διαρρέει.

Οι παραπάνω τύποι, εκφράζονται ή διατυπώνονται εύκολα αν στο μυαλό τους κρατήσουμε σχηματικά το παρακάτω «τρίγωνο του Ωμ»:



Εικόνα 4.2: Τρίγωνο του Ωμ.

Η μονάδα μέτρησης της ηλεκτρικής αντίστασης είναι το *Ohm* και συμβολίζεται με Ω . Η αντίστροφη ποσότητα της ωμικής αντίστασης R ονομάζεται αγωγιμότητα και συμβολίζεται με G .

Όταν ο λόγος U/I είναι σταθερός τότε και η ωμική αντίσταση είναι σταθερή και ονομάζεται γραμμική αντίσταση όπως έχουμε αναφερθεί σε αυτή σε προηγούμενο κεφάλαιο. Σε διαφορετική περίπτωση η αντίσταση ονομάζεται μη γραμμική.

Στο προηγούμενο κύκλωμα της Εικόνας 4.2.1, με την σχηματική αναπαράσταση του νόμου του Ωμ, δίνετε επίσης το σύμβολο της ωμικής αντίστασης. Ο νόμος του Ωμ μπορεί εύκολα να επαληθευτεί με τη βοήθεια αυτού του απλού κυκλώματος.

4.7 Μέτρηση ηλεκτρικής αντίστασης.

Στο εμπόριο κυκλοφορούν πληθώρα διαφορετικών αντιστάσεων, με τυποποιημένες τιμές και μεγάλες διαφοροποιήσεις ως προς την ακρίβεια. Η διαφοροποίηση στην ακρίβεια διαφοροποιεί και την τιμή αγοράς. Έτσι θα δούμε μία αντίσταση 10Ω με δείκτη ακρίβειας $\pm 20\%$ να κοστίζει ένα λεπτό του ευρώ ($0,01 \text{ €}$), ενώ μια άλλη αντίσταση ίδιας τιμής με δείκτη ακρίβειας $\pm 1\%$ να κοστίζει δέκα λεπτά του ευρώ ($0,10 \text{ €}$). Υπάρχουν αντιστάσεις στο εμπόριο που κοστίζουν ακόμα και εκατό (100 €) ευρώ, αλλά και περισσότερο.

Η μία σημαντική διαφοροποίηση των αντιστάσεων είναι ως προς τον δείκτη ακρίβειας ο οποίος αποκαλείται και δείκτης ανοχής. Αυτό επειδή καθορίζει τα όρια που κυμαίνεται η τιμή της αντίστασης. Αν για παράδειγμα έχουμε τις προαναφερθείσες αντιστάσεις στη διάθεση μας και μετρήσουμε την τιμή της με ένα ωμόμετρο, τότε, οι τιμές που πιθανότατα να μετρήσουμε θα είναι:

Για ανοχή 10% θα έχουμε:

$$R = R \cdot (\pm 20\%) = 10 \Omega \cdot (\pm 2 \Omega) = 8 \Omega \text{ έως } 12 \Omega$$

Για ανοχή 1% θα έχουμε:

$$R = R \cdot (\pm 1\%) = 10 \Omega \cdot (\pm 0,1 \Omega) = 9,9 \Omega \text{ έως } 10,1 \Omega$$

Με το παραπάνω παράδειγμα γίνεται κατανοητό η διαφοροποίηση των αντιστάσεων σχετικά με την ανοχή. Υπάρχουν εφαρμογές που απαιτούν μεγαλύτερη ανοχή η μικρότερη. Ενδεικτικά να πούμε

ότι υπάρχουν διατάξεις όπως η γέφυρα *Wheatstone*, που απαιτούν αντιστάσεις με ανοχή ακόμα και $\pm 0,05\%$. Ο λόγος είναι προφανώς η ανάγκη όσο ποιο έγκυρων και ακριβής αποτελεσμάτων γίνεται. Τέτοιες αντιστάσεις συνήθως δεν κυκλοφορούν στο εμπόριο ή βρίσκονται κατά παραγγελία.

Υπάρχει και μία άλλη εξίσου σημαντική διαφοροποίηση των αντιστάσεων και αφορά την το ανώτερο όριο ισχύος. Αυτό υποδηλώνει στην ουσία το ανώτερο επιτρεπτό όριο ρεύματος που μπορεί να διαρρέει συνέχεια την αντίσταση, χωρίς αυτή να καταστραφεί.

Για την αγορά μιας αντίσταση τα παραπάνω αποτελούν τα κύρια στοιχεία για την αναζήτηση του. Συνήθως, όταν δεν έχουμε κάποια συγκεκριμένη απαίτηση σχετικά με την ανοχή, τότε σε ένα κατάστημα θα μας δοθεί "αυτόματα" μια αντίσταση με την τιμή και την ισχύ που ζητήσαμε και με ανοχή $\pm 20\%$. Η κατηγοριοποίηση των αντιστάσεων γίνεται σύμφωνα με το παρακάτω πίνακα.

Τύπος αντίστασης	Σταθερές αντίστασης (γραμμικές)	Ρυθμιζόμενες ή Μεταβλητές αντίστασης (γραμμικές)	Μη Γραμμικές αντιστάσεις
Σχετικές υποκατηγορίες	Αντιστάσεις σύρματος	Ποτενσιόμετρα	Θερμίστορ (RTD)
	Αντιστάσεις στρώματος	Ροοστάτες	Βαρίστορ (VDR)
	Αντιστάσεις μείγματος		Φωτοαντιστάσεις
			Μαγνητικές

Πίνακας 4.1 : Κατηγοριοποίηση αντιστάσεων.

Για την αναγνώριση των τιμών τους έχουν εφευρεθεί διάφοροι τρόποι μέτρησης. Οπτικοί όπως είναι ο χρωματικός κώδικας ή η αναγραφόμενη σε αυτό τιμή, όπως συνηθίζεται να γίνεται σε αντιστάσεις πάνω από μία ορισμένη ισχύ (*συνήθως ≥ 2 Watt*). Υπάρχουν όμως αντιστάσεις που η τιμή τους αναγράφεται με αριθμούς όπως στις αντιστάσεις επιφανειακής στήριξης (SMD) και συνήθως γίνεται με τρία ψηφία.

Η μέτρηση των αντιστάσεων τώρα, γίνεται με πολλούς τρόπους όπως θα δούμε παρακάτω. Όταν δεν μας ενδιαφέρει ή ακριβής τιμή του τότε μπορούμε απλά να ακολουθήσουμε μία από τις παραπάνω μεθόδους αναγνώρισης. Όταν όμως χρειάζεται να γνωρίζουμε την ακρίβεια τότε χρειάζεται να ακολουθήσουμε λίγο έως πολύ ποιο σύνθετες μεθόδους. Η διάθεση όμως κατάλληλου εξοπλισμού διευκολύνει ή ελαχιστοποιεί την πολυπλοκότητα των μετρήσεων και υπολογισμών. Τέτοιος εξοπλισμός μπορεί να είναι διατάξεις όπως οι γέφυρες μέτρησης που θα δούμε στη συνέχεια. Τέτοιες είναι η γέφυρα *Wheatstone* και η γέφυρα *Kelvin* ή ακόμα και η πολυγέφυρα.

Σε επόμενα μαθήματα θα δούμε και διαφορετικού τύπου γέφυρες που αφορούν τις μετρήσεις στο εναλλασσόμενο ρεύμα και τις μετρήσεις πυκνωτών και πηνίων.

4.7.1 Χρωματικός κώδικας.

Είναι η πιο διαδεδομένη μορφή ανάγνωσης για αντιστάσεις μικρής ισχύος. Σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο, κατά μήκος της επιφάνειας μιας αντίστασης είναι τοποθετημένες δακτυλιοειδής λωρίδες διαφόρων χρωμάτων. Υπάρχουν δώδεκα (12) συνολικά χρώματα τα οποία χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό της τιμής της αντίστασης. Στο σώμα της αντίστασης θα βρούμε κώδικα που θα απαρτίζεται από τρεις (3) έως και επτά (7) λωρίδες με ποιο συνηθισμένο εκείνων των τεσσάρων (4) λωρίδων.

Η ανάγνωση τους γίνεται από αριστερά προς τα δεξιά. Το πρώτο βήμα για την ανάγνωση, είναι η αναγνώριση της λωρίδας που υποδεικνύει την ανοχή. Η λωρίδα αυτή βρίσκεται συνήθως σε μεγαλύτερη απόσταση από τις υπόλοιπες. Μετά από αυτό, τοποθετούμε την αντίσταση έτσι ώστε η λωρίδα ανοχής να είναι από τη δεξιά πλευρά.

Από αριστερά η πρώτη χρωματική λωρίδα δίνει το πρώτο ψηφίο του αριθμού που παριστάνει την τιμή της αντίστασης. Η δεύτερη κατά σειρά χρωματική λωρίδα μας δίνει το δεύτερο ψηφίο του αριθμού της ονομαστικής τιμής της αντίστασης, ενώ το τρίτο κατά σειρά είναι ο πολλαπλασιαστής.

Ουσιαστικά το τρίτο ψηφίο μας δίνει τον αριθμό των μηδενικών μετά από τα δύο πρώτα ψηφία και συνολικά την ονομαστική τιμή της αντίστασης σε Ω . Το τέταρτο ψηφίο όπως αναφέραμε και πριν είναι η τιμή της ανοχής της αντίστασης και για αντιστάσεις τεσσάρων (4) λωρίδων συνήθως έχουν χρώμα χρυσαφί ή ασημί, που σημαίνει ότι έχει ανοχή 5% ή 10% σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα.

Να σημειώσουμε ότι ο κώδικας των τριών λωρίδων συνήθως είναι με ανοχή $\pm 20\%$ και αυτό γίνεται για λόγους κόστους.

Χρώμα	Κώδικας 3 - 5 λωρίδων					
	1 ^η λωρίδα	2 ^η λωρίδα	-	3 ^η λωρίδα (πολλαπλασιαστής)	4 ^η λωρίδα (ανοχή)	5 ^η λωρίδα (Θερμικός συντελεστής)
	Κώδικας 6 λωρίδων					
	1 ^η λωρίδα	2 ^η λωρίδα	3 ^η λωρίδα	4 ^η λωρίδα (πολλαπλασιαστής)	5 ^η λωρίδα (ανοχή)	6 ^η λωρίδα (Θερμικός συντελεστής)
Μαύρο	0	0	0	$\times 10^0$		
Καφέ	1	1	1	$\times 10^1$	$\pm 1\%$ (F)	100 ppm
Κόκκινο	2	2	2	$\times 10^2$	$\pm 2\%$ (G)	50 ppm
Πορτοκαλί	3	3	3	$\times 10^3$		15 ppm
Κίτρινο	4	4	4	$\times 10^4$		25 ppm
Πράσινο	5	5	5	$\times 10^5$	$\pm 0.5\%$ (D)	
Μπλε/Γαλάζιο	6	6	6	$\times 10^6$	$\pm 0.25\%$ (C)	
Μωβ/Πορφυρό	7	7	7	$\times 10^7$	$\pm 0.1\%$ (B)	
Γκρι	8	8	8	$\times 10^8$	$\pm 0.05\%$ (A)	
Λευκό	9	9	9	$\times 10^9$		
Χρυσοαφί				$\times 0.1$	$\pm 5\%$ (J)	
Ασημί				$\times 0.01$	$\pm 10\%$ (K)	
Κανένα					$\pm 20\%$ (M)	

Πίνακας 4.2: Τιμές που αντιστοιχούν σε κάθε χρώμα σύμφωνα με το πρότυπο EIA-RS-279 του Συνδέσμου Ηλεκτρονικών Βιομηχανιών (EIA - Electronic Industries Alliance) και IEC - 62.

Ένα σχετικό παράδειγμα για τον χρωματικό κώδικα. Ας υποθέσουμε ότι έχουμε μια αντίσταση ακριβείας με κώδικα πέντε (5) χρωματικών λωρίδων. Αφού βρούμε το χρώμα της ανοχής, που όπως είπαμε είναι το ποιο απομακρυσμένο, το φέρνουμε από την δεξιά μεριά και διαβάζουμε με τη σειρά τα εξής χρώματα: καφέ, κόκκινο, μαύρο, κόκκινο, καφέ. Η τιμή της δίνεται ως εξής:

- 1^η λωρίδα καφέ, 1
- 2^η λωρίδα κόκκινο, 2
- 3^η λωρίδα μαύρο, $\times 10^0$
- 4^η λωρίδα κόκκινο, $\pm 2\%$
- 5^η λωρίδα καφέ 100 ppm

Η τιμή του λοιπόν είναι: $12 \times 10^0 = 12 \Omega$, ανοχή 1% και θερμοκρασιακός συντελεστής 100 ppm σύμφωνα με τον πίνακα χρωμάτων.

Στη περίπτωση που η αντίστασή μας έχει έξι (6) χρωματικές λωρίδες, τότε διαβάζουμε την αντίσταση όπως κάναμε στις αντιστάσεις πέντε λωρίδων, με την εξής διαφοροποίηση. Η τρίτη λωρίδα μας δίνει και αυτή ένα ψηφίο όπως η πρώτη και η δεύτερη. Στη προκειμένη περίπτωση η αντιστοιχη 3^η λωρίδα του κώδικα πέντε χρωμάτων γίνεται η 4^η λωρίδα, ενώ η 6^η χρωματική λωρίδα δηλώνει τον συντελεστή θερμοκρασίας, όπως φαίνεται και στον πίνακα χρωμάτων.

Η πιο σπάνια και συνήθως όχι για απλές εμπορικές συναλλαγές, είναι αντιστάσεις που χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές όπου απαιτείται μεγάλη αξιοπιστία (πχ. στρατιωτικές εφαρμογές ή πολύ ευαίσθητες συσκευές). Αυτός ο κώδικας δεν διαφέρει σε τίποτα από εκείνων των έξι λωρίδων με την διαφορά ότι η έβδομη λωρίδα στη προκειμένη περίπτωση υποδηλώνει την αξιοπιστία του εξαρτήματος.

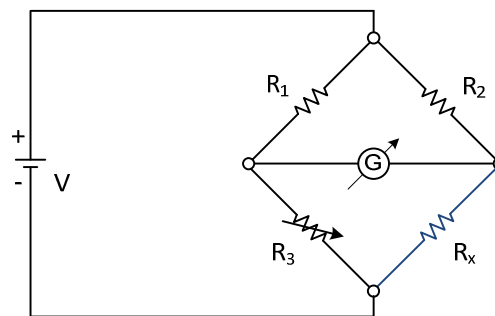
4.7.2 Μέτρηση αντίστασης με ακρίβεια με χρήση γέφυρας *Wheatstone*¹.

Η αντίσταση μπορεί να μετρηθεί με χρήση του νόμου του *Ohm*, δηλαδή με μέτρηση της τάσης και του ρεύματος που αφορούν το συγκεκριμένο στοιχείο. Είναι η πιο απλή μέθοδος ακριβής μέτρησης αντιστάσεων με ακρίβεια όταν δεν υπάρχουν άλλα μέσα. Με αυτή τη μέθοδο όμως θα ασχοληθούμε στο επόμενο μάθημα.

Άλλη μι μέθοδος είναι η τεχνική των τεσσάρων αγωγών. Είναι μια σχετικά σύνθετη διαδικασία η οποία χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις που έχουμε πολύ υψηλές απαιτήσεις. Τέτοιες υψηλές απαιτήσεις είναι όταν χρειάζεται να βρεθεί κάποιος τρόπος να απομονωθούν από τις μετρήσεις μας ανεπιθύμητες αντιστάσεις που προστίθενται στη μετρούμενη τιμή μας από διάφορες ανεπιθύμητες παρεμβολές. Τέτοιες είναι οι αντιστάσεις των καλωδίων τού οργάνου και των επαφών και μπορούν να αλλοιώσουν το αποτέλεσμα της μέτρησης εισάγοντας σημαντικό σφάλμα.

Εκτός των μεθόδων αυτών υπάρχουν και οι γέφυρες μέτρησης όπως θα δούμε παρακάτω οι οποίες με την πρόοδο της τεχνολογίας έχουν πλέον αυτοματοποιηθεί και δίνουν αξιόπιστα και πολύ γρήγορα αποτελέσματα.

Μια από τις προαναφερθείσες γέφυρες που χρησιμοποιούνται σε μόνιμη βάση για το σκοπό αυτό, είναι η γέφυρα *Wheatstone*. Η βασική της μορφή δίνεται στο παρακάτω σχήμα όπου και είναι εμφανής η σύνδεση μίας άγνωστης αντίστασης, της R_x .



Εικόνα 4.3: Κυκλωματικό διάγραμμα γέφυρας *Wheatstone*.

Η βασική αρχή λειτουργίας του είναι πολύ απλή. Γνωρίζοντας κάθε φορά την τιμή των αντιστάσεων R_1 και R_2 , ρυθμίζουμε τη μεταβλητή αντίσταση R_3 μέχρι να ισορροπήσει το γαλβανόμετρο. Ισορροπία του γαλβανόμετρου γίνεται όταν εκείνο δείχνει μηδενική τιμή. Συνηθίζεται να αποκαλούμε αυτή τη διαδικασία και ισορροπία της γέφυρας. Όταν λοιπόν, έχουμε ισορροπία της γέφυρας ισχύει το εξής:

$$R_x = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_1}$$

Όταν έχουμε ισορροπία, προκύπτει επίσης το εξής συμπέρασμα. Αφού το γαλβανόμετρο έχει μηδενική ένδειξη σημαίνει ότι το ρεύμα του κεντρικού κλάδου είναι μηδέν. Όταν στον κεντρικό κλάδο το ρεύμα είναι 0, τότε το ρεύμα I_{R_1} διαρρέει και την R_1 και την R_3 , και αντίστοιχα για το I_{R_2} διαρρέει και την R_2 και την R_x . Σύμφωνα με τα προηγούμενα θα πρέπει να ισχύει ότι:

$$V_{R_1} = V_{R_2} \text{ και } V_{R_3} = V_{R_x}$$

¹ Samuel Hunter Christie in 1833, Sir Charles Wheatstone in 1843

Sir Charles Wheatstone FRS (6 Φεβρουαρίου 1802 - 19 October 1875) Άγγλος επιστήμονας και εφευρέτης πολλών επιστημονικών ανακαλύψεων της βικτωριανής εποχής, συμπεριλαμβανομένης της αγγλικής ακορτεόν και το στερεοσκόπιο (συσσκευή για την εμφάνιση τρισδιάστατων εικόνων) κ.α.

Το παραπάνω σημαίνει πολύ απλά ότι η διαφορά δυναμικού στο τέλος της αντίστασης R_1 και της αντίστασης R_2 είναι ίδια. Άρα στα άκρα του γαλβανόμετρου δεν υπάρχει διαφορά δυναμικού ώστε να προκαλέσει και ροή ρεύματος. Από τα προηγούμενα λοιπόν, μπορούμε να πούμε ότι ισχύουν και τα παρακάτω:

$$I_{R_1} \cdot R_1 = I_{R_2} \cdot R_2 \text{ και } I_{R_3} \cdot R_3 = I_{R_x} \cdot R_x$$

Διαιρώντας τις δυο τελευταίες σχέσεις διαπιστώνουμε ότι ισχύει και η αρχική σχέση που διατυπώσαμε για την ισορροπία της γέφυρας.

Πιο ενδιαφέρον είναι ίσως να δει κανείς τι σφάλματα υπεισέρχονται. Θεωρώντας αντιστάσεις R_1 και R_2 πολύ υψηλής ποιότητας, τυπικά $\pm 0,05\%$ και ελαφρά κατώτερη $\pm 0,1\%$ για την R_3 , βλέπουμε ότι το σφάλμα στην R_x είναι ίσο με το άθροισμα των σφαλμάτων στην R_1 , R_2 και στην R_3 που είναι ίσο με $\pm(0,05 + 0,05 + 0,1)\%$, δηλαδή ίσο με $\pm 0,2\%$.

Η ευαισθησία της γέφυρας εξαρτάται από την ευαισθησία τού γαλβανόμετρου, την αντίσταση του γαλβανόμετρου και την τάση της πηγής.

Η γέφυρα *Wheatstone*, είναι ένα εξαιρετικό εργαλείο για την μέτρηση αντιστάσεων με ακρίβεια. Μπορεί να μετρήσει αντιστάσεις μέχρι και $10^{12} \Omega$. Η αδυναμία του εντοπίζεται στις μικρές αντιστάσεις και συγκεκριμένα στις πολύ μικρές αντιστάσεις κάτω από 5Ω .

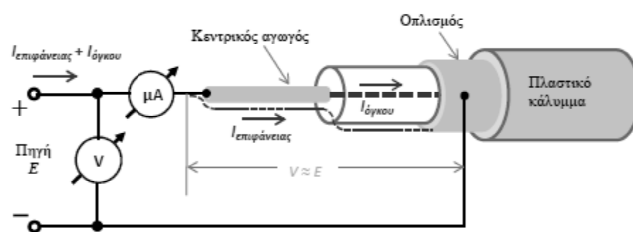
Η λύση σε αυτή τη περίπτωση δίνεται από τη γέφυρα *Kelvin*, που αναιρεί αυτή τη δυσκολία. Η γέφυρα αυτή είναι μια ειδική διαφοροποιημένη εκδοχή της γέφυρα *Wheatstone*. Το εύρος μετρούμενων τιμών για τη γέφυρα *Kelvin* είναι από $10 \mu\Omega - 1 \Omega$ με ορθότητα $\pm 0,2\%$. Με μικρότερη ορθότητα μπορούμε να μετρήσουμε και μέχρι $0,1 \mu\Omega$.

Η ισορροπία επιτυγχάνεται, όπως και στη γέφυρα *Wheatstone*, με ρύθμιση των αντιστάσεων κρατώντας τον σχετικό λόγο σταθερό για να ισορροπήσει η γέφυρα.

4.7.3 Μέτρηση μεγάλων αντιστάσεων

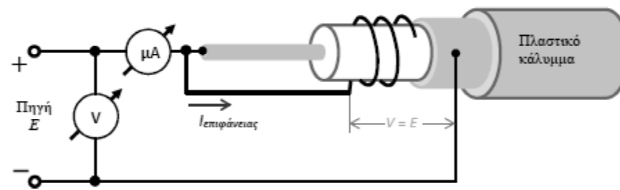
Για να μετρήσουμε μεγάλες αντιστάσεις (π.χ. *μονωτές*) η βασική αρχή δεν διαφέρει από την κοινή μέτρηση, δηλαδή μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ένα μικροαμπερόμετρο (*γαλβανόμετρο*) κι ένα βολτόμετρο. Ας εξετάσουμε, σαν παράδειγμα, τη μέτρηση της αντίστασης της μόνωσης μεταξύ οπλισμού και βασικού αγωγού 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 οπλισμού αλλά και την αντίσταση επιφάνειας 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.



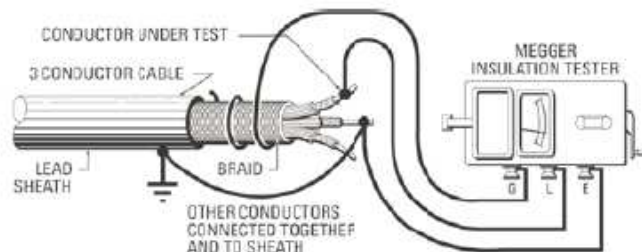
Εικόνα 4.4: Μέτρηση μεγάλων αντιστάσεων.

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 να περάσει μέσα από αυτό έτσι ώστε να μη μετρηθεί από το αμπερόμετρο. Η διάταξη αυτή εμφανίζεται στο επόμενο σχήμα.



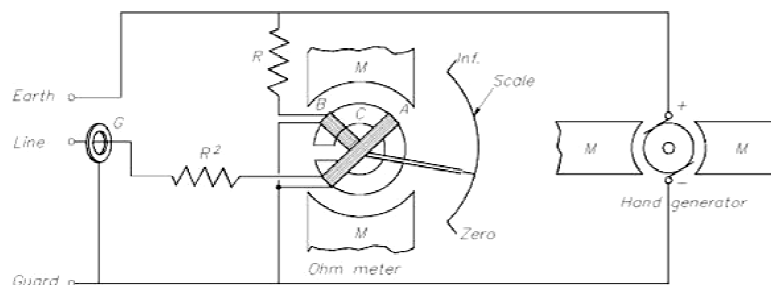
Εικόνα 4.5: Πρακτική εφαρμογή του καλωδίου παράκαμψης.

Σε μια πρακτική εφαρμογή φαίνεται ακριβώς η χρήση τού καλωδίου παράκαμψης:



Εικόνα 4.6: Μέτρηση μεγάλης αντίστασης με megger.

Γενικά, για να μετρήσουμε μεγάλες αντιστάσεις, χρησιμοποιούμε ένα εξειδικευμένο όργανο, το megkωμόμετρο (*megohmmeter*) ή *megger* όπως λέγεται συνήθως. Το megkωμόμετρο χρησιμοποιεί μια πηγή υψηλής τάσης ($100\text{ V} - 5000\text{ V}$) κι ένα όργανο κινητού πηνίου μόνιμου μαγνήτη αλλά με δυο πηνία (*ελέγχου και απόκλισης*) που αντιτίθενται το ένα στο άλλο. Το ακόλουθο σχήμα δείχνει τα κατασκευαστικά μέρη μιας γέφυρας *megger*.



Εικόνα 4.7: Λειτουργικά μέρη ενός megkωμόμετρου.

Η γέφυρα *megger* είναι κατάλληλη και ίσως πιο γνωστή για μέτρηση της αντίστασης γείωσης σε κτηριακές και όχι μόνο εγκαταστάσεις.

4.7.4 Μέτρηση αντιστάσεων με ωμόμετρο.

Η ευκολία που παρουσιάζουν τα όργανα μέτρησης για την καθημερινή απλή μέτρηση αντιστάσεων είναι κατανοητή και από τα όσα διατυπώθηκαν προηγουμένως για την μέτρηση αντίστασης με ακρίβεια. Τις περισσότερες φορές ίσως να μην χρειάζεται η μέτρηση μας να είναι τόσο

ακριβής. Σε συνδυασμό και με το χρόνο που εξοικονομούμε από την συνεχή διεξαγωγή μετρήσεων και πράξεων, κρίνεται απαραίτητη η χρήση απλών οργάνων όπως το ωμόμετρο.

Στη πλειοψηφία των περιπτώσεων η λειτουργία ενός τέτοιου οργάνου είναι ενσωματωμένη σε πολυόργανα. Ένα τέτοιο είναι και το πολύμετρο που θα χρησιμοποιήσουμε στη συνέχεια.

Αν και θα εξετάσουμε και τις δύο ενδείξεις, κατά την επεξήγηση του ψηφιακού δεν θα ασχοληθούμε σχεδόν καθόλου. Η διαδικασία μέτρησης είναι ίδια και στα δύο όργανα. Η διαφορά είναι ότι ένα αναλογικό όργανο χρειάζεται μία συγκεκριμένη διαδικασία προετοιμασίας του οργάνου.

Η πρώτη διαφοροποίηση του οργάνου αυτού είναι ότι η ένδειξη δίνεται ανάστροφα. Δηλαδή, το μηδέν του αναλογικού ωμομέτρου είναι από την δεξιά πλευρά της κλίμακας. Άλλη μία διαφοροποίηση είναι ότι η κλίμακα μέτρησης του ωμομέτρου δεν είναι ισοκατανεμημένη. Γενικά η κλίμακα σε ένα ανάλογο αναλογικό όργανο ποτέ δεν είναι γραμμική.

Η δεύτερη και σημαντικότερη διαφορά του είναι η ανάγκη για μηδενισμό. Μια απλή αλλά χρονοβόρα διαδικασία σε σχέση με το ψηφιακό όργανο. Ο μηδενισμός γίνεται βραχυκυκλώνοντας και τα δύο άκρα του οργάνου και με τη βοήθεια ειδικού ρυθμιστικού μέσου, που συνήθως είναι στο μπροστά μέρος του οργάνου.

Για τη μέτρηση αντιστάσεων το όργανο διαθέτει εσωτερική πηγή τάσης (*μπαταρίες*) που δίνουν την απαιτούμενη τάση. Αυτός είναι ένας όρος ασφαλείας που απαγορεύει η μέτρηση αντίστασης να γίνεται υπό τάση στο κύκλωμα. Πριν μετρήσετε αντίσταση αποσυνδέστε την από την τάση της πηγής ή από κύκλωμα που πρόκειται να μετρήσετε.

Σύμφωνα με τα όσα έχουμε αναφέρει μέχρι τώρα, θα προσπαθήσουμε να κωδικοποιήσουμε τα βήματα που απαιτούνται για την μέτρηση της αντίστασης με ωμόμετρο. Ας πάρουμε για παράδειγμα το αναλογικό πολύμετρο:

1. Τοποθετήστε τον επιλογέα κλίμακας σε μία από τις κλίμακες μέτρησης αντίστασης.
2. Τοποθετήστε τον διακόπτη πολικότητας στη θέση $AC\ \Omega +DC$.
3. Τοποθετήστε τα συνδετικά καλώδια στους κύριους ακροδέκτες του πολυμέτρου ($-COM$ και $+$) και στη συνέχεια βραχυκυκλώστε τα ελεύθερα άκρα τους.
4. Παρατηρήστε την ένδειξη του οργάνου. Θα πρέπει να δείχνει μηδέν. Σε διαφορετική περίπτωση, προσπαθήστε να το πετύχετε περιστρέφοντας το κουμπί μηδενισμού του ωμομέτρου μέχρι να το καταφέρετε. Αν κάτι τέτοιο είναι αδύνατο τότε πρέπει να αλλαχθεί η μπαταρία του ωμομέτρου.
5. Συνδέστε τους ακροδέκτες στα άκρα της αντίστασης που θέλετε να μετρήσετε.
6. Διαβάστε την ένδειξη στην κλίμακα και αν χρειαστεί πολλαπλασιάστε την ένδειξη με τον συντελεστή πολλαπλασιασμού που αναγράφεται στη θέση που έχετε τοποθετήσει τον επιλογέα κλίμακας.

Όσο αφορά το ψηφιακό πολύμετρο, όπως είπαμε τα πράγματα είναι πολύ απλά:

1. Τοποθετήστε τον επιλογέα κλίμακας σε μία από τις κλίμακες μέτρησης αντίστασης.
2. Συνδέστε τους ακροδέκτες στα άκρα της αντίστασης που θέλετε να μετρήσετε.

4.7.5 Μέτρηση αντίστασης ανθρώπινου σώματος με ωμόμετρο.

Πρωτύτερα είχαμε αναφερθεί στο θέμα της αντίστασης του ανθρώπινου σώματος. Αυτή διαμορφώνεται από διάφορους παράγοντες και η εξήγηση τους είναι πέρα των δυνατοτήτων του συγγράμματος αυτού. Κατά τη στιγμή της ηλεκτροπληξίας σημαντικό ρόλο έχουν πολλά. Θα αρκεστούμε στην απλή αναφορά κάποιων από αυτών όπως:

- Η επιφάνεια επαφής

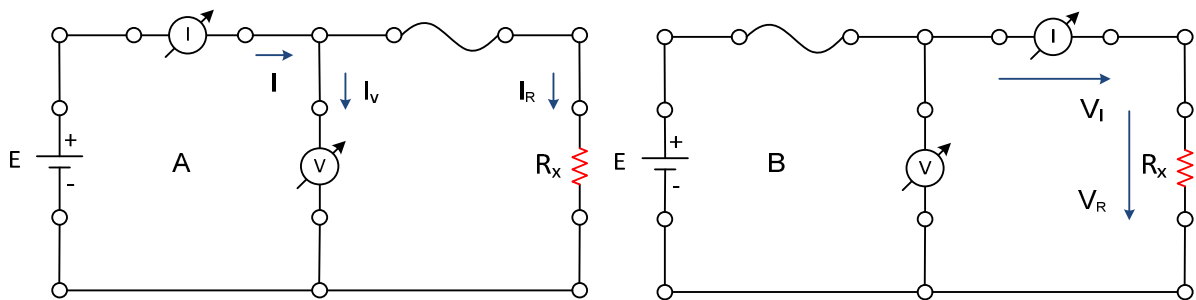
- Κατάσταση του δέρματος
- Μέγεθος σώματος
- Δρόμος που διαπερνά το ηλεκτρικό ρεύμα από το σώμα.
- Ψυχολογία

Η αντίσταση του ανθρώπινου σώματος είναι εξαιρετικά ευμετάβλητη. Το δέρμα αποτελεί την κύρια αντίσταση (*αντίσταση επαφής*) που συναντά το ρεύμα. Ο βαθμός αυτός της αντίστασης εξαρτάται από το πάχος και την υγρασία του δέρματος, καθώς και από την επιφάνεια της επαφής. Η τιμή της αντίστασης ανθρώπινου σώματος κυμαίνεται από $500 \Omega/cm^2$ για λεπτό και υγρό δέρμα μέχρι $1-2 M\Omega/cm^2$ για πολύ παχύ και ξηρό δέρμα (π.χ. κάλος στη παλάμη).

Η αντίσταση του ανθρώπινου σώματος είναι δυνατόν να μετρηθεί. Η μέτρηση γίνεται με τον ίδιο ακριβός τρόπο όπως και σε μια απλή αντίσταση. Ο πιο απλός τρόπος είναι πιάνοντας με γυμνά χέρια τα ελεύθερα άκρα των ακροδεκτών μέτρησης του ωμομέτρου. Η τιμή που θα λάβουμε είναι η αντίσταση του σώματος μας από χέρι σε χέρι και κυμαίνεται από μερικές χιλιάδες Ω (Ω) έως και κάποιες εκατοντάδες χιλιάδες Ω ($k\Omega$).

4.7.6 Μέτρηση αντιστάσεων με αμπερόμετρο και βολτόμετρο.

Η μέτρηση της ηλεκτρικής αντίστασης μπορεί να μετρηθεί με ακρίβεια με τη βοήθεια ενός αμπερομέτρου και ενός βολτομέτρου, δηλαδή με μέτρηση της τάσης και του ρεύματος που αφορά το συγκεκριμένο στοιχείο. Η αντίσταση μπορεί δηλαδή να μετρηθεί με χρήση του νόμου του $\Omega\mu$. Είναι προφανές ότι για την αποστολή αυτή απαιτείται: μια πηγή ισχύος, ένα βολτόμετρο και ένα αμπερόμετρο. Επίσης όπως θα δούμε παρακάτω, έχουμε δυο εναλλακτικές συνδεσμολογίες. Και στις δύο διατάξεις υπεισέρχεται σφάλμα μέτρησης που είναι διαφορετικό για κάθε μία.



Εικόνα 4.8: Συνδεσμολογία για μέτρηση αντίστασης με βολτόμετρο και αμπερόμετρο.

Ποια από τις δύο είναι όμως η καλύτερη προσέγγιση; Για να το διαπιστώσουμε ακολουθούμε την εξής τακτική. Ξεκινάμε με την περίπτωση A και μετράμε πολύ προσεκτικά το ρεύμα με τη βοήθεια του αμπερομέτρου. Μετά αποσυνδέουμε το βολτόμετρο και μετράμε ξανά το ρεύμα. Αν το ρεύμα δεν αλλάζει αισθητά, συνδέουμε το βολτόμετρο και συνεχίζουμε την μέτρηση. Αν όμως, το ρεύμα αλλάξει τότε χρησιμοποιούμε το κύκλωμα στη περίπτωση B.

Όσο αφορά την ισοδύναμη αντίσταση αυτή δίνετε από το νόμο του $\Omega\mu$ όπως αυτός διατυπώθηκε προηγουμένως:

$$R = \frac{U_R}{I_R}$$

Όσο αφορά τις συνθήκες που πρέπει να επικρατούν για να είναι όσο πιο σωστές οι μετρήσεις και να εισάγετε όσο το δυνατόν μικρότερο σφάλμα είναι οι παρακάτω:

Κύκλωμα Α: $I_V \ll I_R$ ή $R_x \ll R_{\text{βολτομέτρου}}$

Το αμπερόμετρο δεν μετράει μόνο το ρεύμα που διέρχεται από την R_x αλλά και αυτό από την αντίσταση του βολτομέτρου, έστω r_v . Αν οι δύο ενδείξεις, τεθούν στην εξίσωση $R_x = V_x / I_x$ τότε το αποτέλεσμα θα είναι εσφαλμένο. Αν δεν αφαιρεθεί το ρεύμα I_v από τις παραπάνω μετρήσεις θα έχουμε σχετικό σφάλμα μέτρησης της τάξης $R_x / (R_x + r_v)$.

Αν για παράδειγμα πρόκειται να μετρήσουμε αντίσταση της τάξης των 10Ω και θέλουμε το σχετικό σφάλμα μέτρησης να είναι μικρότερο από 1% , τότε πρέπει να χρησιμοποιήσουμε βολτόμετρο με εσωτερική αντίσταση $r_v \geq 990 \Omega$.

Κύκλωμα Β: $V_I \ll V_R$ ή $R_x \gg R_{\text{αμπερομέτρου}}$

Αν R_x είναι η προς μέτρηση αντίσταση και η όλη διάταξη του σχήματος συνδεθεί με μία πηγή τάσης, τότε το αμπερόμετρο θα δείξει μία ένδειξη I_x και το βολτόμετρο μία ένδειξη V_x . Αν οι δύο ενδείξεις τεθούν στην εξίσωση $R_x = V_x / I_x$ τότε το αποτέλεσμα θα είναι εσφαλμένο, διότι το βολτόμετρο μετρά την πτώση τάσης όχι μόνο στην R_x αλλά και στην εσωτερική αντίσταση του αμπερομέτρου, έστω r_a . Αν δεν αφαιρεθεί η r_a στις παραπάνω μετρήσεις, θα έχουμε σχετικό σφάλμα μέτρησης της τάξης r_a / R_x .

Για παράδειγμα, Αν πρόκειται να μετρήσουμε αντίσταση της τάξης των 1000Ω και θέλουμε το σχετικό σφάλμα μέτρησης να είναι μικρότερο του 1% , τότε πρέπει να χρησιμοποιήσουμε αμπερόμετρο με $r_a \leq 10 \Omega$.

Οι παραπάνω σχέσεις είναι μέγιστης σημασίας και η κατανόηση τους είναι καθοριστική για να αντιληφθούμε το σφάλμα μέτρησης.

4.8 Εσωτερική αντίσταση και επέκταση κλίμακας οργάνων.

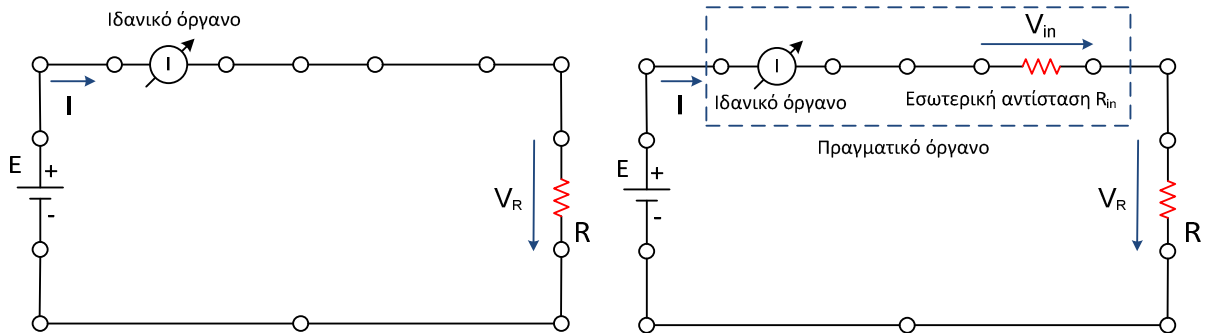
Ένα όργανο μπορεί να συνδεθεί με κατάλληλο τρόπο για να μετρήσει ένα συγκεκριμένο ηλεκτρικό μέγεθος. Οι συνηθέστερες μετρήσεις αφορούν τα βασικά ηλεκτρικά μεγέθη, τάση, ρεύμα και ισχύ. Το εύρος για κάθε μέγεθος είναι πολύ μεγάλο, π.χ. για τάσεις το εύρος μπορεί να ξεκινήσει από mV και να καταλήξει σε kV (συνήθως μέχρι $600 - 750 \text{ Volt}$ για απ' ευθείας μέτρηση) και αντίστοιχα για τα ρεύματα. Σε ειδικές περιπτώσεις κι εφαρμογές μπορεί να είναι ακόμα χαμηλότερο, π.χ. μV .

Ένα όργανο απόκλισης αντιδρά σε ρεύμα αλλά μπορεί να συνδεθεί και ως αμπερόμετρο και ως βολτόμετρο. Τα διαθέσιμα στο εμπόριο όργανα είναι βέβαια προκατασκευασμένα για συγκεκριμένη αποστολή. Επίσης, κάθε πραγματικό όργανο παρουσιάζει μια συγκεκριμένη αντίσταση, που οφείλεται στο πηνίο ή στα πηνία και στα διάφορα κατασκευαστικά μέρη που το αποτελούν αλλά και στον τρόπο που το συνδέουμε. Για παράδειγμα, κακές ή βρόμικες επαφές θα αλλοιώσουν τη μέτρηση χωρίς εμείς να αντιληφθούμε οτιδήποτε. Επί πλέον, τα ηλεκτρικά στοιχεία που αποτελούν το όργανο κατασκευάζεται από διακριτά, πεπερασμένα στοιχεία και έχουν φυσικά και χωρητική και επαγωγική συμπεριφορά αλλά και παρασιτική επίδραση.

Συνήθως αναπαριστούμε ένα πραγματικό όργανο σαν μια ωμική αντίσταση σε σειρά ή παράλληλα με ένα ιδανικό όργανο. Ένα τέτοιο όργανο στη πράξη είναι συνήθως το γαλβανόμετρο. Ανάλογα με τον τρόπο που αυτός συνδέεται σε ένα κύκλωμα και κατάλληλη βαθμονόμηση στη κλίμακα μπορούμε να πάρουμε μετρήσεις ρεύματος αλλά και τάσης.

Παρακάτω θα δούμε το τρόπο χρήσης αλλά και σύνδεσής τους στο κύκλωμα.

Πιο συγκεκριμένα, αν θέλουμε να μετρήσουμε το ρεύμα που διαρρέει την αντίσταση R στο κύκλωμα που δίνεται παραπάνω, παρεμβάλλουμε σε σειρά ένα αμπερόμετρο.



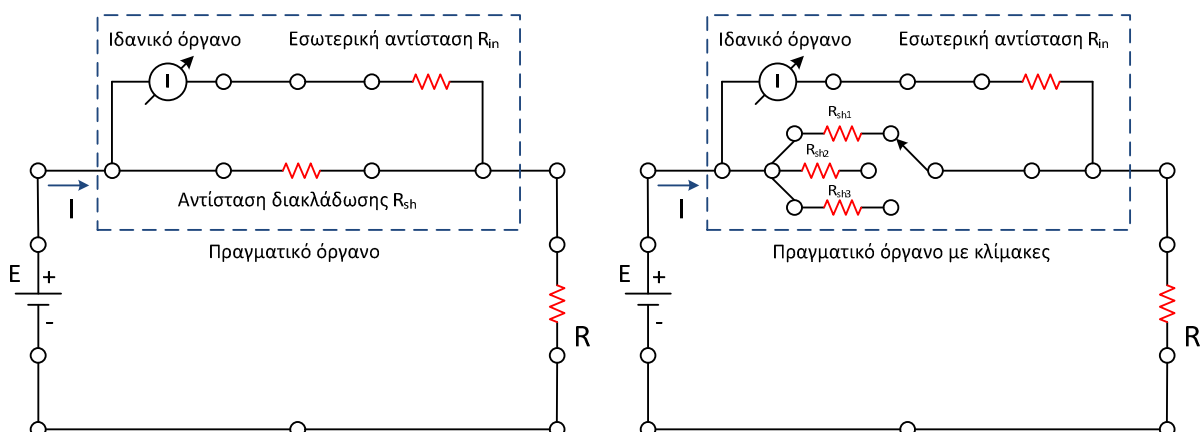
Εικόνα 4.9 : Ιδανικό και πραγματικό αμπερόμετρο.

Σε πρακτικούς υπολογισμούς δεν λαμβάνουμε υπόψη μας την επίδραση της εσωτερικής αντίστασης και θεωρούμε ότι το όργανο είναι ιδανικό. Στη πράξη όμως η διάταξη αυτή ισοδυναμεί με το κυκλωματικό μοντέλο στα δεξιά όπου ένα ιδανικό όργανο συνδέεται με την εσωτερική του αντίσταση R_{in} σε σειρά. Είναι προφανές ότι για ποιοτική μέτρηση, η αντίσταση R_{in} πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μικρότερη. Η μέτρηση που θα διαβάσουμε θα είναι:

$$I = \frac{E}{R+R_{in}} \text{ αντί για } I = \frac{E}{R}$$

Στη πραγματικότητα, αν τα όργανα που χρησιμοποιούμε στη πράξη είχαν την παραπάνω απλή μορφή κατασκευής τότε δεν θα μπορούσαν να ξεπεράσουν μια μέτρηση κάποιων δεκάδων αμπερ ή βολτ ανάλογα με την περίπτωση. Όπως γνωρίζουμε τα γαλβανόμετρα είναι πολύ ευαίσθητα όργανα που μπορούν να φτάσουν την μέγιστη απόκλιση τους με μερικά δέκατα του αμπερ.

Προκύπτει όμως η ανάγκη επέκτασης των ιδιοτήτων μέτρησης ενός τέτοιου οργάνου. Αυτό επιτυγχάνετε με τον παρακάτω τρόπο. Σε ένα όργανο μέτρησης ρεύματος, όπως είδαμε, χρειάζεται ένας τρόπος να περιοριστεί το ρεύμα που περνάει από εκείνο. Αυτό επιτυγχάνεται συνδέοντας παράλληλα με το όργανο που περιγράψαμε λίγο πιο πριν, μιαν αντίσταση μικρής σχετικά τιμής, που αποκαλείται αντίσταση διακλάδωσης (*shunt resistance* - R_{sh}). Σε περίπτωση που το όργανο έχει και κλίμακες μέτρησης προσθέτουμε παραπάνω τέτοιες αντιστάσεις. Το κύκλωμα συνολικά παίρνει την παρακάτω μορφή:



Εικόνα 4.10: Επέκταση κλίμακας αμπερομέτρου απλού και με κλίμακες.

Αν χρησιμοποιούμε το βασικό όργανο για απευθείας μετρήσεις τότε μπορούμε να μετρήσουμε τάσεις $0 - I_0$. Όπου:

$$I_0 = \frac{V_0}{R_{in}}$$

Όπου I_0 είναι το ρεύμα που αντιστοιχεί στη μέγιστη απόκλιση.

Για να επεκτείνουμε την κλίμακα μέτρησης από I_0 σε $\lambda \cdot I_0$ τότε η τιμή της αντίστασης διακλάδωσης θα έχει την παρακάτω τιμή:

$$I_0 \cdot R_{in} = \lambda \cdot I_0 \cdot \frac{R_{sh} \cdot R_{in}}{R_{sh} + R_{in}} \Rightarrow$$

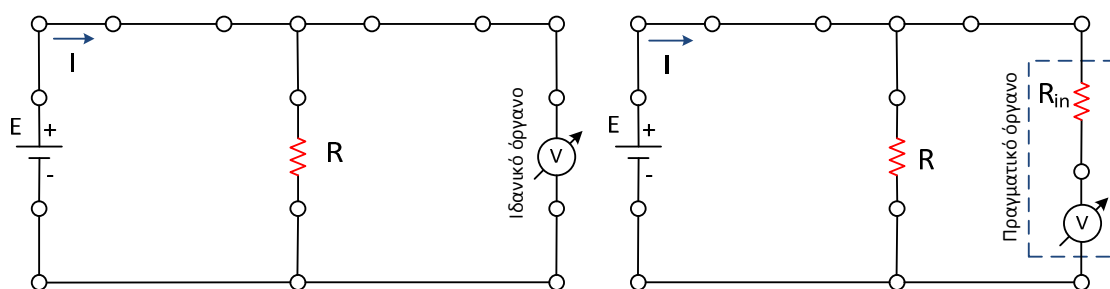
$$R_{sh} = \lambda \cdot I_0 \cdot \frac{R_{sh} \cdot R_{in}}{R_{sh} + R_{in}} =$$

$$R_{sh} = \frac{R_{in}}{(\lambda - 1)}$$

Είναι προφανές ότι για να μετρηθεί το ρεύμα με τον τρόπο που υποδεικνύεται πιο πάνω, και γενικότερα αυτόν που έχουμε μάθει μέχρι τώρα, είναι αναγκαίο να διακοπεί το κύκλωμα για να παρεμβάλουμε το αμπερόμετρο. Αυτό προκαλεί μεγάλες δυσκολίες στην πράξη και γενικά μετρήσεις ρεύματος με τον πιο πάνω τρόπο γίνονται μόνο όταν είναι αναγκαίο. Όμως, με κάποιο συμβιβασμό στις απαιτήσεις για ποιότητα μπορούμε να μετρήσουμε το ρεύμα με άλλους τρόπους μη επεμβατικούς. Ο πιο κοινός τρόπος είναι με εκμετάλλευση της μαγνητικής επαγωγής περικλείοντας τον αγωγό με κατάλληλο πηνίο (*clamp meter*), αν φυσικά αυτό είναι δυνατό.

❖ Βολτόμετρο.

Στο πιο κάτω σχήμα ένα ιδανικό βολτόμετρο μετράει την τάση στα άκρα μιας αντίστασης. Το πραγματικό μοντέλο του κυκλώματος αυτού έχει ένα ιδανικό βολτόμετρο σε σειρά με την εσωτερική αντίσταση που συνδέονται παράλληλα με την αντίσταση R .



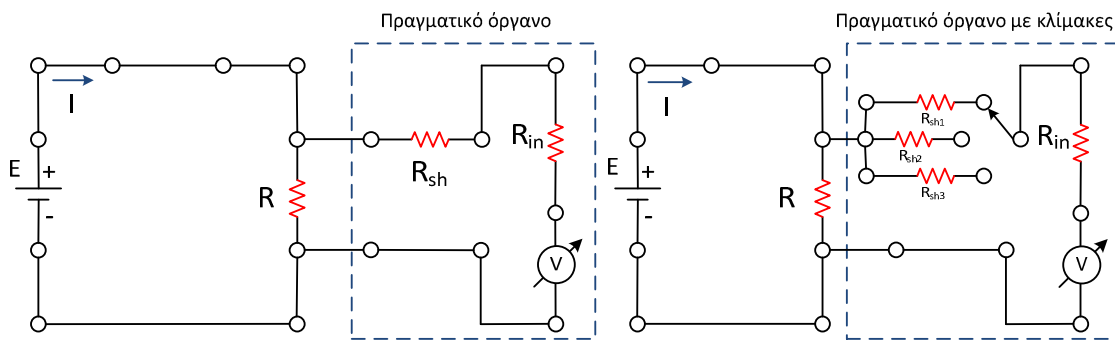
Εικόνα 4.11: Ιδανικό και πραγματικό βολτόμετρο.

Δεξιά το πραγματικό όργανο έχει αντικατασταθεί από την αντίσταση του οργάνου R_{in} παράλληλα με ένα ιδανικό όργανο το οποίο απλά «διαβάζει» την πτώση τάσης στην R . Είναι προφανές ότι για σωστή μέτρηση, η αντίσταση R_{in} πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ώστε να μην επηρεάσει το κύκλωμα ούτε στον μικρότερο δυνατό βαθμό. Η τάση που θα διαβάσουμε είναι:

$$V = I \cdot (R \parallel R_{in}) \text{ αντί για } V = I \cdot R$$

Σε ένα όργανο απόκλισης η κίνηση της βελόνας είναι ανάλογη του ρεύματος που διαρρέει το πηνίο, που με τη σειρά του είναι ανάλογο της τάσης στα άκρα τού πηνίου. Συνεπώς, το όργανο αυτό μπορεί να μετρήσει και τάση. Όμως, επειδή η αντίσταση του πηνίου είναι μικρή, μπορεί να μετρήσει μόνο μικρές τάσεις. Όπως και στη προηγούμενη περίπτωση του αμπερομέτρου, και εδώ προκύπτει η ανάγκη να μεγαλώσει το εύρος μέτρησης του οργάνου.

Για να αυξήσουμε το εύρος, συνδέουμε σε σειρά με το όργανο μian αντίσταση R_{SH} , που αποκαλείται πολλαπλασιαστική αντίσταση (*multiplier resistance*). Μια πολλαπλασιαστική αντίσταση ίση με εννέα (9) φορές την αντίσταση του οργάνου R_{in} θα αυξήσει το εύρος της κλίμακας κατά δέκα (10) φορές. Σε περίπτωση που το όργανο έχει και κλίμακες μέτρησης προσθέτουμε παραπάνω τέτοιες αντιστάσεις σε σειρά με το βασικό όργανο. Το κύκλωμα συνολικά παίρνει την παρακάτω μορφή:



Εικόνα 4.12: Επέκταση κλίμακας βολτομέτρου απλού και με κλίμακες.

Αν χρησιμοποιούμε το βασικό όργανο για απευθείας μετρήσεις τότε μπορούμε να μετρήσουμε τάσεις $0 - V_0$. Όπου:

$$V_0 = I_0 \cdot R_{in}$$

και είναι η τάση που αντιστοιχεί στη μέγιστη απόκλιση.

Για να επεκτείνουμε την κλίμακα μέτρησης από V_0 σε $\lambda \cdot V_0$ τότε η τιμή της πολλαπλασιαστικής αντίστασης θα έχει την παρακάτω τιμή:

$$\frac{V_0}{R_{in}} = \frac{\lambda \cdot V_0}{R_{sh} + R_{in}} \Rightarrow$$

$$R_{sh} = (\lambda - 1) \cdot R_{in}$$

Συμπερασματικά μπορούμε να πούμε ότι, όταν ένα όργανο λειτουργεί σαν αμπερόμετρο πρέπει να εμφανίζει όσο το δυνατόν πιο μικρή εσωτερική αντίσταση. Ενώ, όταν ένα όργανο λειτουργεί σαν βολτόμετρο πρέπει να εμφανίζει όσο το δυνατόν πιο μεγάλη εσωτερική αντίσταση.

4.9 Κανόνες του Kirchhoff.

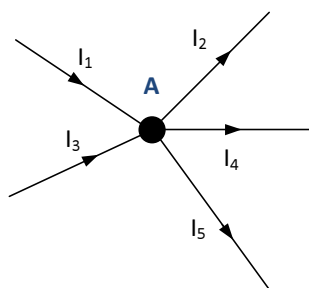
Οι κανόνες επίλυσης κυκλωμάτων και τα θεωρήματα είναι πολλά και όλα έχουν τη σημασία τους. Οι μέχρι τώρα διατυπωμένοι κανόνες είναι βασικοί και απαραίτητοι. Αυτό έχει σημασία για την σωστή επίλυση αλλά κυρίως για την επαλήθευση των αποτελεσμάτων μας. Δύο από αυτούς είναι και οι

κανόνες του *Kirchhoff*, οι οποίοι αφορούν την επίλυση και επιβεβαίωση όπως θα δούμε των αποτελεσμάτων είτε των μετρήσεων είτε και υπολογισμών σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα.

1^{ος} κανόνας – Μέθοδος των κόμβων.

Ο πρώτος κανόνας αναφέρετε στους κόμβους ενός κυκλώματος και μας λέει το εξής πρακτικό συμπέρασμα:

Το αλγεβρικό άθροισμα των ρευμάτων σε ένα κόμβο είναι πάντα ίσο με το μηδέν.



Εικόνα 4.13: Νόμος των κόμβων του Kirchhoff.

Διαφορετικά, μπορούμε να πούμε ότι το άθροισμα των ρευμάτων που εισέρχονται σε ένα κόμβο είναι ίσο με το άθροισμα των ρευμάτων που εξέρχονται από αυτόν. Η μαθηματική εξίσωση που εκφράζει το αλγεβρικό άθροισμα σε ένα τέτοιο κόμβο περιγράφεται παρακάτω.

Κόμβος **A**:

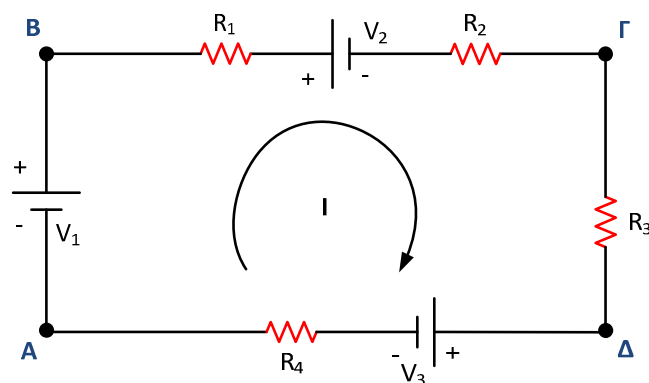
$$I_1 - I_2 + I_3 - I_4 - I_5 = 0$$

$$I_1 + I_3 = I_2 + I_4 + I_5$$

2^{ος} νόμος – Μέθοδος των βρόγχων.

Ο δεύτερος κανόνας αναφέρετε στους βρόγχους ενός κυκλώματος και αφορά στη πράξη τις πτώσεις τάσης σε αυτό. Ο κανόνας αυτός λέει το εξής:

Το αλγεβρικό άθροισμα των τάσεων σε ένα κλειστό βρόγχο είναι πάντα ίσο με το μηδέν.



Εικόνα 4.14: Νόμος των βρόγχων του Kirchhoff.

Διαφορετικά, θα μπορούσαμε να πούμε ότι το άθροισμα των τάσεων των πηγών σε ένα βρόγχο, ισούται με το άθροισμα των τάσεων πάνω στις αντιστάσεις. Συμφώνα με τις δύο διατυπώσεις αυτές μπορούμε να καταγράψουμε και εδώ τις παρακάτω εξισώσεις:

Βρόγχος **ΑΒΓΔΑ**:

$$-V_1 + V_{R_1} + V_2 + V_{R_2} + V_{R_3} + V_3 + V_{R_4} = 0$$

$$V_{R_1} + V_{R_2} + V_{R_3} + V_{R_4} = V_1 - V_2 - V_3$$

$$I \cdot R_1 + I \cdot R_2 + I \cdot R_3 + I \cdot R_4 = V_1 - V_2 - V_3$$

$$V_1 - V_2 - V_3 = I \cdot (R_1 + R_2 + R_3 + R_4)$$

4.10 Εργαστηριακή άσκηση.

1. Προετοιμάστε κατάλληλα το αναλογικό ωμόμετρο σύμφωνα με αυτά που γνωρίζετε. Μετρήστε την αντίσταση του σώματος σας με το αναλογικό όργανο και έπειτα με το ψηφιακό.

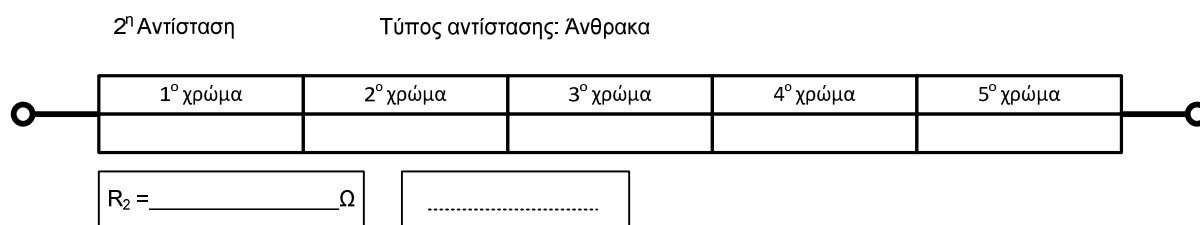
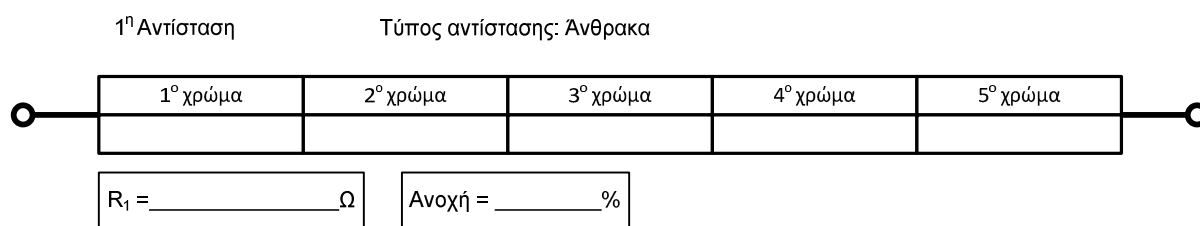
$$R_{\sigma} = \dots\dots\dots \Omega \quad (\text{Αναλογικό όργανο})$$

$$R_{\sigma} = \dots\dots\dots \Omega \quad (\text{Ψηφιακό όργανο})$$

Εκτιμήστε τις δύο μετρήσεις σχετικά με τα όσα γνωρίζετε μέχρι τώρα. Πως εξηγείτε τυχόν διαφοροποίηση τις τιμές από το ένα όργανο στο άλλο.

2. Μέτρηση αντιστάσεων.

- I. Φτιάξτε στο τετράδιο σας ανάλογη σχηματική αναπαράσταση όπως και παρακάτω για κάθε αντίσταση που έχετε στη διάθεση σας. Αντί της σχηματικής αναπαράστασης μπορείτε να κάνετε μια απλή καταγραφή των χρωμάτων. Σημειώστε για κάθε μία από αυτές τα χρώματα που έχουν διατυπωμένα. Στη συνέχεια μέσω του χρωματικού κώδικα και του αντίστοιχου πίνακα (πρότυπο *EIA-RS-279*) βρείτε τη τιμή της αντίστασης.



- II. Με προσοχή, χωρίς να μπερδέψετε τη σειρά των αντιστάσεων, μετρήστε τη τιμή τους με αναλογικό και έπειτα με ψηφιακό πολύμετρο και έπειτα με την ηλεκτρονική γέφυρα *Wheatstone*. Αν υπάρχει στη διάθεση σας ωμόμετρο (όχι *πολύμετρο*) πραγματοποιήστε και με αυτό μετρήσεις. Σημειώστε τις τιμές που θα βρείτε στον παρακάτω πίνακα.

	Τιμή αντίστασης με χρωματικό κώδικα (Ω)	Μέτρηση αναλογικού πολυμέτρου (Ω)	Μέτρηση ψηφιακού πολυμέτρου (Ω)	Μέτρηση ωμομέτρου (Ω)	Μέτρηση με γέφυρα Wheatstone (Ω)
R ₁					
R ₂					
R ₃					
R ₄					
R ₅					

- III. Μετρήστε με την ίδια σειρά τις αντιστάσεις που διαθέτετε αυτή φορά όμως με την απλή γέφυρα *Wheatstone*. Καταγράψτε τις τιμές στον παρακάτω πίνακα.

	R ₁	R ₂	R ₃	R _x
1η αντίσταση (R ₁)				
2η αντίσταση (R ₂)				
3η αντίσταση (R ₃)				
4η αντίσταση (R ₄)				
5η αντίσταση (R ₅)				

3. Θερμική ισχύς σε αντιστάσεις, προδιαγραφές ισχύος ωμικών αντιστάσεων, ισχύς σε συνάρτηση με την τάση.

i. Επιλέξτε μία από τις αντιστάσεις που έχετε στη κατοχή σας και (*προτιμήστε μία μικρή αντίσταση*) με ονομαστική ισχύ $P_{ov} = 0,5 \text{ Watt}$. Μετρήστε την αντίσταση με το ψηφιακό πολύμετρο και σημειώστε τη τιμή του.. Ρυθμίστε το μέγιστο ρεύμα του τροφοδοτικού στο $0,5 \text{ A}$ και τάση 1 V . Συνδέστε στο τροφοδοτικό την αντίσταση και ενεργοποιήστε την έξοδο του. Κρατήστε (*σφικτά*) την αντίσταση στα δάκτυλα σας και αυξήστε **ΠΡΟΣΕΚΤΙΚΑ** την τάση (*χειρισμός με το fine*), μέχρι να αισθανθείτε την θερμοκρασία (ϑ_1). Αυξήστε λίγο ακόμα την τάση μέχρι εκεί που αντέχετε την θερμοκρασία (ϑ_2) στο χέρι σας.

Προσοχή: Αν η θερμοκρασία είναι πολύ μεγάλη που να μην την αντέχετε με το άγγιγμα σας, χαμηλώστε την τάση.

Καταγράψτε την ονομαστική ισχύ της αντίστασης, την τάση και ισχύ όταν αρχίσει να ζεσταίνεται (ϑ_1) και όταν έχει ζεσταθεί τόσο ώστε μόλις να αντέχετε την θερμοκρασία (ϑ_2).

Για θερμοκρασία δωματίου ϑ_0 :

$$\begin{aligned} R &= & \Omega \\ P_{ov} &= & mW \end{aligned}$$

Για θερμοκρασία ϑ_1 :

$$\begin{aligned} V_{\vartheta_1} &= & V \\ I_{\vartheta_1} &= & mA \\ P_{\vartheta_1} &= & mW \end{aligned}$$

Για θερμοκρασία ϑ_2 :

$$\begin{aligned} V_{\vartheta_2} &= & V \\ I_{\vartheta_2} &= & mA \\ P_{\vartheta_2} &= & mW \end{aligned}$$

ii. Απενεργοποιήστε την έξοδο του τροφοδοτικού και βγάλτε την αντίσταση από το τροφοδοτικό. Μετρήστε πάλι την τιμή της με το ψηφιακό ωμόμετρο.

$$R_{\vartheta_2} = \quad \Omega$$

iii. Αυξήστε λίγο παραπάνω την τάση του τροφοδοτικού από την τάση που μετρήσατε παραπάνω, συνδέστε την αντίσταση και ενεργοποιήστε και πάλι τη έξοδο (*προσοχή μην αγγίζετε τώρα την αντίσταση!*). Αφήστε την αντίσταση εκεί για λίγα λεπτά (*εκτός αν η αντίσταση παρουσιάσει πρόβλημα, αν όχι συνεχίστε με το παρακάτω*). Αποσυνδέστε την αντίσταση και μετρήστε ξανά την τιμή της. Είναι ίδια με πριν;

$$R_{\theta_3} = \quad \Omega$$

iv. Συνδέστε αντίσταση ίδιας τιμής (*με το πρώτο βήμα της άσκησης*) αλλά αυτή τη φορά μεγαλύτερης ισχύος. Επαναλάβετε την ίδια διαδικασία με την προηγούμενη αντίσταση. Η θερμική συμπεριφορά (*σε σχέση με την αίσθησή σας*) είναι ίδια;

Για θερμοκρασία δωματίου θ_0 :

$$\begin{aligned} R &= \quad \Omega \\ P_{ov} &= \quad mW \end{aligned}$$

Για θερμοκρασία θ_1 :

$$\begin{aligned} V_{\theta_1} &= \quad V \\ I_{\theta_1} &= \quad mA \\ P_{\theta_1} &= \quad mW \end{aligned}$$

Για θερμοκρασία θ_2 :

$$\begin{aligned} V_{\theta_2} &= \quad V \\ I_{\theta_2} &= \quad mA \\ P_{\theta_2} &= \quad m \\ R_{\theta_2} &= \quad \Omega \end{aligned}$$

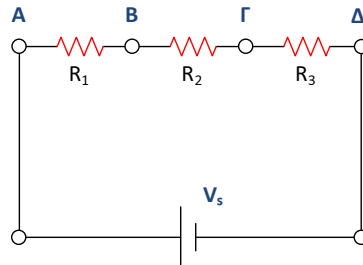
v. Συνδέστε ένα λαμπάκι *12 Volt* στο τροφοδοτικό και πραγματοποιήστε μετρήσεις για τις τιμές τάσης που ζητούνται από τον επόμενο πίνακα. Τοποθετήστε τις μετρήσεις σας στις αντίστοιχες στήλες του πίνακα: τάση, ρεύμα, υπολογιζόμενη ισχύς, υπολογιζόμενη αντίσταση R. Σχεδιάστε τις δύο τελευταίες στήλες σε γράφημα ως προς την τάση. Πρώτη καμπύλη $P=f(V)$ και μια δεύτερη καμπύλη $R=f(V)$.

Τάση (V)	Ρεύμα (mA)	Ισχύς (mW)	Αντίσταση (Ω)
0			
2			
4			
6			
8			
10			
12			

4. Υλοποιήστε το παρακάτω κύκλωμα χρησιμοποιώντας τις εξής αντιστάσεις:

$R_1=180 \Omega$, $R_2=270 \text{ k}\Omega$, $R_3=2,2 \text{ k}\Omega$. Υπολογίστε τη συνολική αντίσταση του κυκλώματος και έπειτα μετρήστε την με ωμόμετρο. Στη συνέχεια υπολογίστε την πτώση τάσης σε κάθε αντίσταση αν στο κύκλωμα εφαρμόζαμε τάση και $U=12 \text{ Volt}$. Υπολογίστε επίσης τη διαφορά δυναμικού μεταξύ των ακροδεκτών: AB , $B\Gamma$, $\Gamma\Delta$, $A\Gamma$, $B\Delta$ και $A\Delta$, σε Volt .

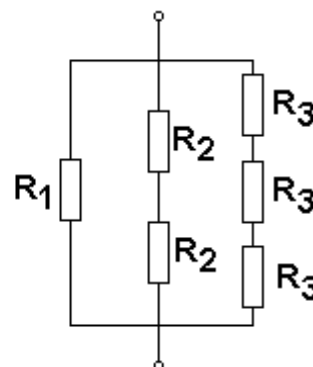
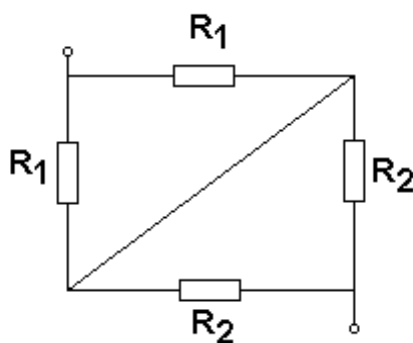
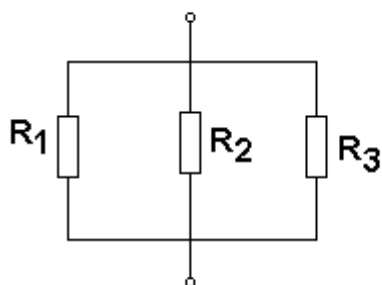
Έπειτα μετρήστε τις τάσεις αυτές με βολτόμετρο και σημειώστε τες στο παρακάτω πίνακα.



Τάση (V)	Υπολογισμένη τιμή	Μετρούμενη τιμή
AB		
BΓ		
ΓΔ		
AΓ		
BΔ		
AΔ		

4.11 Ασκήσεις.

5. Να γίνει μια συνοπτική περιγραφή του μηχανισμού ανάπτυξης θερμότητας από τα αγώγιμα υλικά όταν αυτά διαρρέονται από ρεύμα.
6. Μπορεί το βασικό όργανο που χρησιμοποιείται για την κατασκευή βολτομέτρου και αμπερομέτρου να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή ενός ωμομέτρου; Αν ναι προτείνετε ένα κύκλωμα λειτουργίας και περιγράψτε τις προϋποθέσεις που νομίζεται ότι πρέπει να ισχύουν για να έχουμε όσο το δυνατόν ακριβέστερες μετρήσεις.
7. Ένα φθινό όργανο έχει αντίσταση 100Ω και φθάνει την μέγιστη απόκλιση για ρεύμα $10mA$. Πως θα το συνδέσετε ώστε να δείχνει το ρεύμα ενός τροφοδοτικού που παρέχει μέχρι $5A$. Πως θα συνδέσετε το ίδιο όργανο σαν ενδεικτικό τάσης σε τροφοδοτικό $0 \dots 30V$;
8. Ποια είναι η αντίσταση του πολυμέτρου στην μικρότερη και ποια στη μεγαλύτερη κλίμακα τάσεων
9. Ποια είναι η αντίσταση του πολυμέτρου στην μικρότερη κλίμακα ρεύματος (στην περίπτωση αυτή το πηνίο του οργάνου συνδέεται κατ' ευθεία στους ακροδέκτες του οργάνου).
10. Το ενδεικτικό όργανο του τροφοδοτικού δείχνει ρεύμα $0,02 A$. Ποια είναι η δυνατή περιοχή τιμών ρεύματος που δίνει τότε το τροφοδοτικό χωρίς η ένδειξη να είναι λάθος.
11. Υπολογίστε την ολική αντίσταση στα κυκλώματα (α), (β), (γ) παρακάτω. $R_1 = 10\Omega$, $R_2 = 20\Omega$, $R_3 = 30\Omega$



Προαιρετικές ερωτήσεις - ασκήσεις.

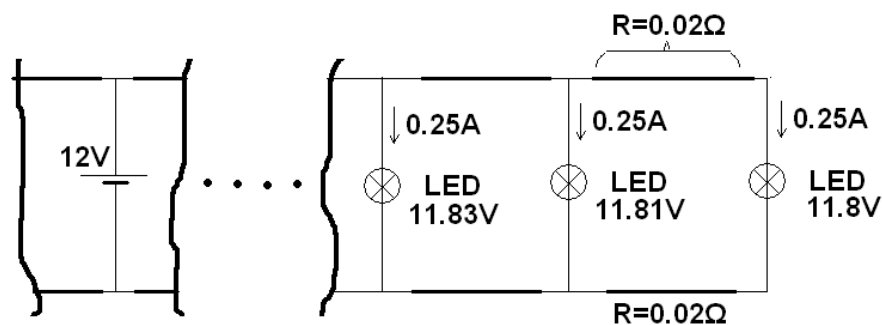
Π.1. Σε ένα μεγάλο κτίριο, ο αρχιτεκτονικός φωτισμός χρειάζεται 300 λάμπες LED με τα παρακάτω στοιχεία:

Τάση τροφοδοσίας 12 Volt ονομαστικά και οπωσδήποτε πάνω από 11,8 Volt.

Ρεύμα 0,25 A (ανεξάρτητα από τάση, εννοείται η τάση 11,8 έως 12 Volt).

Ζητείται

1. Το συνολικό ρεύμα που πρέπει να παρέχει το τροφοδοτικό.
2. Μπορούμε να συνδέσουμε παράλληλα περισσότερα από ένα τροφοδοτικά (εννοείται ίδια τροφοδοτικά των 12 Volt); Προτείνετε λύση και κάποιο σχέδιο.
3. Αν κάθε αγωγός σύνδεσης έχει αντίσταση 0,02 Ω βρείτε πόσα τροφοδοτικά είναι ΑΠΑΡΑΙΤΗΤΑ για την έναυση όλων των λαμπτήρων.
Μελετήστε προσεκτικά την παρακάτω υπόδειξη: (μην κουραστείτε να κάνετε πράξεις)



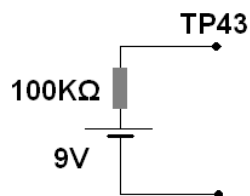
Π.2. Εργάζεστε στο τμήμα ποιοτικού ελέγχου μιας αυτοκινητοβιομηχανίας στο τμήμα ρομποτικών. Εκεί ελέγχετε κάθε υλικό που παράγεται με πιστοποιημένα όργανα και συγκεκριμένες οδηγίες. Σε μια πλακέτα ελέγχετε την τάση στο σημείο TP34, όπου οι οδηγίες απαιτούν ψηφιακό πολύμετρο και αποτέλεσμα 9 Volt. Επειδή δεν είναι κοντά το ψηφιακό χρησιμοποιείτε (κακώς !) το (πιστοποιημένο) αναλογικό και διαβάζετε ένδειξη 7,5 Volt (στην κλίμακα των 10 Volt). Η πρώτη εκτίμηση είναι ότι η πλακέτα έχει σφάλμα, όμως ο συνάδελφος δίπλα σας υποδεικνύει ότι δεν μετρήσατε με ψηφιακό όπως λέει η οδηγία αλλά χρησιμοποιήσατε το αναλογικό. Μετράτε την τάση με το βοηθητικό κοινό αναλογικό όργανο (πάλι στην κλίμακα 10 βολτ) και εκεί η μέτρηση είναι 4,5 Volt. Στοιχεία:

Αντίσταση πιστοποιημένου ψηφιακού :	100MΩ
Αντίσταση πιστοποιημένου αναλογικού	50KΩ/V
Αντίσταση κοινού αναλογικού :	20KΩ/V

(Προσοχή, ανά Volt κλίμακας)

Απαντήστε στα ερωτήματα :

1. Μπορεί η διαφορά να οφείλεται στο πολύμετρο;
2. Αν θεωρήσετε ότι το κύκλωμα της πλακέτας είναι το παρακάτω αποδείξτε ότι το αναλογικό πολύμετρο **ΔΕΝ** είναι χαλασμένο (αρκεί να αποδείξετε ότι η τάση που μετρούν είναι αυτή που πρέπει να είναι όταν συνδεθούν στο TP34 και τη γη).



Άσκηση 5

Παλμογράφος και γεννήτρια συχνοτήτων.

5.1 Εισαγωγή.

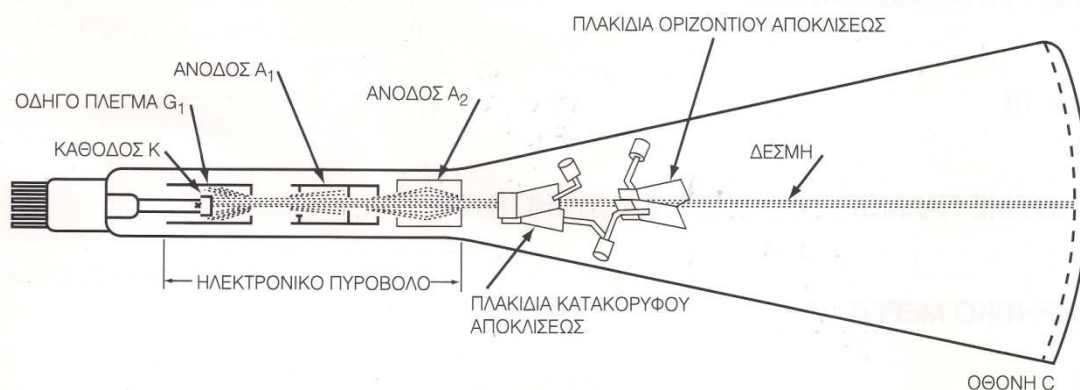
Ο παλμογράφος είναι ένα από τα πιο σημαντικά όργανα για τον ερευνητή. Είναι ένα όργανο που επιτρέπει την παρατήρηση - μέτρηση των χαρακτηριστικών φαινομένων που μεταβάλλονται πολύ γρήγορα αλλά και την απεικόνιση των μεταβολών αυτών. Η εξοικείωση ενός μηχανικού με αυτό το όργανο κρίνεται απαραίτητη και ίσως η σημαντικότερη. Σκοπός αυτού του κεφαλαίου είναι η όσο γίνεται μεγαλύτερη εξοικείωση των σπουδαστών με τον παλμογράφο και την χρήση του. Μια σημαντική πλευρά αυτής της προσπάθειας είναι και η κατανόηση των πιο βασικών μεγεθών και χαρακτηριστικών που αφορούν τις μετρήσεις με παλμογράφο. Τέτοια είναι η μέτρηση του πλάτους και της συχνότητας ενός ηλεκτρικού σήματος, σύγκριση τάσεων, η διαφορά φάσης μεταξύ δύο ηλεκτρικών σημάτων σε ένα κύκλωμα με παθητικά στοιχεία όπως θα δούμε αργότερα στα κυκλώματα RC ή κυκλώματα RL . Σε γενικές γραμμές όμως ο παλμογράφος μετράει τάση και οποιοδήποτε μέγεθος που μπορεί με κατάλληλο μετατροπέα να γίνει τάση (π.χ. Πίεση με την βοήθεια μιας πιεζοαντίστασης).

Στην ακόλουθη άσκηση δεν θα γίνει περιγραφή της λειτουργίας των κυκλωμάτων του παλμογράφου γιατί αυτό απαιτεί ιδιαίτερες και πολύ ειδικές γνώσεις ηλεκτρονικών. Επίσης, η εξέλιξη της τεχνολογίας κοντεύει να προσπεράσει πλέον τους συμβατούς παλμογράφους καθοδικού σωλήνα, όπου γίνεται μια, ας πούμε, ιστορική αναδρομή με την αναφορά του. Αξίζει όμως να δει και να κατανοήσει τη λειτουργία τους ως νέος ηλεκτρολόγος μηχανικός. Τα παρακάτω αποτελούν μία συνοπτική ματιά στο συγκεκριμένο όργανο και τις βασικότερες λειτουργίες του.

5.2 Παλμογράφος.

Ο παλμογράφος είναι ένα ηλεκτρονικό όργανο μέτρησης που χρησιμοποιείται ευρέως σε πολλούς τομείς της τεχνολογίας. Στη πραγματικότητα αποτελεί ένα πολύ βασικό και σημαντικό όργανο οπτικού ελέγχου και μετρήσεων. Οι συνεχώς διευρυμένες ανάγκες στην επιστήμη και την έρευνα δεν τον αφήνουν ανεπηρέαστο. Η εξέλιξη του είναι συνεχής και οι δυνατότητες τους συνεχώς αυξανόμενες. Πλέον στην αγορά κυκλοφορούν απλοί παλμογράφοι (καθοδικού σωλήνα) και ηλεκτρονικοί οι οποίοι ανάλογα με τις δυνατότητες τους, την πολυπλοκότητα των μετρήσεων και κατασκευής, ποικίλουν και οι τιμές τους.

Οι πρώτοι παλμογράφοι που εμφανίστηκαν είναι οι παλμογράφοι καθοδικού σωλήνα (*Cathode Ray Tube - CRT*) ή λυχνίας καθοδικών ακτίνων. Μπορεί να τους συναντήσει κάποιος και σαν αναλογικούς παλμογράφους σε αντίθεση με τους πλέον ηλεκτρονικούς - ψηφιακούς παλμογράφους. Η ονομασία αυτού του παλμογράφου προέρχεται από το βασικότερο μέρος του που είναι καθοδικός σωλήνας όπως εμφανίζεται στην παρακάτω εικόνα με τα σημαντικότερα μέρη του.



Εικόνα 5.1: Απεικόνιση καθοδικού σωλήνα.

5.2.1 Καθοδικός σωλήνας.

Ο καθοδικός σωλήνας είναι η καρδιά του αναλογικού παλμογράφου. Αποτελείται από ένα γυάλινο υπό κενό κυλινδρικό δοχείο (περίπου 10^{-7} atm) που στο ένα άκρο ευρύνεται και καταλήγει σε μια σχεδόν επίπεδη φθορίζουσα επιφάνεια στην οθόνη. Πιο σύνθετες παραλλαγές του, πάνω όμως στην ίδια αρχή λειτουργίας, αποτελούν οι παλιές οθόνες της τηλεόρασης και του υπολογιστή (CRT οθόνες). Η λειτουργία του συγκεκριμένου σωλήνα στηρίζεται σε τρεις διαδοχικές διατάξεις.

❖ Ηλεκτρονικό πυροβόλο.

Η πρώτη διάταξη ονομάζεται ηλεκτρονικό πυροβόλο (ηλεκτρικό κανόνι) και είναι υπεύθυνη για την παραγωγή, επιτάχυνση και εστίαση μιας δέσμης ηλεκτρονίων. Το σύστημα παραγωγής και εκτόξευσης της ηλεκτρονικής δέσμης είναι τοποθετημένο στην βάση του σωλήνα.

Τα ηλεκτρόνια που απαιτούνται για την δημιουργία δέσμης ηλεκτρονίων παράγονται με θερμοϊονική εκπομπή. Με τη θέρμανση ενός μεταλλικού νήματος (κάθοδος) δίνουμε σε κάποια από τα ελεύθερα ηλεκτρόνια του αρκετή κινητική ενέργεια για να μπορέσουν να το εγκαταλείψουν. Στη συνέχεια τα ηλεκτρόνια επιταχύνονται από το ηλεκτρικό πεδίο που δημιουργείται ανάμεσα στην κάθοδο και σε ένα άλλο ηλεκτρόδιο, το ηλεκτρόδιο ανόδου. Το πρώτο ηλεκτρόδιο ανόδου χρησιμεύει για την έλξη των ηλεκτρονίων. Ενώ το δεύτερο ηλεκτρόδιο είναι για την επιτάχυνση των ηλεκτρονίων. Και τα δύο ηλεκτρόδια ανόδου έχουν στο κέντρο οπή. Η άνοδος επίσης, βρίσκεται σε υψηλότερο δυναμικό από την κάθοδο. Όσα από τα ηλεκτρόνια περνάνε από την οπή, σχηματίζουν μία δέσμη και κινούνται προς την οθόνη με την οριζόντια ταχύτητα που απέκτησαν βομβαρδίζοντας την οθόνη η οποία είναι επιχρισμένη εσωτερικά με φθορίζουσα ουσία. Η διαφορά δυναμικού μεταξύ ανόδου και καθόδου είναι μερικά kV, που σημαίνει ότι η ταχύτητα που αποκτούν τα ηλεκτρόνια είναι της τάξεως των 10^7 m/s. Η δέσμη, κινούμενη ευθύγραμμα και με την ταχύτητα που έχει αποκτήσει, προσπίπτει στην οθόνη όπου διεγείρει τα μόρια της φθορίζουσας ουσίας και δημιουργεί έτσι ένα φωτεινό στίγμα. Αυτή είναι και η αρχή λειτουργίας του παλμογράφου καθοδικού σωλήνα.

Στο σωλήνα, υπάρχουν συνάμα διατάξεις που επιτρέπουν τον έλεγχο του αριθμού των ηλεκτρονίων που κατευθύνονται προς την οθόνη (φωτεινότητα -intensity) και την εστίαση (focus) της δέσμης.

❖ Πλακίδια απόκλισης.

Η δεύτερη είναι ένας συνδυασμός ομογενών πεδίων. Ο καθοδικός σωλήνας είναι εφοδιασμένος και με ένα σύστημα απόκλισης ή εκτροπής της ηλεκτρονικής δέσμης. Αυτό είναι ένα σύστημα οριζοντίων και κατακόρυφων επιπέδων πλακιδίων Y και X (πλακίδια απόκλισης) που είναι τοποθετημένα έτσι ώστε η δέσμη να περνά ανάμεσά τους. Μεταβάλλοντας την ένταση των πεδίων κατευθύνουμε τη δέσμη των ηλεκτρονίων με ανάλογη απόκλιση από την ευθύγραμμη κίνηση που έχουν αποκτήσει νωρίτερα. Η απόκλιση αυτή είναι ανάλογη της τάσης που εφαρμόζεται στα πλακίδια. Έτσι εάν βαθμονομήσουμε κατάλληλα την οθόνη μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τον παλμογράφο σαν βολτόμετρο.

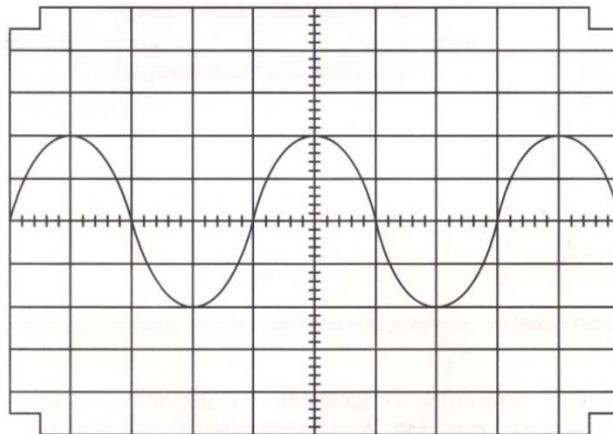
Αν για παράδειγμα, εφαρμόσουμε στα πλακίδια οριζόντιας απόκλισης (X) μια συνεχή τάση, το ηλεκτρικό πεδίο που δημιουργείται είναι οριζόντιο και προκαλεί μια οριζόντια απόκλιση της κηλίδας πάνω στην οθόνη. Αντίστοιχα η εφαρμογή μιας σταθερής τάσης γίνει στα πλακίδια κατακόρυφης απόκλισης (Y), το ηλεκτρικό πεδίο που θα δημιουργηθεί θα είναι κατακόρυφο και θα προκαλεί μια κατακόρυφη απόκλιση της κηλίδας.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, είναι λογικό να πούμε ότι, μπορούμε να μετακινήσουμε τη δέσμη ηλεκτρονίων σε ανάλογη κατεύθυνση στην οθόνη, ανάλογα προς τη συνισταμένη των δυνάμεων έλξης και απώθησης που ασκούνται στα ηλεκτρόνια της δέσμης από τα ηλεκτρικά δυναμικά των πλακιδίων.

Να σημειώσουμε ότι μετά την έξοδο από τα ηλεκτρικά πεδία των πλακιδίων απόκλισης και μέχρι την πρόσκρουση στη φθορίζουσα ουσία της οθόνης, τα ηλεκτρόνια κινούνται ευθύγραμμα ομαλά.

❖ Οθόνη.

Η τρίτη διάταξη του καθοδικού σωλήνα είναι η οθόνη, στην οποία παρατηρούμε τη θέση όπου προσπίπτουν τα ηλεκτρόνια. Όπως είπαμε και πιο πάνω είναι κατάλληλα βαθμονομημένη για να μετράμε σε αυτόν χρόνο (X - άξονας) και πλάτος σήματος (Y - άξονας). Συνοψίζοντας τα προηγούμενα προκύπτει ότι ο παλμογράφος δεν είναι απλά ένα όργανο μέτρησης αλλά ένας απεικονιστής, που μας δίνει την δυνατότητα να έχουμε πλήρη εικόνα της κυματομορφής μιας τάσης, πλάτος και περίοδο. Αν δηλαδή θελήσουμε να μετρήσουμε την τάση του δικτύου της ΔΕΔΔΗΕ, ο παλμογράφος θα απεικόνιζε στην οθόνη του την παρακάτω συνεχή δέσμη.

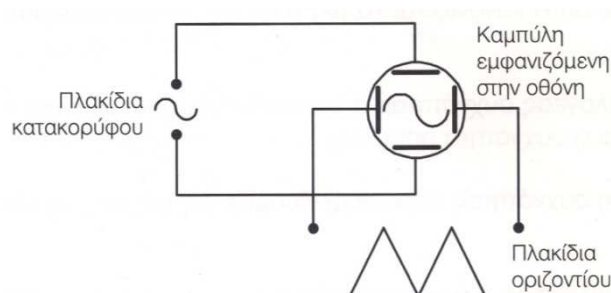


Εικόνα 5.2: Αναπαράσταση ημιτόνου τάσης δικτύου ΔΕΔΔΗΕ.

Στην παραπάνω εικόνα φαίνεται η βαθμονόμηση της οθόνης του παλμογράφου. Με κατάλληλο τρόπο μπορούμε μέσω της βαθμονόμησης αυτής να μετρήσουμε το πλάτος της κυματομορφής και το χρόνο που διαρκεί το φαινόμενο. Αργότερα θα αναφερθούμε πιο αναλυτικά σε έννοιες που αφορούν τις καμπύλες ημιτόνων και συνημίτονων.

5.2.2 Μηχανισμός απεικόνισης.

Η καμπύλη της προηγούμενης εικόνας είναι η πιο απλή καμπύλη που μπορούμε να παρατηρήσουμε στην οθόνη του παλμογράφου. Για να εμφανίσουμε αυτή την ημιτονική καμπύλη θα πρέπει να ενεργήσουν ταυτόχρονα δύο τάσεις. Δύο τάσεις οι οποίες σχετίζονται με τα πλακίδια απόκλισης.

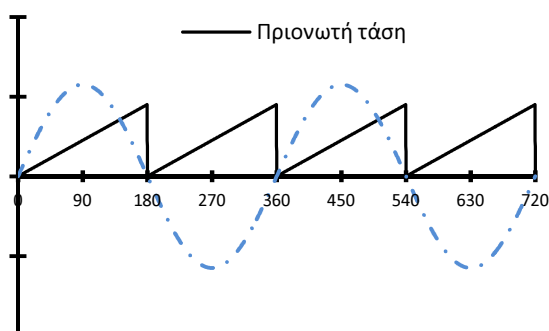


Εικόνα 5.3: Ενέργειες των πλακιδίων στην διαμόρφωση απεικονίσεων.

Η μία τάση είναι αυτή που πρόκειται να απεικονίσουμε στην οθόνη και στην περίπτωση μας ένα ημίτονο. Ας πούμε ότι αυτό που μας ενδιαφέρει είναι να δούμε πρώτα το πλάτος της. Με το σκεπτικό αυτό θα τοποθετήσουμε την τάση αυτή στις πλάκες κατακόρυφης (πάνω - κάτω) απόκλισης, έτσι ώστε να μετρήσουμε αυτή την απόκλιση στον κατάλληλα βαθμονομημένο άξονα της οθόνης.

Η άλλη τάση είναι μία βοηθητική τάση που δημιουργείτε από τον παλμογράφο και είναι συνάρτηση του χρόνου. Αυτή η τάση έχει πριονωτή μορφή και είναι συγχρονισμένη με την τάση εισόδου. Η τάση αυτή εφαρμόζεται με τέτοιο τρόπο στα πλακίδια οριζόντιας απόκλισης για να εξαναγκάσει την δέσμη να κινείται οριζόντια, από αριστερά προς τα δεξιά και ισοταχώς.

Η πριονωτή τάση είναι απαραίτητη για την εμφάνιση οποιασδήποτε μορφής σήματος στο παλμογράφο. Η τάση αυτή λέγεται τάση σάρωσης. Μια ιδέα για το πως είναι αυτές οι τάσεις δίνετε στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 5.4: Συγχρονισμός της πριονωτής τάσης με το σήμα εισόδου.

Η μεταβολή της τάσης στα κατακόρυφα πλακίδια γίνεται με την μορφή $V = V(t)$. Εάν η συχνότητα της πριονωτής τάσης είναι ίδια με την συχνότητα της εναλλασσόμενης τάσης, όπως στην Εικόνα 5.2.4, τότε στην οθόνη του παλμογράφου θα εμφανιστεί μια μόνο περίοδος του σήματος εισόδου $V = V(t)$. Αν όμως η συχνότητα της πριονωτής τάσης είναι μικρότερη τότε θα πάρουμε στην οθόνη περισσότερες της μίας περιόδου.

5.2.3 Δοκιμαστικά (Probes).

Τα δοκιμαστικά ή αλλιώς *Probes*, κατασκευάζονται με ειδικό ομοαξονικό καλώδιο χαμηλής πυκνότητας και η σύνδεση του δοκιμαστικού με το παλμογράφο γίνεται με σύνδεση *BNC* (*BNC connector*). Μπορούν να ταξινομηθούν σε πολλών διαφορετικών τύπων όπως ενεργή, παθητική, διαφορικού. Μπορούν να ταξινομηθούν ανάλογα με την εξασθένηση του σήματος όπως *1x*, *10x*, *100x*. Κάθε τύπος τέτοιου δοκιμαστικού είναι κατάλληλος για έναν μεγάλο αριθμό διαφορετικών εφαρμογών. Μπορούν όμως να κατηγοριοποιηθούν σε δύο πολύ βασικές κατηγορίες παθητικού και ενεργού τύπου.

- Παθητικού τύπου δοκιμαστικό (*Passive oscilloscope probes*).

Είναι η πιο ευρείας χρήσης δοκιμαστικό. Περιλαμβάνει μόνο παθητικά στοιχεία και μπορεί να παρέχει *1:1* μετρήσεις, δηλαδή κατ'ευθείαν μέσω σύνδεσης του από τον παλμογράφο στο υπό δοκιμή σημείο. Άλλοι τέτοιου τύπου δοκιμαστικά μπορεί να παρέχουν επίσης καθορισμένο βαθμό εξασθένησης του λαμβανόμενου σήματος.

- Ενεργού τύπου δοκιμαστικό (*Active oscilloscope probes*).

Αυτός ο τύπος δοκιμαστικού απαρτίζεται από ενεργά εξαρτήματα που είναι ενσωματωμένα μέσα στο ίδιο δοκιμαστικό καθετήρα. Τέτοιου είδους δοκιμαστικά επιτρέπουν μεγαλύτερη λειτουργικότητα,

υψηλότερη απόδοση και πολύ λιγότερες απώλειες μέτρησης. Ωστόσο, είναι πολύ πιο ακριβά και συνήθως προορίζεται για πιο απαιτητικές και εξειδικευμένες εργασίες.

- Δοκιμαστικά διαφορικού σήματος(*Differential oscilloscope probes*).

Σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να είναι αναγκαία η μέτρηση διαφορικού σήματος. Π.Χ. ήχου χαμηλής στάθμης, τα σήματα οδήγησης οπτικών δίσκων και πολλές άλλες περιπτώσεις χρησιμοποιούν διαφορετικά σήματα, τα οποία πρέπει να μετράται ως τέτοια.

Οι παραπάνω τύποι δοκιμαστικών, μπορούν να κατηγοριοποιηθούν περαιτέρω και να γίνει μια πληρέστερη περιγραφή, αλλά αυτό ξεπερνά τα όρια αυτού συγγράμματος.



Εικόνα 5.5: Δοκιμαστικό παλμογράφου άμεσης σύνδεσης (Probe).

Άλλη μία μορφή ταξινόμησης των δοκιμαστικών είναι ανάλογα με το επίπεδο εξασθένησης του σήματος που παρέχουν. Η κατηγοριοποίηση γίνεται όπως παρακάτω:

I. *1x (δίνοντας μια αναλογία 1:1 εξασθένησης)*, είναι κατάλληλα για πολλές εφαρμογές χαμηλής συχνότητας. Προσφέρουν συνήθως την ίδια σύνθετη αντίσταση εισόδου η οποία είναι κανονικά $1\ M\Omega$. Ωστόσο, για εφαρμογές όπου απαιτείται μεγαλύτερη ακρίβεια και η συχνότητα γίνεται μεγαλύτερη, απαιτούνται άλλου τύπου δοκιμαστικά.

II. *10x (δίνοντας 10:1 αναλογία εξασθένηση)* αυτού του τύπου τα δοκιμαστικά χρησιμοποιούνται για μετρήσεις ακριβείας. Για να επιτευχθεί η εξασθένηση του τοποθετούνται διάφορες αντιστάσεις μέσα στο δοκιμαστικό για να επιτευχθούν ειδικές διατάξεις εξασθένησης. Η χρήση τέτοιων δοκιμαστικών απαιτεί να λαμβάνεται υπόψη κατά την μέτρηση η εξασθένηση.

III. *100x (δίνοντας 100:1 αναλογία εξασθένηση)* αν και όχι και τόσο συνηθισμένοι όπως επίσης και οι αντίστοιχοι *20X* και *1000x*. Προορίζονται για πολύ ειδικές εφαρμογές.

5.2.4 Παλμογράφος διπλής δέσμης.

Για να μπορούμε να παρατηρήσουμε δύο σήματα ταυτόχρονα και να συγκρίνουμε τα χαρακτηριστικά τους χρησιμοποιούνται παλμογράφοι διπλής δέσμης. Τέτοιοι είναι και οι παλμογράφοι του εργαστηρίου.

Ο παλμογράφος αυτός, είναι εξοπλισμένος με ειδικού τύπου καθοδικού σωλήνα με δυο ηλεκτρονικά πυροβόλα. Με αυτό το τρόπο μπορούμε να δημιουργήσουμε δύο ανεξάρτητες μεταξύ τους δέσμες που ελέγχονται από ανεξάρτητα κανάλια.

Για πιο σύνθετες και απαιτητικές εργασίες υπάρχουν παλμογράφοι με παραπάνω από δύο δέσμες.

5.3 Χαρακτηριστικά παλμογράφων - ρυθμιστικά μέσα - ενδείξεις.

Ο παλμογράφος είναι εφοδιασμένος με διάφορα ρυθμιστικά κουμπιά με τα οποία ρυθμίζουμε, την φωτεινότητα, την εστίαση, την θέση της κηλίδας, την ενίσχυση του σήματος, την συχνότητα της

πριονωτής τάσης (*συχνότητα σάρωσης*) κ.α. Οι κυριότερες από αυτές τις ρυθμιστικές λειτουργίες περιγράφονται εν συντομία παρακάτω.

Στις διάφορους τύπους παλμογράφων συναντάμε σχεδόν τα ίδια "κουμπιά" ρυθμίσεων της λειτουργίας τους. Ίσως με μικροδιαφορές στους συμβολισμούς. Η καλή όμως γνώση ενός απλού παλμογράφου κάνει εύκολη την τη χρήση οποιουδήποτε άλλου τύπου με πιο σύνθετη κατασκευή.

Οι ρυθμίσεις μπορούν να χωριστούν σε τέσσερεις κατηγορίες:

1. Γενικές ρυθμίσεις - ενδείξεις παλμογράφου:

Power ON/OFF	Διακόπτης λειτουργίας του παλμογράφου
Power LED	Ένδειξη λειτουργίας του παλμογράφου
INTENSITY	Ρυθμιστής έντασης φωτεινής δέσμης στην οθόνη
FOCUS	Ρυθμιστής εστίασης της φωτεινής δέσμης στην οθόνη
CAL	Υποδοχή που μας δίνει ένα τετραγωνικό παλμό ορισμένου πλάτους ($5 V_{p-p}$) χρόνου ανόδου για τη βαθμονόμηση κάθετης και οριζόντιας σάρωσης αλλά και του δοκιμαστικού.
GROUND	Σημείο σύνδεσης για χωριστή γείωση

2. Ενδείξεις και ρυθμίσεις πλάτους (VERTICAL):

VOLTS/DIV	Περιστροφικός διακόπτης επιλογής κατακόρυφης ανάλυσης (<i>πλάτους</i>)
VOLT/DIV VARIABLE	Ποτενσιόμετρο βαθμονόμησης τάσης (<i>CAL - Calibration</i>)
CH1	Είσοδος σήματος για το <i>Κανάλι 1</i>
CH2	Είσοδος σήματος για το <i>Κανάλι 2</i>
CH1 POSITION	Κατακόρυφη μετακίνηση της δέσμης στην οθόνη για το <i>Κανάλι 1</i>
CH2 POSITION	Κατακόρυφη μετακίνηση της δέσμης στην οθόνη για το <i>Κανάλι 2</i>
AC GND DC	Επιλογή σύζευξης
AC:	Μέτρηση εναλλασσόμενης τάσης
GND:	Γειωμένη είσοδος (<i>μηδενισμός σήματος εισόδου</i>)
DC:	Μέτρηση συνεχούς τάσης ή εναλλασσόμενης τάσης που περιέχει συνεχής συνιστώσα
CH1 CH2 ALT	Επιλογή εμφάνισης στην οθόνη του <i>CH1</i> ή <i>CH2</i> ή και των δύο καναλιών ταυτόχρονα
CH1:	Στην οθόνη εμφανίζεται μόνο το σήμα εισόδου στο <i>CH1</i> .
CH2:	Στην οθόνη εμφανίζεται μόνο το σήμα εισόδου στο <i>CH2</i> .
ALT:	Εμφανίζονται τα σήματα εισόδου και των δυο καναλιών.

3. Ενδείξεις και ρυθμίσεις χρόνου (HORIZONTAL):

Time/DIV	Περιστροφικός διακόπτης επιλογής οριζόντιας σάρωσης
Time VARIABLE	Ποτενσιόμετρο βαθμονόμησης χρόνου
X10 MAG	Πολλαπλασιάζει $\times 10$ την οριζόντια απόκλιση αυξάνοντας έτσι την ταχύτητα σάρωσης $\times 10$ φορές.
Horizontal POSITION	Οριζόντια μετακίνηση της δέσμης στην οθόνη ή και των δύο απεικονίσεων
Sweep mode/LEVEL	Ποτενσιόμετρο οριζόντιας σταθεροποίησης

4. Ρυθμίσεις σκανδαλισμού οριζόντιας σάρωσης (TRIGGER):

TRIGGER MODE	Επιλέγει τη μορφή σκανδαλισμού της οριζόντιας σάρωσης
TRIGGER COUPLING	Επιλέγει τα χαρακτηριστικά της συχνότητας για τη σύζευξη σκανδαλισμού κυκλώματος. Στη θέση AC απομακρύνει κάθε συνεχή συνιστώσα από το σήμα σκανδαλισμού
TRIGGER SOURCE	Επιλέγει την πηγή σκανδαλισμού

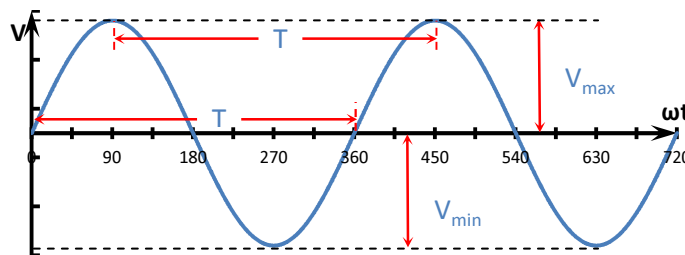
5.4 Εναλλασσόμενες κυματομορφές.

Οι τάσεις που θα εξεταστούν στο παλμογράφο είναι χρονικά μεταβαλλόμενα σήματα της μορφής $V(t)$. Στη πράξη είναι εναλλασσόμενες ή μεταβαλλόμενες τάσεις τις οποίες μάλιστα μπορούμε να αναπαραστήσουμε με μαθηματικές σχέσεις. Για παράδειγμα, μια τάση της μορφής $V(t)$ είναι μια μαθηματική συνάρτηση $f(t)$. Μια τέτοια συνάρτηση είναι εναλλασσόμενη όταν εκπληρώνονται τρεις συνθήκες:

- α) Όταν η τιμή της εναλλάσσεται. Δηλαδή παίρνει θετικές και αρνητικές τιμές σε σχέση με το χρόνο t .
- β) Όταν η εναλλαγή της γίνεται περιοδικά. Δηλαδή όταν ο κάθε κύκλος της εναλλασσόμενης κυματομορφής επαναλαμβάνεται σε ίσα χρονικά διαστήματα.
- γ) Όταν το ολοκλήρωμα της $f(t)$ για μία περίοδο είναι ίσο με το μηδέν.

$$\int_t^{t+T} f(t) dt = 0$$

Το τελευταίο έχει να κάνει με την μέση τιμή της κυματομορφής του εναλλασσόμενου μεγέθους. Αν παρατηρήσετε το παρακάτω σχήμα θα δείτε και σχηματικά μία ημιτονοειδή τάση οι οποία περικλείει ίδιες θετικές τιμές και ίδιες αρνητικές τιμές στη καμπύλη του.



Σχήμα 5.4.1: Καμπύλη ημιτόνου.

Ο όρος ημιτονοειδής στη προκειμένη περίπτωση υποδηλώνει μια συνάρτηση του ημιτόνου ή του συνημιτόνου, με οποιαδήποτε γωνία φάσης.

Η γενικευμένη μαθηματική σχέση της κυματομορφής της τάσης του παραπάνω σχήματος είναι:

$$v = v(t) = V_m \cdot \cos(\omega t + \varphi)$$

Όπου:	$v=v(t)$	στιγμιαία τιμή ή χρονική συνάρτηση
	V_m	το πλάτος ή μέγιστη τιμή της τάσης
	$(\omega t + \varphi)$	το όρισμα του ημιτόνου
	φ	γωνία φάσης
	ωt	κυκλική συχνότητα.

Ο χρόνος που απαιτείτε για να ολοκληρωθεί ένας κύκλος της κυματομορφής ονομάζεται περίοδος T και έχει μονάδα μέτρησης το *second* (s).

Μία εξίσου σημαντική μονάδα που θα χρησιμοποιήσουμε είναι η αντίστροφη ποσότητα της περιόδου T που ονομάζεται συχνότητα f και εκφράζει τον αριθμό των κύκλων ανά δευτερόλεπτο:

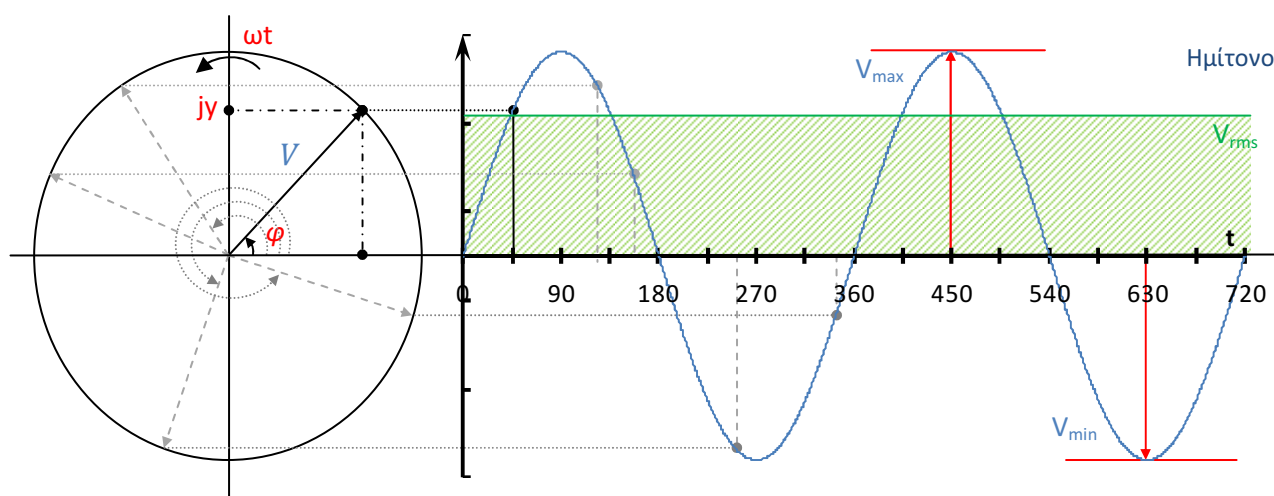
$$f = \frac{1}{T}$$

Η μονάδα μέτρησης της συχνότητας ονομάζεται *Hertz* και συμβολίζεται με *Hz*. Η δε μονάδα μέτρησης του είναι το sec^{-1} (s^{-1}). Σύμφωνα με το παραπάνω η

Η σχέση που συνδέει την συχνότητα f και την κυκλική συχνότητα ω είναι η παρακάτω:

$$\omega = 2\pi \cdot f$$

Η κυκλική συχνότητα ή αλλιώς γωνιακή ταχύτητα, έχει μονάδα μέτρησης το *rad/sec* (*ακτίνο ανά δευτερόλεπτο*). Ο χρόνος που απαιτείται για να ολοκληρωθεί ένας κύκλος της κυματομορφής ονομάζεται και εδώ περίοδος T και έχει πάλι μονάδα μέτρησης το *sec*. Για να καταλάβουμε καλύτερα την έκφραση της κυκλικής συχνότητας σε σχέση με μία ημιτονοειδής καμπύλη αρκεί να ρίξουμε μια ματιά στην σχηματική αναπαράσταση που ακολουθεί.



Σχήμα 5.4.2: Σύνδεση κυκλικής συχνότητας και ημιτόνου.

Το πλεονέκτημα της αναπαράστασης της τάσης ως διανυσματικό μέγεθος είναι η απαλλαγή της εξάρτησής του από το χρόνο. Αυτό που καταγράφουμε τελικά είναι το πλάτος του και η γωνιακή μετατόπιση από τον άξονα x . Βλέπουμε λοιπόν ότι όσο περιστρέφεται (*ανθρωπολογικά*) το μέγεθος V με γωνιακή ταχύτητα ωt καταγράφει από δίπλα με την προσθήκη του χρόνου, σημεία του ημιτόνου. Μία πλήρης περιστροφή του V θα μας δώσει μία πλήρη καμπύλη του ημιτόνου. Συνεπώς, όπως είπαμε και πιο πριν, μια ολόκληρη περίοδος T που μάλιστα η περίοδος αυτή είναι ίδια και στις δύο περιπτώσεις. Κυκλική και ημιτονική.

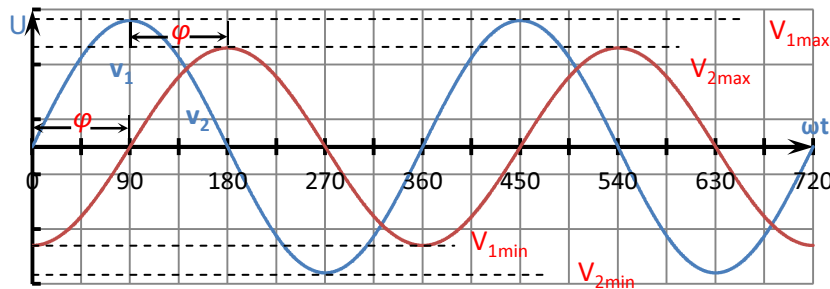
Στα παραπάνω σχήμα παρατηρούμε κι άλλες τιμές που αφορούν μία κυματομορφή. Αυτές είναι η μέγιστη τιμή τάσης V_{max} , την ελάχιστη τιμή τάσης V_{min} , όπως επίσης και ένα μέγεθος που καλείται η ενεργή τομή της τάσης V_{rms} ή V_{EV} , και μπορεί να το δούμε και σαν V_0 . Θα αρκεστούμε να πούμε ότι είναι η ολοκλήρωση του τετραγώνου της μέσης τιμής (*Root Mean Square*).

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v(t)^2 \cdot dt} \Rightarrow \boxed{V_{rms} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}}$$

Αυτό που πρέπει να κρατήσουμε είναι ότι όλες ημιτονικής μορφής καμπύλες ανεξάρτητα από την συχνότητα έχουν μία ενεργή τιμή η οποία δίνεται από το παραπάνω τύπο. Η περαιτέρω ανάλυση και επεξήγηση όσο αφορά την ενεργής τιμή, είναι πεδίο που αφορά άλλο μάθημα και όχι το παρόν.

5.5 Διαφορά φάσης ανάμεσα σε δύο ηλεκτρικά μεγέθη.

Για να γίνει ποιο κατανοητή η χρονική συνάρτηση, και κυρίως η διαφορά φάσεις που μπορεί να εκφράζουν τέτοιες συναρτήσεις μπορούμε να δούμε το παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 5.5.1: Ημίτονα με διαφορά φάσης ϕ .

Όπως βλέπουμε, παριστάνονται γραφικά δύο ημιτονοειδείς χρονικές συναρτήσεις v_1 και v_2 οι οποίες έχουν τις εξής σχέσεις:

$$v_1 = v_1(t) = V_{1m} \cdot \sin(\omega t) \quad \text{και} \quad v_2 = v_2(t) = V_{2m} \cdot \sin(\omega t + \phi)$$

Όπου:	$v_1 = v_1(t)$	χρονική συνάρτηση v_1
	$v_2 = v_2(t)$	χρονική συνάρτηση v_2
	V_{1m}	μέγιστη τιμή της τάσης v_1
	V_{2m}	μέγιστη τιμή της τάσης v_2
	$(\omega t) + (\omega t + \phi)$	το όρισμα του ημιτόνου
	ϕ	γωνία φάσης
	ωt	κυκλική συχνότητα ή γωνιακή ταχύτητα

Η διαφορά μεταξύ των δύο τάσεων v_1 και v_2 , πέρα από το πλάτος, είναι η γωνία φάσης που έχει σημειωθεί παραπάνω. Αυτή είναι η διαφορά χρόνου που έχουν μεταξύ τους ως προς την έκφραση της κορυφής τους ή προς την έναρξής τους. Μπορούμε εύκολα να καταλάβουμε ότι σε σχέση με το χρόνο η έναρξη του ημιτόνου της τάσης u_2 γίνεται με μία καθυστέρηση χρόνου $t = (\phi/\omega)$. Το συγκεκριμένο φαινόμενο είναι η διαφορά φάσης και μπορούμε να το εκφράσουμε με τους παρακάτω τρόπους λέγοντας:

Έκφραση σε σχέση με την γωνιακή απόκλιση:

- α) Η u_2 καθυστερεί της u_1 κατά μια γωνία ϕ ,
- β) Η u_1 προπορεύεται της u_2 κατά μια γωνία ϕ ,

Έκφραση σε σχέση με την χρονική διαφορά:

- γ) Η u_2 καθυστερεί της u_1 κατά ένα χρόνο $t = (\phi/\omega)$ (sec),
- δ) Η u_1 προπορεύεται της u_2 κατά ένα χρόνο $t = (\phi/\omega)$ (sec).

Για να μην υπάρξει κάποιο μπέρδεμα πρέπει να πούμε το εξής. Από τα παραπάνω δεν χρειάζεται να προσπαθήσουμε να κατανοήσουμε σε βάθος όλες τις λεπτομέρειες. Αυτό που πρέπει να μας μείνει είναι τα βασικά μεγέθη: πλάτος, περίοδος, συχνότητα, μέγιστη, ελάχιστη και ενεργή τιμή.

5.6 Μετρήσεις με τον παλμογράφο.

Η μέτρηση της τάσης και των χρονικών παραμέτρων που αφορούν τις κυματομορφές γίνεται άμεσα από την οθόνη του παλμογράφου. Με απλά βήματα όπως θα δούμε και στη συνέχεια. Για να φτάσουμε όμως στο σημείο να δούμε έχουμε μια ευκρινή εικόνα στο παλμογράφο και να μπορέσουμε να πάρουμε μετρήσεις, πρέπει να προηγηθούν ένα σύνολο από ρυθμίσεις. Υπάρχουν και μετρήσεις που μπορεί να μην είναι άμεσα μετρήσιμες από τον παλμογράφο, όπως παράδειγμα η ενεργή τιμή την οποία την υπολογίζουμε αφού μετρήσουμε στο παλμογράφο την μέγιστη τιμή.

5.6.1 Πρώτες ρυθμίσεις του παλμογράφου - προετοιμασία.

Η διαδικασία σίγουρα ξεκινάει με τη ενεργοποίηση του παλμογράφου.

1) Θέτουμε σε λειτουργία τον παλμογράφο με τον διακόπτη *Power*.

2) Θέτουμε όλα τα περιστροφικά κουμπιά στο μέσον τους, ώστε στην οθόνη του παλμογράφου να εμφανιστεί κάποιο ίχνος της δέσμης. Το πιθανότερο είναι ότι θα δούμε να εμφανίζεται μια ευθεία γραμμή.

3) Ρυθμίζουμε την φωτεινότητα της δέσμης με το *INTENSITY* ώστε να μην είναι πολύ έντονη διότι υπάρχει κίνδυνος να καταστραφεί η οθόνη.

4) Ρυθμίζουμε την εστίαση της δέσμης με το *FOCUS*.

5) Με τα *X POSITION* και *Y POSITION* μετακινούμε την δέσμη στην οθόνη οριζόντια ή κατακόρυφα έτσι ώστε να έρθει στο κέντρο της οθόνης.

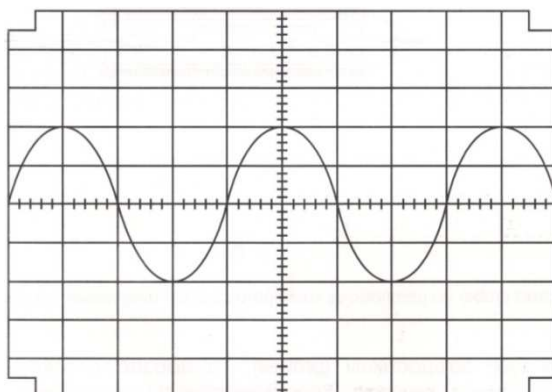
6) είναι σημαντικό να ελέγχουμε κάθε φορά αν οι ροοστάτες βαθμονόμησης είναι στη θέση τους. Η συνηθισμένη θέση του είναι δεξιά και σε συγκεκριμένο χαρακτηριστικό κούμπωμα. Το ποιο σίγουρο απ' όλα είναι να περιστραφεί από την μία πλευρά στην άλλη και να βρεθεί εκείνο το σημείο που εσωτερικά έχει μια χαρακτηριστική εγκοπή αισθητή με το χέρι.

Μετά από αυτά και αφού συνδέσουμε το δοκιμαστικό είμαστε έτοιμοι να πάρουμε μετρήσεις.

Η σύνδεση του δοκιμαστικού γίνεται πιέζοντας το *BNC* συνδετήρα ελαφριά προς τα μέσα και γυρνώντας το δεξιόστροφα για να θηλυκώσει στις εγκοπές της θύρας *CH1* (ή του *CH2*).

5.6.2 Βαθμονόμησης οθόνης.

Αν παρατηρήσετε την οθόνη ενός παλμογράφου (*Εικόνα 5.6.1*), θα δείτε ότι είναι ισόποσα κατανεμημένος σε τέσσερα τεταρτημόρια. Με τη σειρά τους και αυτά είναι βαθμονομημένα με τετραγωνάκια (*Division*), *5x5* σε κάθε τεταρτημόριο.



Εικόνα 5.6: Οθόνη παλμογράφου.

Η τιμή που παίρνει το κάθε τετράγωνο σχετίζεται άμεσα με του ρυθμιστές *Volt/DIV* και *Time/DIV*. Ο ρυθμιστής *Volt/DIV* είναι εκείνος που καθορίζει την τιμή που παίρνουν τα τετράγωνα στον κάθετο άξονα (*Y*), ενώ ο ρυθμιστής *Time/DIV* είναι εκείνος που ρυθμίζει την τιμή των τετραγώνων στον οριζόντιο άξονα (*X*).

Σε κάθε τετράγωνο παρέχονται πέντε (5) μικρότερες υποδιαίρεσεις (*sub - DIV*). Αναλόγως της δοσμένης τιμής κάθε τετραγώνου, η κάθε υποδιαίρεση είναι το ένα πέμπτο ($1/5$) αυτής.

Πρέπει να γνωρίζουμε ότι ο ένας άξονα δεν συνδέετε σε καμία περίπτωση σε ότι αφορά τις ρυθμίσεις, οριζόντιες και κάθετες, με τον άλλον. Δηλαδή, αν για οποιοδήποτε λόγο χρειάζεται να αλλάξουμε τις ρυθμίσεις οριζόντιας σάρωσης αυτό δεν σημαίνει ότι θα αλλάξουν και οι ρυθμίσεις για το πλάτος, όπως και αντίστροφα.

5.6.3 Μέτρηση Συνεχής Τάσης (D.C).

Συνδέουμε τους ακροδέκτες του δοκιμαστικού στο σημείου που πρέπει να εξετάσουμε την άγνωστη τάση. Έχουμε ήδη συνδέσει το καλώδιο του δοκιμαστικού στην είσοδο *CH1* του παλμογράφου.

Εμφανίζουμε την τάση (*δέσμη*) στην οθόνη του παλμογράφου σύμφωνα με τα προηγούμενα.

Πριν από την μέτρηση της τάσης με τον παλμογράφο πρέπει να καθορίσω τον οριζόντιο άξονα. Θα πρέπει δηλαδή να καθορήσω το σημείο απ' όπου θα αρχίσει η μέτρηση μου.

Αυτό γίνεται ως εξής:

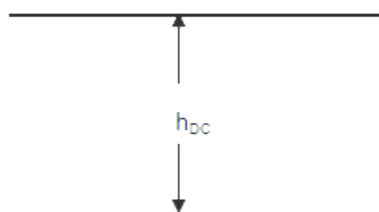
- Θέτοντας τον διακόπτη του *CH1* στη θέση *GND*.

- Η οριζόντια γραμμή που εμφανίζεται στην οθόνη καθορίζει τον οριζόντιο άξονα, δηλαδή τον άξονα του μηδενός. Μπορώ να αλλάξω τη θέση της δέσμης με τον ρυθμιστή κάθετης μετατόπισης (*Position Y*) και να την τοποθετήσουμε όπου είναι πιο εύκολο για μας.

- Στην συνέχεια μετακινούμε τον επιλογέα του *CH1* στη θέση *D.C.* οπότε θα παρατηρήσουμε μια μετατόπιση του σήματος (*μετατόπιση της γραμμής*). Αν η τάση που μελετάμε είναι θετική, η γραμμή (*η δέσμη*) μετατοπίζεται προς τα επάνω. Για αρνητική τάση, η γραμμή μετατοπίζεται προς τα κάτω.

Και στις δυο περιπτώσεις, αυτό που πρέπει να κάνουμε είναι να μετρήσουμε αυτή την κατακόρυφη μετατόπιση h_{DC} του σήματος σε τετράγωνα πάνω στην οθόνη .

Στη περίπτωση που το σήμα έχει "βγει" εκτός οθόνης και συνεπώς δεν υπάρχει η δυνατότητα μέτρησης, αυτό σημαίνει ότι πρέπει να ρυθμίσω την βαθμονόμηση του κάθετου άξονα να είναι μεγαλύτερη, περιστρέφοντας το *Volt/DIV*. Η βαθμονόμηση πρέπει να γίνει μέχρι εκεί που θα παρατηρήσω το σήμα να εμφανίζεται στην οθόνη. Σημειώνω τότε την ένδειξη *Volt/DIV* την οποία πολλαπλασιάζουμε με την κατακόρυφη μετατόπιση h_{DC} της ένδειξης και σαν αποτέλεσμα θα έχουμε την τιμή της τάσης.



Εικόνα 5.7: Μετατόπιση συνεχής τάσης κατά τη μέτρηση με παλμογράφο.

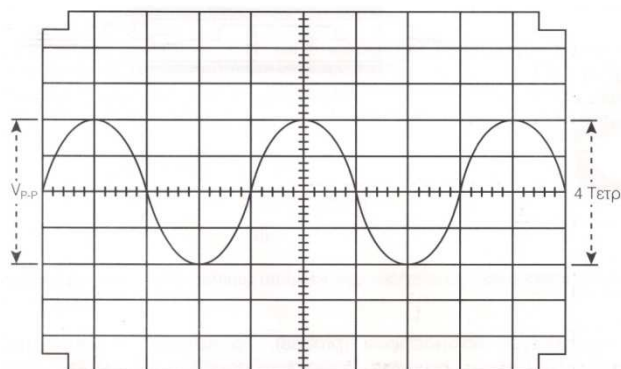
5.6.4 Μέτρηση Εναλλασσόμενης Τάσης (AC).

Εδώ τα πράγματα είναι λίγο πιο εύκολα. Αφού έχουμε ήδη συνδέσει το καλώδιο του δοκιμαστικού στην είσοδο *CH1* του παλμογράφου, συνδέουμε τους ακροδέκτες του δοκιμαστικού στο σημείο που πρέπει να εξετάσουμε την άγνωστη τάση.

Στην συνέχεια μετακινούμε τον επιλογέα του *CH1* στη θέση *A.C.* για να εμφανιστεί στην οθόνη καθαρά η κυματομορφή τάσης χωρίς να περιέχει μέσα και συνεχή συνιστώσα.

Τώρα ρυθμίζουμε με το *Volt/DIV* ώστε η κυματομορφή της τάσης να φαίνεται στην οθόνη και με τα κατάλληλα ρυθμιστικά τοποθετώ την κυματομορφή στο κατάλληλο σημείο στην οθόνη. Ρυθμίζουμε την σάρωση χρόνου (*Time/DIV*) ώστε να εμφανιστούν μερικές περιόδους του σήματος όπως στην παρακάτω *Εικόνα 5.6.1*.

Τώρα αυτό που μένει να κάνουμε είναι να μετρήσουμε το πλάτος της κυματομορφής από κορυφή σε κορυφή (*peak to peak, p-p*) σε τετράγωνα. Ο πολλαπλασιασμός της μέτρησης αυτή με την ένδειξη του *Volt/DIV*. Το αποτέλεσμα αυτό μας δίνει την τάση από κορυφή σε κορυφή (V_{p-p}) και είναι αυτή που απεικονίζεται στην παρακάτω *Εικόνα 5.6.3*.

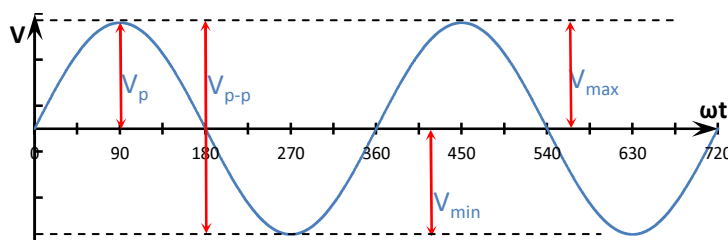


Εικόνα 5.8: Μέτρηση τάσης από κορυφή σε κορυφή μέσω παλμογράφου.

Αν υποθέσουμε ότι η μέτρηση μας είναι αυτή που φαίνεται παραπάνω, και το *Volt/DIV* είναι στη θέση *2 Volt/DIV* τότε η τάση από κορυφή σε κορυφή είναι:

$$V_{p-p} = 4 \text{ Volt/DIV} \cdot 4 \text{ DIV} = 4 \text{ Volt/DIV} \cdot 4 \text{ DIV} = 16 \text{ V}$$

Παρακάτω ακολουθεί μια εικόνα που δείχνει σχηματικά τη σχέση της τάσης από κορυφή σε κορυφή με την τάση κορυφής και την ενεργή και την μέγιστη τιμή της τάσης όπου αναφερθήκαμε προηγουμένως.



Εικόνα 5.9: Τάσεις κορυφής και κορυφής - κορυφής.

Όπως εύκολα μπορούμε να καταλάβουμε, η σχέση μεταξύ V_{p-p} και πλάτους V_0 ή V_{max} είναι:

$$V_0 = V_{max} = \frac{V_{p-p}}{2} = V_p$$

Η σχέση πλάτους και ενεργού τιμής V_{rms} ή $V_{εν}$ είναι:

$$V_{rms} = V_{εν} = \frac{V_0}{\sqrt{2}}$$

Έτσι λοιπόν, σύμφωνα με τα παραπάνω, εάν $V_{p-p} = 16 V$ τότε:

$$V_p = \frac{V_{p-p}}{2} = \frac{16 V}{2} = 8 Volt$$

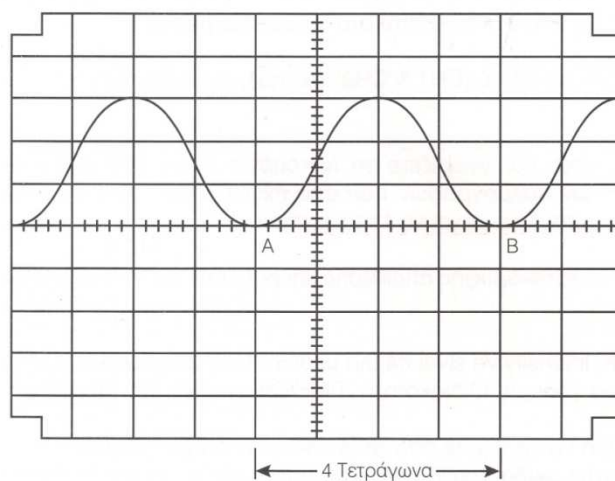
Και η ενεργή τιμή της τάσης θα είναι:

$$V_{rms} = \frac{V_p}{\sqrt{2}} = \frac{8 V}{\sqrt{2}} = 5.65 Volt$$

5.6.5 Μέτρηση συχνότητας.

Στη περίπτωση της συχνότητας ακολουθούμε τα ίδια βήματα που κάναμε και για την μέτρηση του πλάτους. Αφού λοιπόν, έχουμε ήδη συνδέσει το καλώδιο του δοκιμαστικού στην είσοδο **CH1** του παλμογράφου, συνδέουμε τους ακροδέκτες του δοκιμαστικού στο σημείο που πρέπει να εξετάσουμε την άγνωστη τάση και στη συνέχεια μετακινούμε τον επιλογέα του **CH1** στη θέση **A.C.** όπως και παραπάνω.

Στη συνέχεια ρυθμίζουμε με το **Volt/DIV** ώστε η κυματομορφή της τάσης να φαίνεται στην οθόνη. Ρυθμίζουμε την σάρωση χρόνου (**Time/DIV**) ώστε να εμφανιστούν μερικές περιόδους του σήματος όπως στην παρακάτω **Εικόνα 5.6.5**. Κατά προτίμηση να μην είναι πάνω από δύο και όχι λιγότερες από μια περιόδους γιατί σε αυτή τη περίπτωση δεν μπορούμε να μετρήσουμε. Επίσης είναι προτιμότερο να ρυθμίσουμε την καμπύλη έτσι ώστε οι κάτω κορυφές της να εφάπτονται στην οριζόντια κεντρική γραμμή της οθόνης με τις μικρές υποδιαίρέσεις και μάλιστα με την μία από τις δυο κορυφές να βρίσκεται σε σημείο τομής της οριζόντιας κεντρικής γραμμής με μία κατακόρυφη (**Σημείο A** στην **Εικόνα 5.6.5**).



Εικόνα 5.10: Μέτρηση της περιόδου μέσω παλμογράφου.

Μετρώντας χρονική διάρκεια μιας περιόδου σε τετράγωνα και πολλαπλασιάζοντας τη μέτρηση αυτή με την ένδειξη του **Time/DIV**, θα έχουμε σαν αποτέλεσμα το συνολικό χρόνο της περιόδου **T**. Αν υποθέσουμε ότι η ένδειξη στο **Time/DIV** είναι **2 ms**, τότε:

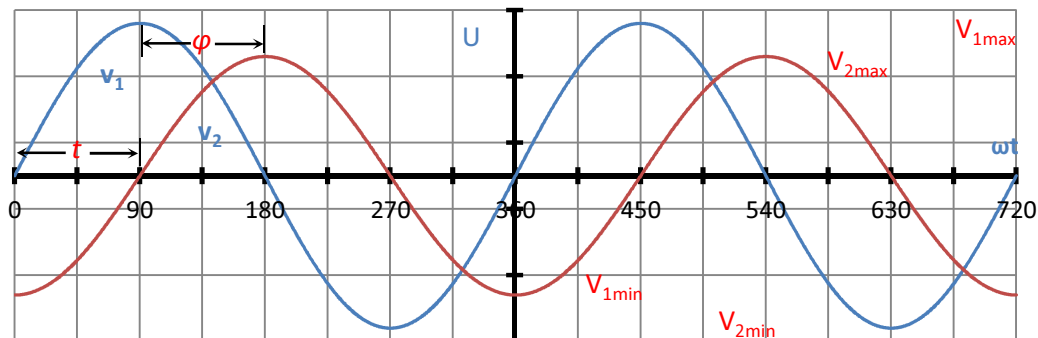
$$T = 2 ms \cdot 4 DIV = 8 ms \Rightarrow T = 8 \cdot 10^{-3} sec$$

Και η συχνότητα θα είναι:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{8 \cdot 10^{-3} \text{ sec}} = 125 \text{ Hz}$$

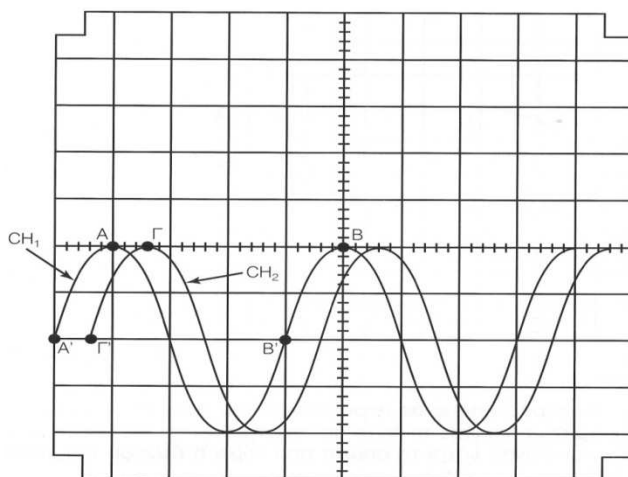
5.6.6 Μέτρηση διαφοράς φάσης.

Έστω ότι διαβιβάζουμε στο CH1 μια τάση $V = V_0 \eta\mu(\omega t)$ και στο CH2 μια τάση $V = V_0 \eta\mu(\omega t + \phi)$. Η εικόνα που θα πάρουμε στην οθόνη του παλμογράφου θα έχει την παρακάτω μορφή.



Εικόνα 5.11: Μέτρηση διαφοράς φάσης στην οθόνη του παλμογράφου.

Όπως έχουμε αναφέρει ξανά, παρατηρούμε ότι υπάρχει μια μετατόπιση κατά ένα χρόνο t . Μετρώντας την μετατόπιση αυτή σε τετράγωνα στο παλμογράφο, μπορώ να βρω τη διαφορά φάσης. Σχηματικά στο παλμογράφο θα δούμε ότι δείχνει και η αμέσως επόμενη εικόνα.



Εικόνα 5.12: Μέτρηση διαφοράς φάσης στο παλμογράφο.

Αν η χρονική διαφορά που βλέπουμε παραπάνω (A-Γ) είναι τρεις (3) γραμμές της υποδιαίρεσης ενός τετραγώνου και στη επιλογή *Time/DIV* ο χρόνος μέτρησης είναι 0.2 sec , τότε η διαφορά φάσης θα είναι:

$$\Delta t = 0.2 \text{ s} \cdot 0.6 \text{ DIV} = 0.12 \text{ s} \Rightarrow \Delta t = 0.12 \text{ sec}$$

Η περίοδος T και των δύο κυματομορφών είναι κοινή. Σε διαφορετική περίπτωση δεν θα μπορούσαμε να μιλήσουμε για διαφορά φάσης. Ας υποθέσουμε ότι η συχνότητα είναι ίδια με αυτή του δικτύου στο σπίτι μας.

Η κυκλική συχνότητα στη προκειμένη περίπτωση είναι:

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f = 314 \text{ rad/sec}$$

Και η διαφορά φάσης θα είναι:

$$\Delta\varphi = \omega \cdot t = 314 \text{ rad/sec} \cdot 0.12 \text{ sec} = 37.68^\circ$$

Η διαφορά φάσης δίνεται και από τον ακόλουθο τύπο αν δεν θέλουμε να μπλέξουμε στις πράξεις μας την κυκλική συχνότητα:

$$\Delta\varphi = 360^\circ \cdot \frac{\Delta t}{T} = 2\pi \cdot \frac{0.12}{0.02} = 37.68^\circ$$

Όπου 2π είναι 360° στερεάς γωνίας. Δηλαδή αν οι πράξεις σας γίνουν σε μοίρες θα προκύψουν λανθασμένα αποτελέσματα. Στο παραπάνω τύπο, σημειώνεται για τυπικούς λογούς υποδηλώνοντας με το τρόπο αυτό την μέτρηση της γωνίας με δύο διαφορετικούς τρόπους. Είναι σαφέστατα λάθος να χρησιμοποιήσουμε την μία περίπτωση ή την άλλη όπου δεν όπου δεν χρειάζεται ή όπως μας βολεύει.

Με την παραπάνω μέθοδο μπορούμε να μετρήσουμε την διαφορά φάσης μεταξύ εισόδου - εξόδου ενός δικτυώματος όπως για παράδειγμα σε μία ενισχυτική βαθμίδα ενός ενισχυτή.

5.7 Γεννήτρια συχνοτήτων.

Για τη λήψη μετρήσεων με το παλμογράφο, χρησιμοποιούμε μια διάταξη την οποία αποκαλούμε γεννήτρια συχνοτήτων ή παλμογεννήτρια. Η γεννήτρια μας παρέχει την δυνατότητα να δημιουργούμε τάσεις με ημιτονοειδή μορφή, τριγωνική και τετραγωνική σε μία μεγάλη περιοχή συχνοτήτων ($0 - 3 \text{ MHz}$). Επίσης παρέχει τη δυνατότητα ρύθμισης πλάτους από κάποια mV_{p-p} μέχρι κάποια V_{p-p} . Η χρήση τέτοιων μέσων παρέχει πολλές ευκολίες όπως για παράδειγμα η εύρεση του πεδίου συχνοτήτων που μπορεί να ενισχύσει ένα στοιχείο όπως το τρανζίστορ ή άλλα στοιχεία όπως το *MOSfet*. Ακόμα, μπορούμε να δούμε με ευκολία να εξετάσουμε τη συμπεριφορά ενός κυκλώματος συντονισμού στη συχνότητα συντονισμού f_0 .

5.8 Εργαστηριακή άσκηση.

1. Μελετήστε προσεκτικά όλες τις ρυθμίσεις που υπάρχουνε στη πρόσοψη του παλμογράφου και διευκρινίστε τη λειτουργία τους όπως αναφέρεται στο προηγούμενο θεωρητικό μέρος. Ξεχωρίστε τις διάφορες κατηγορίες ρυθμιστικών λειτουργιών όπως και στην παραπάνω περιγραφή. Ξεχωρίστε τις λειτουργίες του κάθε καναλιού.
2. Αφού βεβαιωθείτε για και αναγνωρίσετε τις βασικότερες λειτουργίες του, ενεργοποιήστε τον παλμογράφο. Αφού περιμένετε λίγο να λειτουργήσει ο παλμογράφος, προσπαθήστε να ρυθμίσετε τον παλμογράφο και να τον ετοιμάσετε για την λήψη μετρήσεων.
3. Συνδέστε το δοκιμαστικό (*Probe*) στο πρώτο κανάλι (*CH1*). Με τη βοήθεια του ρυθμιστή εστίασης (*Focus*) προσπαθήστε να πετύχετε όσο το δυνατό λεπτότερη γραμμή. Έπειτα ακουμπήστε το δάκτυλο σας στην μία άκρη του *probe*. Επαναλάβετε δοκιμάζοντας και με το άλλο άκρο του δοκιμαστικού. Σημειώστε τις παρατηρήσεις σας στο τετράδιο.
4. Ρυθμίστε το τροφοδοτικό συνεχούς τάσης με τη βοήθεια ενός βολτομέτρου, έτσι ώστε στην έξοδο του να παρέχει τάση $V_o=10\text{ Volt}$. Συνδέστε στην έξοδο του τροφοδοτικού το παλμογράφο και μετρήστε μέσω του παλμογράφου την τάση εξόδου.

Μέτρηση βολτομέτρου: $V_{DC} = \dots\dots\dots\text{ Volt}$.

Μέτρηση παλμογράφου: $V_{DC} = \dots\dots\dots\text{ Volt}$.

Τι παρατηρείτε σε σχέση με τις δύο μετρήσεις. Παρατηρείτε κάποια διαφορά και αν ναι που νομίζεται ότι οφείλεται;

5. Μελέτη της γεννήτριας παλμών.

- i. Συνδέστε στην έξοδο της γεννήτριας κυματομορφών ένα αναλογικό βολτόμετρο (*κλίμακα AC*). Ρυθμίστε την τάση εξόδου έτσι ώστε να είναι μέγιστη και η μείωση 0 db (*attenuation*), ενώ η συχνότητα να είναι 50 Hz . Καταγράψτε την τάση:

$$V_{max} = \dots\dots\dots\text{ Volt}$$

- ii. Αλλάξτε την μείωση σε -20 db . Πόση είναι η τάση σε αυτή τη περίπτωση;

$$V_{-20db} = \dots\dots\dots\text{ Volt}$$

- iii. Επαναφέρετε την μείωση στο 0 db και αλλάξτε τη συχνότητα σε 1 Hz . Επιλέξτε κλίμακες συνεχούς τάσης και παρακολουθήστε την κίνηση της βελόνας. Τι παρατηρείτε;

- iv. Στη συνέχεια του προηγούμενου βήματος, αρχίστε να αυξάνετε τη συχνότητα. Μέχρι πότε μπορεί το συγκεκριμένο όργανο να παρακολουθεί με την εναλλαγή με τη βελόνα.

$$f_{max} = \dots\dots\dots\text{ Hz}$$

Σημείωση: τα παραπάνω δεν μπορούν να πραγματοποιηθούν με το ψηφιακό όργανο.

6. Μέτρηση εναλλασσόμενης τάσης.

- i. Ρυθμίστε τη γεννήτρια παλμών σε έξοδο ημιτονική με συχνότητα $f=12\text{ kHz}$.
- ii. Με τη βοήθεια ενός βολτομέτρου ρυθμίστε το πλάτος της τάσης έτσι ώστε να είναι $V_{rms}=1\text{ Volt}$.
- iii. Αφού συνδέσετε στην έξοδο της γεννήτριας το παλμογράφο επιλέξτε την κατάλληλη ρύθμιση $Volt/Div$ και $Time/Div$ για να μετρήσετε με τη μέγιστη δυνατή ακρίβεια τη τάση V_{p-p} και V_p .

Επιλογή ρύθμισης: $Volt/Div:$
 $Time/Div:$

Μέτρηση με τετράγωνα: $V_{p-p}=.....Div$
 $V_p=.....Div$

Υπολογισμός τάσης: $V_{p-p}=.....Volt$
 $V_p=.....Volt$

iv. Υπολογίστε την ενεργή τιμή σε σχέση με την μέτρηση στον παλμογράφο.

Μέτρηση βολτομέτρου: $V_{rms}=.....Volt$.
Μέτρηση παλμογράφου: $V_{rms}=.....Volt$.

Τι παρατηρείτε σε σχέση με τις δύο μετρήσεις. Παρατηρείτε κάποια διαφορά; Αν ναι, που νομίζεται ότι οφείλεται;

v. Να επαναληφθεί το προηγούμενο βήμα για τις υπόλοιπες τάσεις του παρακάτω πίνακα και να συμπληρωθούν οι ζητούμενες τιμές.

Μετρήσεις με Βολτόμετρο			Μετρήσεις με Παλμογράφο			
V_{rms} (V)	V_p	V_{p-p}	V_{p-p}	V_p	V_{rms} (V)	$Volt/DIV$
1						
2						
3						
4						
5						

7. Μέτρηση συχνότητας με παλμογράφο.

- i. Ρυθμίστε τη γεννήτρια συχνοτήτων ώστε να δίνει στην έξοδο ημιτονοειδή τάση συχνότητας $f=1\text{ kHz}$ και ρυθμίστε το πλάτος της τάσης $V_{p-p}=3\text{ Volt}$.
- ii. Αφού συνδέσετε στην έξοδο της γεννήτριας το παλμογράφο, επιλέξτε την κατάλληλη ρύθμιση $Volt/Div$ και $Time/Div$ για να μετρήσετε με τη μέγιστη δυνατή ακρίβεια τη περίοδο T .

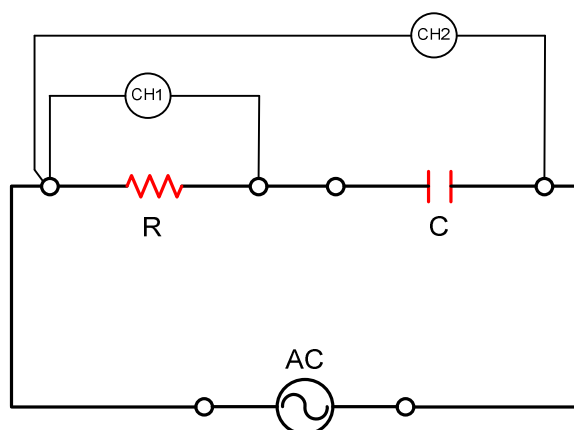
- Επιλογή ρύθμισης: $Time/DIV:$
- Μέτρηση με τετράγωνα: $T = \dots\dots\dots Div$
- Υπολογισμός χρόνου: $T = \dots\dots\dots sec$
- Υπολογισμός γωνίας: $\varphi = \dots\dots\dots^\circ$ (μοίρες)

- iii. Δοκιμάστε διάφορες τιμές $Time/Div$ και $Volt/Div$ για να δείτε την επίδραση τους στην απεικόνιση του σήματος. Περιγράψτε τις παρατηρήσεις σας.
- iv. Ρυθμίστε το παλμογράφο στο $1 Volt/Div$ και επιλέξτε το κατάλληλο $Time/Div$ για να μετρήσετε με τη μέγιστη δυνατή ακρίβεια την περίοδο και τη συχνότητα για διάφορες συχνότητες όπως αυτές δίνονται παρακάτω στον πίνακα που ακολουθεί.

f (kHz)	T (sec)	f = 1/T	Volt/div	Div
1				
5				
10				
150				
1000				

8. Συνδέστε την γεννήτρια στα άκρα ενός κυκλώματος που αποτελείτε από μία αντίσταση και ένα τουλάχιστον παθητικό στοιχείο (π.χ. R-C).

- i. Ρυθμίστε την γεννήτρια παλμών ώστε η συχνότητα να είναι $f=50 Hz$ και η τάση του κυκλώματος να είναι $V_o=3 V_{p-p}$. Πραγματοποιήστε την σύνδεση όπως ακριβώς αυτή φαίνεται παρακάτω:



- Στοιχεία κυκλώματος: $R = \dots\dots\dots \Omega$
- $C = \dots\dots\dots F$

- ii. Μετρήστε με το κατάλληλο τρόπο την περίοδο των δύο σημάτων. Επίσης να μετρήσετε την χρονική διαφορά των δύο σημάτων και να υπολογίσετε τη διαφορά φάσης.

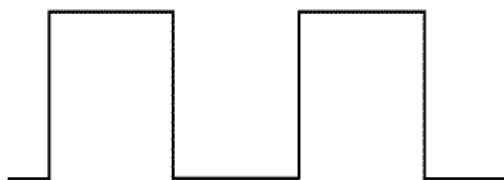
- iii. Πραγματοποιήστε μετρήσεις για διάφορες τιμές συχνότητας και καταχωρήστε τις μετρήσεις σας στο παρακάτω πίνακα.

f (kHz)	T (sec)	Δt	ϕ	Volt/div	Div
0,1					
1					
10					
100					
1000					

- iv. Παρατηρείτε κάποια διαφορά; Καταγράψτε τις παρατηρήσεις σας και προσπαθήστε να τις ερμηνεύσετε.

5.9 Ερωτήσεις.

1. Με τι σχετίζεται το ότι ο καθοδικός σωλήνα βρίσκεται υπό κενό; Διατυπώστε τη γνώμη σας ελεύθερα όποια κι αν είναι αυτή. Μπορείτε αν θέλετε να κάνετε μια μικρή έρευνα.
2. Στα εργαστήρια της *Toyota* παρακολουθούν την συμπεριφορά του νέου εκκεντροφόρου για διάφορες ταχύτητες περιστροφής, σε νέας τεχνολογίας αγωνιστικούς κινητήρες. Αυτή τη στιγμή η ταχύτητα περιστροφής έχει φτάσει 1000 rad/sec . Η ταχύτητα αυτή δίνεται μέσω επαγωγικού τύπου αισθητήρα συνδεδεμένο κατάλληλα με τον παλμογράφο. Η περιστροφή αυτή δημιουργεί το ημίτονο που βλέπουμε στην *Εικόνα 5.2.2*.
Μπορείτε να βρείτε πόση είναι η συχνότητα σάρωσης σε αυτή τη περίπτωση λειτουργίας του παλμογράφου;
3. Για την προηγούμενη άσκηση, βρείτε τις ρυθμίσεις χρόνου και τάσης (*Time/div και Volt/div*) αν η τάση εξόδου του αισθητήρα είναι 100 mV .
4. Στον παλμογράφο εμφανίζεται μια εναλλασσόμενη τάση με πλάτος 2 Volt και συχνότητα 500 Hz και η απεικόνιση αυτή γίνεται με τις εξής ρυθμίσεις: $\text{Volt/Div} = 0.5 \text{ Volt}$ και $\text{Time/Div} = 1 \text{ } \mu\text{sec}$. Μπορείτε να πάρετε μετρήσεις υπό αυτές τις συνθήκες; Δικαιολογήστε την απάντησή σας.
5. Στην προηγούμενη περίπτωση, να υπολογίσετε την περίοδο και την ενεργό τιμή της τάσης.
6. Τοποθετώντας την μία άκρη του δοκιμαστικού στην υποδοχή *CAL* του παλμογράφου θα πρέπει να εμφανιστεί στην οθόνη του παλμογράφου μια τετραγωνική κυματομορφή. Γνωρίζουμε ότι η συγκεκριμένη υποδοχή μας δίνει ένα ακριβές τετραγωνικό παλμό πλάτους 5 V_{p-p} . Όπως αυτό που φαίνεται παρακάτω:



Σε διαφορετική περίπτωση όμως, μπορεί να εμφανιστεί στην οθόνη μας μία αλλοιωμένη κυματομορφή όπως η παρακάτω:



Μπορείτε να εξηγήσετε γιατί η απεικόνιση δεν είναι καλή; Που νομίζεται ότι οφείλετε η παραμόρφωση;

Άσκηση 6

Φορτία, ηλεκτρικό πεδίο και δυναμικές γραμμές. Πυκνωτές.

6.1 Εισαγωγή.

Η μελέτη των αλληλεπιδράσεων μεταξύ φορτισμένων σωμάτων ξεκινά από τον Θαλή το Μιλήσιο (600 π.Χ.), ο οποίος τρίβοντας το ήλεκτρο (*κεχριμπάρι*) με ξηρό ύφασμα, παρατήρησε ότι αυτό μπορεί να έλκει μικρά αντικείμενα όπως μικρά κομμάτια χαρτιού. Γι' αυτό το φαινόμενο ονομάστηκε ηλεκτρισμός.

Ξεκινώντας με την μελέτη του ηλεκτρισμού και τις ιδιότητες του ηλεκτρικού φορτίου θα μας απασχολήσουν έννοιες όπως η γβάντωση του φορτίου, δυναμικό πεδίο, αλλά και μετέπειτα κατά την ανάλυση των πυκνωτών όπου θα μας απασχολήσουν σχετικές έννοιες όπως χωρητικότητα, φόρτιση και εκφόρτιση, και ενέργεια.

Όσοσο δεν πρέπει να ξεχνάμε ότι ένας μηχανικός πρέπει να έχει σφαιρική αντίληψη. Ορισμοί όπως οι προηγούμενοι αναφέρονται επανειλημμένα όχι μόνο στη καθημερινή μας ζωή αλλά και στην επαγγελματική. Η ελλιπής γνώση όσο και η ελλιπής κατανόηση της έννοιας του πεδίου μπορεί να μας οδηγήσει σε λανθασμένες αντιλήψεις ή και απόσχιση από το πραγματικό πρόβλημα συνεπώς και από τη λύση του.

Θα κάνουμε μία προσπάθεια να εμβαθύνουμε ακόμα περισσότερο και κατανοώντας στο μέγιστο δυνατό της έννοιες φορτίο, ηλεκτρικό πεδίο και τη σημασία των δυναμικών γραμμών.

Αν παρατηρήσουμε την πορεία των σπουδών και ταυτόχρονα τις απαιτήσεις σε επαγγελματικό επίπεδο, είναι απαραίτητο ένας ηλεκτρολόγος μηχανικός να είναι εξοικειωμένος με τις παραπάνω έννοιες. Ακόμα και στα μετέπειτα μαθήματα της σχολής θα δείτε ότι απαιτείται γνώση του ηλεκτρικού δυναμικού και μαγνητικών κυκλωμάτων. Όλα αυτά ξεκινάνε με βάση το ηλεκτρικό φορτίο και τον νόμο που εξηγεί τα φαινόμενα που το αφορούν, ο νόμος του *Coulomb*.

6.2 Νόμος του Coulomb.

Ο νόμος του *Coulomb* περιγράφει την αλληλεπίδραση δύο φορτισμένων σωμάτων ή καλύτερα περιγράφει τις δυνάμεις μεταξύ σημειακών ηλεκτρικών φορτίων. Μετά από μία σειρά πειραμάτων, ο *Coulomb* κατάφερε να μετρήσει τις δυνάμεις που αναπτύσσονται μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων. Τα συμπεράσματά του τα διατύπωσε με τον παρακάτω νόμο:

«Κάθε σημειακό φορτίο ασκεί δύναμη σε κάθε άλλο σημειακό φορτίο. Το μέτρο της δύναμης (*ελκτική ή απωστική*) που επενεργεί σε δύο σημειακά φορτία, είναι ανάλογο με το γινόμενο των φορτίων καθώς και αντίστροφα ανάλογο με το τετράγωνο της μεταξύ τους απόστασης τους».

Η αντίστοιχη μαθηματική διατύπωση του νόμου είναι:

$$F = k \cdot \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r^2}$$

Όπου:	F	το μέτρο της δύναμης
	Q και q	τα μέτρα των σημειακών φορτίων
	r	η απόσταση μεταξύ των κέντρων των φορτίων σε μέτρα
	$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$	είναι ένας συντελεστής αναλογίας
	ϵ_0	διηλεκτρική σταθερά του κενού και έχει τιμή: $\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^9} \frac{\text{farad}}{\text{metre}} \left(\frac{\text{F}}{\text{m}} \right)$

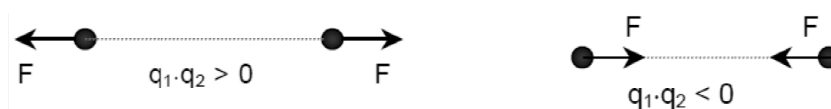
Πληροφοριακά να πούμε ότι k είναι ένας συντελεστής που εξαρτάται από το σύστημα των μονάδων που χρησιμοποιούνται για την εξίσωση και από τη φύση του υλικού που παρεμβάλλεται

ανάμεσα στα φορτία. Για το σύστημα μονάδων *S.I.* και για το κενό η τιμή της σταθεράς είναι: $k_{\eta\lambda} = 9 \cdot 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2$. Επίσης η τιμή του k συνδέεται στενά με την ταχύτητα του φωτός.

Αξίζει να αναφερθεί ότι η σχέση που προτείνει ο *Coulomb* για την εξέταση των δυνάμεων που ασκούνται στα φορτία είναι όμοια με εκείνη της βαρύτητας. Οι αλληλεπιδράσεις αυτές όμως αποτελούν δύο διαφορετικής κλάσης φαινόμενα. Οι βαρυτικές δυνάμεις που πάντα είναι ελκτικές και εξαρτώνται από τη μάζα του σώματος (*δεδομένου ότι δεν υπάρχουν αρνητικές μάζες*) ενώ τα ηλεκτρισμένα σώματα που έχουν ομόσημα (*ομώνυμα*) φορτία απωθούνται ενώ τα σώματα που έχουν ετερόσημα (*ετερώνυμα*) φορτία έλκονται και αυτό εξαρτάται από το αλγεβρικό άθροισμα των φορτίων.

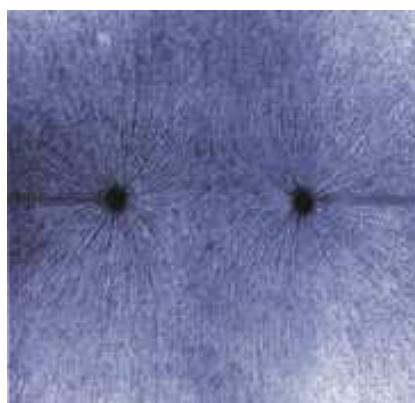
Συνοπτικά μπορούμε να διατυπώσουμε τα παρακάτω. Η δύναμη *Coulomb*:

1. Έχει μέτρο. Αυτό σημαίνει ότι υπολογίζεται από σχέση, που είναι νόμος του *Coulomb*.
2. Έχει διεύθυνση. Τη διεύθυνση της ευθείας που ενώνει τα δύο σημειακά φορτία, που είναι και φορέας της. Δηλαδή είναι κεντρικές δυνάμεις.
3. Έχει φορά. Οι δυνάμεις *Coulomb* είναι ελκτικές για ετερώνυμα ($q_1 \cdot q_2 < 0$) και απωστικές για ομώνυμα ($q_1 \cdot q_2 > 0$) ηλεκτρικά φορτία.



4. Έχει σημείο εφαρμογής. Σημείο εφαρμογής θεωρούνται τα σημειακά φορτία q_1 και q_2 .
5. Είναι δύναμη διατηρητική (ή *συντηρητική*).

Στην επόμενη εικόνα που ακολουθεί, φαίνεται το ηλεκτρικό φάσμα δυο ίδιων ηλεκτρικών φορτίων που ασκούν δυνάμεις μεταξύ τους (*απωστικές*).



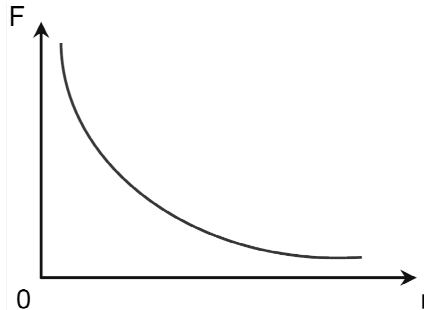
Εικόνα 6.1: Δυναμικές γραμμές πεδίου δύο ίσων αρνητικών φορτίων.

Για να ισχύει ο νόμος του *Coulomb* πρέπει να υπάρχουν οι παρακάτω προϋποθέσεις:

1. Τα φορτισμένα σώματα πρέπει να είναι σημειακά ή να έχουν σφαιρική κατανομή του φορτίου τους, οπότε το φορτίο θεωρείται συγκεντρωμένο στο κέντρο της σφαίρας.
2. Τα φορτισμένα σώματα πρέπει να είναι ακίνητα.

Επίσης, σχετικά με την απόσταση, είναι γνωστό ότι η αναλογία της ηλεκτρικής δύναμης προς το τετράγωνο της απόστασης έχει επαληθευτεί με μεγάλη ακρίβεια και μπορούμε να πούμε ότι ο εκθέτης εξασθένησης λόγω της απόστασης είναι **2** ακριβώς.

Αν προσπαθήσουμε να δώσουμε μια γραφική ερμηνεία του νόμου του *Coulomb* για να δούμε την εξάρτησης των δυνάμεων που ασκούνται σε σχέση με την απόσταση θα δούμε την παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 6.2: Η γραφική παράσταση της σχέσης $F = f(r)$.

Όπως φαίνεται και από την γραφική αναπαράσταση η δύναμη F εξασθενεί όσο η απόσταση μεγαλώνει. Η ελλειψοειδής καμπύλη δείχνει την εξασθένηση σε σχέση με το τετράγωνο της απόστασης.

6.3 Το ηλεκτρικό φορτίο, ηλεκτρισμός.

Ηλεκτρικό φορτίο Q ή q ονομάζεται το φυσικό μέγεθος με το οποίο εξηγούνται οι αλληλεπιδράσεις ανάμεσα στα ηλεκτρισμένα σώματα και γενικότερα το φαινόμενο του ηλεκτρισμού. Με απλά λόγια θα μπορούσαμε να πούμε ότι το ηλεκτρικό φορτίο είναι μια ιδιότητα της ύλης.

Υπάρχουν δύο είδη ηλεκτρικών φορτίων το θετικό (+) που βασικός του φορέας είναι το πρωτόνιο και το αρνητικό (-) που βασικός του φορέας είναι το ηλεκτρόνιο. Γενικότερα η ύλη εμφανίζεται ουδέτερη μιας και ο αριθμός των πρωτονίων του πυρήνα είναι ίδιος με τα ηλεκτρόνια που περιστρέφονται γύρω από αυτόν.

Το ηλεκτρικό φορτίο παρουσιάζει τις παρακάτω ιδιότητες:

- i. Το ηλεκτρικό φορτίο εμφανίζεται σε πακέτα φορτίου που τα ονομάζουμε κβάντα.
- ii. Τα φορτία των σωμάτων που βρίσκονται στο εσωτερικό των ατόμων, ούτε δημιουργούνται, ούτε καταστρέφονται.

6.3.1 Κβάντωση του φορτίου

Έξω από τον πυρήνα, στοιχισμένα σε στοιβάδες, το ηλεκτρικό φορτίο που δημιουργείται από τα ηλεκτρόνια, είναι ακέραιο πολλαπλάσιο του φορτίου του ηλεκτρονίου. Το ηλεκτρικό φορτίο υπάρχει μόνο σε ασυνεχείς ποσότητες. Αυτή την ιδιότητα την αποκαλούμε κβάντωση του φορτίου.

Στη πράξη η ελάχιστη ποσότητα φορτίου που υπάρχει στη φύση είναι το στοιχειώδες ηλεκτρικό φορτίο που συμβολίζεται με το e και ισούται περίπου με $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$. Άρα το φορτίο Q κάθε φορτισμένου σώματος είναι κβαντισμένο και έχει τιμή : $Q = n \cdot e$ με $n = 1, 2, 3 \dots$

Δηλαδή η τιμή του ηλεκτρικού φορτίου δεν μπορεί να είναι $e = 2 \cdot 10^{-19} \text{ C}$, παρά μόνο πολλαπλάσιο, π.χ. $4e \cdot 10^{-19} \text{ C}$.

6.3.2 Ελεύθερα ηλεκτρόνια

Οι πιο συνηθισμένοι αγωγοί είναι οι μεταλλικοί. Η μεγάλη αγωγιμότητά τους οφείλεται στα ελεύθερα ηλεκτρόνια. Αυτά είναι μερικά από τα ηλεκτρόνια σθένους του μετάλλου τα οποία κινούνται ελεύθερα προς όλες τις κατευθύνσεις ανάμεσα στα ιόντα του μεταλλικού πλέγματος. Ο αριθμός τους αποτελεί κριτήριο για την διάκριση των σωμάτων σε αγωγούς, ημιαγωγούς και μονωτές. Στους αγωγούς είναι περίπου 10^{23} ηλεκτρόνια ανά cm^3 , στους ημιαγωγούς 10^{13} ηλεκτρόνια ανά cm^3 και στους μονωτές είναι ασήμαντος.

Σαν μέτρο σύγκρισης, για να αντιληφθούμε το μέγεθος του φορτίου να παραθέσουμε μερικά παραδείγματα. Ο πληθυσμός της Γης είναι περίπου 6×10^9 άνθρωποι και ένας χάλκινος κύβος με πλευρά 1 cm περιέχει περίπου $2,4 \times 10^{24}$ ηλεκτρόνια.

Γενικότερα σε προβλήματα ηλεκτροστατικής, φορτία όπως το *Coulomb* είναι ασυνήθιστα πολύ μεγάλα. Σκεφτείτε ότι δύο φορτία με μέτρο 1 C που βρίσκονται σε απόσταση 1 m , εξασκούν μεταξύ τους δυνάμεις με μέτρο $9 \times 10^9 \text{ N}$, δηλαδή, περίπου ένα εκατομμύριο τόνοι. Πιο χαρακτηριστικές τάξεις μεγέθους φορτίων είναι από $10^{-9} - 10^{-6} \text{ C}$.

Το ολικό φορτίο όλων των ηλεκτρονίων που περιέχει ένα μικρό χάλκινο νόμισμα είναι περίπου 10^5 C . Τα προηγούμενα φανερώνουν ότι απαιτούνται τεράστιες δυνάμεις για να διαταραχθεί σημαντικά η ηλεκτρική ουδετερότητα της ύλης.

6.4 Ηλεκτρική αγωγιμότητα και κατάταξη των υλικών

Ηλεκτρική αγωγιμότητα ονομάζεται η ιδιότητα της ύλης να επιτρέπει τη διέλευση ηλεκτρικού φορτίου μέσα από τη μάζα της. Με κριτήριο την ηλεκτρική αγωγιμότητα τα σώματα χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες:

- a. **Αγωγοί** - Λέγονται τα σώματα που επιτρέπουν τη διέλευση ηλεκτρικού φορτίου μέσα από τη μάζα τους.
- b. **Μονωτές** - Λέγονται τα σώματα που δεν επιτρέπουν τη διέλευση ηλεκτρικού φορτίου μέσα από τη μάζα τους.
- c. **Ημιαγωγοί** - Λέγονται τα στερεά σώματα στα οποία η δυνατότητα διέλευσης ηλεκτρικού φορτίου εξαρτάται από ορισμένες συνθήκες.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω κριτήριο για την κατάταξη των υλικών αποτελεί ο αριθμός των ελεύθερων ηλεκτρονίων στο σώμα.

6.5 Ηλεκτρικό πεδίο.

Μέχρι τώρα είδαμε ότι κάθε φορτίο ασκεί δύναμη σε κάθε άλλο φορτίο που βρίσκεται κοντά του. Οι ηλεκτρικές αυτές δυνάμεις δρουν από απόσταση χωρίς να μεσολαβεί κάποιο υλικό μέσο μεταξύ των φορτίων. Η δύναμη μεταξύ των φορτίων τείνει στο μηδέν όταν η απόστασή τους τείνει στο

άπειρο. Επομένως, ένα ηλεκτρικό φορτίο ασκεί δύναμη σε κάθε άλλο ηλεκτρικό φορτίο που θα βρεθεί στο χώρο γύρω από αυτό.

Για να εξηγήσουμε τη δημιουργία των δυνάμεων αυτών που περιγράψαμε προηγουμένως, ορίζουμε την έννοια του ηλεκτρικού πεδίου. Πρακτικά ονομάζουμε ηλεκτρικό πεδίο το χώρο μέσα στον οποίο όταν βρεθεί ηλεκτρικό φορτίο δέχεται ηλεκτροστατική δύναμη.

Η άσκηση της ηλεκτρικής δύναμης περιγράφεται με δύο βήματα:

- I. Κάθε ηλεκτρικά φορτισμένο σώμα δημιουργεί γύρω του ηλεκτρικό πεδίο.
- II. Το ηλεκτρικό πεδίο ασκεί ηλεκτρική δύναμη σε κάθε ηλεκτρικά φορτισμένο σώμα που θα εισέλθει στην περιοχή του.

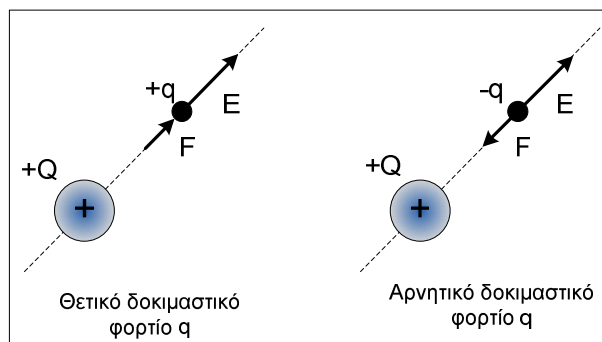
Για να αποδείξουμε πειραματικά την ύπαρξη του ηλεκτρικού πεδίου σε κάποιο σημείο, χρησιμοποιούμε ένα σημειακό ηλεκτρικό φορτίο που ονομάζουμε δοκιμαστικό φορτίο. Αν το δοκιμαστικό φορτίο δεχτεί ηλεκτρική δύναμη, υπάρχει ηλεκτρικό πεδίο στο σημείο εκείνο.

Τα κύρια χαρακτηριστικά του ηλεκτρικού πεδίου είναι:

- I. η ένταση
- II. οι δυναμικές γραμμές
- III. το δυναμικό

6.5.1 Ένταση ηλεκτρικού πεδίου.

Σε κάποιο σημείο του χώρου θεωρούμε ακίνητο σημειακό ηλεκτρικό φορτίο $+Q$. Το φορτίο $+Q$ δημιουργεί σε κάθε σημείο του χώρου γύρω από αυτό, ηλεκτρικό πεδίο. Η δύναμη που ασκείται από το φορτίο Q , σε ένα άλλο δοκιμαστικό φορτίο q που βρίσκεται μέσα στο πεδίο του φορτίου Q , όπως και στη παρακάτω εικόνα, είναι ανάλογη με το γινόμενο των φορτίων Q και q_1 .



Εικόνα 6.3: Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που δημιουργείται ανάμεσα από ένα σημειακό φορτίο Q^+ και ένα δοκιμαστικό φορτίο q^+ και q^- .

Αν στην ίδια θέση A που ήταν το q τοποθετήσουμε ένα άλλο δοκιμαστικό φορτίο $q_2 = 2 \cdot q$ η δύναμη που δέχεται το δοκιμαστικό φορτίο θα είναι:

$$F = k \cdot \frac{|Q| \cdot |q_2|}{r^2} = k \cdot \frac{|Q| \cdot 2|q|}{r^2}$$

Το συμπέρασμα είναι ότι η δύναμη που δέχεται το δοκιμαστικό φορτίο διπλασιάζεται όταν αυτό διπλασιασθεί και το φορτίο.

Επομένως για να εκφράσουμε την ηλεκτρική επίδραση ενός φορτίου στα διάφορα φορτία που θα βρεθούν σε συγκεκριμένη θέση, γύρω από ένα ηλεκτρικά φορτισμένο σώμα, είναι περισσότερο χρήσιμο να την εκφράσουμε μέσω ενός νέου φυσικού μεγέθους που θα είναι ίσο με το πηλίκο των δυνάμεων που αλληλεπιδρούν. Το νέο αυτό μέγεθος ονομάζεται ένταση του πεδίου και ο ορισμός του είναι ο έξης:

«Ένταση \vec{E} σε σημείο ηλεκτρικού πεδίου, ονομάζουμε το φυσικό διανυσματικό μέγεθος που έχει μέτρο ίσο με το πηλίκο του μέτρου της δύναμης που ασκείται σε φορτίο q που βρίσκεται σ' αυτό το σημείο προς το φορτίο αυτό και κατεύθυνση την κατεύθυνση της δύναμης, αν αυτή ασκείται σε θετικό φορτίο»

Η αντίστοιχη μαθηματική έκφραση αυτού το νέου μεγέθους είναι η παρακάτω:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

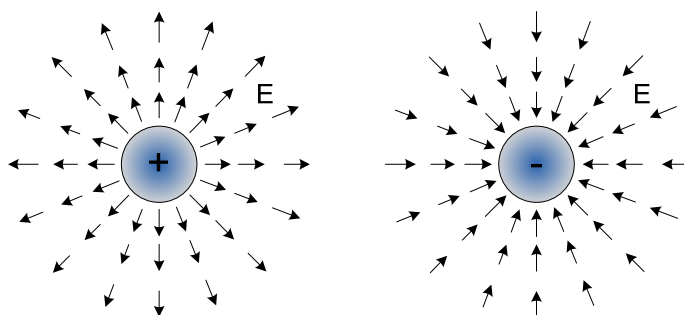
και μονάδα μέτρησης της έντασης στο *S.I.* είναι το $\frac{N}{C}$ ($\frac{Newton}{Coulomb}$).

Αν αντικαταστήσουμε το μέτρο της δύναμης με το ισοδύναμο νόμο του *Coulomb*, θα έχουμε:

$$\vec{E} = \frac{k \cdot \frac{Q \cdot q}{r^2}}{q} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q \cdot q}{r^2} = \frac{Q \cdot q}{4\pi\epsilon_0 r^2} = \frac{Q \cdot q}{4\pi\epsilon_0 r^2 q} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

Αν το δοκιμαστικό φορτίο ήταν αρνητικό, η ένταση του πεδίου \vec{E} στη θέση *A* δεν θα άλλαζε κατεύθυνση ούτε και μέτρο.

Κοιτάξτε τις παρακάτω εικόνες.



Εικόνα 6.4: Ένταση φορτίου *Coulomb*.

Όπως γίνεται αντιληπτό, η ένταση έχει φορά προς το φορτίο Q αν αυτό είναι αρνητικό και αντίθετη φορά αν το φορτίο είναι θετικό, ανεξάρτητα από το είδος του δοκιμαστικού φορτίου q που μπορεί να βρίσκετε στη γύρω περιοχή. Άρα μπορούμε να πούμε ότι η ένταση του πεδίου είναι ανεξάρτητη από οποιαδήποτε φορτισμένο σώμα που μπορεί να βρίσκεται κοντά του.

Τι σημαίνει όμως η έκφραση «Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου σε μια συγκεκριμένη θέση στο χώρο έχει μια τάδε τιμή, για παράδειγμα $10 \frac{N}{C}$ »; »

Σημαίνει ότι, αν τοποθετηθεί σε μια θέση *A* του πεδίου ένα δοκιμαστικό φορτίο 1 Coulomb , η δύναμη που θα δεχτεί θα είναι 10 Newton και η φορά της θα είναι εκείνη που προσδιορίζεται από το φορτίο πηγή. Δηλαδή το μέτρο της έντασης σε κάποιο σημείου του πεδίου, μας δείχνει πόσο ισχυρό

είναι το πεδίο στο σημείο αυτό. Λέμε τυχαία σε ένα σημείο A , διότι σε κάθε διαφορετικό σημείο το πεδίο είναι διαφορετικό.

Σκεφτείτε ότι η ένταση ηλεκτρικού πεδίου αστεριού *Pulsar*¹ είναι $10^{14} \frac{N}{C}$ ενώ ένα ραδιοφωνικό κύμα έχει μόλις $10^{-1} \frac{N}{C}$ και μία ηλεκτρική εγκατάσταση σπιτιού έχει ένταση πεδίου μόλις $10^{-2} \frac{N}{C}$.

6.5.2 Δυναμικές γραμμές.

Αναφερθήκαμε πιο πριν σε ένα ακίνητο σημειακό φορτίο Q το οποίο δημιουργεί γύρω του ηλεκτρικό πεδίο. Επίσης, η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου, διαφέρει από το ένα σημείο στο άλλο. Για να αισθητοποιήσουμε αυτό το αόρατο πεδίο μέσω της έντασης, πρέπει να σχεδιάσουμε ένα διάγραμμα έντασης, για κάθε σημείο του χώρου γύρω από το φορτίο Q όπως στην παραπάνω εικόνα. Δηλαδή, για να περιγράψουμε το ηλεκτρικό πεδίο, εισάγουμε την έννοια των ηλεκτρικών δυναμικών γραμμών.

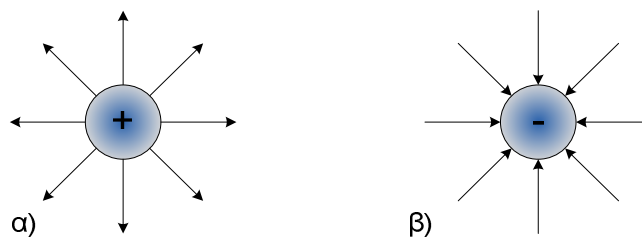
Τι είναι και τι δείχνουν όμως οι ηλεκτρικές δυναμικές γραμμές;

- Είναι νοητές γραμμές
- Η μορφή των δυναμικών γραμμών δείχνει τη διεύθυνση της ηλεκτρικής δύναμης
- Η πυκνότητα των δυναμικών γραμμών δείχνει το πόσο ισχυρή είναι η ηλεκτρική δύναμη (πόσο ισχυρό είναι το ηλεκτρικό πεδίο)
- Οι δυναμικές γραμμές εξέρχονται από θετικά φορτία και εισέρχονται σε αρνητικά φορτία και μας δείχνουν την κατεύθυνση του πεδίου

Οι δυναμικές γραμμές προτάθηκαν από τον *Michael Faraday* (Μάικλ Φαραντέι)² για την απεικόνιση του αόρατου ηλεκτρικού πεδίου.

Ηλεκτρική δυναμική γραμμή ενός ηλεκτρικού πεδίου, ορίζεται η νοητή γραμμή της οποίας η εφαπτόμενη σε κάθε σημείο, συμπίπτει με την ένταση του πεδίου σε αυτό το σημείο.

Η εικόνα που προκύπτει από την σχεδίαση των δυναμικών γραμμών ονομάζεται ηλεκτρικό φάσμα. Επειδή είναι αδύνατο να σχεδιάσουμε άπειρα διανύσματα έντασης, μπορούμε να χαράξουμε αντιπροσωπευτικά μερικές γραμμές όπως και στη παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 6.5: (α) Οι δυναμικές γραμμές αποκλίνουν και κατευθύνονται από το θετικό φορτίο προς το άπειρο. (β) Οι δυναμικές γραμμές συγκλίνουν και κατευθύνονται προς το αρνητικό ηλεκτρικό φορτίο.

Όπως αναφέρεται και στον ορισμό, οι γραμμές αυτές σχεδιάζονται με τέτοιο τρόπο, ώστε η ένταση του πεδίου να είναι εφαπτόμενη σε κάθε σημείο τους ενώ παρουσιάζουν τις παρακάτω ιδιότητες:

¹ Οι πάλσαρ είναι αστέρες νετρονίων με ισχυρό μαγνητικό πεδίο που περιστρέφονται ταχύτατα γύρω από τον άξονα τους και καθώς τους παρατηρούμε από την Γη καταγράφουμε αλληλουχία σχεδόν περιοδικών φωτεινών παλμών. Η ονομασία τους προέρχεται από τη λέξη *pulse* (= παλμός) και *stAR*: *pulsar* = *PULSating* (παλλόμενος αστέρας), ενώ καταγράφονται με το σύμβολο *PSR*.

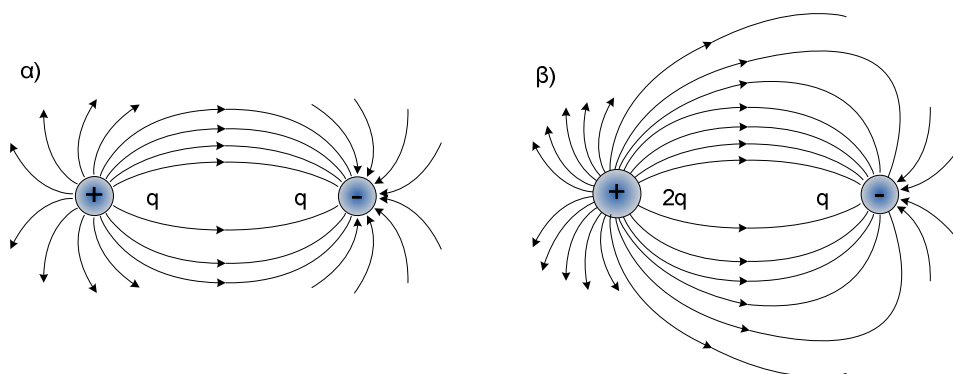
² Μάικλ Φαραντέι (*Michael Faraday*) (22 Σεπτεμβρίου 1791 – 25 Αυγούστου 1867) ήταν ένας Άγγλος επιστήμονας με σημαντική συμβολή στην εξέλιξη του ηλεκτρομαγνητισμού και της ηλεκτροχημείας. Θεωρείται ένας από τους κορυφαίους επιστήμονες που η ανθρωπότητα έχει αναδείξει.

- I. Απομακρύνονται από τα θετικά φορτία και κατευθύνονται προς τα αρνητικά, επομένως είναι ανοικτές.
- II. Δεν τέμνονται.
- III. Η ένταση του πεδίου έχει μεγαλύτερο μέτρο στις περιοχές του χώρου, όπου είναι πιο πυκνές.

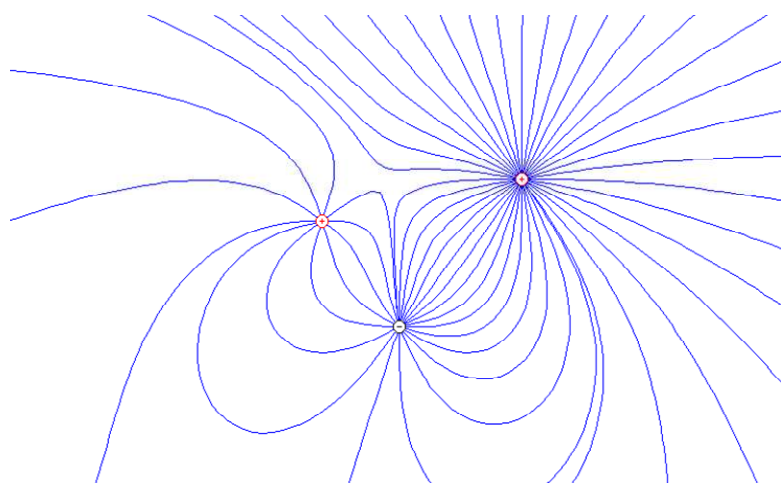
Όσο αφορά το τελευταίο, είναι μία από τις πιο χρήσιμες ιδιότητες στην κατανόηση του πεδίου. Όπως είναι φανερό όσο πιο κοντά πηγαίνουμε στο φορτίο οι δυναμικές γραμμές είναι πιο κοντά η μία με την άλλη, άρα πιο πυκνές και συνεπώς μεγαλύτερη η ένταση του πεδίου. Όσο απομακρυνόμαστε οι δυναμικές γραμμές αραιώνουν αρά και η ένταση του πεδίου εξασθενεί.

6.5.3 Διάφορες μορφές πεδίων.

Ηλεκτρικά πεδία δημιουργούνται και από συστήματα δύο ή περισσότερων ηλεκτρικών φορτίων. Μερικές από τις απλούστερες μορφές τους φαίνονται σχεδιασμένες στις παρακάτω εικόνες.



Εικόνα 6.6: α) Δυναμικές γραμμές πεδίου δύο αντίθετων φορτίων $+q$ και $-q$. β) Δυναμικές γραμμές πεδίου δύο φορτίων $+2q$ και $-q$.



Εικόνα 6.7: Δυναμικές γραμμές που δημιουργούνται από τρία φορτία $q, 5q, -2q$.

Τα πεδία που αντιστοιχούν σε αυτές τις εικόνες, είναι πεδία που η έντασή τους μεταβάλλεται από σημείο σε σημείο. Τα πεδία αυτά ονομάζονται ανομοιογενή.

Ένα ηλεκτρικό πεδίο ονομάζεται ομογενές όταν η έντασή του είναι η ίδια σε κάθε σημείο του. Διαφορετικά θα λέγαμε ότι ομογενές ονομάζουμε το ηλεκτρικό πεδίο που ασκεί την ίδια δύναμη σε ένα ηλεκτρικό φορτίο σε οποιοδήποτε σημείο του και αν το τοποθετήσουμε. Ένα χαρακτηριστικό ενός τέτοιου πεδίου είναι ότι οι ηλεκτρικές δυναμικές γραμμές του, είναι παράλληλες και ισαπέχουσες.

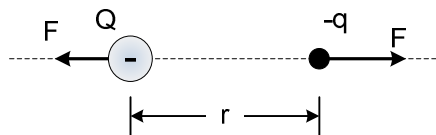
Σε ένα εργαστήριο η «κατασκευή» ενός ομογενούς ηλεκτρικού πεδίου είναι δυνατή αν φορτίσουμε ένα σύστημα δύο όμοιων παράλληλων μεταλλικών πλακών με αντίθετα ηλεκτρικά φορτία. Το σύστημα αυτό ονομάζεται επίπεδος πυκνωτής.

Τα ηλεκτρικά πεδία που εμφανίζονται στη φύση είναι ανομοιογενή και έχουν ένταση, που σε κάθε σημείο του πεδίου είναι εν γένει, διαφορετικού μέτρου και κατεύθυνσης. Ένα τέτοιο πεδίο είναι δυνατόν κατά προσέγγιση να θεωρηθεί «τοπικά ομογενές».

6.5.4 Ηλεκτρικό πεδίο και δυναμική ενέργεια.

Παρά την συντηρητικότητα των δυνάμεων που ασκούν τα φορτισμένα σώματα μεταξύ τους, αποδεικνύεται ότι η δυναμική ενέργεια ενός ηλεκτρικού φορτίου μπορεί να είναι θετικό ή αρνητικό, αν τα φορτία του συστήματος που μελετάμε είναι ομώνυμα ή ετερόνυμα αντίστοιχα. Ποιο είναι όμως το φυσικό περιεχόμενο, ή αν θέλετε ή έννοια της θετικής ή αρνητικής δυναμικής ενέργειας;

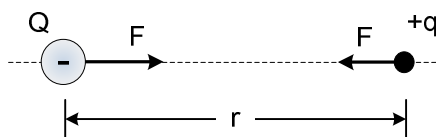
Όταν έχουμε ομώνυμα ηλεκτρικά φορτία, οι δυνάμεις που ασκούνται είναι απωθητικές.



Εικόνα 6.8: Ομώνυμα ηλεκτρικά φορτία. Η δυναμική ενέργεια είναι θετική.

Επομένως, το έργο της δύναμης του πεδίου είναι παραγόμενο (θετικό) κατά τη μετακίνηση του φορτίου q από τη θέση που βρίσκεται προς το άπειρο, άρα και η δυναμική ενέργεια του φορτίου q στη παρούσα θέση είναι θετική. Αυτό σημαίνει ότι, το φορτίο q μπορεί να μετακινηθεί αυθόρμητα προς το άπειρο και η δυναμική του ενέργεια να ελαττώνεται.

Όταν έχουμε ετερόνυμα ηλεκτρικά φορτία, οι δυνάμεις που ασκούνται είναι ελκτικές.



Εικόνα 6.9: Ετερόνυμα ηλεκτρικά φορτία. Η δυναμική ενέργεια είναι αρνητική.

Επομένως, το έργο της δύναμης του πεδίου είναι καταναλισκόμενο (αρνητικό) κατά τη μετακίνηση του φορτίου q από τη θέση του προς το άπειρο, συνεπώς και η δυναμική ενέργεια του φορτίου q στη παρούσα θέση είναι αρνητική. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να προσφερθεί ενέργεια στο φορτίο q για να μετακινηθεί προς το άπειρο με αποτέλεσμα η δυναμική του ενέργεια να αυξάνεται.

Επειδή οι ηλεκτροστατικές δυνάμεις είναι συντηρητικές, κατ' αναλογία με το βαρυτικό πεδίο, η δυναμική ενέργεια του συστήματος των δύο φορτίων στην αρχική θέση δίνεται από τη σχέση:

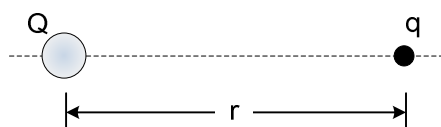
$$W_r = k \cdot \frac{Q \cdot q}{r}$$

Επειδή θεωρούμε ότι το Q σαν φορτίο πηγή και επίσης ότι είναι ακλόνητο, καταχρηστικά λέμε ότι η δυναμική ενέργεια του παραπάνω συστήματος ανήκει στο φορτίο q .

6.5.5 Δυναμικό.

Αναφερθήκαμε συνοπτικά στη δυναμική ενέργεια δοκιμαστικού φορτίου q , σε μία τυχαία θέση μέσα στο πεδίο του φορτίου Q , το οποίο απέχει απόσταση r από αυτό το φορτίο. Αν στην ίδια θέση τοποθετήσουμε ένα άλλο δοκιμαστικό φορτίο $q' = 2 \cdot q$ θα διαπιστώνουμε ότι η δυναμική ενέργεια είναι $W_2 = 2 \cdot W_1$. Δηλαδή η δυναμική ενέργεια είναι ανάλογη του φορτίου q .

Το πηλίκο της δυναμικής ενέργειας του φορτίου q προς το φορτίο αυτό είναι μία φυσική ποσότητα που έχει σταθερή τιμή ανεξάρτητη του φορτίου q στη συγκεκριμένη θέση του πεδίου. Τη φυσική αυτή ποσότητα ονομάζουμε δυναμικό του πεδίου στη συγκεκριμένη θέση και ο πιο συνηθισμένος τρόπος συμβολισμού είναι V . Όταν αναφερόμαστε σε συγκεκριμένη θέση στο πεδίο, για παράδειγμα θέση Γ , τότε αναφερόμαστε στο δυναμικό στη θέση αυτή ως V_Γ .

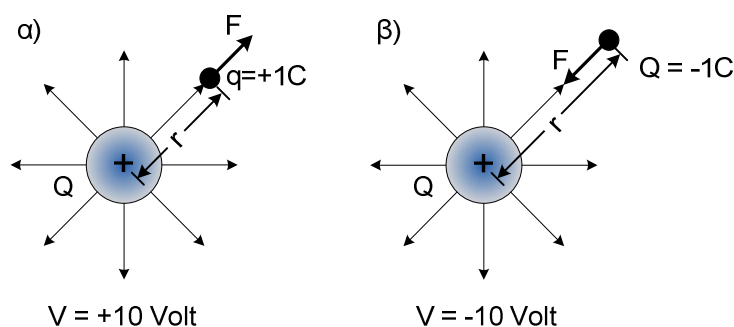


Δυναμικό σε μία θέση ηλεκτρικού πεδίου, ονομάζεται το μονόμετρο φυσικό μέγεθος, που είναι ίσο με το πηλίκο της δυναμικής ενέργειας φορτίου q προς το φορτίο αυτό.

Το δυναμικό δίνεται από τη σχέση:

$$V_\Gamma = \frac{W_\Gamma}{q}$$

Μονάδα μέτρησης του δυναμικού στο *S.I.* είναι το $1V = \frac{1J}{1C}$ ($1Volt = \frac{1Joule}{1Coulomb}$). Τι σημαίνει λοιπόν ότι το δυναμικό σε μία θέση του πεδίου είναι $V = +10V$;



Σημαίνει ότι, αν ένα φορτίο $+1 C$, βρεθεί στη συγκεκριμένη θέση που αναφερόμαστε, θα έχει ηλεκτρική δυναμική ενέργεια $+10 J$, ενώ αν στην ίδια θέση βρεθεί φορτίο $-1C$, θα έχει ηλεκτρική δυναμική ενέργεια $-10 J$.

6.5.6 Δυναμικό ηλεκτροστατικού πεδίου *Coulomb*.

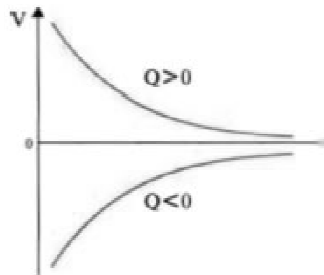
Με βάση τη σχέση ορισμού του φυσικού μεγέθους του δυναμικού και αντικαθιστώντας τη δυναμική ενέργεια φορτίου q με τη σχέση:

$$W_\Gamma = k \cdot \frac{Q \cdot q}{r}$$

έχουμε:

$$V_r = k \cdot \frac{Q}{r}$$

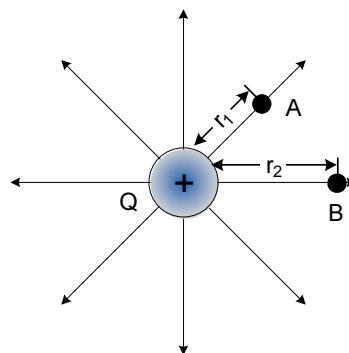
όπου Q το φορτίο που δημιουργεί το πεδίο και r η απόσταση μεταξύ του σημείου δοκιμαστικού φορτίου και του φορτίου Q .



Εικόνα 6.10: Το δυναμικό V ως συνάρτηση της απόστασης r από θετικό και από αρνητικό φορτίο πηγή Q .

6.5.7 Διαφορά δυναμικού

Έστω φορτίο πηγή Q και δοκιμαστικό φορτίο q , το οποίο μετακινείται από μία θέση (A) σε μία άλλη θέση (B) του πεδίου.



Το φορτίο Q στις θέσεις A και B έχει δυναμική ενέργεια U_A και U_B αντίστοιχα. Τα δυναμικά στις ίδιες θέσεις είναι V_A και V_B αντίστοιχα.

Η διαφορά $V_A - V_B$ ονομάζεται διαφορά δυναμικού μεταξύ των σημείων A και B και συμβολίζεται V_{AB} και είναι:

$$V_{AB} = V_A - V_B \quad \text{ή} \quad V_{AB} = \frac{W_A}{q} - \frac{W_B}{q} \quad \text{ή} \quad V_{AB} = \frac{(W_A - W_B)}{q}$$

Η διαφορά δυναμικού μεταξύ δύο σημείων A και B ηλεκτρικού πεδίου ισούται με το πηλίκο του έργου της δύναμης του πεδίου κατά τη μεταφορά δοκιμαστικού φορτίου q από τη θέση A στη θέση B , προς το φορτίο αυτό.

$$V_{AB} = \frac{W_{A \rightarrow B}}{q}$$

Η διαφορά δυναμικού επομένως μας δίνει το έργο της δύναμης του ηλεκτρικού πεδίου ανά μονάδα φορτίου για τη μετακίνησή του από τη θέση A στη θέση B .

Αν για παράδειγμα, δύο σημεία (A και B) ενός ηλεκτροστατικού πεδίου, έχουν δυναμικά $V_A=+20$ Volt και $V_B = +12$ Volt, η διαφορά δυναμικού μεταξύ των δύο σημείων είναι:

$$V_{AB} = V_A - V_B = 20 \text{ Volt} - 14 \text{ Volt} = 6 \text{ Volt}$$

Αυτό σημαίνει ότι, κατά τη μετακίνηση θετικού δοκιμαστικού φορτίου ενός *Coulomb* από τη θέση A στη θέση B , το έργο της δύναμης του πεδίου είναι $+4J$ και η ηλεκτρική δυναμική ενέργεια του δοκιμαστικού φορτίου ελαττώθηκε κατά $4J$.

6.6 Πυκνωτές.

Πυκνωτής ονομάζεται ένα σύστημα δύο αγωγών που βρίσκονται πολύ κοντά μεταξύ τους και φορτίζονται με ίσα και ετερόνυμα ηλεκτρικά φορτία. Οι αγωγοί (ή *πλάκες*) που αποτελούν τον πυκνωτή ονομάζονται οπλισμοί του πυκνωτή, και συνήθως μεταξύ τους παρεμβάλλεται ένα στρώμα από διηλεκτρικό υλικό (*αέρας, πλαστικό, μίκα, κ.α.*).

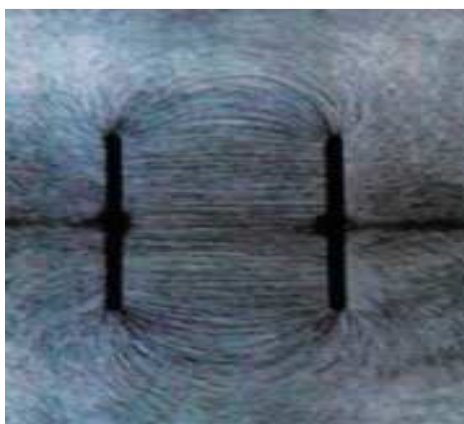
Ο πυκνωτής αποτελεί ένα είδος "δεξαμενής" ηλεκτρικών φορτίων. Άρα σε κάθε πυκνωτή μπορεί να αποθηκευτεί ηλεκτρικό φορτίο και ενέργεια ηλεκτρικού πεδίου.

Με λίγα λόγια μπορούμε να συνοψίσουμε όλα τα παραπάνω με την παρακάτω πρόταση:

"Ο πυκνωτής είναι μία συσκευή που χρησιμεύει ως αποθήκη ηλεκτρικού φορτίου και επομένως ηλεκτρικής ενέργειας".

6.6.1 Επίπεδος πυκνωτής.

Τυπική μορφή πυκνωτή είναι ο επίπεδος πυκνωτής. Αποτελείται από δύο όμοια λεπτά και επίπεδα μεταλλικά φύλλα (*πλάκες*), που βρίσκονται σε πολύ μικρή απόσταση σε σχέση με τις διαστάσεις τους. Τα δύο μεταλλικά φύλλα ονομάζονται οπλισμοί του πυκνωτή.



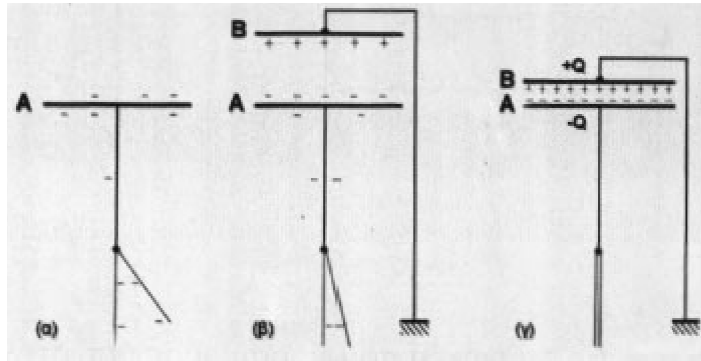
Εικόνα 6.11: Φάσμα ηλεκτρικών δυναμικών γραμμών ομογενούς ηλεκτρικού πεδίου.

Ο επίπεδος πυκνωτής είναι η μόνη διάταξη με την οποία μπορούμε να επιτύχουμε, κάνοντας κάποιες παραδοχές, ομογενές ηλεκτρικό πεδίο. Αυτό επιτυγχάνεται με την φορτίζοντάς τους οπλισμούς του πυκνωτή με ετερόνυμα φορτία.

6.6.2 Φόρτιση και εκφόρτιση.

Ας θεωρήσουμε ότι υπάρχει στη διάθεση μας μία επίπεδη μεταλλική πλάκα, πλάκα *A*, την οποία με κάποιο τρόπο φορτίζουμε με αρνητικό ηλεκτρικό φορτίο (π.χ. *συνδέοντας το με ένα ηλεκτροσκόπιο*). Μία δεύτερη όμοια μεταλλική πλάκα *B*, που είναι γειωμένη, τοποθετείται κοντά στην πρώτη και παράλληλα με αυτή.

Η πλάκα *B* αποκτά θετικό ηλεκτρικό φορτίο καθώς πλησιάζει την *A*, γιατί ελεύθερα ηλεκτρόνια της, απωθούμενα από τα ηλεκτρόνια της φορτισμένης πλάκας *A*, φεύγουν προς τη Γη.



Εικόνα 6.12: Φόρτιση πυκνωτή.

Ταυτοχρόνως, καθώς η πλάκα *B* πλησιάζει την πλάκα *A*, αποκτά όλο και μεγαλύτερο αρνητικό φορτίο. Η αύξηση του ηλεκτρικού φορτίου της πλάκας *A* οφείλεται στη μετακίνηση ελεύθερων ηλεκτρονίων από τα φύλλα του ηλεκτροσκόπιου και του στελέχους προς τη πλάκα *A*, λόγω των ελκτικών δυνάμεων *Coulomb*, οι οποίες μεγαλώνουν, καθώς πλησιάζει η πλάκα *B*.

Η αλληλεπίδραση που έχει η μία πλάκα στην άλλη έχει ως αποτέλεσμα να αποκτούν αντίθετα ηλεκτρικά φορτία $+Q$ και $-Q$. Σε αυτή τη περίπτωση λοιπόν, λέμε ότι ο πυκνωτής είναι φορτισμένος. Η απόλυτη τιμή $|Q|$ του φορτίου σε έναν μόνο οπλισμό του πυκνωτή, το αποκαλούμε φορτίο του πυκνωτή.

Η φόρτιση ενός πυκνωτή μπορεί να γίνει με τους παρακάτω τρόπους :

- Να φορτίσουμε με επαφή τον ένα οπλισμό του πυκνωτή και να γειώσουμε τον άλλο, οπότε έχουμε φόρτιση του δεύτερου οπλισμού με επαγωγή (*μεταφορά φορτίων - ηλεκτρονίων - από ή προς τη γη*).
- Να συνδέσουμε τον κάθε οπλισμό με τους αντίστοιχους ακροδέκτες μιας ηλεκτροστατικής μηχανής (*μηχανή Whimshurst*).
- Να συνδέσουμε τους οπλισμούς του πυκνωτή με τους πόλους μιας μπαταρίας ή με δύο σημεία ενός ηλεκτρικού κυκλώματος.

Η εκφόρτιση ενός πυκνωτή γίνεται με σύνδεση των δύο οπλισμών του οπότε έχουμε μεταφορά ηλεκτρονίων από τον αρνητικό οπλισμό στο θετικό. Η αρχική διαφορά δυναμικού ελαττώνεται μέχρι να μηδενιστεί.

Προσοχή!!! Η άμεση σύνδεση των ακροδεκτών ενός πυκνωτή είναι επικίνδυνη διαδικασία και η απότομη εκφόρτιση μπορεί να αποβεί μοιραία για την ζωή. Για το λόγο αυτό ακολουθούμε την σταδιακή του εκφόρτιση μέσω διατάξεων εκφόρτισης.

Λόγω της ανάπτυξης ηλεκτρικού φορτίου στους οπλισμούς *A* και *B*, εμφανίζεται σε κάθε έναν από αυτούς, δυναμικό V_A και V_B αντίστοιχα. Η διαφορά $V_A - V_B$ ή V_{AB} ή V ονομάζεται διαφορά δυναμικού ή τάση του πυκνωτή.

6.6.3 Χωρητικότητα πυκνωτή

Αν φορτίσουμε διαδοχικά έναν πυκνωτή, με φορτία Q , $2Q$, $3Q$ κ.λπ. αποδεικνύεται, ότι η τάση του γίνεται αντίστοιχα V , $2V$, $3V$ κ.λπ. Επομένως, το φορτίο και η τάση ενός πυκνωτή είναι μεγέθη ανάλογα. Το πηλίκο τους είναι χαρακτηριστικό μέγεθος του πυκνωτή και ονομάζεται χωρητικότητα του πυκνωτή. Ο δε συμβολισμός της χωρητικότητας γίνεται με το γράμμα C και ορίζεται ως εξής:

Χωρητικότητα C ενός πυκνωτή ονομάζεται το μονόμετρο φυσικό μέγεθος που είναι ίσο με το πηλίκο του ηλεκτρικού φορτίου Q του πυκνωτή, προς την τάση V του πυκνωτή.

$$C = \frac{Q}{V} \left(\frac{\text{Coulomb}}{\text{Volt}} \right)$$

Μονάδα χωρητικότητας στο *S.I.* είναι το *Farad (F)*.

Η χωρητικότητα ενός πυκνωτή μας πληροφορεί για το φορτίο που μπορεί να αποθηκευτεί ανά μονάδα τάσης μεταξύ των οπλισμών του.

Η χωρητικότητα δεν εξαρτάται από το φορτίο και την τάση του, αλλά μόνο από τα γεωμετρικά στοιχεία του πυκνωτή, δηλαδή, εξαρτάται από το σχήμα, τις διαστάσεις και την απόσταση των οπλισμών του, καθώς και από το μονωτή (*διηλεκτρικό*) που παρεμβάλλεται μεταξύ των οπλισμών του. Ο ορισμός της χωρητικότητας όπως δόθηκε από τη παραπάνω σχέση, ισχύει για κάθε μορφής πυκνωτή.

Ειδικά όμως για ένα επίπεδο πυκνωτή, όταν μεταξύ των οπλισμών του υπάρχει κενό ή αέρας, αποδεικνύεται ότι η χωρητικότητά του δίνεται από τη σχέση:

$$C = \epsilon_0 \cdot \frac{S}{\ell}$$

Όπου: ϵ_0 η απόλυτη διηλεκτρική σταθερά του κενού ($\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N}\cdot\text{m}^2$)
 S το εμβαδόν οπλισμού και
 ℓ η απόσταση των οπλισμών του

6.6.4 Χωρητικότητα πυκνωτή με παράλληλους οπλισμούς.

Μπορεί να θεωρηθεί ως η πιο απλή κατασκευή πυκνωτή που αποτελείτε από δύο παράλληλους και επίπεδους οπλισμούς. Στη πράξη η απόσταση ανάμεσα στους οπλισμούς είναι πολύ μικρή και το ηλεκτρικό πεδίο ανάμεσα στους οπλισμούς μπορεί να θεωρηθεί ομογενές.

Αν μεταξύ των οπλισμών του πυκνωτή υπάρχει κάποιο μονωτικό υλικό η χωρητικότητά του δίνεται από τη σχέση:

$$C = \epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot \frac{S}{\ell}$$

όπου ϵ η σχετική διηλεκτρική σταθερά του μονωτικού υλικού που είναι καθαρός αριθμός και εξαρτάται από το μονωτικό υλικό. Ειδικά για το κενό ή τον αέρα είναι $\epsilon = 1$.

Η ηλεκτρική δυναμική ενέργεια του πυκνωτή δίνεται από τη σχέση:

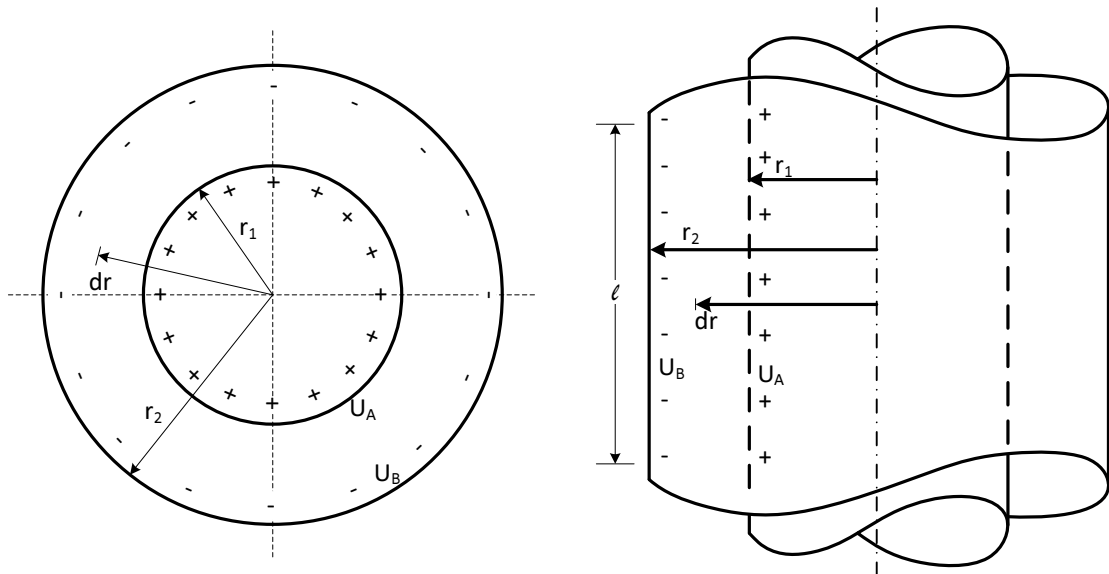
$$W = \frac{Q \cdot V}{2}$$

εάν χρησιμοποιήσουμε τη σχέση ορισμού $C = Q/V$, έχουμε τις ισοδύναμες:

$$W = \frac{C \cdot V^2}{2} \text{ και } W = \frac{Q^2}{2 \cdot C}$$

6.6.5 Χωρητικότητα κυλινδρικών πυκνωτών.

Οι οπλισμοί των πυκνωτών αυτού του τύπου είναι δύο ομόκεντροι κύλινδροι, που παράγουν ένα μη ομογενές αλλά ακτινικά συμμετρικό ηλεκτρικό πεδίο.



Εικόνα 6.13: Κυλινδρικός πυκνωτής.

Θεωρούμε ότι η απόσταση μεταξύ των οπλισμών είναι μικρή, σε σχέση με το μήκος l των οπλισμών του πυκνωτή. Επειδή έχουμε κυλινδρική συμμετρία, τα φορτία κατανέμονται ομοιόμορφα πάνω στις επιφάνειες των δύο κυλίνδρων. Στη περίπτωση αυτή η διαφορά δυναμικού θα είναι:

$$\begin{aligned} V_{AB} = V_A - V_B &= \int_{r_2}^{r_1} \left[\frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot r \cdot \ell \cdot \epsilon_0} \right] \cdot dr = \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot \ell \cdot \epsilon_0} \cdot \int_{r_2}^{r_1} \frac{dr}{r} = \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot \ell \cdot \epsilon_0} \cdot (\ln r_1 - \ln r_2) \\ &= \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot \ell \cdot \epsilon_0} \cdot \ln \frac{r_1}{r_2} \end{aligned}$$

Ενώ η χωρητικότητα ενός τέτοιου πυκνωτή είναι:

$$C = \frac{Q}{U} = \frac{2 \cdot \pi \cdot \ell \cdot \epsilon_0}{\ln \frac{r_1}{r_2}}$$

6.6.6 Τύποι πυκνωτών.

Οι συνηθέστερες μορφές πυκνωτών που χρησιμοποιούνται σε πρακτικές εφαρμογές είναι:

- Πυκνωτές αέρα

Οι πυκνωτές αυτοί αποτελούνται από δύο συστήματα μεταλλικών πλακών, που αντιστοιχούν στους δύο οπλισμούς του πυκνωτή. Οι πλάκες κάθε συστήματος είναι σε αγωγήμη σύνδεση και βρίσκονται η μία μέσα στην άλλη χωρίς να "ακουμπούν" μεταξύ τους. Ως μεταξύ τους μονωτικό είναι ο αέρας.

Οι χωρητικότητες τέτοιων πυκνωτών φθάνουν από $10 - 400\mu F$.

- Πυκνωτές με στερεά διηλεκτρικά

Οι οπλισμοί τους αποτελούνται από πολύ λεπτά μεταλλικά φύλλα, και μεταξύ τους παρεμβάλλονται λεπτά φύλλα διηλεκτρικού (όπως χαρτί, μίκα).

Τα λεπτά φύλλα του μετάλλου με το διηλεκτρικό τυλίγονται με τέτοιο τρόπο ώστε ο όγκος του πυκνωτή να είναι μικρός.

Οι χωρητικότητες των πυκνωτών αυτών φθάνουν από $100\mu F - 1\mu F$.

- Ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές

Αποτελούνται από δύο μεταλλικά φύλλα που χωρίζονται με χαρτί που έχει εμπλουτιστεί με διάλυμα ηλεκτρολύτη. Οι πυκνωτές αυτοί έχουν πολύ μεγαλύτερες χωρητικότητες από τους προηγούμενους.

Οι χωρητικότητες των πυκνωτών αυτών φθάνουν από $10-2000\mu F$.

6.7 Μέθοδοι μέτρησης της χωρητικότητας ενός πυκνωτή.

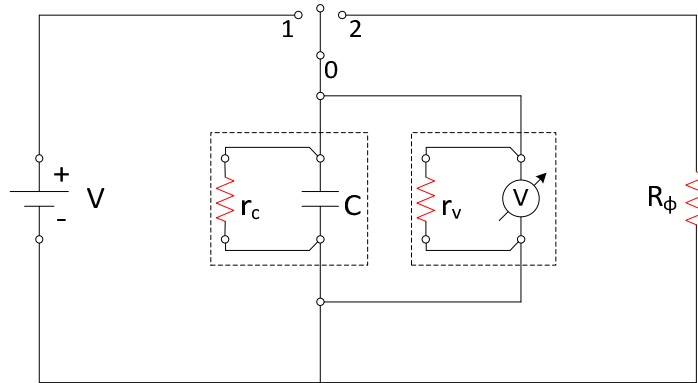
6.7.1 Μέθοδος σταθεράς χρόνου.

Η μέθοδος της σταθεράς χρόνου βασίζεται στον υπολογισμό της χωρητικότητας ενός πυκνωτή και της αντίστασης απωλειών του r_c , από τη μέτρηση του χρόνου εκφόρτισής του με τη βοήθεια μίας γνωστής ωμικής αντίστασης. Το κυκλωματικό διάγραμμα δίνεται παρακάτω ενώ περιγράφεται και ο τρόπος λειτουργίας.

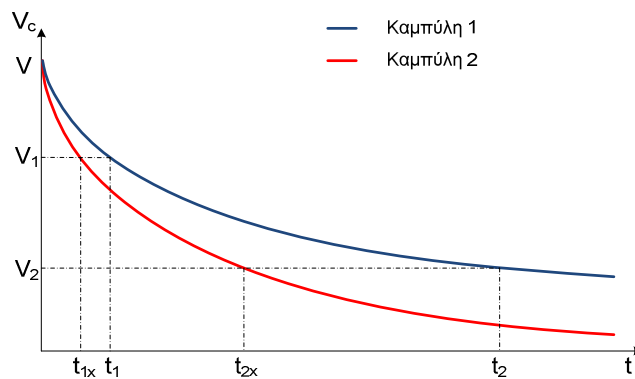
Χρησιμοποιώντας μια από τις μεθόδους φόρτισης, τοποθετούμε τον διακόπτη στη θέση 1 , συνδέοντας τα δύο άκρα του πυκνωτή C με τα άκρα της πηγής μας. Σε αυτή τη περίπτωση ο πυκνωτής φορτίζεται με την τάση της πηγής V . Στη συνέχεια, θέτουμε εκτός τον διακόπτη και τον τοποθετούμε στη θέση "0" (μηδέν). Στη θέση αυτή ο πυκνωτής εκφορτίζει μέσω της εσωτερικής αντίστασης του βολτομέτρου r_v και της εσωτερικής αντίστασης του πυκνωτή r_c . Η αντίσταση r_c αποτελεί μέτρο των απωλειών του πυκνωτή. Η αντίσταση R_ϕ δεν συνδέεται προς το παρόν στη διάταξη. Η τάση στα άκρα του πυκνωτή μειώνεται εκθετικά, όπως εικονίζεται στην παρακάτω εικόνα που ακολουθεί, σύμφωνα με τη σχέση

$$V_c = V e^{-t/R_a \cdot C}$$

όπου, R_a είναι ο παράλληλος συνδυασμός των r_v και r_c .



Εικόνα 6.14: Κυκλωματική διάταξη για την μέτρηση χωρητικότητας με την μέθοδο της σταθεράς χρόνου.



Εικόνα 6.15: Καμπύλες εκφόρτισης πυκνωτή.

Επομένως, ορίζοντας δύο τιμές της τάσης V_1 , V_2 και μετρώντας τους αντίστοιχους χρόνους t_1 και t_2 (καμπύλη 1) προκύπτει:

$$\left. \begin{array}{l} V_1 = Ve^{-t_1/R_a \cdot C} \\ V_2 = Ve^{-t_2/R_a \cdot C} \end{array} \right\} \rightarrow \frac{V_1}{V_2} = e^{(t_2 - t_1)/R_a \cdot C} \Rightarrow R_a = \frac{t_2 - t_1}{C \cdot \ln(V_1/V_2)}$$

Στη συνέχεια φορτίζεται και πάλι ο πυκνωτής με την τάση της πηγής V (θέση 1 του διακόπτη) και εκφορτίζεται μέσω της ισοδύναμης αντίστασης R_b , φέροντας το διακόπτη στη θέση "2". Η R_b είναι ίση με το παράλληλο συνδυασμό των τριών αντιστάσεων της διάταξης, $R_b = R_a // R_x = (r_v // r_c) // R_\phi$. Μετρώντας τους χρόνους t_{1x} και t_{2x} που αντιστοιχούν στις τάσεις V_1 , V_2 (καμπύλη 2), η αντίσταση R_b υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\left. \begin{array}{l} V_1 = Ve^{-t_{1x}/R_b \cdot C} \\ V_2 = Ve^{-t_{2x}/R_b \cdot C} \end{array} \right\} \rightarrow \frac{V_1}{V_2} = e^{(t_{2x} - t_{1x})/R_b \cdot C} \Rightarrow R_b = \frac{t_{2x} - t_{1x}}{C \cdot \ln(V_1/V_2)}$$

Από τις προηγούμενες εξισώσεις προκύπτει:

$$R_a \cdot C = T_a = \frac{t_2 - t_1}{\ln(V_1/V_2)}$$

και

$$R_b \cdot C = T_b = \frac{t_{2x} - t_{1x}}{\ln(V_1/V_2)}$$

Η σχέση που προκύπτει παραπάνω ονομάζεται σταθερά χρόνου και χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η απώλεια του πυκνωτή δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$t = R \cdot C$$

Από τις μετρούμενες σταθερές χρόνου T_a και T_b , την αντίσταση R_φ και λαμβάνοντας υπόψη ότι $R_b = R_a // R_\varphi$, υπολογίζεται η τιμή της χωρητικότητας του πυκνωτή ως εξής:

$$C = \frac{T_a}{R_\varphi \cdot \left[\frac{T_a}{T_b} - 1 \right]}$$

Ενώ η αντίσταση απωλειών του πυκνωτή προκύπτει από τη σχέση:

$$R_a = \frac{T_a}{C} = \frac{r_v - r_c}{r_v \cdot r_c} \Rightarrow r_c = \frac{T_a \cdot r_v}{r_v \cdot C - T_a} \cong \frac{T_a}{C} \Big|_{r_v \rightarrow \infty}$$

Υπάρχουν και άλλοι μέθοδοι μέτρησης της χωρητικότητας του πυκνωτή που είναι λίγο πιο σύνθετοι. Όπως είναι η μέθοδος βολτομέτρου - αμπερομέτρου ή εκείνη του συντονισμού. Οι περιπτώσεις αυτές απαιτούν ειδικές γνώσεις που θα κατακτήσετε στη πορεία των σπουδών σας και σε πρακτικό επίπεδο, σε επόμενα εργαστηριακά μαθήματα.

6.8 Εργαστηριακή άσκηση.

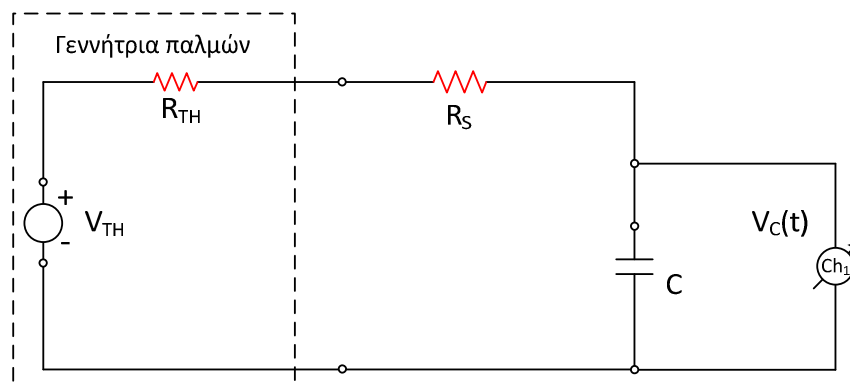
6.8.1 Εκθετικά κυκλώματα.

Να παρατηρηθεί η βηματική απόκριση (*step response*) κυκλωμάτων με δυναμικά στοιχεία.
Να μετρηθεί η σταθερά χρόνου T_c .

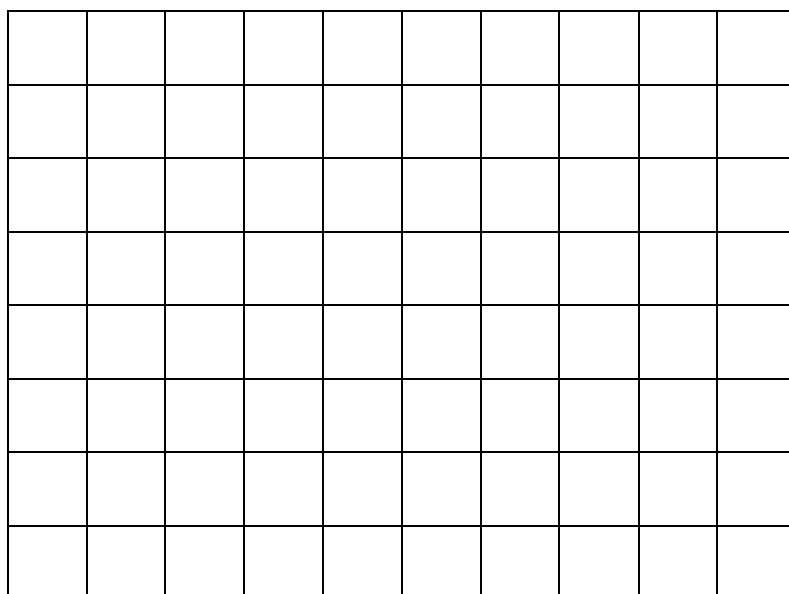
- i. Ρυθμίστε τη γεννήτρια παλμών να παράγει ένα τετραγωνικό κύμα, με συχνότητα 50 Hz , χωρίς *DC offset* και μια τάση *peak-to-peak* 1 V .
- ii. Καθορίστε την αντίσταση εξαγωγής της γεννήτριας συναρτήσεων, R_{TH} (αυτή η τιμή συνήθως αναγράφεται πάνω στη συσκευή).

$$R_{TH} = \dots\dots\dots \Omega$$

- iii. Κατασκευάστε το κύκλωμα του σχήματος.



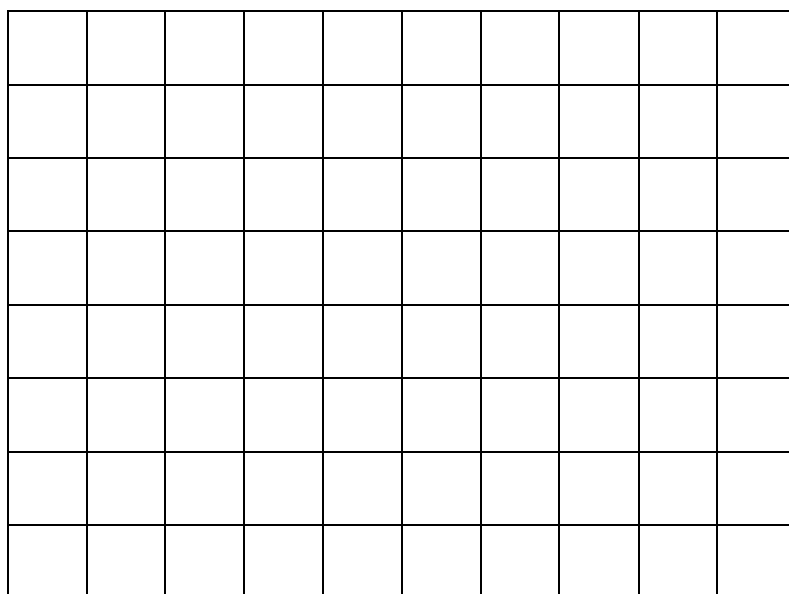
- iv. Χρησιμοποιείστε τον παλμογράφο για να δείτε το κύμα $V_C(t)$ που παράγεται από το κύκλωμα. Σχεδιάστε δύο πλήρεις κύκλους της κυματομορφής πιο κάτω. Σημειώστε τις τιμές των κλιμάκων του παλμογράφου.



VOLTS/DIV =

TIME/DIV =

- v. Ρυθμίστε την οριζόντια και κάθετη θέση του παλμογράφου ούτως ώστε το κύμα αποφόρτισης να φαίνεται όλο και να "γεμίζει" την οθόνη. Παρατάξτε την αρχή του εκθετικού κύματος ένα τετράγωνο από την αριστερή άκρη της οθόνης. Θέστε την οριζόντια κλίμακα (*Time/Div*) για να πάρετε μία όσο γίνεται πιο εκτενής εικόνα από το "κομμάτι" της χρονικής διάρκειας που συμβαίνει η εκφόρτιση. Δεν είναι απαραίτητο να είσαστε σε θέση να δείτε $5 T_C$, στην πραγματικότητα, όπως γνωρίζουμε ήδη από το *5^ο Κεφάλαιο*, είναι ορθή πρακτική να μεγεθυνθεί το σήμα στην οθόνη έτσι ώστε τουλάχιστον *50%* της οθόνης να χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση.
- vi. Σχεδιάστε με ακρίβεια το κύμα κατά την αποφόρτιση πιο κάτω.

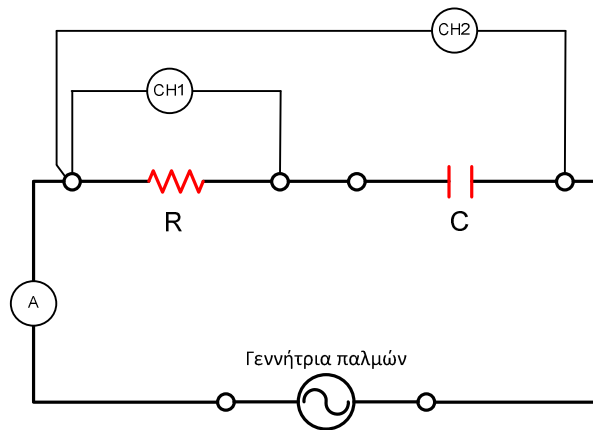


VOLTS/DIV =

TIME/DIV =

6.8.2 Μέτρηση χωρητικότητας επίπεδου πυκνωτή.

- i. Μετρήστε τα απαραίτητα χαρακτηριστικά της διάταξής σας και καταγράψτε τα στο πρόχειρο.
- ii. Ρυθμίστε τη γεννήτρια παλμών σε έξοδο ημιτονική με συχνότητα $f=1\text{ kHz}$.
- iii. Με τη βοήθεια του παλμογράφου ρυθμίστε το πλάτος της τάσης έτσι ώστε να είναι $V_{p-p}=10\text{ Volt}$.
- iv. Πραγματοποιήστε τη συνδεσμολογία του παρακάτω κυκλώματος. Χρησιμοποιήστε στη θέση του πυκνωτή C στο κύκλωμα τον επίπεδο πυκνωτή και αντίσταση $R= \underline{\hspace{2cm}} \Omega$.



- v. Προσπαθήστε να κρατήσετε την τάση του κυκλώματος σταθερή καθώς θα αλλάζετε τη συχνότητα λειτουργίας. Συμπληρώστε τις ζητούμενες τιμές στον παρακάτω πίνακα.

f (Hz)	V_{p-p}	V_p	V_{rms} (V)	I (mA)	t (ms)	Volt/DIV
0	10					
10	10					
50	10					
100	10					
500	10					
1000	10					

Στην αναφορά σας θα πρέπει να καταλήξετε σε μία τιμή για τον συγκεκριμένο πυκνωτή.

6.8.3 Μέτρηση χωρητικότητας κυλινδρικού πυκνωτή.

- i. Μετρήστε τα απαραίτητα χαρακτηριστικά της διάταξής σας και καταγράψτε τα στο πρόχειρο.
- ii. Ρυθμίστε τη γεννήτρια συχνοτήτων ώστε να δίνει στην έξοδο ημιτονοειδή τάση συχνότητας $f=1 \text{ kHz}$ και ρυθμίστε το πλάτος της τάσης $V_{p-p}=3 \text{ Volt}$.
- iii. Αφού συνδέσετε στην έξοδο της γεννήτριας το παλμογράφο, επιλέξτε την κατάλληλη ρύθμιση $Volt/Div$ και $Time/Div$ για να μετρήσετε με τη μέγιστη δυνατή ακρίβεια τη περίοδο T .

Επιλογή ρύθμισης: $Time/DIV: \dots\dots\dots$

Μέτρηση με τετράγωνα: $T= \dots\dots\dots Div$

Υπολογισμός χρόνου: $T= \dots\dots\dots sec$

Υπολογισμός γωνίας: $\varphi= \dots\dots\dots^\circ$ (μοίρες)

- iv. Δοκιμάστε διάφορες τιμές $Time/Div$ και $Volt/Div$ για να δείτε την επίδραση τους στην απεικόνιση του σήματος. Περιγράψτε τις παρατηρήσεις σας.

- v. Ρυθμίστε το παλμογράφο στο 1 Volt/Div και επιλέξτε το κατάλληλο $Time/Div$ για να μετρήσετε με τη μέγιστη δυνατή ακρίβεια την περίοδο και τη συχνότητα για διάφορες συχνότητες όπως αυτές δίνονται παρακάτω στον πίνακα που ακολουθεί.

f (kHz)	T (sec)	f= 1/T	Volt/div	Div
1				
5				
10				
150				
1000				

Στην αναφορά σας θα πρέπει να καταλήξετε σε μία τιμή για τον συγκεκριμένο πυκνωτή.

6.9 Ερωτήσεις.

1. Τι είναι η Ηλεκτροστατική μηχανή *Whimshurst* και που χρησιμοποιείται;
2. Να βρεθεί η χωρητικότητα ενός κυλινδρικού πυκνωτή με διηλεκτρικό αέρα, που έχει εσωτερική διάμετρο 24mm , εξωτερική διάμετρο 36mm και μήκος 40mm . Επίσης να βρεθεί η μέγιστη και η ελάχιστη ένταση του ηλεκτρικού πεδίου στον πυκνωτή αν σε αυτόν εφαρμόζεται τάση $U=2\text{ kV}$. Να βρεχθεί ηλεκτρική δυναμική ενέργεια του πυκνωτή και η χωρητικότητα του.
3. Βρείτε διάφορες κατηγορίες πυκνωτών και προσδιορίστε εφαρμογές χρήσης τους. Κατά την έρευνα σας αυτή μπορείτε να παραθέσετε και εικόνες πυκνωτών από διαδίκτυο. Στο τέλος της σύντομης έρευνα σας πρέπει να παραθέσετε και τη πηγή άντλησης των στοιχείων σας.
4. Περιγράψτε μια διαδικασία εύρεσης της τιμής ενός πυκνωτή με την χρήση ενός απλού κυκλώματος. Αναφέρετε τις όποιες παραδοχές κάνατε για να φτάσετε στην λύση του προβλήματος.
5. Περιγράψτε με λίγα λόγια δύο πρακτικές εφαρμογές των πυκνωτών.
6. Ποια θα είναι η συνολική χωρητικότητα της συνδεσμολογίας τριών πυκνωτών εάν οι δύο έχουν τιμή 220 nF ο κάθε ένας και είναι συνδεδεμένοι παράλληλα μεταξύ τους και σε σειρά με τον τρίτο πυκνωτή χωρητικότητας $0,45\text{ }\mu\text{F}$;
7. Εξηγήστε τι θα συμβεί στην σύνθετη αντίσταση ενός πυκνωτή εάν η συχνότητα λειτουργίας του τριπλασιαστεί. Αιτιολογήστε την απάντησή σας.
8. Γράψτε τις σχέσεις για τον υπολογισμό της συνολικής αντίστασης, για ωμική αντίσταση και της χωρητικότητας σε κυκλώματα σειράς και παράλληλα με δυο στοιχεία.

$$R_{\text{ολ.σειράς}} = R_1 + R_2$$

$$C_{\text{ολ.σειράς}} =$$

$$R_{\text{ολ.παράλληλα}} =$$

$$C_{\text{ολ.παράλληλα}} =$$

Προαιρετικές ερωτήσεις - ασκήσεις.

Π.1. Να βρεθεί το δυναμικό σε απόσταση:

(α) 30cm (β) 60cm

από ένα φορτίο πηγή $Q = -4\mu\text{C}$.

Πόση δυναμική ενέργεια έχει φορτίο $q' = 2\mu\text{C}$ αν βρεθεί σε απόσταση 30cm;
Δίνεται ότι: $1\mu\text{C} = 10^{-6}\text{C}$ και $k = 9 \cdot 10^9\text{N}\cdot\text{m}^2\text{C}^{-2}$.

Άσκηση 7

Κύκλωμα αντίστασης και πυκνωτή (RC).

7.1 Εισαγωγή.

Σε πολλές από τις συσκευές που χρησιμοποιούμε στην καθημερινή ζωή, όπως τα στερεοφωνικά, οι τηλεοράσεις, οι τηλεφωνικές συσκευές, οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές, υπάρχει η ανάγκη να αποθηκεύεται κάποια ποσότητα ηλεκτρικού φορτίου για ορισμένο χρονικό διάστημα και να χρησιμοποιείται την κατάλληλη χρονική στιγμή. Η διάταξη με την οποία επιτυγχάνεται η αποθήκευση του ηλεκτρικού φορτίου είναι ο πυκνωτής.

Ο πυκνωτής αποτελεί ένα μεγάλο πεδίο εφαρμογών και μελέτης για τον ηλεκτρολόγο μηχανικό. Διατάξεις πολλαπλασιασμού τάσης, κυκλώματα αποθήκευσης ενέργειας, κυκλώματα ανόρθωσης, φίλτρα, κυκλώματα *snubber* κι άλλες πολλές εφαρμογές απαιτούν ειδικές μελέτες που πρέπει να φέρει εις πέρας ένας μηχανικός.

Μέρος της προσπάθειας μας θα επικεντρωθεί στην περαιτέρω ανάλυση του πυκνωτή, στα ισοδύναμα κυκλώματα, και στην συμπεριφορά του σε κυκλώματα συνεχούς και με εναλλασσόμενες κυματομορφές. Τονίζεται ότι οι εναλλασσόμενες κυματομορφές δεν είναι μόνο ημιτονοειδής.

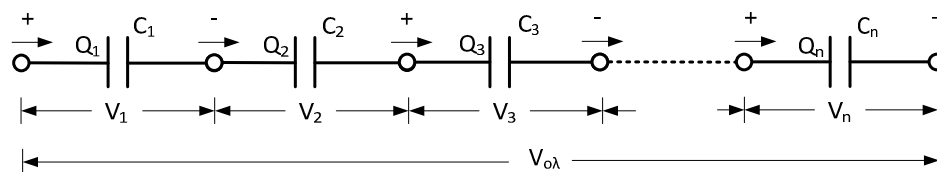
Εξίσου σημαντικό θεωρείτε η κάπως πιο αναλυτική αναφορά στη διαφοροποίηση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του πυκνωτή. Όπως γνωρίζουμε η χωρητικότητα του σχετίζεται άμεσα με τα χαρακτηριστικά αυτά.

7.2 Σύνδεση πυκνωτών - συστοιχίες πυκνωτών.

Όπως και η σύνδεση αντιστάσεων έτσι και οι πυκνωτές συνδέονται σε σειρά και παράλληλα. Όπως και σε τοπολογία αστέρα και τριγώνου, συνδεσμολογίες όμως που κατά βάση συναντάμε σε τριφασικά κυκλώματα εναλλασσομένου ρεύματος. Όπως θα διαπιστώσουμε στο τέλος, όσο αφορά την σύνδεση των αντιστάσεων σε σειρά και παράλληλα, οι κανόνες υπολογισμού ισχύουν αντίστροφα από εκείνες που είχαμε μάθει για τις αντιστάσεις.

7.2.1 Σύνδεση πυκνωτών σε σειρά.

Η σύνδεση πυκνωτών σε σειρά δίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 7.1: Σύνδεση πυκνωτών σε σειρά.

Με βάση τις ηλεκτρικές ιδιότητες της σύνδεσης σε αυτής, η συνολική τάση του κυκλώματος θα είναι το άθροισμα των επιμέρους τάσεων. Δηλαδή:

$$V_{ολ} = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n$$

Σύμφωνα με όσα έχουμε αναφέρει σε σχέση με τον μηχανισμό φόρτισης των πυκνωτών, η φόρτιση των πλακών θα γίνει ακριβώς με τον ίδιο τρόπο. Θα αποκτήσουν δηλαδή θετικά φορτία και αρνητικά αντίστοιχα. Αν κοιτάξουμε το σχήμα η φόρτιση των οπλισμών ακολουθεί μια συγκεκριμένη αλληλουχία. Όλοι οι αριστεροί οπλισμοί θα έχουν θετικό φορτίο $+Q_1, +Q_2, +Q_3, \dots, +Q_n$, και όλοι οι δεξιοί οπλισμοί θα αποκτήσουν αρνητικό φορτίο $-Q_1, -Q_2, -Q_3, \dots, -Q_n$.

Αυτά τα φορτία είναι ίσα μεταξύ τους λόγω των δυνάμεων που ασκούνται μεταξύ τους, και ισχύει ότι:

$$Q = Q_1 = Q_2 = Q_3 = \dots = Q_n$$

Αν αντικαταστήσουμε τις ισοδύναμες τάσεις που επικρατούν στα άκρα των οπλισμών με την αντίστοιχη σχέση που εκφράζεται από την χωρητικότητα για κάθε πυκνωτή θα έχουμε:

$$V_{ολ} = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n = \frac{Q_1}{C_1} + \frac{Q_2}{C_2} + \frac{Q_3}{C_3} + \dots + \frac{Q_n}{C_n}$$

Και αφού τα φορτία είναι ίδια:

$$V_{ολ} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \frac{Q}{C_3} + \dots + \frac{Q}{C_n}$$

$$V_{ολ} = Q \cdot \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_n} \right)$$

$$\frac{V_{ολ}}{Q} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

$$\frac{1}{C_{ολ}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

Το χαρακτηριστικό που παρατηρούμε στη προκειμένη περίπτωση είναι η σύνδεση των πυκνωτών σε σειρά να προκαλεί μείωση της συνολικής χωρητικότητας τις συστοιχίας. Αν για παράδειγμα θεωρήσουμε τρεις πυκνωτές όμοιων χαρακτηριστικών μεταξύ τους C_1 , C_2 και C_3 , τότε η πιο πάνω σχέση θα γίνει:

$$\frac{1}{C_{ολ}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

$$\frac{1}{C_{ολ}} = \frac{3}{C} \Rightarrow C_{ολ} = \frac{C}{3}$$

Γενικά για n αριθμό ίσων πυκνωτών ισχύει:

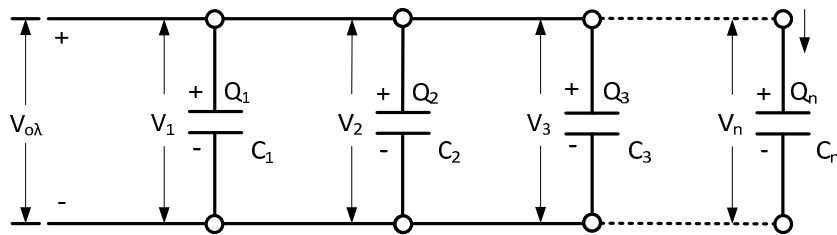
$$C_{ολ} = \frac{C}{n}$$

Για τη σύνδεση δύο πυκνωτών σε σειρά μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε των παρακάτω τύπο όπως και στη περίπτωση των δυο παράλληλων αντιστάσεων.

$$C_{ολ} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$$

7.2.2 Σύνδεση πυκνωτών παράλληλα.

Στο επόμενο σχήμα δίνεται η σύνδεση τοπολογίας πυκνωτών παράλληλα με τα βασικά χαρακτηριστικά του κυκλώματος.



Εικόνα 7.2: Σύνδεση πυκνωτών παράλληλα.

Όπως ήδη γνωρίζουμε, η τάση του κυκλώματος δεν μπορεί παρά να είναι ίδια σε όλα τα άκρα των πυκνωτών, όπως ισχύ πάντα για παράλληλη σύνδεση.

$$V_{ολ} = V_1 = V_2 = V_3 = \dots = V_n$$

Η φόρτιση των οπλισμών γίνεται με τον ίδιο τρόπο ανάλογα με την σύνδεση. Όπως φαίνεται και στην παραπάνω εικόνα, όλοι οι πάνω οπλισμοί είναι συνδεδεμένοι με και φορτισμένοι με θετικό φορτίο $+Q_1, +Q_2, +Q_3$, έως $+Q_n$, ενώ οι από κάτω οπλισμοί είναι συνδεδεμένοι και φορτισμένοι με αρνητικό φορτίο $-Q_1, -Q_2, -Q_3$, έως $-Q_n$.

Με αντικατάσταση του ισοδύναμου των φορτίων στα άκρα των οπλισμών με την αντίστοιχη, για κάθε πυκνωτή θα έχουμε:

$$\begin{aligned} Q_1 &= C_1 \cdot V \\ Q_2 &= C_2 \cdot V \\ Q_3 &= C_3 \cdot V \\ &\vdots \\ Q_n &= C_n \cdot V \end{aligned}$$

Το ολικό ηλεκτρικό φορτίο Q της συστοιχίας είναι:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n$$

Αν αντικαταστήσουμε τις προηγούμενες σχέσεις θα καταλήξουμε στην ολική χωρητικότητα της συστοιχίας η οποία είναι:

$$Q = (C_1 \cdot V) + (C_2 \cdot V) + (C_3 \cdot V) + \dots + (C_n \cdot V)$$

$$Q = V \cdot (C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n)$$

$$\frac{Q}{V} = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n$$

$$C_{ολ} = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n$$

Γενικά για n αριθμό ίδιων πυκνωτών που έχουν συνδεθεί παράλληλα ισχύει:

$$C_{ολ} = n \cdot C$$

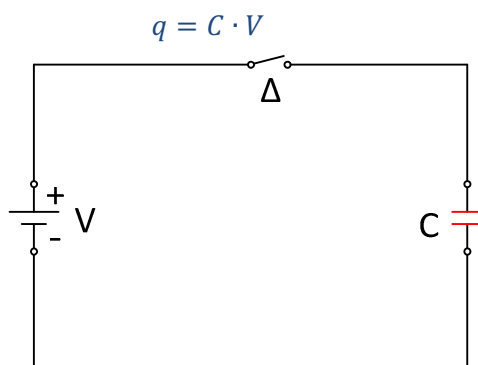
Παρατηρούμε ότι η χωρητικότητα των πυκνωτών στη περίπτωση αυτή αυξάνει.

Σαν γενικό συμπέρασμα που μπορούμε να πούμε ότι η συμπεριφορά ενός πυκνωτή στο κύκλωμα λειτουργεί σαν μια αγωγιμότητα.

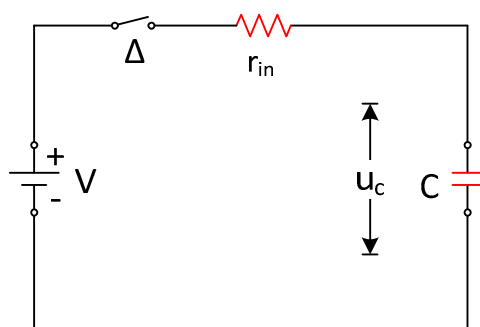
Τέλος, να τονίσουμε ότι η τάση λειτουργίας πυκνωτών σε παράλληλη διάταξη δεν πρέπει να υπερβαίνει την ονομαστική τάση λειτουργίας του πυκνωτή με την μικρότερη τιμή. Σε διαφορετική περίπτωση αυτός ο πυκνωτής θα καταστραφεί.

7.3 Μεταβατικό φαινόμενο στον πυκνωτή.

Θεωρώντας τον πυκνωτή ιδανικό ωφελεί πολλές φορές για την μελέτη ενός κυκλώματος όταν δεν θέλουμε να συνυπολογίσουμε τις απώλειες του κυκλώματος. Στη περίπτωση του ιδανικού πυκνωτή, αν εφαρμόσουμε μια τάση V και δεν υπάρχει καμιά ωμική απώλεια, ο πυκνωτής θα φορτιστεί αμέσως με φορτίο ίσο με:



Στη πραγματικότητα όμως, ο πυκνωτής κατασκευάζεται από πεπερασμένα υλικά. Οι απώλειες του εμφανίζονται παράλληλα με τον οπλισμό και αυτό ερμηνεύει και το φαινόμενο εκφόρτισης του όταν δεν είναι συνδεδεμένος σε κάποιο κύκλωμα. Έκτος την αντίσταση απωλειών, υπάρχουν και άλλες αντιστάσεις που εμφανίζονται στο κύκλωμα από τον ίδιο τον οπλισμό του πυκνωτή λόγω υλικού κατασκευής. Ας υποθέσουμε ότι είναι όπως στο παρακάτω κύκλωμα.



Αν ο πυκνωτής κατά το κλείσιμο του διακόπτη έχει μηδενικό φορτίο, τότε συμπεριφέρεται σαν βραχυκύκλωμα και η τάση u_c είναι μηδενική, ενώ το ρεύμα που διαρρέει το κύκλωμα είναι:

$$i = \frac{u_r}{r_{in}}$$

Κατά τη διάρκεια που αρχίζει να κυκλοφορεί ρεύμα στο κύκλωμα, ο πυκνωτής φορτίζει σταδιακά και η τάση u_c αρχίζει να αυξάνει ταυτόχρονα. Σύμφωνα με το 2^ο νόμο του *Kirchhoff* η τάση στην αντίσταση R είναι μικρότερη.

$$u_r = V - u_c$$

Καθώς η τάση είναι μικρότερη, θα είναι και το ρεύμα που κυκλοφορεί στο κύκλωμα μικρότερο.

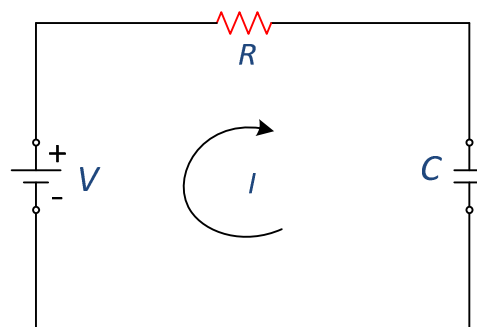
$$i = \frac{u_r}{r_{in}} = \frac{V - u_c}{r_{in}}$$

Όσο συνεχίζεται αυτή η διαδικασία η u_c μεγαλώνει συνέχεια και το ρεύμα i μικραίνει συνέχεια. Στο τέλος αυτής της διαδικασίας, η u_c γίνεται ίση με την τάση της πηγής. Όταν συμβεί αυτό το ρεύμα θα μηδενιστεί τότε ο πυκνωτής θα λειτουργεί σαν ένας ανοιχτός διακόπτης. Το προηγούμενο είναι ένα μεταβατικό φαινόμενο που μεσολαβεί κατά την φόρτιση και την εκφόρτιση του πυκνωτή και είναι ένα πάρα πολύ μικρό χρονικό διάστημα.

Αυτό που πρέπει να κρατήσουμε από τα παραπάνω είναι ότι αφορά τη λειτουργία του πυκνωτή σε κυκλώματα με συνεχή τάση, όπου συμπεριφέρεται σαν ανοιχτό κύκλωμα. Το χαρακτηριστικό ενός ανοιχτού κυκλώματος είναι ότι ή τάση μεταφέρετε στα άκρα του κυκλώματος και η αντίσταση φορτίου είναι άπειρη ($R \rightarrow \infty$).

7.4 Κυκλώματα αντίστασης - πυκνωτή (R-C).

Είναι σχεδόν αδύνατο να συναντήσουμε έναν πυκνωτή σε ένα κύκλωμα μόνο του. Η σύνδεση του γίνεται σε συνδυασμό με άλλα στοιχεία. Μία από τις πιο γνωστές είναι η σύνδεση πυκνωτών σε σειρά με ωμικές αντιστάσεις. Τέτοια κυκλώματα αποκαλούνται κυκλώματα αντίστασης - πυκνωτή και ένα τέτοιο κύκλωμα είναι και το παρακάτω:



Εικόνα 7.3: Κύκλωμα αντίστασης πυκνωτή.

Η μαθηματική σχέση που μας δίνει το ρεύμα που κυκλοφορεί στο κύκλωμα όταν ένας πυκνωτής είναι συνδεδεμένος με μια πηγή τάσης είναι:

$$i = C \cdot \frac{du_c}{dt}$$

Η παραπάνω σχέση λέει ότι το ρεύμα είναι ανάλογο με τη χωρητικότητα του πυκνωτή C και την ταχύτητα μεταβολής της τάσης στους ακροδέκτες του.

Αν λύσουμε τη παραπάνω σχέση ως προς u_c θα έχουμε:

$$u_c = \frac{1}{C} \cdot \int_0^t i dt + V_{C_0}$$

Όπου V_{C_0} η αρχική τάση του πυκνωτή. Αν θεωρήσουμε σε μία μελέτη μας ότι ο πυκνωτής είναι αφόρτιστος, τότε $V_{C_0} = 0$.

Επειδή ανάμεσα στο ρεύμα i και στο φορτίο q ισχύει η παρακάτω σχέση:

$$i = \frac{dq}{dt}$$

η προηγούμενη σχέση γίνεται:

$$u_c = \frac{1}{C} \cdot \int_0^t \frac{dq}{dt} \cdot dt \Rightarrow u_c = \frac{1}{C} \cdot \int_0^t dq$$

Έτσι γίνεται φανερό ότι το ολοκλήρωμα στην παραπάνω σχέση αντιπροσωπεύει το φορτίο q που έχει αποθηκευτεί στον πυκνωτή μέχρι τη χρονική στιγμή t .

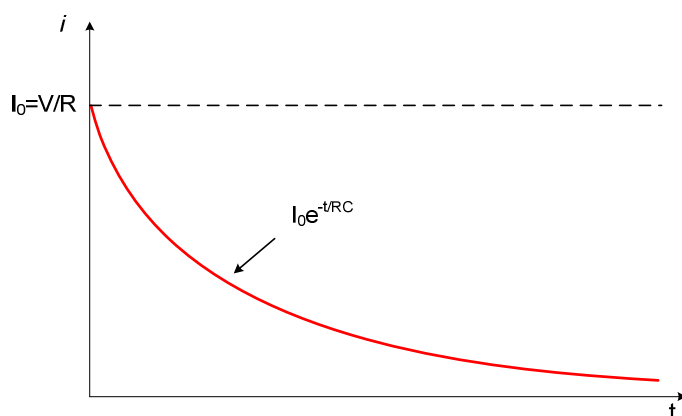
Αποδεικνύεται ότι το ρεύμα που διαρρέει το κύκλωμα του πυκνωτή κάθε χρονική στιγμή είναι:

$$i = I_0 \cdot e^{-t/RC}$$

Όπου I_0 το ρεύμα στην αρχική στην αρχική κατάσταση του πυκνωτή. Στην όλη διαδικασία υπολογισμού το θεωρείτε ότι η αρχική τάση φόρτισης των οπλισμών είναι μηδέν $V_{C_0} = 0$ άρα και το ρεύμα I_0 θα είναι:

$$I_0 = \frac{V}{R}$$

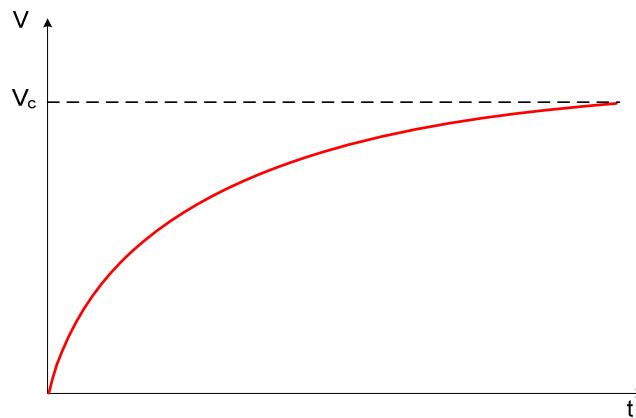
Αν προσπαθήσουμε να χαράξουμε την γραφική παράσταση $i = f(t)$ θα παρατηρήσουμε ότι το ρεύμα μειώνεται εκθετικά όπως παρακάτω. Αυτό σημαίνει ότι θα μηδενιστεί σε χρόνο $t = \infty$.



Εικόνα 7.4: Χαρακτηριστική ρεύματος κυκλώματος φόρτισης πυκνωτή.

Πρακτικά, μετά από κάποιο χρονικό διάστημα, το ρεύμα είναι μικρότερο από 1% του I_0 .

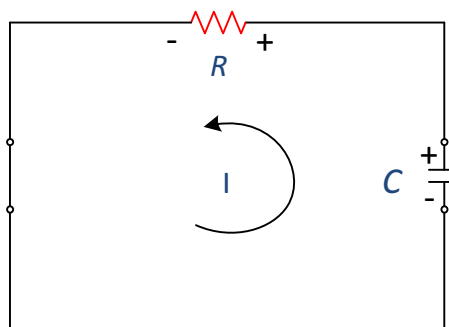
Ενώ η φόρτιση του πυκνωτή με ηλεκτρικό φορτίο ακολουθεί την αντίθετη πορεία με το ρεύμα που κυκλοφορεί στο κύκλωμα. Η παρακάτω εικόνα είναι η χαρακτηριστική της τάσης του πυκνωτή σε συνάρτηση με το χρόνο $v_c = f(t)$:



Εικόνα 7.5: Χαρακτηριστική τάσης οπλισμών κατά τη φόρτιση του πυκνωτή.

7.4.1 Εκφόρτιση του πυκνωτή.

Στη περίπτωση αυτή θα εξετάσουμε τον πυκνωτή μετά την φόρτιση του. Αν ρίξουμε μια ματιά στην επόμενη εικόνα, θα δούμε ότι στη θέση της πηγής έχουμε τοποθετήσει ένα βραχυκύκλωμα.



Εικόνα 7.6: Εκφόρτιση πυκνωτή.

Ο πυκνωτής έχει αποκτήσει τάση V_c από την προηγούμενη κατάσταση. Μετά την βραχυκύκλωση της πηγής η τάση του πυκνωτή εφαρμόζεται πάνω στην ωμική αντίσταση και η φορά του ρεύματος είναι αυτή φαίνεται στο παραπάνω κυκλωματικό διάγραμμα. Για τις τάσεις του κυκλώματος ισχύει το εξής:

$$u_R = u_c$$

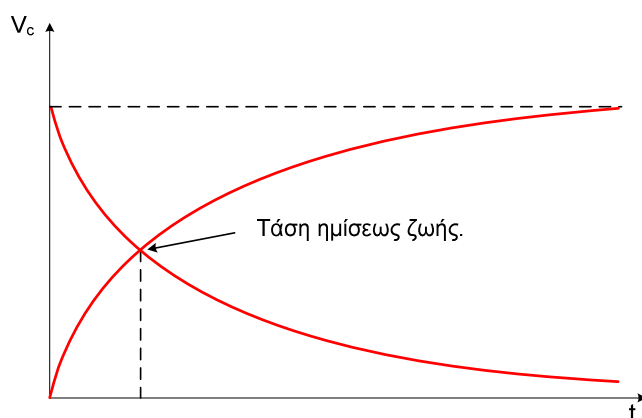
Και το αρχικό ρεύμα είναι:

$$I_0 = \frac{V_{c0}}{R}$$

Η μείωση του ρεύματος κατά την εκφόρτιση είναι εκθετική και με τον ίδιο τρόπο με την διαδικασία φόρτιση. Το τελικό ρεύμα όμως στη προκειμένη περίπτωση θα είναι μηδέν, επειδή η αποθηκευμένη ενέργεια μέσα στον πυκνωτή θα καταναλωθεί σαν θερμότητα πάνω στην ωμική αντίσταση. Η εξίσωση που δίνει την μείωση του ρεύματος είναι:

$$i = I_0 \cdot e^{-t/RC}$$

Αν συγκρίνουμε τις δυο γραφικές παραστάσεις, φόρτισης και εκφόρτισης, θα έχουμε την παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 7.7: Τάση ημίσεως ζωής.

Η παραπάνω εικόνα είναι ο γραφικός προσδιορισμός του χρόνου φόρτισης και εκφόρτισης του πυκνωτή.

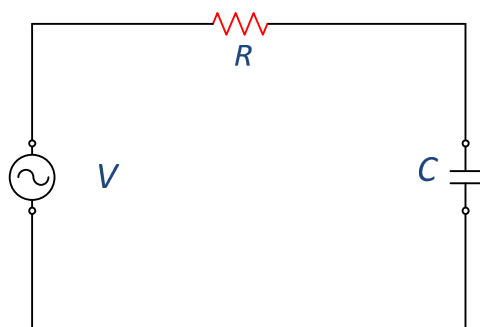
7.5 Απόκριση R-C κυκλώματος σε εναλλασσόμενη τάση.

Εκεί που τα κυκλώματα R-C παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον είναι η χρήση τους σε ημιτονοειδείς τάσεις και όχι μόνο. Αυτό που έχει σημασία σε τέτοια κυκλώματα είναι η μεταβολή της τάσης στη μονάδα του χρόνου ($\frac{du}{dt}$). Ο συντελεστής αυτός στο συνεχές είναι μηδέν καθώς η τάση είναι πάντα σταθερή.

Είδαμε πριν ότι η σύνδεση ενός πυκνωτή σε κύκλωμα με συνεχή τάση, προκαλεί τη διακοπή του κυκλώματος, επειδή παρεμβάλλεται ανάμεσα από τους σπλισμούς το μονωτικό του.

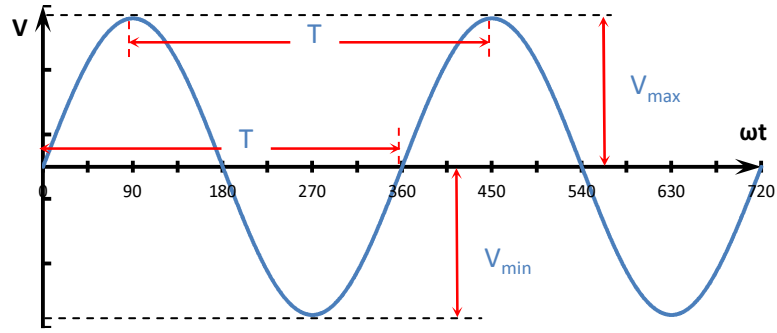
Σε κυκλώματα με εναλλασσόμενη τάση θα δούμε ότι ο πυκνωτής δεν προκαλεί διακοπή του κυκλώματος γιατί η τάση της πηγής που τροφοδοτεί το κύκλωμα, εναλλάσσεται συνεχώς. Ο πυκνωτής τότε υπόκειται σε συνεχείς φορτίσεις και εκφορτίσεις και κατά συνέπεια, το κύκλωμα να διαρρέεται από αυτά τα ρεύματα.

Μελετώντας το κύκλωμα που φαίνεται παρακάτω, θα δούμε σύντομα τη λειτουργία του πυκνωτή στο εναλλασσόμενο.



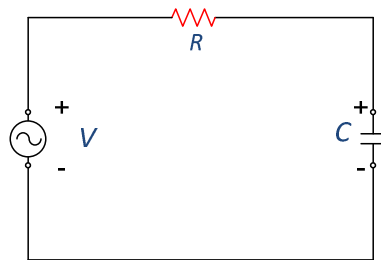
Εικόνα 7.8: Σύνδεση πυκνωτή στο εναλλασσόμενο.

Η τάση που δίνει η πηγή είναι ημιτονοειδής συνάρτηση του χρόνου, με μέγιστο πλάτος V_0 και γωνιακή συχνότητα ω (σχετικά με τα ημιτονοειδή χαρακτηριστικά έχουμε αναφερθεί σε προηγούμενη άσκηση).



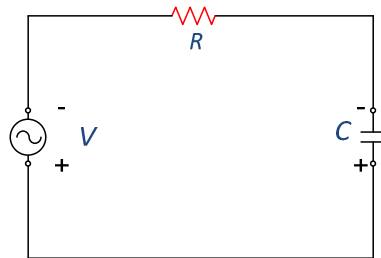
Εικόνα 7.9: Καμπύλη ημιτόνου.

Κατά την ημιπερίοδο $0^\circ - \pi$ του ημιτόνου, η τάση στο κύκλωμα είναι θετική, συνεπώς και οι οπλισμοί του πυκνωτή θα είναι φορτισμένοι όπως παρακάτω:



Εικόνα 7.10: Πόλωση πυκνωτή στη πρώτη ημιπερίοδο της τάσης.

Κατά τη διάρκεια $\pi - 360^\circ$ του ημιτόνου, η τάση είναι αρνητική. Εκείνη τη χρονική στιγμή αποφορτίζετε ο από τη προηγούμενη πόλωση και πολώνεται αρνητικά όπως παρακάτω.



Εικόνα 7.11: Πόλωση πυκνωτή στη δεύτερη ημιπερίοδο της τάσης.

Αν η τάση του κυκλώματος έχει ημιτονοειδή μορφή, τότε ακόμα και το ρεύμα στο κύκλωμα θα έχει ημιτονοειδή μορφή αλλά με πλάτος και φάση που μεταβάλλονται με την συχνότητα και την αντίσταση του κυκλώματος. Σε συχνότητες όπως αυτή του δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, κατά τη διάρκεια των φορτίσεων και εκφορτίσεων, το ρεύμα δεν προλαβαίνει να μηδενιστεί και είναι ίσο με:

$$I_C = \frac{V}{X_C}$$

Όπου ο όρος X_C ονομάζεται χωρητική αντίσταση και είναι ίση με:

$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C}$$

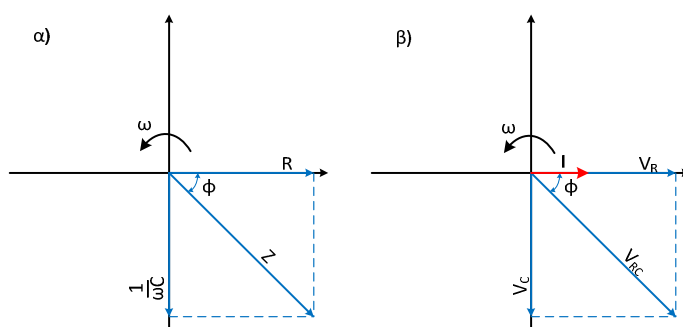
Ο συντελεστής ω ονομάζεται κυκλική συχνότητα και εξαρτάται από τη συχνότητα. Η χωρητική αντίσταση μετριέται και αυτή σε $\Omega\mu$. Με αντικατάσταση των προηγούμενων, το ρεύμα που διαρρέει το κύκλωμα δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$I_C = V \cdot [2 \cdot \pi \cdot f] \cdot C$$

Η παραπάνω σχέση δείχνει την άμεση εξάρτηση της χωρητικής αντίστασης από τη συχνότητα και συνεπώς και του ρεύματος. Όταν στο κύκλωμα υπάρχει και άλλη ωμική αντίσταση σε σειρά με τον πυκνωτή τότε το κύκλωμα παρουσιάζει μια σύνθετη αντίσταση Z που έχει μέτρο:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$$

Όπως καταλαβαίνει κανείς από τη παραπάνω σχέση, η σύνθετη αντίσταση είναι το διανυσματικό άθροισμα των δυο αντιστάσεων. Παρακάτω δίνονται τα διανυσματικά διαγράμματα που παρουσιάζουν οι τάσεις του κυκλώματος και οι αντιστάσεις αντίστοιχα στη συνδεσμολογία του προηγούμενου κυκλώματος.

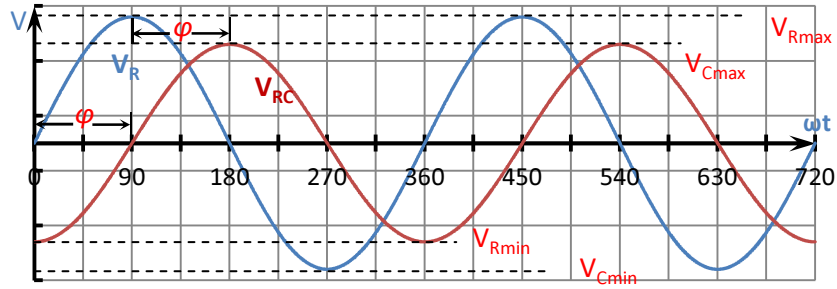


Εικόνα 7.12: Διανυσματικά χαρακτηριστικά του τάσεων και αντιστάσεων.

Η παρατηρήσεις που μπορούμε να κάνουμε είναι ότι ή τάση στον πυκνωτή καθυστερεί κατά 90° από την τάση στα άκρα της αντίστασης R και ακόμη ότι η συνολική τάση του κυκλώματος καθυστερεί από το ρεύμα που διαρρέει το κύκλωμα κατά μια γωνία φ . Επίσης μπορούμε να δούμε ότι το ρεύμα του κυκλώματος είναι συμφασικό με τη τάση στα άκρα της αντίστασης. Η γωνία φ εξαρτάται από το μέγεθος της αντίστασης στο κύκλωμα. Όσο η αντίσταση γίνεται μικρότερη η γωνία τείνει να γίνει 90° . Ο συντελεστής ισχύος καθορίζεται από όλα τα στοιχεία του κυκλώματος και είναι:

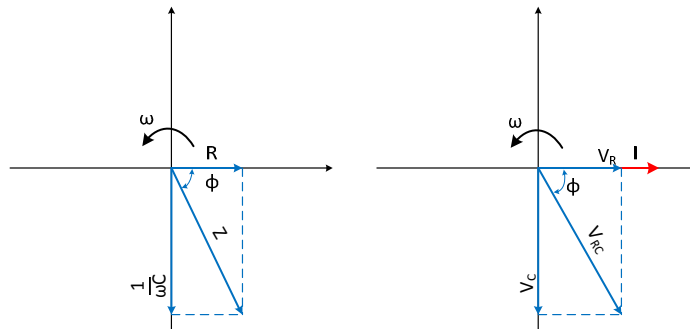
$$\tan^{-1} = \frac{-X_C}{R} \quad \text{ή} \quad \cos\varphi = \frac{R}{-X_C} \quad \text{ή} \quad \cos\varphi = \frac{V_R}{V}$$

Όλα τα παραπάνω σχετίζονται με όσα σε προηγούμενη άσκηση είχαμε αναφέρει για τη διαφορά φάσεις. Η παραπάνω γωνία καθυστέρησης που παρουσιάζεται ανάμεσα στη τάση της αντίστασης και την τάση στα άκρα του πυκνωτή, εμφανίζεται γραφικά στην παρακάτω εικόνα.

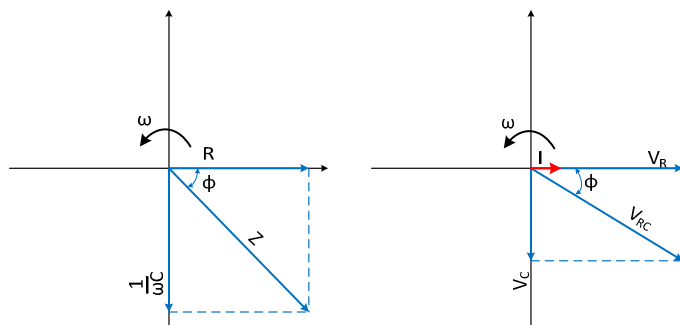


Εικόνα 7.13: Διαφορά φάσης ανάμεσα στη τάση της πηγής και την συνολική τάση του κυκλώματος R-C.

Μεγαλύτερη ή μικρότερη τιμή της αντίστασης, διαμορφώνει ανάλογα την διαφορά φάσης στο κύκλωμα.



Εικόνα 7.14: Διανυσματικά χαρακτηριστικά σε κύκλωμα R-C με μικρότερη ωμική αντίσταση.

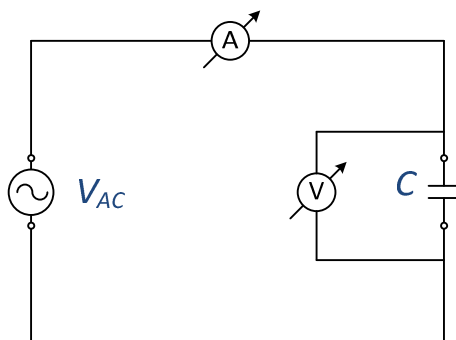


Εικόνα 7.15: Διανυσματικά χαρακτηριστικά σε κύκλωμα R-C με μεγαλύτερη ωμική αντίσταση.

Σύμφωνα με τους κανόνες του *Kirchhoff* αυτό που άλλαξε είναι η κατανομή της τάσης στο κύκλωμα ενώ μεταβάλλαμε μόνο την ωμική αντίσταση.

7.6 Μέτρηση της χωρητικής αντίστασης.

Η χωρητική αντίσταση είναι ένα μέγεθος που εμφανίζεται στον πυκνωτή όταν στα άκρα του εφαρμοστεί εναλλασσόμενη τάση. Συνηθίζετε να την αποκαλούμε και χωρητική αντίδραση ή απλά αντίδραση για το λόγο ότι είναι κάτι αντίστοιχο με την ωμική αντίσταση. Ας πούμε ότι αυτός ο ορισμός, της αντίδρασης, συνδέετε με την ιδιότητα του να προκαλεί μια διαφορά φάσης ανάμεσα στη τάση και το ρεύμα που το διαρρέουν. Η συνδεσμολογία του κυκλώματος είναι αυτή που εμφανίζεται στην παρακάτω εικόνα και η τάση που εφαρμόζουμε στα άκρα του πυκνωτή είναι εναλλασσόμενη ημιτονοειδής.



Εικόνα 7.16: Συνδεσμολογία μέτρησης του πυκνωτή στο εναλλασσόμενο.

Η τάση αυτή έχει τα χαρακτηριστικά που περιγράψαμε στο πέμπτο κεφάλαιο. Αφού λοιπόν η χωρητική αντίσταση X_C είναι κάτι αντίστοιχο με την ωμική αντίσταση και εμφανίζεται στο εναλλασσόμενο, τότε θα δίνεται από τα αντίστοιχα μεγέθη:

$$X_C = \frac{V_{AC}}{I_{AC}}$$

Όσο αφορά το εναλλασσόμενο γνωρίζουμε ότι υπάρχει μια διαφοροποίηση σε σχέση με το συνεχές. Το μέγεθος της τάσης και του ρεύματος χαρακτηρίζονται από το μέγιστο, μέση και ενεργή τιμή. Αν στη παραπάνω σχέση χρησιμοποιήσουμε τις μέγιστες τιμές τότε η σχέση παίρνει την παρακάτω μορφή:

$$X_C = \frac{V_C}{I_C} = \frac{V_m}{I_m}$$

Η χωρητική αντίσταση επίσης χωρίζεται σε δύο κομμάτια. Το ένα κομμάτι του είναι το ωμικό μέρος του και το άλλο είναι το χωρητικό μέρος. Δηλαδή:

$$\dot{X}_C = R - \frac{1}{j \cdot \omega \cdot C}$$

Το στοιχείο $-j\omega$ είναι μιγαδικό και δεν θα μας απασχολήσει, το αρνητικό πρόσημο υποδηλώνει το όρισμα της γωνία. Η χρήση του στη προκειμένη περίπτωση γίνεται για να δούμε την διανυσματική έκφραση αυτών των μεγεθών.

Επειδή η ωμική αντίσταση του πυκνωτή είναι πάρα πολύ μικρή, αρκετές φορές δεν λαμβάνετε υπόψη και υπολογίζουμε την X_C με τον παρακάτω τύπο:

$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C}$$

7.7 Εργαστηριακή άσκηση.

1. Σας δίνονται πέντε διαφορετικοί πυκνωτές με διαφορετικά χαρακτηριστικά.

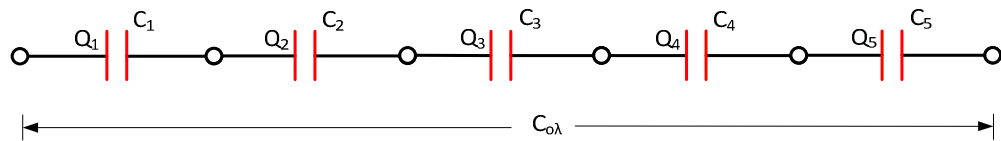
	Χωρητικότητα (μF)	Τάση λειτουργίας (V)	Μέτρηση με γέφυρα (μF)
C_1			
C_2			
C_3			
C_4			
C_5			

Πραγματοποιήστε τις παρακάτω συνδεσμολογίες συστοιχιών και μετρήστε της ζητούμενες τιμές σε κάθε μια από αυτές. Υπολογίστε την συνολική χωρητικότητα τις συστοιχίας σε κάθε περίπτωση και συγκρίνετέ την με την μέτρηση που θα λάβετε από την μέτρηση με γέφυρα.

α) Σύνδεση σειράς.

Υπολογισμένες τιμές:

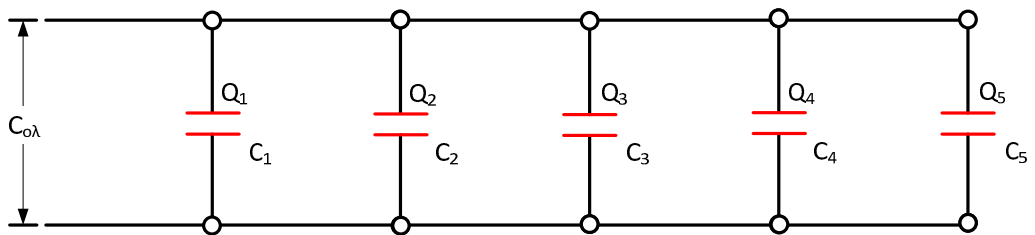
Μετρούμενες τιμές με γέφυρα:



β) Παράλληλη σύνδεση.

Υπολογισμένες τιμές:

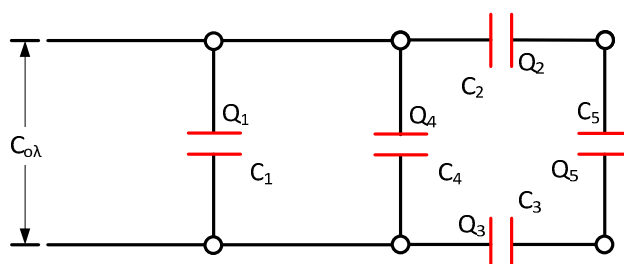
Μετρούμενες τιμές με γέφυρα:



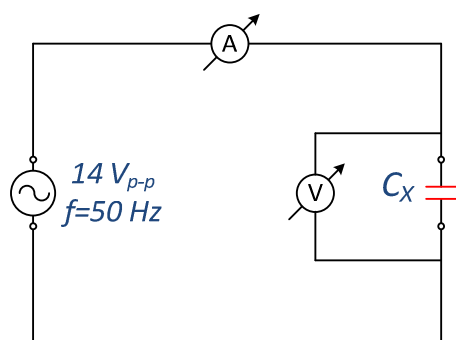
γ) Μεικτή σύνδεση.

Υπολογισμένες τιμές:

Μετρούμενες τιμές με γέφυρα:



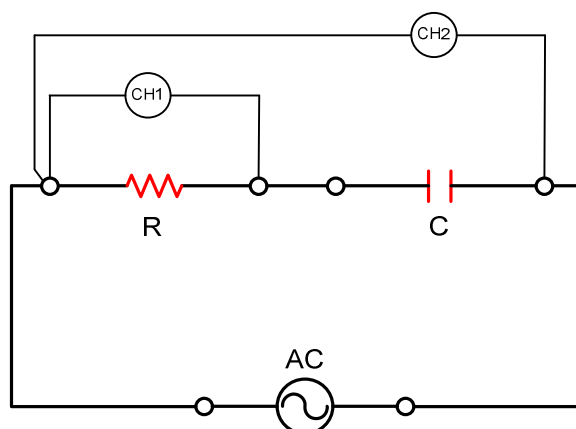
2. Ρυθμίστε την παλμογεννήτρια με τάση εξόδου $14 V_{p-p}$ και συχνότητα $50 Hz$. Χρησιμοποιήστε ένα βολτόμετρο και ένα αμπερόμετρο και υλοποιήστε το παρακάτω κύκλωμα.



Τοποθετήστε με τη σειρά τους πυκνωτές που έχετε στη διάθεση σας και μετρήστε διαδοχικά τις τιμές τάσης και ρεύματος και καταγράψτε τις τιμές στον παρακάτω πίνακα.

	Χωρητικότητα (μF)	Τάση (V)	Ρεύμα (mA)	X_C (Ω)
C_1				
C_2				
C_3				
C_4				
C_5				

3. Επιλέξτε ένα από τους πυκνωτές που έχετε στη διάθεση σας. Ρυθμίστε την παλμογεννήτρια με ημιτονοειδή τάση εξόδου $14 V_{p-p}$ και συχνότητα $1 kHz$. Υλοποιήστε το παρακάτω κύκλωμα χρησιμοποιώντας διαδοχικά τρεις διαφορετικές αντιστάσεις R τουλάχιστον μιας κλάσης ανώτερη την μία από την άλλη και πραγματοποιήστε τις μετρήσεις που ζητούνται για την συμπλήρωση των παρακάτω πινάκων. Προτείνεται να χρησιμοποιήσετε τον ίδιο πυκνωτή και στις τρεις μετρήσεις που ζητούνται. Προσπαθήστε να κρατήσετε την τάση εισόδου σταθερή.



- i. Μετρήστε με το κατάλληλο τρόπο την περίοδο των δύο σημάτων. Επίσης να μετρήσετε την χρονική διαφορά των δύο σημάτων και να υπολογίσετε τη διαφορά φάσης.
- ii. Πραγματοποιήστε μετρήσεις για διάφορες τιμές συχνότητας και καταχωρήστε τις στους παρακάτω πίνακες.

α) Στοιχεία κυκλώματος: $R = \dots\dots\dots \Omega$ $C = \dots\dots\dots \mu F$

f (kHz)	time/div	div	Δt	ϕ	Volt/div	Div
0,1						
1						
10						
100						
1000						

β) Στοιχεία κυκλώματος: $R = \dots\dots\dots \Omega$ $C = \dots\dots\dots \mu F$

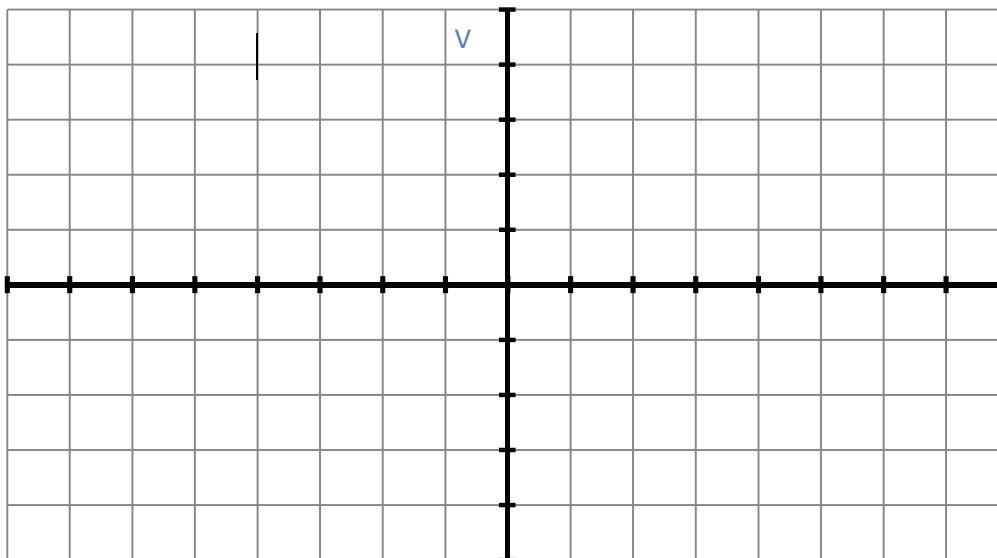
f (kHz)	time/div	div	Δt	ϕ	Volt/div	Div
0,1						
1						
10						
100						
1000						

γ) Στοιχεία κυκλώματος: $R = \dots\dots\dots \Omega$ $C = \dots\dots\dots \mu F$

f (kHz)	time/div	div	Δt	ϕ	Volt/div	Div
0,1						
1						
10						
100						
1000						

- iii. Μπορείτε να κάνετε και άλλες μετρήσεις κάνοντας περισσότερους συνδυασμούς $R-C$.
- iv. Καταγράψτε τις παρατηρήσεις σας και προσπαθήστε να τις ερμηνεύσετε.

4. Χωρίς να αλλάξετε την συνδεσμολογία του κυκλώματος, ρυθμίστε την συχνότητα του κυκλώματος στο 1kHz και πατήστε το πλήκτρο $X - Y$ που διαθέτει ο παλμογράφος. Προσπαθήστε να εκμεταλλευτείτε το μέγιστο της οθόνης του παλμογράφου. Καταγράψτε τι παρατηρείτε. Αν η πιο κάτω εικόνα ήταν η οθόνη του παλμογράφου σας προσπαθήστε να καταγράψετε την παραπάνω εικόνα με μια σχετικά καλή ακρίβεια.



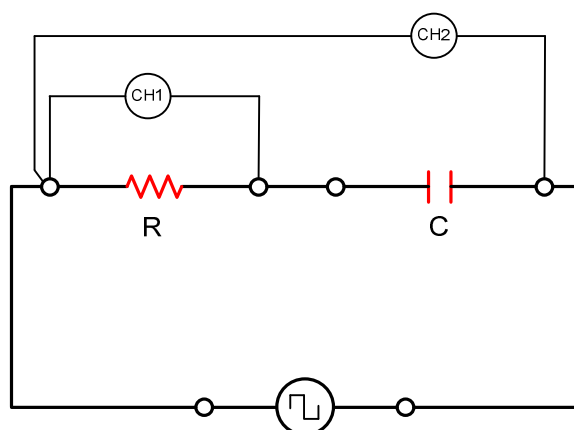
Είναι χρήσιμο να καταγράψετε για την παραπάνω εικόνα τα εξής στοιχεία:

- α) Τα τετράγωνα της απόστασης από την κεντρική οριζόντια γραμμή της οθόνης μέχρι το σημείο που κόβει την έλλειψη ο κεντρικός κατακόρυφος άξονας και
 β) τα τετράγωνα της απόστασης από την κεντρική οριζόντια γραμμή της οθόνης μέχρι το μέγιστο ύψος της έλλειψης.

$Time/Div = \dots\dots\dots$ $A = \dots\dots\dots Div$ $B = \dots\dots\dots Div$

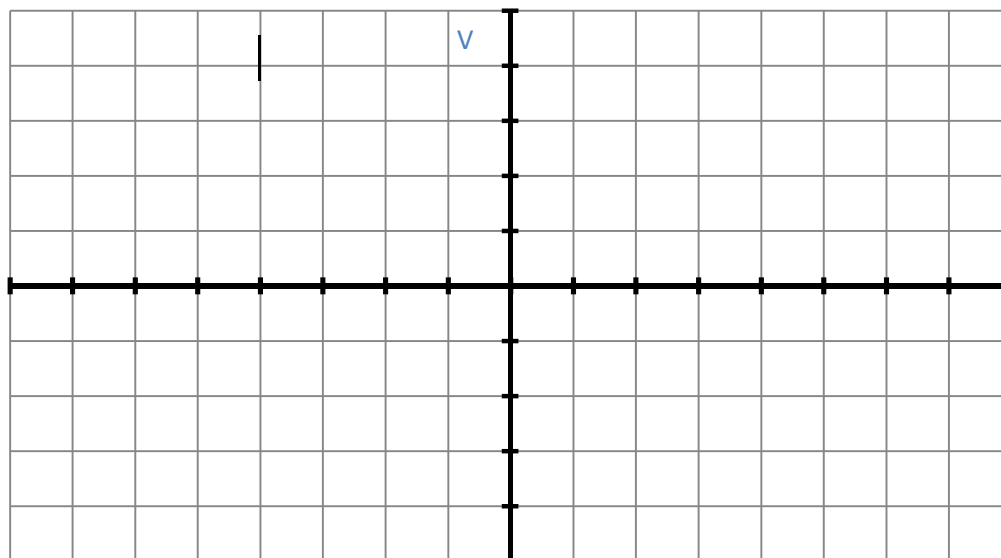
5. Ρυθμίστε την παλμογεννήτρια με τετραγωνικό παλμό τάσης και τάση εξόδου $7 V_{p-p}$ ενώ ρυθμίστε τη συχνότητα 1kHz . Χωρίς να αλλάξετε τη συνδεσμολογία του κυκλώματος σας χρησιμοποιώντας μία από τις αντιστάσεις και έναν από τους πυκνωτές που έχετε στη διάθεση σας και παρατηρήστε την εικόνα που διαμορφώνετε στον παλμογράφο. Προσπαθήστε και πάλι να εκμεταλλευτείτε το μέγιστο της οθόνης του παλμογράφου.

Στοιχεία κυκλώματος: $R = \dots\dots\dots \Omega$ $C = \dots\dots\dots \mu F$



Αποκαλούμε αυτή τη διαδικασία βηματική απόκριση του κυκλώματος.

Αν η πιο κάτω εικόνα ήταν η οθόνη του παλμογράφου σας προσπαθήστε να καταγράψετε την παραπάνω εικόνα με μια σχετικά καλή ακρίβεια.



$\tau = \dots\dots\dots s$

Είναι γνωστό ότι η σταθερά χρόνου ενός RC κυκλώματος είναι ίση με τον χρόνο που απαιτείται για να φορτιστεί ο πυκνωτής, ώστε να φθάσει στο 63% της τάσης της βηματικής εισόδου ή να εκφορτιστεί, ώστε να μειωθεί η τάση του κατά 63% της αρχικής.

Τότε, η σταθερά χρόνου τ είναι ίση με τον αριθμό των οριζόντιων υποδιαιρέσεων που αντιστοιχεί σε αριθμό κατακόρυφων υποδιαιρέσεων ίσο με το 63% του αριθμού των συνολικών. Μετρήστε την σταθερά χρόνου από την εικόνα της οθόνης και καταγράψτε την.

7.8 Ερωτήσεις.

1. Περιγράψτε το μηχανισμό φόρτισης συστοιχίας πυκνωτών σε σειρά και διατυπώστε την άποψή σας σχετικά με το ζήτημα της μείωσης της ολική χωρητικότητας τις συστοιχίας.
2. Τι είναι ο χρόνος ημίσεως ζωής του μεταβατικού φαινομένου; Κάντε μια έρευνα σχετικά με αυτό και δώστε μία σχετική γραφική αναπαράσταση και που εντοπίζεται.
3. Υπολογίστε και συγκρίνετε τις τιμές των συνδεσμολογιών που πραγματοποιήσατε κατά τη διάρκεια της πρώτης άσκησης. Βρείτε το συνολικό φορτίο Q για κάθε πυκνωτή στη περίπτωση της παράλληλης διάταξης.
4. Η τροφοδοσία για την πραγματοποίηση δεύτερης άσκησης είναι $14 V_{p-p}$. Μπορείτε να εξηγήσετε γιατί το βολτόμετρο σας έχει διαφορετική ένδειξη από αυτή; Εξηγήστε τη διαφοροποίηση των τιμών.
5. Για την ίδια άσκηση, με γνωστή τη τάση λειτουργίας του κυκλώματος μπορείτε να προσδιορίσετε το ρεύμα που θα διαρρέει το κύκλωμα; Αν αλλάξει η κυκλική συχνότητα του κυκλώματος ποιές αλλαγές θα επέλθουν στο κύκλωμα;
6. Κατά τη πραγματοποίηση της *Άσκηση 3* έχετε στη διάθεσή σας τρεις διαφορετικές αντιστάσεις. Δώστε μια γραφική αναπαράσταση της μεταβολής της διαφοράς φάσης σε σχέση με την συχνότητα. Μπορείτε να φτιάξετε και τρεις γραφικές $\varphi_1=F(f)$, $\varphi_2=F(f)$ και $\varphi_3=F(f)$ σε μια εικόνα.
7. Η εικόνα που εμφανίζεται στο παλμογράφο σας κατά τη πραγματοποίηση της *Άσκηση 4* λέγεται εικόνα *Lissajous*. Βρείτε τι απεικονίζει η εικόνα που εμφανίσατε στο παλμογράφο σας. Μέσω της εικόνας αυτής μπορείτε να υπολογίσετε τη διαφορά φάσης; Αν ναι μπορείτε να την υπολογίσετε με τις μετρήσεις που πήρατε στο εργαστήριο. Συγκρίνετε τη τιμή που υπολογίσατε με την εικόνα *Lissajous* με εκείνη που μετρήσατε απευθείας μέσω τις διαφοράς χρόνου. Αιτιολογήστε τυχόν διαφοροποιήσεις των τιμών.
8. Παρατηρώντας την *Εικόνα 7.5.2* μπορείτε να καταλάβετε πιο από τα δύο στοιχεία του κυκλώματος έχει μεγαλύτερη αντίσταση - αντίδραση αν σας έλεγε κάποιος ότι είναι συνδεδεμένα:
α) σε σειρά και
β) παράλληλα.
Αιτιολογήστε την απάντησή σας.

Άσκηση 8

Πηνίο και μαγνητικό πεδίο.

8.1 Εισαγωγή.

Το μαγνητικό πεδίο μπορεί να δημιουργείται από μόνιμους μαγνήτες, αλλά όπως θα δούμε και από κινούμενα ηλεκτρικά φορτία.

Οι μαγνητικές δυνάμεις παίζουν πρωτεύοντα ρόλο στην καθημερινή ζωή π.χ. ηλεκτρικούς κινητήρες, τηλεόραση, ηχεία, εκτυπωτές, ηλεκτρονικοί υπολογιστές, τηλέφωνο κ.ά.

Σ' ένα κλειστό κύκλωμα η μεταβολή της μαγνητικής ροής προκαλεί ηλεκτρεγερτική δύναμη και ρεύμα. Το ρεύμα αυτό θα έχει τέτοια φορά, ώστε να αντιτίθεται στη μεταβολή της μαγνητικής ροής που το προκάλεσε.

Σ' αυτή την ενότητα θα μελετήσουμε το μαγνητικό πεδίο, τις μαγνητικές δυνάμεις και την ηλεκτρεγερτική δύναμη επαγωγής. Αρχικά, θα ασχοληθούμε με τις εξισώσεις *Maxwell* και την ενοποίηση των δυνάμεων του ηλεκτρομαγνητισμού έτσι όπως της όρισε από τις τέσσερις εξισώσεις που προς τιμή του έχουν το όνομα του.

8.2 Μαγνητικό πεδίο.

Μία από τις πιο στοιχειώδεις αρχές στον μαγνητισμό είναι η έννοια του μαγνητικού πεδίου. Όταν παράγεται ένα τέτοιο πεδίο σε έναν συγκεκριμένο χώρο, είναι προφανές ότι αλλάζει η ενέργεια στον χώρο αυτό, με αποτέλεσμα να παράγεται μία δύναμη. Η δύναμη αυτή εντοπίζεται στην επιτάχυνση ενός κινούμενου ηλεκτρικού φορτίου μέσα στο πεδίο, ή πάνω σε έναν ρευματοφόρο αγωγό, ή από τη ροπή πάνω σε ένα μαγνητικό δίπολο (π.χ. *ραβδόμορφος μαγνήτης, βελόνα πυξίδας*), ή ακόμα και με τον επαναπροσανατολισμό των *spin* των ηλεκτρονίων σε συγκεκριμένα είδη ατόμων.

Μπορούμε να πούμε ότι *μαγνητικό πεδίο* ονομάζεται γενικά ο χώρος μέσα στον οποίο παρατηρούνται μαγνητικές δυνάμεις.

Αν τοποθετήσουμε μία μαγνητική βελόνα σε διαφορετικά σημεία ενός χώρου που υπάρχουν μαγνητικές γραμμές, παρατηρούμε ότι η μαγνητική βελόνα προσανατολίζεται, με τον άξονά της εφαπτόμενο σε κάθε σημείο των δυναμικών γραμμών.

Ο χώρος στον οποίο η μαγνητική βελόνα δέχεται δυνάμεις με αποτέλεσμα να προσανατολίζεται ονομάζεται μαγνητικό πεδίο.

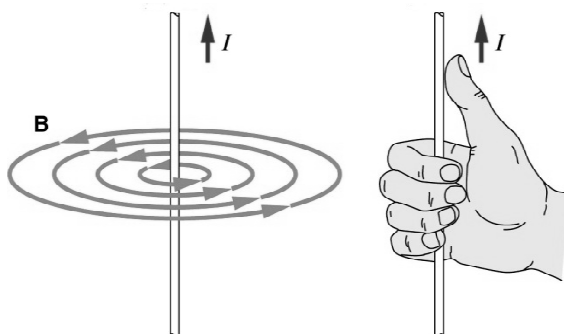
8.3 Μορφές μαγνητικών πεδίων γύρω από ρευματοφόρους αγωγούς.

Οι μορφές των μαγνητικών πεδίων ανιχνεύονται με μαγνητική πούδρα πάνω σε χαρτί, το οποίο βρίσκεται πάνω από έναν ραβδόμορφο μαγνήτη ή σωληνοειδές ή το διαπερνά κάθετα ευθύγραμμος ρευματοφόρος αγωγός ή κυκλικός αγωγός. Στο Σχήμα 1.1 που ακολουθεί φαίνονται οι μορφές των παραπάνω πεδίων. Η φορά περιστροφής του μαγνητικού πεδίου στον ευθύγραμμο ρευματοφόρο αγωγό δίνεται από τον κανόνα του δεξιού χεριού. Το πεδίο γύρω από τον κυκλικό αγωγό και το σωληνοειδές είναι παρόμοια με αυτό του ραβδόμορφου μαγνήτη.

Στον ραβδόμορφο μαγνήτη το πεδίο αναπτύσσεται από το ένα άκρο του μαγνήτη, που συμβατικά ορίζεται ως βόρειος πόλος, περνά γύρω απ' αυτόν και καταλήγει στο άλλο, που ορίζεται ως νότιος πόλος. Το πεδίο αυτό δεν είναι πανομοιότυπο με το πεδίο που δημιουργείται από το σωληνοειδές. Συγκεκριμένα οι δυναμικές γραμμές του πεδίου του ραβδόμορφου μαγνήτη στο εσωτερικό του έχουν αντίθετη φορά από τις αντίστοιχες δυναμικές γραμμές του σωληνοειδούς. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι ο ραβδόμορφος μαγνήτης έχει επιπλέον μαγνήτιση M , ενώ το σωληνοειδές δεν έχει.

8.3.1 Μαγνητικό πεδίο γύρω από ευθύγραμμο ρευματοφόρο αγωγό.

Ας εξετάσουμε το μαγνητικό πεδίο ενός ευθύγραμμου ρευματοφόρου αγωγού. Οι δυναμικές γραμμές του μαγνητικού πεδίου, είναι ομόκεντροι κύκλοι, έχουν ως κέντρο τον αγωγό και το επίπεδο τους είναι κάθετο σε αυτόν. Για να βρούμε τη φορά του διανύσματος της έντασης του μαγνητικού πεδίου, χρησιμοποιούμε τον κανόνα του δεξιού χεριού.



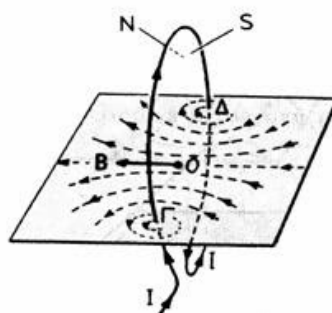
Εικόνα 8.1: Κανόνας του δεξιού χεριού.

Τοποθετούμε τη δεξιά παλάμη παράλληλα με τον αγωγό, έτσι ώστε, ο αντίχειρας να δείχνει τη φορά του ρεύματος, οπότε τα υπόλοιπα δάκτυλα καθώς κλείνουν γύρω από τον αγωγό, δείχνουν τη φορά των δυναμικών γραμμών. Η ένταση του πεδίου σε κάθε σημείο έχει φορά τη φορά των δυναμικών γραμμών και εφάπτεται σ' αυτές.

8.3.2 Μαγνητικό πεδίο κυκλικού και σωληνοειδούς αγωγού - πηνίο.

Το μαγνητικό, πεδίο γύρω από ένα μακρύ ευθύγραμμο ρευματοφόρο αγωγό είναι ασθενές, εκτός και αν, ο αγωγός διαρρέεται από ρεύμα μεγάλης έντασης.

Ένας ευθύγραμμος αγωγός μεγάλου μήκους που διαρρέεται από ρεύμα έντασης $50A$ δημιουργεί σε απόσταση ενός μέτρου από αυτόν μαγνητικό πεδίο έντασης $10^{-5} Tesla$ που είναι αρκετά ασθενές. Αν όμως, τον ίδιο αγωγό τον διαμορφώσουμε έτσι ώστε να δημιουργηθεί ένας κυκλικός ρευματοφόρος αγωγός τα πράγματα είναι διαφορετικά.



Εικόνα 8.2: Πεδίο κυκλικού αγωγού.

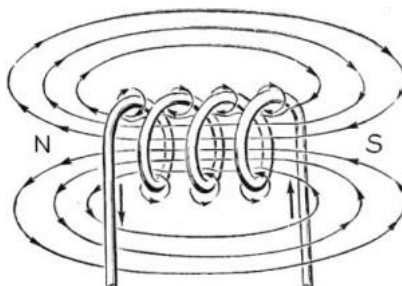
Στο κέντρο του κυκλικού ρευματοφόρου αγωγού ακτίνας r , το μέτρο της έντασης του μαγνητικού πεδίου, αποδεικνύεται ότι είναι:

$$B = k_{\mu} \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot I}{r}$$

όπου $k_{\mu} = 10^{-7} \cdot \frac{N}{A^2}$

Η διεύθυνση της έντασης του πεδίου είναι κάθετη στο επίπεδο του κύκλου και η φορά της βρίσκεται με τον παρακάτω πρακτικό κανόνα. Τοποθετούμε τη δεξιά παλάμη ώστε τα δάκτυλα, καθώς κλείνουν να δείχνουν τη φορά του ρεύματος. Τότε, ο αντίχειρας δείχνει την κατεύθυνση της έντασης του μαγνητικού πεδίου στο κέντρο του αγωγού

Αν τυλίξουμε τον κυκλικό αγωγό, έτσι ώστε να δημιουργήσουμε πολλούς μικρούς κυκλικούς αγωγούς και να αποτελείται από N σπείρες, τότε, το μαγνητικό πεδίο που δημιουργεί το ίδιο το σύρμα είναι πολύ πιο ισχυρό.



Εικόνα 8.3: Πεδίο σωληνοειδούς αγωγού.

Αυτός είναι και ο βασικός λόγος της προτίμησης που δείχνουμε για κυκλικούς ρευματοφόρους αγωγούς. Ένα σύνολο τέτοιων κυκλικών αγωγών αποτελεί ένα πηνίο και η ένταση του μαγνητικού πεδίου είναι N φορές μεγαλύτερο. Κάθε ένας κυκλικός αγωγός λέμε ότι αποτελεί μία σπείρα. Αν τυλίξουμε πολλές σπείρες σε ένα μονωτικό κύλινδρο οι οποίες να ισαπέχουν έχουμε φτιάξει ένα σωληνοειδές. Η ευθεία που ορίζεται από τα κέντρα των σπειρών λέγεται άξονας του σωληνοειδούς.

8.4 Ένταση μαγνητικού πεδίου.

Η μονάδα μέτρησης της έντασης του μαγνητικού πεδίου H είναι το *ampere/m*. Το *ampere/m* εκφράζει την ένταση του μαγνητικού πεδίου που παράγεται από ένα απείρως μακρύ σωληνοειδές που αποτελείται από n σπείρες ανά μέτρο και που διαρρέεται από ρεύμα έντασης $1/n$ ampere.

Επειδή το σωληνοειδές απείρου μήκους έχει μόνο θεωρητική υπόσταση, ένας πιο πρακτικός τρόπος να οριστεί η ένταση του μαγνητικού πεδίου μέσω ενός ρευματοφόρου αγωγού πεπερασμένου μήκους. Συγκεκριμένα, όταν ρεύμα $1 A$ διαπερνά ευθύγραμμο αγωγό μήκους $1 m$, τότε παράγεται μαγνητικό πεδίο με μορφή ομόκεντρων κύκλων κάθετων στον ρευματοφόρο αγωγό, έντασης $1/4\pi$ ampere/m σε ακτινική απόσταση $1 m$.

8.5 Εξισώσεις Maxwell¹.

Ένα από τα μεγαλύτερα επιτεύγματα τις ιστορίας της επιστήμης, με τη σύμφωνη γνώμη του *Einstein*, είναι η ενοποίηση άσχετων μεταξύ τους φαινομένων και παρατηρήσεων, πειραμάτων και εξισώσεων ηλεκτρισμού και του μαγνητισμού σε μία συνεπή θεωρία του ηλεκτρομαγνητισμού.

Η μεγαλειότητα της σύλληψης του *Maxwell* (*Μάξγουελ*) κατασταλάζει μετά από πολυετή μελέτη στο ότι ο ηλεκτρισμός και ο μαγνητισμός είναι εκδηλώσεις του ίδιου φαινομένου. Το φαινόμενο αυτό το ονόμασε ηλεκτρομαγνητικό πεδίο.

¹ Τζέιμς Κλερκ Μάξγουελ (*James Clerk Maxwell*) (13 Ιουνίου 1831 – 5 Νοεμβρίου 1879) - Σκωτσέζος Θεωρητικός Φυσικός. Ένας από τους μεγαλύτερους και επιδραστικότερους φυσικούς του 20^{ου} αιώνα μετά τον Νεύτωνα και τον Αϊνστάιν.

Με προσεκτική μελέτη προγενέστερων έργων και ιδιαίτερα του *Gauss*, *Faraday* και *Ampere* κατάφερε να διακρίνει ότι το ηλεκτρικό πεδίο και το μαγνητικό πεδίο ταξιδεύουν στο χώρο με τη ταχύτητα του φωτός σε μορφή κυμάτων ενώ κατέληξε στο συμπέρασμα ότι ακόμα και το φως είναι ηλεκτρομαγνητικό κύμα. Συμπεριέλαβε στις τέσσερις παρακάτω εξισώσεις όλη τη θεωρία του ηλεκτρομαγνητισμού. Η γενική μορφή των εξισώσεων του *Maxwell* φαίνονται πιο κάτω όπως και η διαφορική αλλά και η ολοκληρωματική μορφή.

	Διαφορική μορφή	Ολοκληρωτική μορφή
1 ^η Εξίσωση <i>Maxwell</i> - Νόμος του <i>Gauss</i> Περιγράφει το ηλεκτρικό πεδίο που δημιουργείται από ηλεκτρικό φορτίο.	$\nabla \cdot E = \rho_v$	$\oint_S E \cdot dS = \int_v \rho_v \cdot dv$
2 ^η Εξίσωση <i>Maxwell</i> - Νόμος του <i>Gauss</i> για τον μαγνητισμό. Περιγράφει το μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται από ένα μαγνητικό σώμα.	$\nabla \cdot B = 0$	$\oint_S B \cdot dS = 0$
3 ^η Εξίσωση <i>Maxwell</i> - Νόμος του <i>Faraday</i> Περιγράφει το ηλεκτρικό πεδίο που δημιουργείται από ένα μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο.	$\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t}$	$\oint_L E \cdot dl = -\frac{\partial}{\partial t} \cdot \int_S B \cdot dS$
4 ^η Εξίσωση <i>Maxwell</i> - Νόμος του <i>Ampere</i> Περιγράφει το μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται από κίνηση ηλεκτρικών φορτίων είτε από ένα μεταβαλλόμενο ηλεκτρικό πεδίο	$\nabla \times B = J + \frac{\partial E}{\partial t}$	$\oint_L B \cdot dl = \int_S \left[J + \frac{\partial E}{\partial t} \right] \cdot dS$

Για να πούμε ότι ένα πεδίο είναι ηλεκτρομαγνητικό θα πρέπει να ικανοποιεί και τις τέσσερις εξισώσεις *Maxwell*.

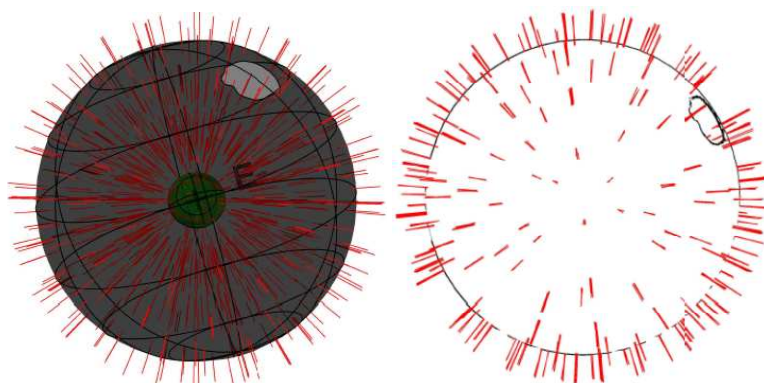
8.5.1 Νόμος του Gauss².

Οι υπολογισμοί του ηλεκτρικού πεδίου γίνονται με βάση το νόμο του *Coulomb*, όταν μπορούμε να θεωρήσουμε τα ηλεκτρικά φορτία συγκεντρωμένα σε ένα σημείο, δηλαδή σημειακά φορτία. Στη πράξη όμως, το φορτίο κατανέμετε σε μία σχετική πυκνότητα πάνω στο σώμα που εξετάζουμε. Αυτές οι περιπτώσεις πρέπει να εξετάζονται με βάση το θεώρημα *Gauss*.

Φανταστείτε ότι έχουμε μια σφαίρα επιφάνειας *A* και ακτίνα *r*. Και ας θεωρήσουμε ότι στο κέντρο αυτής της σφαίρας έχουμε ένα ηλεκτρικό φορτίο. Η γραφική παράσταση της ηλεκτρικής ροής του πεδίου μπορεί να γίνει με το σχεδιασμό των ηλεκτρικών δυναμικών γραμμών του πεδίου. Η κατανομή του πεδίου είναι σφαιρική και ως εκ τούτου έχουμε μία συμμετρία στο ηλεκτρικό πεδίο που εξετάζουμε. Οι δυναμικές γραμμές, όπως φαίνεται και την παρακάτω εικόνα, διαπερνούν ολόκληρη

² *Johann Carl Friedrich Gauss* (Γιόχαν Καρλ Φρίντριχ Γκάους) (30 Απριλίου 1777 – 23 Φεβρουαρίου 1855) Γερμανός μαθηματικός που συνεισέφερε σε πολλά ερευνητικά πεδία της επιστήμης του, όπως η θεωρία αριθμών, η στατιστική, η μαθηματική ανάλυση, η διαφορική γεωμετρία, αλλά και συναφών επιστημών, όπως η γεωδαισία, η αστρονομία και η φυσική (ηλεκτροστατική, οπτική, γεωμαγνητισμός)

την επιφάνεια της σφαίρας και η πυκνότητα είναι ίδια σε όλα τα σημεία της επιφάνειας. Λέγοντας πυκνότητα, εννοούμε τον αριθμό των γραμμών ανά μονάδα επιφάνειας.



Εικόνα 8.4: Ροή ηλεκτρικού πεδίου μέσα από την επιφάνεια σφαίρας.

Υποθέτουμε ότι όλη η επιφάνεια της σφαίρας είναι χωρισμένη σε ίσες στοιχειώδης τμήματα, τόσο μικρά ώστε το καθένα από αυτά να μπορεί να θεωρηθεί επίπεδη επιφάνεια. Στη προκειμένη περίπτωση θα εξετάσουμε ένα μέρος της επιφάνειας της σφαίρας. Ας πούμε μια στοιχειώδης επιφάνεια dS .

Οι δυναμικές γραμμές που οριοθετούνται από την στοιχειώδη επιφάνεια που εξετάζουμε σχηματίζουν μία στοιχειώδη ροή $d\Phi$. Η ολική ηλεκτρική ροή Φ_E πάνω στην επιφάνεια της σφαίρας, είναι σύμφωνα με τη πρώτη εξίσωση *Gauss - Maxwell*, το άθροισμα των στοιχειωδών ροών πάνω στην επιφάνεια της σφαίρας. Δηλαδή:

$$\Phi_E = \oint_S \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S} = E \cdot \oint_S dS = E \cdot 4 \cdot \pi \cdot r^2$$

Όπου $4\pi r^2$ η συνολική επιφάνεια της σφαίρας. Αν στη παραπάνω σχέση λάβουμε υπόψη μας ότι η ένταση φορτισμένης σφαίρας δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$E = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot r^2}$$

τότε η παραπάνω σχέση γίνεται:

$$\Phi_E = \frac{Q}{\epsilon_0}$$

Από τη σχέση αυτή προκύπτει ότι η ηλεκτρική ροή Φ_E είναι ανεξάρτητη της ακτίνας r της σφαίρας που επιλέξαμε. Αυτό είναι λογικό γιατί, το πλήθος των δυναμικών γραμμών που περνά από οποιαδήποτε σφαιρική επιφάνεια με κέντρο το φορτίο είναι ίδιο ανεξάρτητα από την ακτίνα της.

Ο νόμος του *Gauss* ισχύει για οποιαδήποτε κλειστή επιφάνεια. Στη γενική περίπτωση το διάνυσμα της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου \vec{E} μπορεί να μην είναι κάθετο στην στοιχειώδη επιφάνεια dS . Η ροή που διαπερνά τη στοιχειώδη επιφάνεια καθορίζεται από την προβολή του διανύσματος \vec{E} στην επιφάνεια. Δηλαδή η ένταση του πεδίου θα είναι:

$$E_n = E \cdot \cos \alpha$$

Ο νόμος του *Gauss* πρακτικά συνδέει την ηλεκτρική ροή που διέρχεται από μια κλειστή επιφάνεια με το φορτίο που περικλείει η επιφάνεια.

Επίσης, ο νόμος του *Gauss* και ο νόμος του *Coulomb* δεν είναι δυο ανεξάρτητοι φυσικοί νόμοι, αλλά ο ίδιος νόμος που εκφράζεται με δύο διαφορετικούς τρόπους.

8.5.2 Νόμος του Gauss για το μαγνητισμό.

Στην προηγούμενη παράγραφο είδαμε ότι η ηλεκτρική ροή που διέρχεται από μια κλειστή επιφάνεια είναι ανάλογη με το φορτίο που περικλείει η επιφάνεια. Αντίθετα με ότι συμβαίνει στο ηλεκτρικό πεδίο, στο οποίο οι δυναμικές γραμμές είναι ανοικτές (*ξεκινούν από φορτία ή καταλήγουν σε φορτία*), στο μαγνητικό πεδίο οι γραμμές είναι κλειστές, δεν έχουν αρχή και τέλος. Συνέπεια αυτής της ιδιότητας είναι ότι για κάθε κλειστή επιφάνεια μέσα στο μαγνητικό πεδίο, ο αριθμός των δυναμικών γραμμών που εισέρχονται είναι πάντα ίσος με τον αριθμό των γραμμών που εξέρχονται. Άρα η μαγνητική ροή που διέρχεται από μια οποιαδήποτε κλειστή επιφάνεια είναι μηδέν.

$$\oint_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} = 0 \Rightarrow \Phi_m = 0$$

Το φυσικό περιεχόμενο αυτής της πρότασης είναι ότι δεν υπάρχουν σημειακές πηγές μαγνητικού πεδίου, όπως υπάρχουν στο ηλεκτρικό πεδίο. Δηλαδή δεν υπάρχει μαγνητικό ανάλογο του φορτίου. Τόσο ο *Coulomb*, όσο και άλλοι πίστευαν ότι ο μαγνητισμός παράγεται από κάτι ανάλογο με το ηλεκτρικό φορτίο. Σήμερα αυτό το ανάλογο το αποκαλούμε μαγνητικό μονόπολο, που σημαίνει απομονωμένος μαγνητικός πόλος. Σε κανένα πείραμα μέχρι τώρα δεν έχουν βρεθεί μαγνητικά μονόπολα και θεωρείτε αδύνατη η ύπαρξη τους.

Αν εξετάσουμε το νόμο του *Gauss* σε μία στοιχειώδη επιφάνεια dS θα γινόταν και εδώ εύκολα κατανοητό ότι η μαγνητική ροή του ομοιογενούς μαγνητικού πεδίου είναι το γινόμενο της μαγνητικής επαγωγής B , που θα εξετάσουμε αργότερα, μέσα από μία επιφάνεια S .

$$\Phi = B \cdot S$$

Στη περίπτωση που το διάνυσμα των μαγνητικών γραμμών δεν είναι κάθετο στην στοιχειώδη επιφάνεια dS η μαγνητική ροή θα είναι το γινόμενο της συνιστώσας B_n της μαγνητικής ροής και της επιφάνειας S . Δηλαδή:

$$\Phi = B_n \cdot S \Rightarrow \Phi = B \cdot \cos\alpha \cdot S$$

ή αν σε περίπτωση ληφθεί η επιφάνεια υπό γωνία:

$$\Phi = B \cdot S_n \Rightarrow \Phi = B \cdot S \cdot \cos\alpha$$

Επίσης, στη περίπτωση που το μαγνητικό πεδίο δεν είναι ομογενές, η εξεταζόμενη επιφάνεια μπορεί να διαχωριστεί σε στοιχειώδεις επιφάνειες dS . Κάθε μια από αυτές τις επιφάνειες μπορεί πρακτικά να θεωρηθεί ότι βρίσκεται σε ομοιογενές πεδίο. Κάτω από αυτές τις συνθήκες, και με βάση το νόμο του *Gauss*, η στοιχειώδη μαγνητική ροή μέσα από την στοιχειώδη επιφάνεια dS είναι:

$$d\Phi = B_n \cdot dS$$

ενώ η ολική μαγνητική ροή μέσα από την επιφάνεια S είναι:

$$\Phi = \int_S B \cdot dS$$

Με βάση τη προηγούμενη σχέση, η μαγνητική ροή στο *S.I.* μετριέται σε *Weber*³ (*Wb*).

8.5.3 Εξισώσεις Faraday, νόμος της επαγωγής.

Ηλεκτρομαγνητική επαγωγή (ή απλώς ηλεκτρική επαγωγή) είναι το φαινόμενο της ανάπτυξης διαφοράς δυναμικού (*Ηλεκτρεγερτική Δύναμη - ΗΕΔ*) στα άκρα ενός αγωγού, όταν μεταβάλλεται η μαγνητική ροή που διέρχεται από την επιφάνεια του. Η *ΗΕΔ* μετράται σε *Volt*, άλλα δεν πρέπει απαραίτητα να συνδέεται με τη διαφορά ηλεκτρικού δυναμικού.

Ο νόμος της ηλεκτρομαγνητικής, σύμφωνα με τη διατύπωση του *Faraday*, μα λέει ότι η επαγωγική *ΗΕΔ* που αναφέραμε παραπάνω είναι ανάλογη με τη ταχύτητα μεταβολής της μαγνητικής ροής $d\Phi/dt$. Η επαγόμενη *ΗΕΔ* έχει επίσης αρνητικό πρόσημο. Τη σημασία του αρνητικού πρόσημου δικαιολογείται με τον κανόνα του *Lenz* που περιγράφεται πιο κάτω.

Είναι φανερό ότι η *ΗΕΔ* διαρκεί όσο διαρκεί και η μεταβολή της μαγνητικής ροής.

$$HE\Delta = \oint_L E \cdot dl = -\frac{\partial}{\partial t} \cdot \int_S B \cdot dS = -\frac{d\Phi}{dt}$$

Αν η μαγνητική ροή εμπλέκει όλες τις σπείρες ενός πηνίου για τη δημιουργία της επαγόμενης *ΗΕΔ*, τότε:

$$HE\Delta = -N \cdot \frac{d\Phi}{dt}$$

Όπου *N* ο αριθμός σπειρών του πηνίου. Έχει μεγάλη σημασία να πούμε ότι η *ΗΕΔ* είναι μεγαλύτερη όταν οι σπείρες του πηνίου είναι περισσότερες. Επίσης όταν το φαινόμενο της μεταβολής είναι μεγαλύτερο ή πιο γρήγορο.

Όσο αφορά την εμπλεκόμενη μαγνητική ροή πάνω σε ένα μέρος του αγωγού αυτή δίνεται από τις διαστάσεις του αγωγού που βρίσκετε μέσα στο μαγνητικό πεδίο.

Για παράδειγμα, αν μέσα στο μαγνητικό πεδίο βρίσκετε ένας ευθύγραμμος αγωγός, τότε η μαγνητική ροή που περικλείεται από τον αγωγό είναι:

$$d\Phi = \vec{B} \cdot dS = \vec{B} \cdot ds \cdot l \cdot \sin a$$

Όπου: \vec{B} η μαγνητική επαγωγή
 ds η μετατόπιση του αγωγού μέσα στο μαγνητικό πεδίο
 l το μήκος του αγωγού που βρίσκετε στο μαγνητικό πεδίο
 $\sin a$ γωνία που σχηματίζει ο αγωγός κατά τη κίνηση του μέσα στο μαγνητικό πεδίο

Η απόλυτη τιμή της απαγόμενης *ΗΕΔ* στο κύκλωμα είναι:

$$|E_\Phi| = \frac{d\Phi}{dt} = \frac{\vec{B} \cdot ds \cdot l \cdot \sin a}{dt}$$

³ *Wilhelm Eduard Weber* (Βίλχελμ Έντουαρντ Βέμπερ) (24 Οκτωβρίου 1804 – 23 Ιουνίου 1891) Γερμανός φυσικός. Προς τιμήν του η μονάδα μέτρησης της μαγνητικής ροής, το *Weber* (Βέμπερ), έχει πάρει το όνομά του.

Αυτή η εξίσωση βρέθηκε από τον *Faraday*, σαν αποτέλεσμα πολλών πειραμάτων και έχει αποδειχτεί ότι είναι η πιο γενική. Αυτό επειδή ισχύει για την επαγωγική *HEΔ* σε κλειστό κύκλωμα για κάθε αγωγό που κινείται μέσα σε μαγνητικό πεδίο.

8.5.4 Νόμος του Ampère⁴ (Αμπέρ).

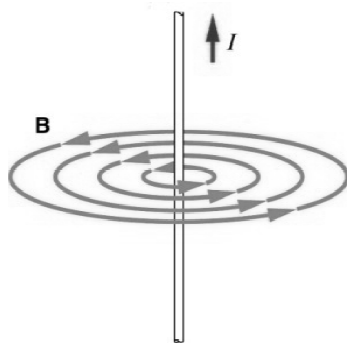
Ο *Ampère* ήταν ο πρώτος που κατέληξε στο συμπέρασμα ότι το μαγνητικό πεδίο παράγεται από κινούμενα ηλεκτρικά φορτία. Μέχρι τότε τα μαγνητικά πεδία θεωρούνταν ότι παράγονταν μόνο από μόνιμους μαγνήτες.

Ο νόμος του *Ampère* είναι μια γενική σχέση ανάμεσα στο μαγνητικό πεδίο *B* και στη πηγή του ίδιου του μαγνητικού πεδίου, που είναι η πυκνότητα του ρεύματος *J*. Περιγράφει το μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται από ηλεκτρικό ρεύμα.

Κατά μήκος μιας οποιασδήποτε κλειστής γραμμής, που περιβάλλει σταθερά ρεύματα, η κυκλοφορία της έντασης του μαγνητικού πεδίου, είναι ανάλογη προς το αλγεβρικό άθροισμα των εντάσεων των ρευμάτων που περιβάλλει η γραμμή αυτή.

Η απόδειξη του νόμου του *Ampère* στην γενική του μορφή είναι εξαιρετικά πολύπλοκη υπόθεση και για το λόγο αυτό θα επιχειρήσουμε μια απόδειξη του νόμου στην ειδική περίπτωση που, η κλειστή γραμμή καθορίζει μια επίπεδη επιφάνεια και περιβάλλει ένα ευθύγραμμο ρευματοφόρο αγωγό, πολύ μεγάλου μήκους, ο οποίος τέμνει κάθετα την επιφάνεια αυτή.

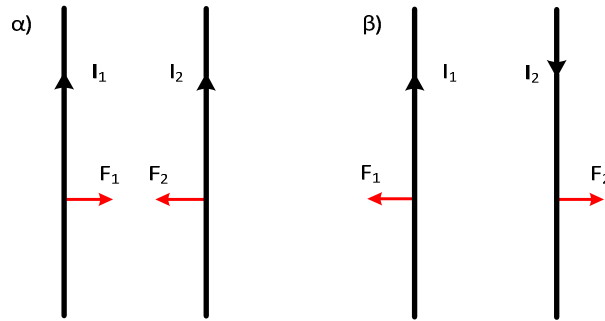
Είναι γνωστό ότι ο ρευματοφόρος αυτός αγωγός δημιουργεί γύρω του μαγνητικό πεδίο, του οποίου οι δυναμικές γραμμές είναι περιφέρειες κύκλων, των οποίων τα κέντρα βρίσκονται πάνω στον αγωγό, τα επίπεδα τους είναι κάθετα στον αγωγό, η δε φορά τους καθορίζεται με τον κανόνα του δεξιόστροφου κοχλίου. Έχει αποδειχτεί και πειραματικά ότι όταν ένα αγωγός διαρρέεται από ηλεκτρικό φορτίο δημιουργεί γύρω του ένα στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο όπως αυτό που απεικονίζεται παρακάτω.



Εικόνα 8.5: Στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο γύρω από ρευματοφόρο αγωγό.

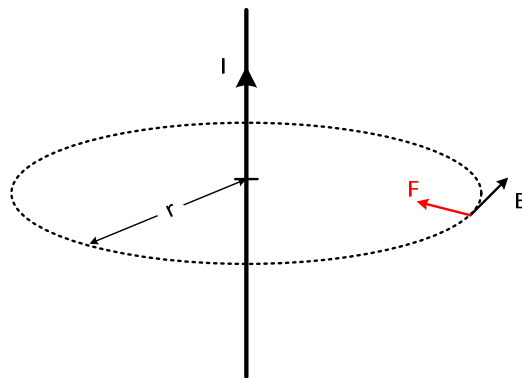
Αν δυο τέτοιοι αγωγοί βρεθούν στην ίδια φυσική περιοχή ασκούν μεταξύ τους ελκτικές οι απωστικές δυνάμεις ανάλογα με το αν τα ρεύματα που τους διαρρέουν είναι ομόρροπα ή αντίρροπα.

⁴ André - Marie Ampère (Αντρέ Μαρί Αμπέρ) (20 Ιανουαρίου 1775 - 10 Ιουνίου 1836) - Γάλλος φυσικός και κύριος θεμελιωτής του ηλεκτρομαγνητισμού και της ηλεκτροδυναμικής.



Εικόνα 8.6: Ελκτικές και απωστικές δυνάμεις ανάμεσα σε δύο ρευματοφόρους αγωγούς.

Επιλέγουμε μια κλειστή γραμμή, σε σχήμα κύκλου ακτίνας r .



Εικόνα 8.7: Κλειστή διαδρομή ακτίνας r γύρω από ρευματοφόρο αγωγό.

Κατά μήκος αυτής της κλειστής διαδρομής, το διάνυσμα B είναι η προβολή, ή αν θέλετε η εφαπτομένη, του διανύσματος της μαγνητικής επαγωγής \vec{B} στο στοιχειώδες τμήμα dl της κλειστής διαδρομής l . Υπάρχουν άπειρες τέτοιες προβολές του διανύσματος \vec{B} . το άθροισμα των γινομένων $B \cdot dl$ ισούται με $\mu_0 \cdot I$, όπου I , το αλγεβρικό άθροισμα των ρευμάτων που διέρχονται από την επιφάνεια η οποία περιβάλλεται από την κλειστή αυτή διαδρομή. Ενώ μ_0 η μαγνητική διαπερατότητα του κενού.

$$\oint_L B \cdot dl = \mu_0 \cdot I$$

Ο νόμος του *Ampère* ισχύει μόνο για μαγνητικά πεδία που πηγάζουν από σταθερά ρεύματα, διότι στην αντίθετη περίπτωση η εφαρμογή του νόμου παραβιάζει την εξίσωση της συνέχειας.

Αρκετά χρόνια μετά ο *Maxwell* παρατήρησε ότι όχι μόνο η κίνηση του ηλεκτρικού φορτίου δημιουργεί μαγνητικό πεδίο αλλά και ένα χρονικά μεταβαλλόμενο ηλεκτρικό πεδίο. Επιλέγοντας την διαδικασία φόρτισης ενός πυκνωτή μπόρεσε να επιβεβαιώσουμε τον ισχυρισμό για την αδυναμία του νόμου του *Ampère* όταν αυτός αναφέρεται σε μη σταθερά ρεύματα.

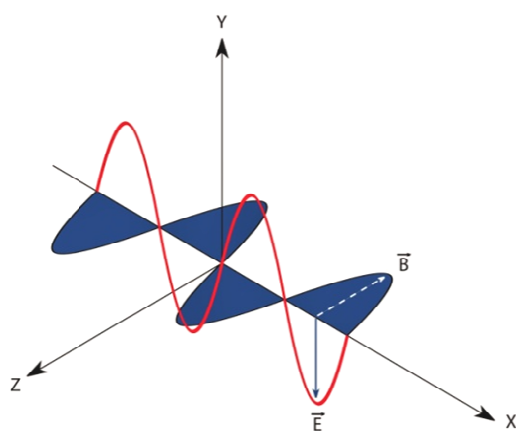
Πράγματι, όπως είδαμε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, κατά την φόρτιση του πυκνωτή συμβαίνει συσσώρευση αντίθετων ηλεκτρικών φορτίων στους οπλισμούς του και τα σύρματα που συνδέουν τους οπλισμούς με τους πόλους της γεννήτριας συνεχούς ρεύματος διαρρέονται με ρεύμα του οποίου η ένταση μειώνεται εκθετικά με τον χρόνο, ενώ στο χώρο μεταξύ των οπλισμών δεν υπάρχει ηλεκτρικό ρεύμα.

Γνωρίζοντας αυτή την αδυναμία του νόμου του *Ampère* και έχοντας υπ' όψη του το νόμο της επαγωγής του *Faraday*, δηλαδή το γεγονός ότι ένα χρονικά μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο παράγει ηλεκτρικό πεδίο, συνέλαβε την ιδέα ότι μπορεί να συμβαίνει και η αντίστροφη πρόταση, δηλαδή ότι

ένα χρονικά μεταβαλλόμενο ηλεκτρικό πεδίο δημιουργεί μαγνητικό πεδίο. Η σύλληψη του ισχυρισμού αυτού επέτρεψε στον *Maxwell* να επαναδιατυπώσει το νόμο του *Ampère*, ώστε να περιγράψει και μαγνητικά πεδία που απορρέουν από μη σταθερά ρεύματα, δίνοντάς του την παρακάτω μορφή:

$$\oint_L \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \int_S \left[\mathbf{J} + \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \right] \cdot d\mathbf{S}$$

Το φαινόμενο της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής εκφράζεται με την ανάπτυξη ηλεκτρεγερτικής δύναμης στο κύκλωμα. Αυτό σημαίνει ότι η διαταραχή του μαγνητικού πεδίου προκαλεί διαταραχή του ηλεκτρικού πεδίου. Η αλληλεπίδραση αυτή απεικονίζεται στη παρακάτω εικόνα. Όπως είναι φανερό το ηλεκτρικό πεδίο \vec{E} είναι κάθετο στο μαγνητικό πεδίο \vec{B} , ενώ εκτίνονται με τον ίδιο ρυθμό στον άξονα $x-x'$.



Εικόνα 8.8: Δημιουργία μαγνητικού και ηλεκτρικού πεδίου.

Το μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο με τη σειρά του (λόγω της 3^{ης} εξίσωσης Νόμος του Faraday) δημιουργεί μεταβαλλόμενο ηλεκτρικό πεδίο.

Με βάση την τροποποίηση από τον *Maxwell*, η διαφορική μορφή του νόμου του *Ampère* παίρνει την γενικότερη μορφή:

$$(\nabla \times \vec{B}) = \mu_0 \cdot \vec{J} + \epsilon_0 \cdot \mu_0 \cdot \left(\frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \right)$$

η οποία εκφράζει σε κάθε σημείο του χώρου την σχέση ανάμεσα στο μαγνητικό πεδίο και τις πηγές του, που είναι η πυκνότητα ρεύματος \vec{J} και η ταχύτητα μεταβολής $(\partial \vec{E} / \partial t)$ της έντασης του χρονικά μεταβαλλόμενου ηλεκτρικού πεδίου. Ο *Maxwell* ονόμασε την ποσότητα $\epsilon_0 \cdot (\partial \vec{E} / \partial t)$ πυκνότητα του ρεύματος μετατόπισης και πρόκειται για προϊόν μιας μεγαλοφυούς σκέψης, διότι αποτέλεσε τον κρίκο που έλλειπε για την δημιουργία της ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας, η οποία στις μέρες μας καλύπτει ένα σημαντικό μέρος της φυσικής πραγματικότητας.

Κατά τη φόρτιση του πυκνωτή, στο πείραμα του *Maxwell*, στον θετικό του οπλισμό συμβαίνει προσαγωγή ηλεκτρικού ρεύματος χωρίς να απάγεται κάποιο ρεύμα από αυτόν, ενώ στον αρνητικό του οπλισμό απάγεται ηλεκτρικό ρεύμα χωρίς να φθάνει σ' αυτόν κανένα ρεύμα, δηλαδή συμβαίνει στους οπλισμούς παραβίαση του πρώτου κανόνα του *Kirchhoff*. Η παραβίαση αυτή αίρεται αν λάβουμε υπ' όψη μας το ρεύμα μετατόπισης που "ρέει" στον χώρο μεταξύ των οπλισμών, το οποίο απάγει το ρεύμα αγωγιμότητας που φθάνει στον θετικό οπλισμό ενώ αναπληρώνει το ρεύμα αγωγιμότητας που αναχωρεί από τον αρνητικό οπλισμό του πυκνωτή.

Η ιδέα του *Maxwell* περί του ρεύματος μετατόπισης παρέμεινε μέχρι την ημέρα του θανάτου του ως μια θεωρητική υπόθεση, διότι τα πειραματικά μέσα της εποχής δεν επέτρεπαν την επιβεβαίωση της δημιουργίας μαγνητικού πεδίου από χρονικά μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο. Ο Γερμανός φυσικός *Hertz*⁵ κατάφερε να ανιχνεύσει πειραματικά το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο που παράγει στον χώρο ένα παλλόμενο ηλεκτρικό δίπολο, δηλαδή ένα σύστημα ταχύτατα ταλαντευόμενων ηλεκτρικών φορτίων και έκτοτε η ιδέα του ρεύματος μετατόπισης απέκτησε πραγματικό φυσικό περιεχόμενο, με αποτέλεσμα η ηλεκτρομαγνητική θεωρία του *Maxwell* να περιβληθεί με επιστημονικό κύρος.

8.6 Μαγνητική ροή.

Όταν υπάρχει ένα μαγνητικό πεδίο στο κενό, τότε υπάρχει και μία μαγνητική ροή Φ . Η μαγνητική ροή μετριέται σε *webers*. Ο ρυθμός μεταβολής της μαγνητικής ροής μπορεί να μετρηθεί, γιατί όταν αυτή μεταβάλλεται δημιουργείται μία *H.E.A.* σε κλειστό κύκλωμα, μέσα από το οποίο διέρχεται η ροή. Το *weber* είναι το ποσό της μαγνητικής ροής το οποίο όταν μειωθεί ομοιόμορφα στο μηδέν, μέσα σε χρόνο ενός δευτερολέπτου, παράγει μία *H.E.A.* 1 V σε πηνίο μίας σπείρας μέσα από το οποίο διέρχεται η ροή.

Μικρά μαγνητικά σωματίδια, όπως ρινίσματα σιδήρου, προσανατολίζονται κατά μήκος της διεύθυνσης της μαγνητικής ροής. Μπορούμε να θεωρήσουμε ότι η μαγνητική ροή δημιουργείται από την παρουσία ενός μαγνητικού πεδίου μέσα σε ένα μέσο. Το ποσό μαγνητικής ροής που παράγεται για ορισμένο πεδίο έντασης H , εξαρτάται από το μέσο και διαφέρει από το ένα στο άλλο.

Η μαγνητική ροή δίνεται από το νόμο του *Gauss*. Ως μέγεθος εκφράζει το πλήθος των μαγνητικών δυναμικών γραμμών που διέρχονται από μια επιφάνεια που είναι τοποθετημένη μέσα στο μαγνητικό πεδίο. Από τι εξαρτάται; Προφανώς από την ένταση του πεδίου, από το εμβαδόν της επιφάνειας, αλλά και από τον προσανατολισμό της επιφάνειας.

Πώς καθορίζεται όμως ο προσανατολισμός της επιφάνειας; Κάθε στοιχειώδης επιφάνεια με εμβαδόν ds εφοδιάζεται με ένα μοναδιαίο διάνυσμα n , κάθετο προς αυτή. Με τον τρόπο αυτό ουσιαστικά μετατρέπουμε το εμβαδόν μιας επιφάνειας σε διάνυσμα με κατεύθυνση αυτή του μοναδιαίου διανύσματος n . Λαμβάνοντας τα παραπάνω υπόψη μας, μπορούμε να υπολογίσουμε τη μαγνητική ροή που διέρχεται από μια επιφάνεια, με βάση την εξίσωση του *Gauss*:

$$\Phi = B \cdot S \cdot \cos \alpha$$

Όπου α η γωνία που σχηματίζει η ένταση του μαγνητικού πεδίου με την κάθετη n στην επιφάνεια. Στην πραγματικότητα η μαγνητική ροή δεν είναι τίποτα άλλο από το εσωτερικό γινόμενο δύο διανυσμάτων της έντασης του μαγνητικού πεδίου επί το διάνυσμα του εμβαδού της επιφάνειας.

8.7 Νόμος του Lenz⁶.

Ο νόμος του *Faraday* διατύπωνε το εξής, σχετικά με την επαγωγή:

⁵ *Heinrich Rudolf Hertz* (Χάινριχ Ρούντολφ Χερτζ) (22 Φεβρουαρίου 1857 - 1 Ιανουαρίου 1894) - Γερμανός φυσικός, ο πρώτος που πέτυχε την εκπομπή, μετάδοση και λήψη ραδιοκυμάτων. Επιβεβαίωσε την ηλεκτρομαγνητική θεωρία του *Maxwell* και κατά τη διάρκεια των πειραμάτων παρήγαγε και μελέτησε ηλεκτρομαγνητικά κύματα (γνωστά επίσης ως *ερτζιανά κύματα*, ή *ραδιοκύματα*). Κατέδειξε ότι αυτά είναι μακρά, εγκάρσια κύματα που ταξιδεύουν με την ταχύτητα του φωτός και μπορούν να απεικονιστούν, να διαθλαστούν, και να πολωθούν όπως το φως. Η μονάδα της συχνότητας, το *Hertz*, ονομάστηκε έτσι προς τιμή του.

⁶ *Heinrich Friedrich Emil Lenz* (Χεϊνρικ Φρίντριχ Έμιλ Λέντζ) (12 Φεβρουαρίου 1804 – 10 Φεβρουαρίου 1865) - Ρώσος φυσικός. Αναγνωρισμένος για την διατύπωση του γνωστού νόμου του *Lenz* στην ηλεκτροδυναμική το 1833.

Η ηλεκτρεγερτική δύναμη που επάγεται σε ένα κύκλωμα είναι ίση με το ρυθμό μεταβολής της μαγνητικής ροής που διέρχεται από την επιφάνεια που ορίζει το κύκλωμα.

Αν το κύκλωμα αποτελείται από N σπείρες και $\Delta\Phi_B$ είναι η μεταβολή της μαγνητικής ροής σε κάθε σπείρα, τότε η επαγωγή πολλαπλασιάζεται με τον αριθμό των σπειρών. Όμως ο νόμος του *Faraday* μας δίνει το μέτρο της *HEΔ* από επαγωγή. Δεν μας αναφέρει τίποτα για τη φορά του επαγωγικού ρεύματος. Ο *Lenz* (*Λενζ*) διατύπωσε ένα γενικό κανόνα, που δίνει τη φορά του ρεύματος από επαγωγή. Τα σχετικά με τα πειράματα που έκανε τα συμπεριέλαβε στη παρακάτω διατύπωση:

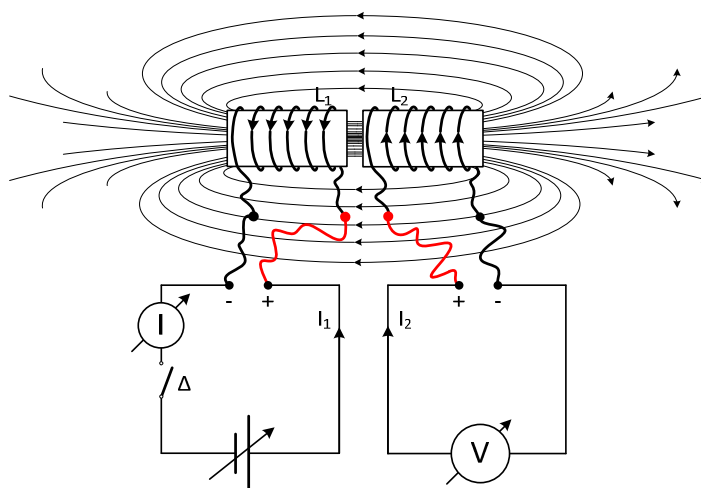
Κάθε μεταβολή που γίνεται στη μαγνητική ροή που εμπλέκει ένα κλειστό βρόγχο, δημιουργεί σ' αυτόν μια ηλεκτρική ή μηχανική δύναμη που αντιστέκεται στη μεταβολή της μαγνητικής δύναμης.

Σύμφωνα με τον κανόνα αυτό τα επαγωγικά ρεύματα έχουν τέτοια φορά ώστε να αντιτίθενται στο αίτιο που τα προκαλεί. Ο κανόνας αυτό προσδιορίζει τη φορά του επαγωγικού ρεύματος, άρα και την πολικότητα της επαγόμενης τάσης:

$$E_{\Phi} = - \frac{d\Phi}{dt}$$

Για να γίνει πιο κατανοητός ο κανόνας του *Lenz* θα πρέπει να εξετάσουμε ένα παράδειγμα. Ας θεωρήσουμε σαν θετική φορά της μαγνητικής ροής και της επαγωγικής E_{Φ} , τη φορά που προκύπτει από την εφαρμογή του δεξιόστροφου κοχλίου για την κυκλοφορία του ρεύματος σε ένα αγωγό.

Αν υποθέσουμε ότι αυξάνουμε τη τάση στα άκρα του πηνίου L_1 , η θετική μαγνητική ροή αυξάνεται μαζί με τη ταχύτητα μεταβολής της μαγνητικής ροής $d\Phi/dt$.



Εικόνα 8.9: Επαγόμενη *HEΔ* σε απομονωμένο κύκλωμα.

Η μεταβολή της μαγνητικής ροής μπορεί να προέλθει και από την αύξηση της τάσης στα άκρα του πηνίου L_1 . Σύμφωνα με το νόμο του *Lenz* όμως, η πολικότητα της επαγόμενης *HEΔ* στα άκρα του πηνίου L_2 έχει αρνητική πολικότητα σε σχέση με αυτή που δεχτήκαμε ως θετική στην αρχή. Συνεπώς και το ρεύμα θα έχει αντίθετη φορά.

Αν παρατηρήσετε την προηγούμενη εικόνα θα δείτε ότι, αν εφαρμόσουμε τον κανόνα του δεξιόστροφου κοχλίου, η φορά του ρεύματος στο πηνίο L_1 δημιουργεί μία άλλη μαγνητική ροή η οποία με τη σειρά της έχει αντίθετη φορά από εκείνη της κύριας μαγνητικής ροής Φ_E και κατά συνέπεια εμποδίζει την επιπλέον αύξηση της ροής που δημιουργεί η κύρια πηγή.

Έστω τώρα ότι η κύρια μαγνητική ροή ελαττώνεται, δηλαδή $d\Phi < 0$ και το ίδιο συμβαίνει με το ρυθμό μεταβολής της ροής, δηλαδή $d\Phi/dt < 0$. Ας πούμε ότι ελαττώνουμε την τάση του κύριου κυκλώματος. Σε αυτή τη περίπτωση θα θεωρήσουμε ότι η επαγόμενη ΗΕΔ και η ροή που προκαλεί το επαγόμενο ρεύμα είναι θετικά.

Η δευτερεύουσα μαγνητική ροή που δημιουργεί το επαγόμενο ρεύμα έχει τώρα την ίδια φορά με εκείνη της κύριας ροής. Σε αυτή τη περίπτωση η δευτερεύουσα μαγνητική ροή εμποδίζει την επί πλέον ελάττωση της κύριας μαγνητικής ροής που υποθέσαμε στην αρχή.

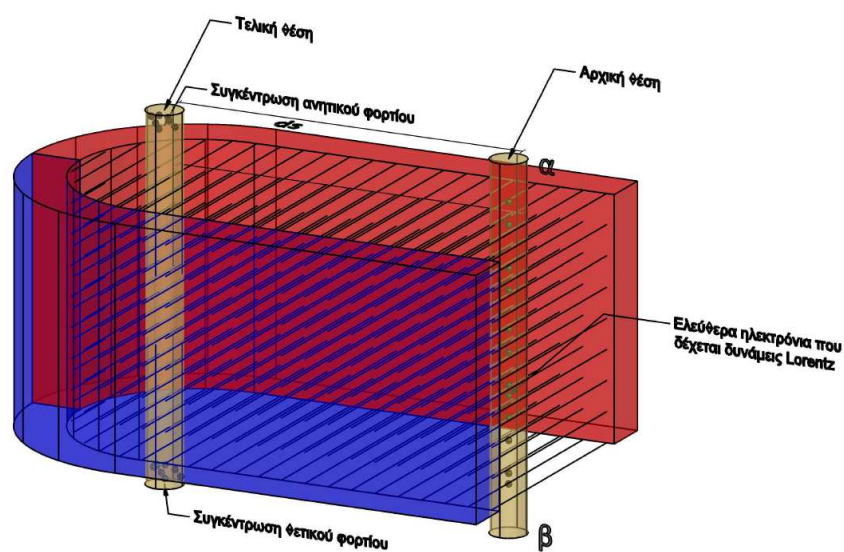
Η ηλεκτρομαγνητική αδράνεια των ρευματοφόρων κυκλωμάτων μοιάζει με τη μηχανική αδράνεια των στερεών σωμάτων. Κάθε σώμα προσπαθεί να διατηρήσει την κινητική του κατάσταση αντιδρώντας σε μια εξωτερική δύναμη που προσπαθεί να προκαλέσει τη μεταβολή της. Έτσι, αναπτύσσει μια δύναμη αδράνειας, αντίθετη από την εξωτερική δύναμη.

8.8 Η δύναμη του Lorentz⁷.

Όταν ένας αγωγός βρίσκεται μέσα σε ένα μαγνητικό πεδίο και κινείται κάθετα προς της μαγνητικές δυναμικές γραμμές του, τότε τα ελεύθερα ηλεκτρόνια που υπάρχουν στον αγωγό θα δεχτούν δυνάμεις. Οι δυνάμεις αυτές είναι γνωστές σαν δύναμη του Lorentz. Σύμφωνα με το νόμο αυτό, κάθε ηλεκτρόνιο που κινείται με ταχύτητα v μέσα σε ομοιογενές μαγνητικό πεδίο με μαγνητική επαγωγή \vec{B} , ενεργεί πάνω του μία δύναμη που είναι ίση:

$$F_L = \vec{B} \cdot E_0 \cdot v$$

Αν υποθέσουμε ότι μέσα σε ένα ομοιογενές μαγνητικό πεδίο τοποθετήσουμε έναν αγωγό μήκους l , και τον κινήσουμε σύμφωνα με τα παραπάνω, οι δυνάμεις που περιγράψαμε θα προκαλέσουν την κίνηση των ηλεκτρονίων προς την μια άκρη του αγωγού. Η επίδραση των δυνάμεων F_L πάνω σε όλα τα ελεύθερα ηλεκτρόνια του αγωγού θα έχει σαν αποτέλεσμα τη συσσώρευση τους στη μία άκρη και στην αντίθετη άκρη να υπάρχει έλλειψη ηλεκτρονίων.



Εικόνα 8.10: Κίνηση αγωγού μέσα σε μαγνητικό πεδίο για απόσταση b .

⁷ Hendrik Antoon Lorentz (18 Ιουλίου 1853 - 4 Φεβρουαρίου 1928) - Γερμανός φυσικός

Ο διαχωρισμός των φορτίων μέσα στον αγωγό, προϋποθέτει τη δημιουργία ηλεκτρικού πεδίου. Όπως έχουμε περιγράψει και παλιότερα, είναι η μόνη προϋπόθεση για να προκληθεί αντίδραση μέσω των δυνάμεων *Coulomb* (F_C), μεταξύ φορτισμένων σωματιδίων με διαφορετικές πολικότητες. Οι ηλεκτρικές δυνάμεις αυτές, αντιστέκονται στις μαγνητικές εξωτερικές δυνάμεις. Με την παραπάνω προϋπόθεση ότι ο αγωγός κινείται με σταθερή ταχύτητα, οι μαγνητικές δυνάμεις παραμένουν σταθερές και οι ηλεκτρικές δυνάμεις αυξάνουν καθώς όλο και περισσότερα φορτία συσσωρεύονται στα άκρα του αγωγού. Παραπάνω μηχανισμός διαχωρισμού των φορτίων σταματάει όταν οι ηλεκτρικές δυνάμεις ισορροπήσουν τις εξωτερικές μαγνητικές δυνάμεις, δηλαδή όταν:

$$F_L = F_C$$

Αυτή η κατάσταση ισορροπίας προκαλεί τη δημιουργία της σταθεράς διαφοράς δυναμικού ή τάσης μεταξύ των άκρων του αγωγού.

Στη πράξη, αν μπορούσαμε να συνδέσουμε στα άκρα του αγωγού αυτού μια ωμική αντίσταση, τότε αυτή θα διαρρεόταν από ηλεκτρικό ρεύμα. Δηλαδή, θα είχαμε ένα κλειστό ηλεκτρικό κύκλωμα.

Από τα παραπάνω λοιπόν, συμπεραίνουμε ότι όταν ένας αγωγός κινείται μέσα σε ένα μαγνητικό πεδίο έτσι ώστε να "κόβει" τις δυναμικές γραμμές, τότε προκαλείται μετατόπιση των ελεύθερων ηλεκτρονίων μέσα στον αγωγό και δημιουργείται στον αγωγό *HEΔ* από επαγωγή.

8.9 Μαγνητικό πεδίο ρευματοφόρου αγωγού.

Ένα ηλεκτρικό φορτίο που κινείται μέσα σε μαγνητικό πεδίο δέχεται δύναμη από το πεδίο. Λογικό είναι να περιμένουμε ότι ένας ρευματοφόρος αγωγός που βρίσκεται μέσα σε μαγνητικό πεδίο θα δέχεται δύναμη από το πεδίο. Το ηλεκτρικό ρεύμα είναι το αποτέλεσμα της κίνησης πολλών φορτισμένων σωματιδίων μέσα στο αγωγό. Σε καθένα από αυτά τα σωματίδια το μαγνητικό πεδίο ασκεί δύναμη. Η συνολική δύναμη που δρα πάνω σε ένα αγωγό, είναι αποτέλεσμα των δυνάμεων που ασκεί το μαγνητικό πεδίο σε κάθε φορτισμένο σωματίδιο που κινείται μέσα στον αγωγό. Έτσι, μπορούμε, από τη δύναμη που δέχεται ένα σωματίδιο να υπολογίσουμε τη δύναμη που δέχεται ο ρευματοφόρος αγωγός. Η δύναμη που ασκεί το μαγνητικό πεδίο σε έναν αγωγό, ονομάζεται δύναμη *Laplace*.

8.10 Μαγνητική επαγωγή.

Όταν παράγεται ένα μαγνητικό πεδίο H (με τους τρόπους που περιγράψαμε παραπάνω) μέσα σε ένα μέσο, τότε η απόκριση αυτού είναι η μαγνητική του επαγωγή B . Κάθε μέσο έχει τη μαγνητική του επαγωγή B , όταν εκτεθεί σε πεδίο H και όπως θα δούμε παρακάτω τα δύο αυτά μεγέθη (B , H) συνδέονται μεταξύ τους με μία ιδιότητα του υλικού, που λέγεται διαπερατότητα. Το κενό θεωρείται ότι είναι και αυτό μέσο, αφού για πεδίο έντασης H παράγει μαγνητική επαγωγή B .

Η μαγνητική επαγωγή B μετριέται σε *weber/m²*. Δηλαδή ισχύει η παρακάτω σχέση:

$$\Phi = \frac{B}{S}$$

Όπου S είναι η επιφάνεια που διαρρέεται από τη μαγνητική ροή Φ .

Οστόσο η μαγνητική επαγωγή περιγράφεται καλύτερα από τη δύναμη που παράγεται πάνω σε ένα κινούμενο ηλεκτρικό φορτίο το οποίο προκαλεί ηλεκτρικό ρεύμα. Έτσι η μαγνητική επαγωγή

έντασης 1 Tesla παράγει μία δύναμη 1 N/m σε έναν αγωγό που διαρρέεται από 1 A κάθετο στη διεύθυνση της επαγωγής.

Η μαγνητική επαγωγή στο κενό συνδέεται γραμμικά με την ένταση του πεδίου, σύμφωνα με τη σχέση:

$$\vec{B} = \mu_0 \cdot \vec{H}$$

όπου $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$ η διαπερατότητα του κενού και αποτελεί παγκόσμια σταθερά. Εντούτοις στα άλλα μέσα το B δεν είναι γραμμική συνάρτηση του H και κυρίως το B δεν είναι μόνο συνάρτηση του H . Η μέτρηση του βρόχου υστέρησης $B-H$ για τα υλικά αυτά δείχνει την εξάρτηση των δύο μεγεθών μεταξύ τους. Για τα υλικά αυτά ισχύει η σχέση:

$$\vec{B} = \mu \cdot \vec{H}$$

όπου μ είναι η διαπερατότητα του υλικού και η οποία δεν είναι σταθερή τις περισσότερες φορές. Είναι γνωστό ότι στα παραμαγνητικά και στα διαμαγνητικά υλικά το μ είναι σταθερό για πολλές τιμές του H , σε αντίθεση με τα σιδηρομαγνητικά υλικά.

8.11 Η.Ε.Δ. από αυτεπαγωγή (Επαγωγή).

Η αυτεπαγωγή σαν φαινόμενο σχετίζεται με την ίδια την επαγωγή που δημιουργεί το πηνίο όταν αυτό διαρρέεται από ρεύμα. Όταν δηλαδή ένα πηνίο δημιουργεί ένα μαγνητικό πεδίο γύρω του. Αυτό το μαγνητικό πεδίο δεν αφήνει ανεπηρέαστο το ίδιο το πηνίο που προκάλεσε την ροή του μαγνητικού πεδίου. Εξήγηση στο φαινόμενο αυτό δίνεται από τον παρακάτω τύπο.

$$E_\phi = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d(Li)}{dt} = -L \frac{di}{dt}$$

Ο παραπάνω τύπος μας λέει ότι η $H.E.D.$ από αυτεπαγωγή είναι ανάλογη του ίδιου του πηνίου και ανάλογη με την ταχύτητα μεταβολής του ρεύματος. Ενώ το αρνητικό πρόσημο υποδηλώνει την αντίσταση που παρουσιάζεται σε κάθε μεταβολή του ρεύματος, δηλαδή εμποδίζει κάθε αύξηση ή ελάττωση του, όπως περιγράφηκε στο νόμο του [Lenz](#) πρωτίτερα.

Αναφορικά με την αυτεπαγωγή μπορούμε να πούμε ότι:

Όταν ένας αγωγός διαρρέεται από ρεύμα, τότε γύρω του δημιουργεί μαγνητικό πεδίο. Έτσι μέσα από ένα βρόγχο διέρχεται μαγνητική ροή που οφείλετε στο μαγνητικό πεδίο του ρεύματος. Αν μεταβληθεί η ένταση του ρεύματος, τότε μεταβάλλεται και η μαγνητική ροή που διέρχεται από την επιφάνεια του βρόχου, και έτσι μέσα στο βρόγχο αναπτύσσεται επαγωγική $H.E.D.$ Σύμφωνα με το νόμο του [Lenz](#), όταν αυξάνεται το ρεύμα, το επαγωγικό ρεύμα είναι αντίρροπο με το κύριο ρεύμα και για κάποιο χρονικό διάστημα εμποδίζει την αύξηση της έντασης του κύριου ρεύματος. Αντίθετα, όταν ελαττώνεται το ρεύμα, το επαγωγικό ρεύμα είναι ομόρροπο με το κύριο ρεύμα και για κάποιο χρονικό διάστημα εμποδίζει την ελάττωση της έντασης του κύριου ρεύματος.

Η αυτεπαγωγή (L) ενός ηλεκτρομαγνητικού συστήματος χαρακτηρίζει την ηλεκτρομαγνητική του αδράνεια με τον ίδιο ακριβώς τρόπο, όπως η μάζα ενός μηχανικού συστήματος χαρακτηρίζει την αδράνεια του συστήματος.

8.12 Μετατροπή μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική.

Αν ο αγωγός που εξετάσαμε προηγούμενος ήταν μέρος ενός κλειστού κυκλώματος, η σταθερή διαφορά δυναμικού μεταξύ των άκρων του αγωγού αυτού, που δημιουργούνται λόγω των δυνάμεων *Lorentz* σε αυτόν, θα προκαλούσε στο κύκλωμα μια σταθερή ροή ηλεκτρονίων δια μέσου μιας ωμικής κατανάλωσης. Με λίγα λόγια, θα είχαμε ροή ηλεκτρικού ρεύματος στο κύκλωμα.

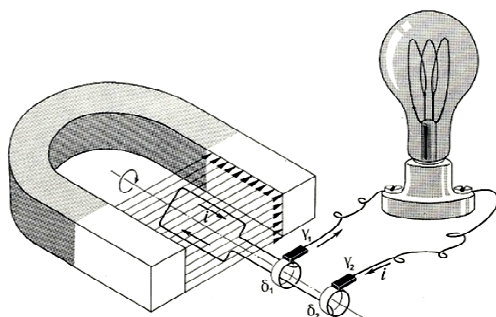
Αν καταφέρουμε να κινήσουμε τον αγωγό με σταθερή ταχύτητα *v*, μέσα στο μαγνητικό πεδίο με ενέργεια που προέρχεται από κάποια πηγή που μπορεί να παρέχει μηχανική ενέργεια, τότε η ισχύς που χρειάζεται για να κινηθεί ο αγωγός είναι:

$$P_{μηχ.} = F_{μηχ.} \cdot v$$

Όπου *F* η δύναμη που ασκείτε για να κινηθεί ο αγωγός. Η επαγωγική *HEΔ* δημιουργεί ένα ρεύμα *I* που είναι:

$$I = \frac{E}{r_0 + R}$$

Όπου *r₀* η αντίσταση του αγωγού. Η αντίσταση *r₀* δεν τίποτα άλλο από την εσωτερική αντίσταση σε μια πηγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ενώ *R* η αντίσταση ή ένας καταναλωτής που έχει συνδεθεί στα άκρα του αγωγού που κινείται μέσα στο μαγνητικό πεδίο.



Εικόνα 8.11: Μετατροπή της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική.

Στη περίπτωση αυτή η *HEΔ* συμπεριφέρεται σαν πηγή και παρέχει στο κύκλωμα ηλεκτρική ισχύ

$$P_{ηλ.} = E \cdot I$$

Σύμφωνα με το κανόνα του αριστερού χεριού του *Fleming*⁸ μπορούμε να προσδιορίσουμε τη φορά της δύναμης που αναπτύσσει ο αγωγός κατά τη κίνηση του μέσα στο μαγνητικό πεδίο όπου διαρρέεται από ρεύμα. Η δύναμη αυτή είναι αντίθετη από την εξωτερική δύναμη που ασκείτε για την κίνηση του αγωγού μέσα στο μαγνητικό πεδίο.

Μπορούμε να πούμε ότι, η εξωτερική μηχανική δύναμη *F_{μηχ.}* που ασκείτε στον αγωγό, λειτουργεί σαν δύναμη οδήγησης ενώ η δύναμη που *F_{ηλ.}* που ασκείτε στον αγωγό και είναι αντίθετη από τη εξωτερική μηχανική δύναμη, λειτουργεί σαν ανασταλτική δύναμη.

Αν η κίνηση του αγωγού μέσα στο μαγνητικό πεδίο είναι σταθερή, η δυο πιο πάνω δυνάμεις ισορροπούν η μια την άλλη, δηλαδή:

⁸ *Sir John Ambrose Fleming* (29 Νοεμβρίου 1849 – 18 Απριλίου 1945) - Άγγλος Ηλεκτρολόγος μηχανικός και φυσικός.

$$F_{μηχ.} = F_{ηλ.} = \vec{B} \cdot I \cdot l$$

Αν αντικαταστήσουμε στη πρώτη σχέση της μηχανικής ισχύς το παραπάνω αποτέλεσμα θα έχουμε:

$$P_{μηχ.} = F_{μηχ.} \cdot v = \vec{B} \cdot I \cdot l \cdot v$$

Από το νόμο του *Lentz* ξέρουμε ότι:

$$E = \vec{B} \cdot l \cdot v$$

Συνεπώς προκύπτει ότι:

$$P_{μηχ.} = E \cdot I = P_{ηλ.}$$

η ηλεκτρική ισχύς που προσδίδεται στο κύκλωμα από την πηγή, είναι ίση με την μηχανική ισχύ που χρειάζεται για να κινηθεί ο αγωγός με σταθερή ταχύτητα v .

Όσο το κύκλωμα διαρρέετε από ρεύμα, η τάση στα άκρα της αντίστασης είναι ίση με την Η.Ε.Δ. μείον την εσωτερική πτώση τάσης:

$$U_{AB} = E - I \cdot r_s = I \cdot R$$

Η διαδικασία της μετατροπής της ενέργειας είναι αμφίδρομη στις περισσότερες των περιπτώσεων. Έτσι και εδώ η μετατροπή της ενέργειας από μηχανική σε ηλεκτρική μπορεί να γίνει και από ηλεκτρική σε μηχανική.

8.13 Εργαστηριακή άσκηση.

Επιβεβαίωση του κανόνα του *Lenz*.

- 1.** Τοποθετείστε το μαγνήτη μεταβλητής απόστασης κατακόρυφα στη βάση στήριξης και κρεμάμε τον ευθύγραμμο αγωγό. Συνδέστε τα άκρα του αγωγού με την πηγή τροφοδοσίας ($I_{max} = 2 \text{ Amp.}$). Παρατηρείτε ότι όταν ο αγωγός τροφοδοτείται με ηλεκτρικό ρεύμα αποκλίνει από τη θέση ισορροπίας του. Γιατί συμβαίνει αυτό;
- 2.** Αφαιρέστε τον αγωγό και τοποθετήστε το μαγνήτη μεταβλητής απόστασης οριζόντια στη βάση στήριξης. Κρεμάστε το επίπεδο εκκρεμές και το εκκρεμές με τις σχισμές έτσι ώστε να βρίσκονται εντός του μαγνητικού πεδίου και στη συνέχεια εκτρέψτε τα από τη θέση ισορροπίας τους. Παρατηρούμε ότι το επίπεδο εκκρεμές ακινητοποιείται γρήγορα ενώ αυτό με τις σχισμές συνεχίζει να ταλαντώνεται για μεγαλύτερο χρόνο. Γιατί συμβαίνει αυτό;
- 3.** Κρεμάστε ανάμεσα στους πόλους του μαγνήτη διαδοχικά την γυάλινη ράβδο και τη ράβδο από αλουμίνιο. Παρατηρούμε ότι η γυάλινη ράβδος στρέφεται αρχικά προς μια κατεύθυνση και στη συνέχεια προς την αντίθετη, ενώ η ράβδος από αλουμίνιο στρέφεται πολύ αργά και τελικά ευθυγραμμίζεται με το μαγνητικό πεδίο. Γιατί συμβαίνει αυτό;
- 4.** Τοποθετείστε το πηνίο εντός του μαγνητικού πεδίου. Συνδέστε τους ακροδέκτες με τάση τροφοδοσίας ($V_{max} = 2 \text{ Volt}$, $I_{max} = 2 \text{ Amp.}$) και στρέψτε λίγο το αρχικά με το χέρι μέχρι να αρχίσει να περιστρέφεται μόνο του. Που οφείλεται η περιστροφή του; Αυξήστε την ένταση του ρεύματος που διαρρέει το πηνίο. Τι παρατηρείτε;

8.14 Ερωτήσεις.

1. Πως ορίζεται η ηλεκτρική ροή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου;
2. Τι μελετά το θεώρημα του *Gauss*. Διατυπώστε το θεώρημα του *Gauss* στο κενό.
3. Διατυπώστε τη γνώμη σας σχετικά με το αν εξαρτάται η ηλεκτρική ροή που προκαλεί σημειακό φορτίο μέσα από κλειστή επιφάνεια που το περιβάλλει, από το σχήμα της επιφάνειας;
4. Τι είναι τα δινορρεύματα;
5. Προσπαθήστε να εξηγήσετε που εμφανίζονται τα δινορρεύματα, ποιες είναι οι συνέπειες εμφάνισης του, και πως αντιμετωπίζετε.
6. Τι είναι τα παραμαγνητικά και τι τα διαμαγνητικά υλικά. Πως σχετίζονται αυτοί οι όροι με την μαγνητική διαπερατότητα των υλικών;
7. Τι είναι η *H.E.Δ.* από αμοιβαία επαγωγή.
8. Με ποιο μέσω η ηλεκτρική ενέργεια μετατρέπεται σε μηχανική και με ποιο μέσω η μηχανική ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική.

Προαιρετικές ερωτήσεις - ασκήσεις.

- Π.1.** Βρείτε διάφορες κατηγορίες πυκνωτών και προσδιορίστε εφαρμογές για τη χρήση τους. Κατά την έρευνα σας αυτή μπορείτε να παραθέσετε και εικόνες πυκνωτών από διαδίκτυο. Στο τέλος της σύντομης έρευνα σας πρέπει να παραθέσετε και τη πηγή άντλησης των στοιχείων σας.
- Π.2.** Προσπαθήστε να δώσετε την ερμηνεία για την μετατροπής της ηλεκτρικής ενέργειας σε μηχανική.

Άσκηση 9

Κύκλωμα αντίστασης και πηνίου (RL).

9.1 Εισαγωγή.

Στην πράξη τα κυκλώματα αποτελούνται από περισσότερα στοιχεία κατάλληλα συνδυασμένα, ώστε να σχηματίζουν σύνθετες συνδεσμολογίες, η αντίσταση των οποίων ονομάζεται σύνθετη αντίσταση. Το αποτέλεσμα της συνεργασίας όλων των στοιχείων δεν μπορούμε να το προβλέψουμε παρά μόνο με υπολογισμούς.

Το πηνίο, όπως και ο πυκνωτής, αποτελούν ένα μεγάλο πεδίο εφαρμογών και μελέτης για τον ηλεκτρολόγο μηχανικό. Διατάξεις πρωτοβάθμιων φίλτρων, κυκλώματα αποθήκευσης ενέργειας, κυκλώματα ανόρθωσης συνημιτόνου, κυκλώματα *snubber* κι άλλες πολλές εφαρμογές απαιτούν ειδικές μελέτες που πρέπει να φέρει εις πέρας ένας μηχανικός.

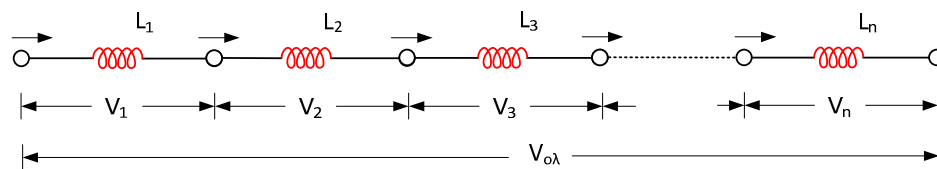
Η συμπεριφορά του πηνίου σε κυκλώματα συνεχούς και με εναλλασσόμενες κυματομορφές χρίζει ιδιαίτερης σημασίας και μελέτης.

9.2 Σύνδεση πηνίων.

Πολλές φορές υπάρχει ανάγκη να συνδεθούν δύο ή περισσότερα πηνία όπως σε σειρά ή παράλληλα. Όπως και σε τοπολογία αστέρα και τριγώνου, συνδεσμολογίες όμως που κατά βάση συναντάμε σε τριφασικά κυκλώματα εναλλασσομένου ρεύματος κυρίως στις μηχανές. Όταν λοιπόν, έχουμε σύνδεση πηνίων σε σειρά ή παράλληλα μεταξύ τους και εφόσον δεν υπάρχει μαγνητική σύζευξη, δηλαδή δεν υπάρχει καμία μαγνητική επίδραση του ενός προς το άλλο, τότε ισχύουν τα παρακάτω:

9.2.1 Σύνδεση πηνίων σε σειρά.

Στη παρακάτω εικόνα εμφανίζεται η σύνδεση πηνίων σε σειρά, με τον ανάλογο επιμερισμό τάσης στα άκρα τους.



Εικόνα 9.1: Σύνδεση πηνίων σε σειρά.

Με βάση τις ηλεκτρικές ιδιότητες που ισχύουν για αυτό το κύκλωμα, η συνολική τάση του κυκλώματος θα είναι το άθροισμα των επιμέρους τάσεων. Δηλαδή:

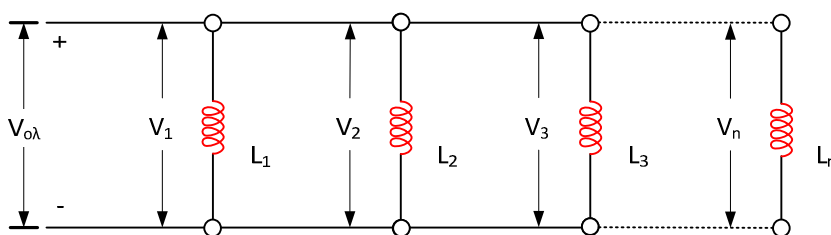
$$V_{ολ} = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n$$

Η συνολική αυτεπαγωγή των πηνίων θα είναι:

$$L_{ολ} = L_1 + L_2 + L_3 + \dots + L_n$$

9.2.2 Σύνδεση πηνίων παράλληλα.

Στο επόμενη εικόνα δίνεται η σύνδεση πηνίων παράλληλα με τα βασικά χαρακτηριστικά του κυκλώματος.



Εικόνα 9.2: Σύνδεση πηνίων παράλληλα.

Η τάση του κυκλώματος δεν μπορεί παρά να είναι ίδια σε όλα τα άκρα των πηνίων, όπως ισχύ πάντα για παράλληλη σύνδεση, άρα και στις επιμέρους τάσεις.

$$V_{ολ} = V_1 = V_2 = V_3 = \dots = V_n$$

Ενώ για το ολικό ρεύμα ισχύει:

$$I_{ολ} = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n$$

Αν αντικαταστήσουμε το ρεύμα σε κάθε κλάδο με την αντίσταση του πηνίου και την τάση που επικρατεί στα άκρα του θα έχουμε:

$$I_{ολ} = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n = \frac{V_1}{\omega L_1} + \frac{V_2}{\omega L_2} + \frac{V_3}{\omega L_3} + \dots + \frac{V_n}{\omega L_n}$$

$$I_{ολ} = V \cdot \left(\frac{1}{\omega L_1} + \frac{1}{\omega L_2} + \frac{1}{\omega L_3} + \dots + \frac{1}{\omega L_n} \right)$$

$$\frac{I_{ολ}}{V} = \frac{1}{R_{L_1}} + \frac{1}{R_{L_2}} + \frac{1}{R_{L_3}} + \dots + \frac{1}{R_{L_n}}$$

$$\frac{1}{L_{ολ}} = \frac{1}{R_{L_1}} + \frac{1}{R_{L_2}} + \frac{1}{R_{L_3}} + \dots + \frac{1}{R_{L_n}}$$

Το χαρακτηριστικό που παρατηρούμε στη προκειμένη περίπτωση είναι η σύνδεση πηνίων παράλληλα να προκαλεί μείωση της συνολικής αντίστασης. Αν θεωρήσουμε τρία πηνία όμοιων χαρακτηριστικών μεταξύ τους L_1, L_2 και L_3 , τότε η πιο πάνω σχέση θα γίνει:

$$\frac{1}{\omega L_{ολ}} = \frac{1}{\omega L_1} + \frac{1}{\omega L_2} + \frac{1}{\omega L_3}$$

$$\frac{1}{\omega L_{ολ}} = \frac{3}{L} \Rightarrow \omega L_{ολ} = \frac{\omega L}{3}$$

Γενικά για n αριθμό ίσων πηνίων ισχύει:

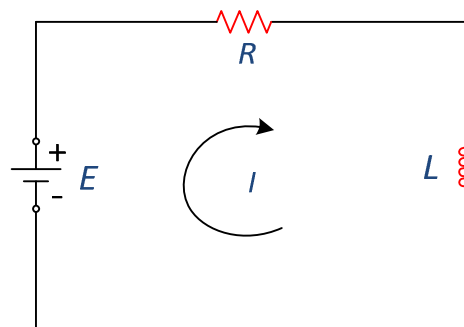
$$\omega L_{o\lambda} = \frac{\omega L}{n}$$

Για τη σύνδεση δύο πηνίων παράλληλα μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε των παρακάτω τύπο όπως και στη περίπτωση των δυο παράλληλων αντιστάσεων.

$$L_{o\lambda} = \frac{L_1 \cdot L_2}{L_1 + L_2}$$

9.3 Κυκλώματα αντίστασης - πηνίου (R-L).

Η χρήση πηνίων σε ένα κύκλωμα γίνεται πάντα σε συνδυασμό με άλλα στοιχεία. Στη πιο συνηθισμένη μορφή του είναι με την χρήση ωμικής αντίστασης σε σειρά ή παράλληλα ή σε συνδυασμό με έναν πυκνωτή ή και τα τρία αυτά στοιχεία σε σύνδεση σειράς, παράλληλα ή και μεικτή σύνδεση. Ένα απλό κύκλωμα αντίστασης - πηνίου εμφανίζεται στο πιο κάτω σχήμα.



Εικόνα 9.3: Κύκλωμα αντίστασης πηνίου.

Το ρεύμα που κυκλοφορεί στο συγκεκριμένο κύκλωμα δίνεται από το 1^ο Κανόνα του Kirchhoff:

$$E = I \cdot R + L \cdot \frac{di}{dt}$$

Από τη παραπάνω σχέση γίνεται αντιληπτό ότι, η διαφορά δυναμικού που επικρατεί στα άκρα ενός πηνίου είναι ανάλογη της μεταβολής του ρεύματος i που τη διαρρέει.

Α Για να βρούμε το ρεύμα I στο παραπάνω κύκλωμα είναι απαραίτητο να λύσουμε την διαφορική εξίσωση (Δεν είναι εύκολη υπόθεση) $\frac{di}{dt}$, με όρια από την αρχική κατάσταση λειτουργίας έως το άπειρο. Δηλαδή:

$$I_{(0)} = 0, \quad \left[\frac{dI}{dt} \right]_{(t=\infty)} = 0 \Rightarrow I_{(t=\infty)} = \frac{E}{R}$$

Λύνοντας την παραπάνω εξίσωση θα έχουμε:

$$I \cdot R + L \cdot \frac{di}{dt} - E = 0 \Rightarrow I + \frac{L}{R} \cdot \frac{di}{dt} - \frac{E}{R} = 0 \Rightarrow$$

$$I - \frac{E}{R} = -\tau_{RL} \cdot \frac{di}{dt} \Rightarrow \frac{di}{I - \frac{E}{R}} = -\frac{dt}{\tau_{RL}} \Rightarrow$$

$$\int_0^{I(t)} \frac{d\left(I - \frac{E}{R}\right)}{I - \frac{E}{R}} = - \int_0^t \frac{dt}{\tau_{RL}} \Rightarrow \ln \frac{I(t) - \frac{E}{R}}{-\frac{E}{R}} = -\frac{t}{\tau_{RL}}$$

Αποδεικνύεται ότι το ρεύμα που διαρρέει το κύκλωμα κάθε χρονική στιγμή είναι:

$$I = \frac{E}{R} \cdot (1 - e^{-t/\tau_{RL}})$$

Ενώ, η πτώση τάσης στην αυτεπαγωγή είναι:

$$V_L = L \frac{di}{dt} = E \cdot e^{-R \cdot t/L}$$

Από τα παραπάνω προκύπτει και η σταθερά χρόνου για την φόρτιση του πηνίου που είναι:

$$\tau_{RL} = \frac{L}{R}$$

Λαμβάνοντας υπόψη τον αρχικό τύπο που μας δίνει την τάση στα άκρα της επαγωγής με βάση τη μεταβολή του ρεύματος, έχουμε δύο μεγάλες διαφορετικές εκδοχές που αφορούν στην ωμική αντίσταση - αντίδραση που παρουσιάζει ένα πηνίο.

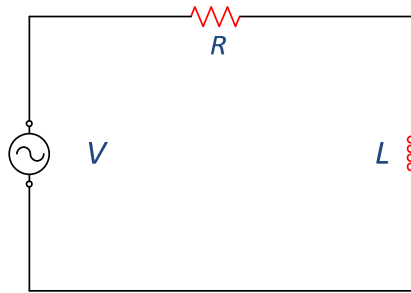
Η πρώτη, έχει να κάνει με το συνεχές ρεύμα όπου η χρονική μεταβολή του ρεύματος δεν υφίσταται, μιας και η τάση που εφαρμόζουμε στα άκρα του πηνίου είναι συνεχής, συνεπώς και το ρεύμα. Επίσης η συχνότητα είναι μηδέν. Θεωρητικά λοιπόν, στο συνεχές ρεύμα ένα πηνίο θεωρείται ότι είναι ένα βραχυκύκλωμα, σε αντίθεση με το πυκνωτή ο οποίο ήταν ένα ανοιχτοκύκλωμα. Στη πραγματικότητα όμως και αφού ένα πηνίο είναι κατασκευασμένο από πεπερασμένα υλικά είναι λογικό να παρουσιάζει κάποια ωμική αντίσταση κατά μήκος του αγωγού από το οποίο είναι κατασκευασμένο.

Η δεύτερη, έχει να κάνει με το εναλλασσόμενο ρεύμα στο οποίο η συχνότητα είναι διάφορη του μηδενός και συνεπώς η έχουμε και χρονική μεταβολή του ρεύματος.

9.4 Απόκριση R-L κυκλώματος σε εναλλασσόμενη τάση.

Μεγάλο ενδιαφέρον σε τέτοιου είδους κυκλώματα παρουσιάζει η εφαρμογή εναλλασσόμενης ημιτονοειδείς τάσεις και όχι μόνο. Ο όρος που δείχνει να παρουσιάζει αυτό το ενδιαφέρον είναι η διαφορική μεταβολή του ρεύματος στη μονάδα του χρόνου ($\frac{di}{dt}$).

Σε κυκλώματα με εναλλασσόμενη τάση, το πηνίο κατά τη διάρκεια εφαρμογής στα άκρα του εναλλασσόμενης τάσης, υπόκειται σε συνεχείς αλλαγές της πολικότητας της τάσης στα άκρα του που με τη σειρά του προκαλεί την αλλαγή φοράς του ρεύματος. Όπως περιγράψαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο, μελετώντας το νόμο του *Lenz*, ένα πηνίο αντιστέκεται σε τέτοιες αλλαγές και μάλιστα όταν αυτές γίνονται τόσο απότομα όσο είναι και η συχνότητα της τάσης που εφαρμόζετε.



Εικόνα 9.4: Σύνδεση πηγίου στο εναλλασσόμενο.

Η τάση που δίνει η πηγή είναι ημιτονοειδής συνάρτηση του χρόνου, με μέγιστο πλάτος V_0 και γωνιακή συχνότητα ω (Σχετικά με τα ημιτονοειδή χαρακτηριστικά έχουμε αναφερθεί σε προηγούμενη ενότητα).

Αν η τάση του κυκλώματος έχει ημιτονοειδή μορφή, τότε ακόμα και το ρεύμα στο κύκλωμα θα έχει ημιτονοειδή μορφή αλλά με πλάτος και φάση που μεταβάλλονται σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά της σύνθετης αντίστασης του κυκλώματος. Σε συχνότητες όπως αυτή του δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, κατά τη διάρκεια των φορτίσεων και εκφορτίσεων, το ρεύμα που διαρρέει μια επαγωγή είναι ίση με:

$$I_L = \frac{V}{X_L}$$

Όπου ο όρος X_L ονομάζεται επαγωγική αντίσταση ή αντίδραση και είναι ίση με:

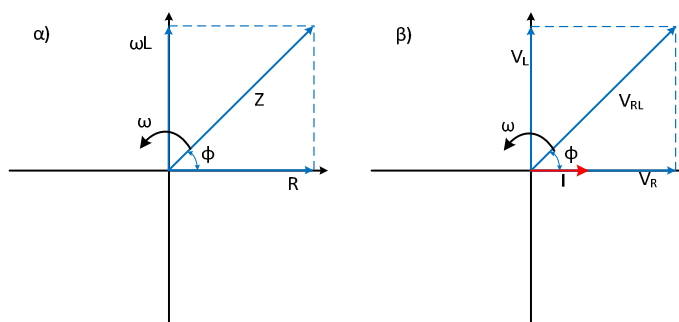
$$X_L = \omega \cdot L$$

Ο συντελεστής ω είναι η γνωστή σε μας κυκλική συχνότητα και όπως γνωρίζουμε είναι άμεσα εξαρτημένος από τη συχνότητα. Η επαγωγική αντίσταση μετριέται και αυτή σε $\Omega\mu$.

Όταν στο κύκλωμα υπάρχει και ωμική αντίσταση σε σειρά με το πηνίο τότε το κύκλωμα παρουσιάζει μια σύνθετη αντίσταση Z που έχει μέτρο:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

Η παραπάνω σχέση μας δείχνει ότι, η σύνθετη αντίσταση είναι το διανυσματικό άθροισμα των δυο αντιστάσεων. Παρακάτω δίνονται τα διανυσματικά διαγράμματα που παρουσιάζουν οι τάσεις του προηγούμενου κυκλώματος (Εικόνα 9.4).



Εικόνα 9.5: Διανυσματικά χαρακτηριστικά του τάσεων και αντιστάσεων.

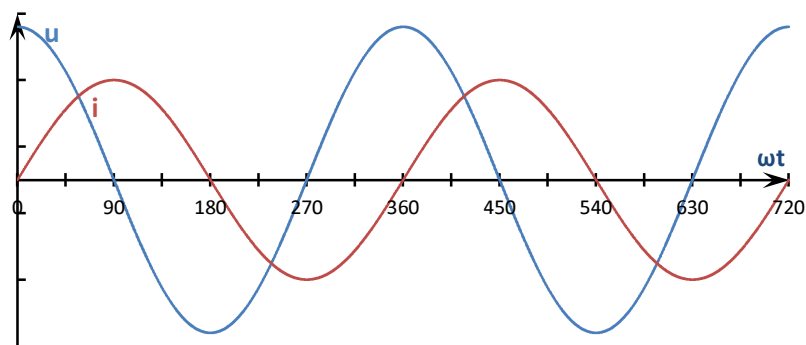
Σχετικά με την προηγούμενη εικόνα, η παρατηρήσεις που μπορούμε να κάνουμε είναι ότι, η τάση στα άκρα του πηνίου προηγείται κατά 90° από την τάση στα άκρα της αντίστασης R και ακόμη ότι η συνολική τάση του κυκλώματος καθυστερεί από το συνολικό ρεύμα που διαρρέει το κύκλωμα κατά μια γωνία φ .

Επίσης μπορούμε να δούμε ότι το ρεύμα του κυκλώματος είναι συμφασικό με τη τάση στα άκρα της αντίστασης. Η γωνία φ εξαρτάται από το μέγεθος της αντίστασης στο κύκλωμα. Όσο η αντίσταση γίνεται μικρότερη η γωνία τείνει να γίνει 90° . Ο συντελεστής ισχύος καθορίζεται από όλα τα στοιχεία του κυκλώματος και είναι:

$$\tan^{-1} = \frac{X_L}{R} \quad \text{ή} \quad \cos\varphi = \frac{R}{X_L} \quad \text{ή} \quad \cos\varphi = \frac{V_R}{V}$$

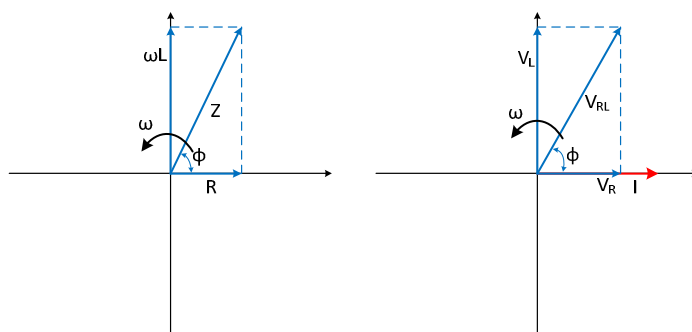
Ο συντελεστής ισχύος είναι καθαρός αριθμός. Δεν είναι αντικείμενο αυτού του μαθήματος γι' αυτό και θα αρκεστούμε στο ότι με αυτό μπορούμε να βρούμε τη γωνία απόκλισης της τάσης από το ρεύμα.

Όλα τα παραπάνω σχετίζονται με όσα σε προηγούμενη άσκηση είχαμε αναφέρει για τη διαφορά φάσεις. Η παραπάνω γωνία καθυστέρησης που παρουσιάζεται ανάμεσα στη τάση και το ρεύμα στα άκρα ενός πηνίου εμφανίζεται παρακάτω.

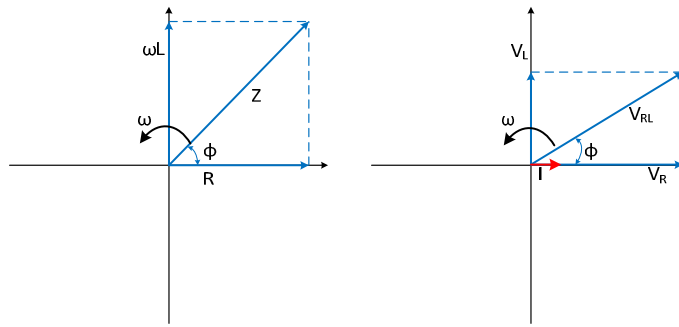


Εικόνα 9.6: Φασική διαφορά ανάμεσα στη τάση του πηνίου και το ρεύμα.

Μεγαλύτερη ή μικρότερη τιμή της αντίστασης, διαμορφώνει ανάλογα την διαφορά φάσης στο κύκλωμα.



Εικόνα 9.7: Διανυσματικά χαρακτηριστικά σε κύκλωμα R-L με μικρότερη ωμική αντίσταση της συχνότητας.



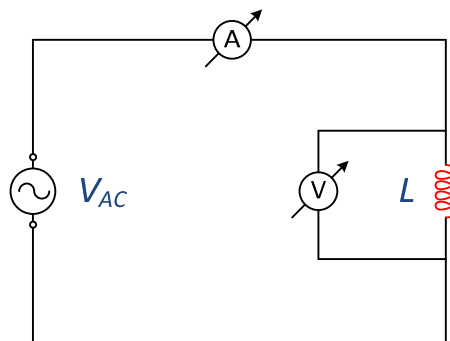
Εικόνα 9.8: Διανυσματικά χαρακτηριστικά σε κύκλωμα R-L με μεγαλύτερη ωμική αντίσταση.

Σύμφωνα με τους κανόνες του *Kirchhoff* αυτό που άλλαξε είναι η κατανομή της τάσης στο κύκλωμα ενώ μεταβάλλαμε μόνο την ωμική αντίσταση και επίσης το ολικό ρεύμα.

9.5 Μέτρηση της επαγωγικής αντίστασης.

Η επαγωγική αντίσταση είναι ένα μέγεθος που εμφανίζεται στο πηνίο όταν στα άκρα του εφαρμοστεί εναλλασσόμενη τάσης. Συνηθίζετε να την αποκαλούμε και επαγωγική αντίδραση ή απλά αντίδραση. Ας πούμε ότι αυτός ο ορισμός, της αντίδρασης, συνδέετε με την ιδιότητα του να προκαλεί μια διαφορά φάσης ανάμεσα στη τάση και το ρεύμα που το διαρρέουν.

Η συνδεσμολογία του κυκλώματος είναι αυτή που εμφανίζεται στην παρακάτω εικόνα και η τάση που εφαρμόζουμε στα άκρα του πυκνωτή είναι εναλλασσόμενη ημιτονοειδής.



Εικόνα 9.9: Συνδεσμολογία μέτρησης του πηνίου στο εναλλασσόμενο.

Η τάση αυτή έχει τα χαρακτηριστικά που περιγράψαμε στο πέμπτο κεφάλαιο. Αφού λοιπόν η επαγωγική αντίσταση X_L είναι κάτι αντίστοιχο με την ωμική αντίσταση και εμφανίζεται στο εναλλασσόμενο, τότε θα δίνεται από τα αντίστοιχα μεγέθη:

$$X_L = \frac{V_{AC}}{I_{AC}}$$

Όσο αφορά το εναλλασσόμενο γνωρίζουμε ότι υπάρχει μια διαφοροποίηση σε σχέση με το συνεχές. Το μέγεθος της τάσης και του ρεύματος χαρακτηρίζονται από το μέγιστο, μέση και ενεργή τιμή. Αν στη παραπάνω σχέση χρησιμοποιήσουμε τις μέγιστες τιμές τότε η σχέση παίρνει την παρακάτω μορφή:

$$X_L = \frac{V_L}{I_L} = \frac{V_m}{I_m}$$

Θεωρητικά η επαγωγική αντίσταση είναι καθαρά επαγωγική. Στη πράξη όμως χωρίζεται σε δύο διαφορετικές τιμές. Το ένα κομμάτι του είναι το ωμικό μέρος του και το άλλο είναι το επαγωγικό μέρος. Δηλαδή:

$$\dot{X}_L = R + j \cdot \omega \cdot L$$

Το στοιχείο $-j\omega$ είναι μιγαδικό και δεν θα μας απασχολήσει, το πρόσημο υποδηλώνει το όρισμα της γωνία. Η χρήση του στη προκειμένη περίπτωση γίνεται για να δούμε την διανυσματική έκφραση αυτών των μεγεθών.

Επειδή η ωμική αντίσταση του πηνίου είναι πάρα πολύ μικρή, αρκετές φορές δεν την λαμβάνετε υπόψη και υπολογίζουμε την X_L με τον παρακάτω τύπο:

$$X_L = \omega \cdot L$$

9.6 Εργαστηριακή άσκηση.

9.6.1 Διαφορά φάσης.

1. Σας δίνονται πέντε διαφορετικές αντιστάσεις και ένα πηνίο.

	Τιμή (Ω)	Ισχύς (P)	Μέτρηση με ωμόμετρο (Ω)
R ₁			
R ₂			
R ₃			
R ₄			
R ₅			

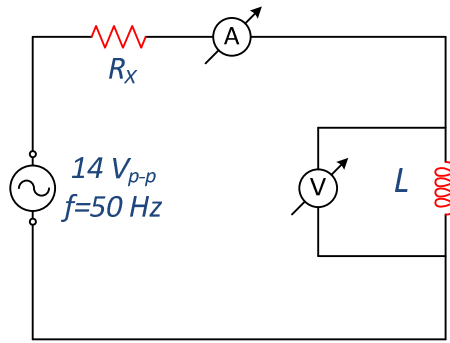
Καταγράψτε την τιμή της επαγωγής που δίνει ο κατασκευαστής:

Επαγωγή πηνίου: L=.....H

Μετρήστε με γέφυρα την τιμή της επαγωγής:

Επαγωγή πηνίου: L=.....H

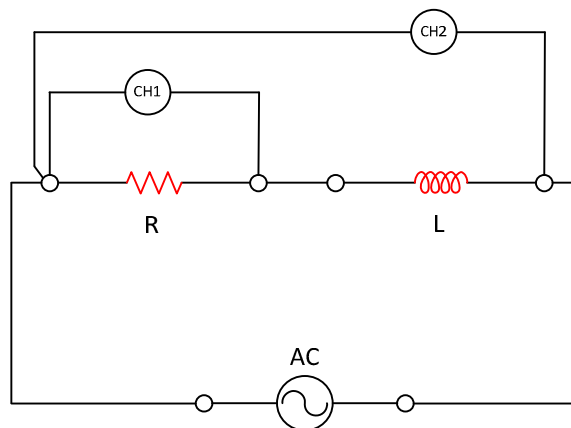
2. Ρυθμίστε την παλμογεννήτρια με τάση εξόδου $14 V_{p-p}$ και συχνότητα $50 Hz$. Χρησιμοποιήστε ένα βολτόμετρο και ένα αμπερόμετρο και υλοποιήστε το παρακάτω κύκλωμα.



Τοποθετήστε με τη σειρά τις αντιστάσεις που έχετε στη διάθεση σας και μετρήστε διαδοχικά τις τιμές τάσης και ρεύματος και καταγράψτε τις τιμές στον παρακάτω πίνακα.

	Τιμή αντίστασης	Τάση V_L	Ρεύμα I	X_L (Ω)
R_1				
R_2				
R_3				
R_4				
R_5				

3. Ρυθμίστε την παλμογεννήτρια με ημιτονοειδή τάση εξόδου $14 V_{p-p}$ και συχνότητα $1 kHz$. Υλοποιήστε το παρακάτω κύκλωμα χρησιμοποιώντας διαδοχικά τρεις διαφορετικές αντιστάσεις R , τουλάχιστον μιας κλάσης ανώτερη την μία από την άλλη και πραγματοποιήστε τις μετρήσεις που ζητούνται για την συμπλήρωση των παρακάτω πινάκων. Προσπαθήστε να κρατήσετε την τάση εισόδου σταθερή.



- v. Μετρήστε με το κατάλληλο τρόπο την περίοδο των δύο σημάτων. Επίσης να μετρήσετε τη χρονική διαφορά των δύο σημάτων και να υπολογίσετε τη διαφορά φάσης.
- vi. Πραγματοποιήστε μετρήσεις για διάφορες τιμές συχνότητας και καταχωρήστε τις στους παρακάτω πίνακες.

α) Στοιχεία κυκλώματος: $R = \dots\dots\dots \Omega$ $L = \dots\dots\dots H$

f (kHz)	time/div	div	Δt	ϕ	Volt/div	Div
0,1						
1						
10						
100						
1000						

β) Στοιχεία κυκλώματος: $R = \dots\dots\dots \Omega$ $L = \dots\dots\dots H$

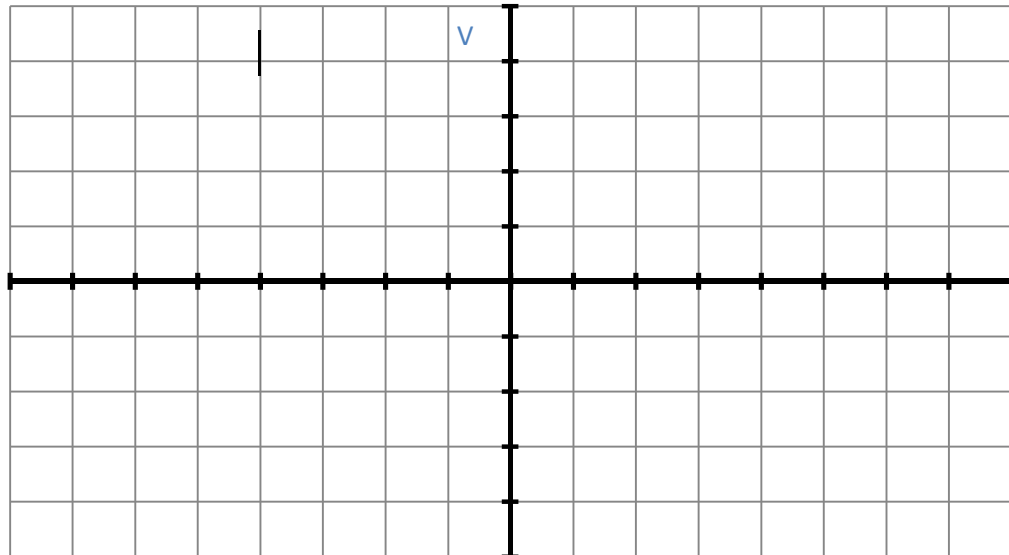
f (kHz)	time/div	div	Δt	ϕ	Volt/div	Div
0,1						
1						
10						
100						
1000						

γ) Στοιχεία κυκλώματος: $R = \dots\dots\dots \Omega$ $L = \dots\dots\dots H$

f (kHz)	time/div	div	Δt	ϕ	Volt/div	Div
0,1						
1						
10						
100						
1000						

vii. Καταγράψτε τις παρατηρήσεις σας και προσπαθήστε να τις ερμηνεύσετε.

- Χωρίς να αλλάξετε την συνδεσμολογία του κυκλώματος, ρυθμίστε την συχνότητα του κυκλώματος στο $1kHz$ και πατήστε το πλήκτρο $X - Y$ που διαθέτει ο παλμογράφος. Προσπαθήστε να εκμεταλλευτείτε το μέγιστο της οθόνης του παλμογράφου. Καταγράψτε τι παρατηρείτε στην παραπάνω εικόνα με μια σχετικά καλή ακρίβεια.



Είναι χρήσιμο να καταγράψετε για την παραπάνω εικόνα τα εξής στοιχεία:

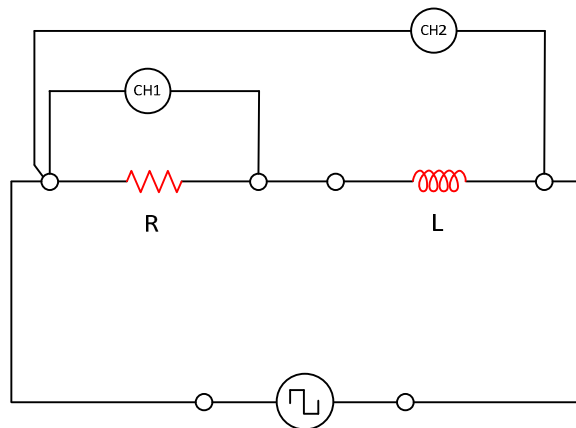
α) Τα τετράγωνα της απόστασης από την κεντρική οριζόντια γραμμή της οθόνης μέχρι το σημείο που κόβει την έλλειψη ο κεντρικός κατακόρυφος άξονας και

β) τα τετράγωνα της απόστασης από την κεντρική οριζόντια γραμμή της οθόνης μέχρι το μέγιστο ύψος της έλλειψης.

$Time/Div = \dots\dots\dots$ $A = \dots\dots\dots Div$ $B = \dots\dots\dots Div$

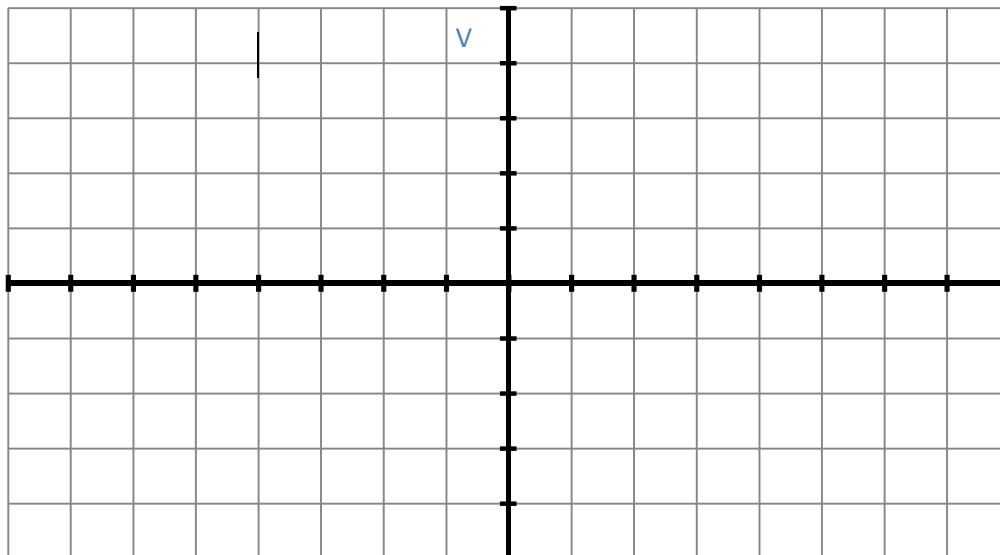
5. Ρυθμίστε την παλμογεννήτρια με τετραγωνικό παλμό τάσης και τάση εξόδου $7 V_{p-p}$ ενώ ρυθμίστε τη συχνότητα $1 kHz$. Χωρίς να αλλάξετε τη συνδεσμολογία του κυκλώματος σας χρησιμοποιώντας μία από τις αντίστασης που έχετε στη διάθεση σας και παρατηρήστε την εικόνα που διαμορφώνετε στον παλμογράφο. Προσπαθήστε και πάλι να εκμεταλλευτείτε το μέγιστο της οθόνης του παλμογράφου.

Στοιχεία κυκλώματος: $R = \dots\dots\dots \Omega$ $L = \dots\dots\dots H$



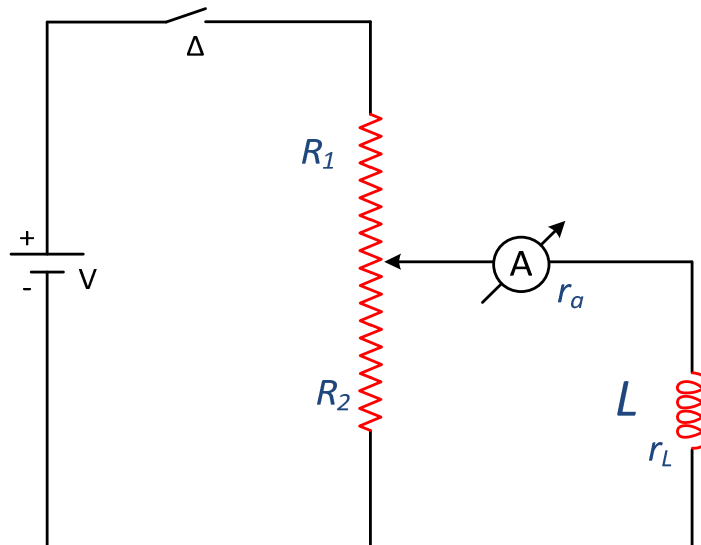
Αποκαλούμε αυτή τη διαδικασία βηματική απόκριση του κυκλώματος.

Αν η πιο κάτω εικόνα ήταν η οθόνη του παλμογράφου σας προσπαθήστε να καταγράψετε την παραπάνω εικόνα με μια σχετικά καλή ακρίβεια.



9.6.2 Φόρτιση πηνίου.

Για τη μέτρηση της αυτεπαγωγής ενός πηνίου L_x με αντίσταση απωλειών σειράς r_s , με τη μέθοδο της σταθεράς χρόνου, χρησιμοποιείται η παρακάτω διάταξη.



Αρχικά ο διακόπτης παραμένει κλειστός, μέχρι να αποκατασταθεί η μόνιμη κατάσταση ισορροπίας στο κύκλωμα. Στη συνέχεια ο διακόπτης ανοίγει, με αποτέλεσμα την εκθετική μείωση του ρεύματος στο βρόχο που περιλαμβάνει την ισοδύναμη αντίσταση $R_a = R_2 + r_L + r_a$. Αν I είναι η αρχική τιμή του ρεύματος ισορροπίας, τότε μετρώνται οι χρονικές στιγμές t_1 και t_2 όπου το ρεύμα αποκτά τις προκαθορισμένες τιμές I_1 και I_2 αντίστοιχα. Με τον τρόπο αυτό υπολογίζεται η σταθερά χρόνου T_a ως εξής:

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= I e^{-t_1 R_a / L_x} \\ I_2 &= I e^{-t_2 R_a / L_x} \end{aligned} \right\} \rightarrow \frac{I_1}{I_2} = e^{(t_2 - t_1) R_a / L_x} \Rightarrow T_a = \frac{L_x}{R_a} = \frac{t_2 - t_1}{\ln(I_1 / I_2)}$$

Στη συνέχεια μεταβάλλεται μέσω του ποτενσιομέτρου η αντίσταση στο βρόχο του πηνίου κατά R_d ($R_b = R_a + R_d$) και επαναλαμβάνεται η παραπάνω διαδικασία, επομένως:

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= I' e^{-t'_1 R_b / L_x} \\ I_2 &= I' e^{-t'_2 R_b / L_x} \end{aligned} \right\} \rightarrow \frac{I_1}{I_2} = e^{(t'_2 - t'_1) R_b / L_x} \Rightarrow T_b = \frac{L_x}{R_b} = \frac{t'_2 - t'_1}{\ln(I_1 / I_2)}$$

Από τις παραπάνω εξισώσεις, μετά από πράξεις προκύπτει η αυτεπαγωγή του πηνίου ως συνάρτηση των σταθερών χρόνου και της αντίστασης R_d , η οποία είναι ίση με τη μεταβολή της αντίστασης στο βρόχο του πηνίου:

$$L_x = R_d \cdot \frac{T_a}{\frac{T_a}{T_b} - 1}$$

9.7 Ερωτήσεις.

1. Η τροφοδοσία για την πραγματοποίηση της δεύτερης άσκησης είναι $14 V_{p-p}$. Με γνωστή τη τάση λειτουργίας του κυκλώματος μπορείτε να προσδιορίσετε το ρεύμα που θα διαρρέει το κύκλωμα; Αν αλλάξει η κυκλική συχνότητα του κυκλώματος, ποιές αλλαγές θα επέλθουν στο κύκλωμα;
2. Από τις μετρήσεις που πραγματοποιήσατε στη δεύτερη άσκηση υπολογίστε κάθε φορά την αυτεπαγωγή του πηνίου και την συγκρίνετε με την τιμή που δίνει ο κατασκευαστής και την τιμή που δίνει η γέφυρα.
3. Κατά τη πραγματοποίηση της *Άσκηση 3* έχετε στη διάθεση σας τρεις διαφορετικές αντιστάσεις. Δώστε μια γραφική αναπαράσταση της μεταβολής της διαφοράς φάσης σε σχέση με την συχνότητα. Μπορείτε να φτιάξετε και τρεις γραφικές $\varphi_1=F(f)$, $\varphi_2=F(f)$ και $\varphi_3=F(f)$ σε μια εικόνα. Ερμηνεύστε τις γραφικές παραστάσεις.
Σημείωση: για τις γραφικές παραστάσεις θα χρειαστείτε ημιλογαριθμικό μιλιμετρέ χαρτί.
4. Η εικόνα που εμφανίζεται στο παλμογράφο σας κατά τη πραγματοποίηση της *Άσκηση 4* λέγεται εικόνα *Lissajous*. Βρείτε τι απεικονίζει η εικόνα που εμφανίσατε στο παλμογράφο σας. Μέσω της εικόνας αυτής μπορείτε να υπολογίσετε τη διαφορά φάσης; Αν ναι μπορείτε να την υπολογίσετε με τις μετρήσεις που πήρατε στο εργαστήριο. Συγκρίνετε τη τιμή που υπολογίσατε με την εικόνα *Lissajous* με εκείνη που μετρήσατε απευθείας μέσω τις διαφοράς χρόνου. Αιτιολογήστε τυχόν διαφοροποιήσεις των τιμών.
5. Παρατηρώντας την *Εικόνα 9.4* μπορείτε να καταλάβετε πιο από τα δύο στοιχεία του κυκλώματος έχει μεγαλύτερη αντίσταση-αντίδραση αν σας έλεγε κάποιος ότι είναι συνδεδεμένα:
α) σε σειρά και β) παράλληλα. Αιτιολογήστε την απάντησή σας.
6. Περιγράψτε μια διαδικασία εύρεσης της τιμής ενός πυκνωτή με την χρήση ενός απλού κυκλώματος. Αναφέρετε τις όποιες παραδοχές κάνατε για να φτάσετε στην λύση του προβλήματος.
7. Περιγράψτε με λίγα λόγια δύο πρακτικές εφαρμογές των πηνίων εκτός της συνήθους εφαρμογής τους σε κινητήρες.
8. Ποια θα είναι η συνολική χωρητικότητα της συνδεσμολογίας τριών πηνίων εάν οι δύο έχουν τιμή 1 H ο κάθε ένας και είναι συνδεδεμένοι σε σειρά μεταξύ τους και παράλληλα με το τρίτο πηνίο επαγωγής 100 mH;
9. Εξηγήστε τι θα συμβεί στην σύνθετη αντίσταση ενός πηνίου εάν η συχνότητα λειτουργίας του τριπλασιαστεί. Αιτιολογήστε την απάντησή σας.
10. Γράψτε τις σχέσεις για τον υπολογισμό της συνολικής αντίστασης, για ωμική αντίσταση και της επιδεκτικότητας σε κυκλώματα σειράς και παράλληλα με δυο στοιχεία.

$$R_{ολ.σειράς} =$$

$$L_{ολ.σειράς} =$$

$$R_{ολ.παράλληλα} =$$

$$L_{ολ.παράλληλα} =$$

Προαιρετικές ερωτήσεις - ασκήσεις.

- Π.1.** Βρείτε διάφορες κατηγορίες πυκνωτών και προσδιορίστε εφαρμογές χρήσης τους. Κατά την έρευνα σας αυτή μπορείτε να παραθέσετε και εικόνες πυκνωτών από διαδίκτυο. Στο τέλος της σύντομης έρευνα σας πρέπει να παραθέσετε και τη πηγή άντλησης των στοιχείων σας.
- Π.2.** Υπολογίστε την σύνθετη αντίσταση των πιο κάτω στοιχείων για τις αντίστοιχες συχνότητες:
- (α) Πηνίο 4.7 μH στα 50 Hz, (β) Πηνίο 2 mH στα 200 kHz
- Π.3.** Τι είναι ο χρόνος ημίσεως ζωής του μεταβατικού φαινομένου; Κάντε μια έρευνα σχετικά με αυτό και δώστε μία σχετική γραφική αναπαράσταση και που εντοπίζεται.
- Π.4.** Για τη μέτρηση της αυτεπαγωγής ενός πηνίου L_x με τη μέθοδο της σταθεράς χρόνου, και με αμπερόμετρο - βολτόμετρο προσδιορίστε ποιά μέθοδος είναι καλύτερη και με το λιγότερο σφάλμα. Σύμφωνα με τα συμπεράσματα σας να προσδιορίσετε επίσης που χρησιμοποιούμε την κάθε μέθοδο.

Άσκηση 10

Μετρήσεις στο εναλλασσόμενο ρεύμα.

10.1 Εισαγωγή.

Μία μαθηματική συνάρτηση $f(t)$ είναι εναλλασσόμενη όταν εκπληρώνονται τρεις βασικές συνθήκες:

α) Όταν η τιμή της εναλλάσσετε, δηλαδή παίρνει θετικές και αρνητικές τιμές, σε σχέση με το χρόνο t .

β) Όταν η εναλλαγή της γίνεται περιοδικά, δηλαδή όταν κάθε κύκλος της εναλλασσόμενης κυματομορφής επαναλαμβάνεται σε ίσα χρονικά διαστήματα και

γ) Όταν το ολοκλήρωμα της $f(t)$ για μία περίοδο είναι ίσο με το μηδέν:

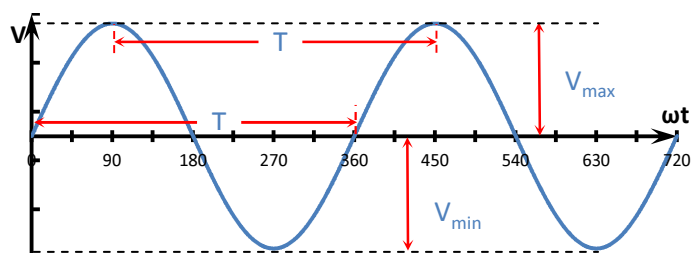
$$\int_0^{t+T} f(t) \cdot dt = 0$$

Το ενδιαφέρον επικεντρώνετε στα ημιτονοειδή μεγέθη και κυματομορφές και αυτό επειδή όλες οι ποσότητες που εξετάζουμε (τάση και ρεύμα), σε όλες σχεδόν τις περιπτώσεις είναι ημιτονοειδείς. Με τον όρο "ημιτονοειδής" εννοούμε τις συναρτήσεις του ημιτόνου και του συνημιτόνου, με οποιαδήποτε γωνία φάσης. Όλες αυτές οι σχέσεις μπορούν να εκφραστούν σαν ημίτονα με απλή μετατόπιση του άξονα αναφοράς. Την μαθηματική εξίσωση που εκφράζει την ημιτονοειδή κυματομορφή ενός μεγέθους την έχουμε ξαναδεί σε προηγούμενο κεφάλαιο και είναι η παρακάτω:

$$u = v(t) = V_m \cdot \cos(\omega t + \varphi)$$

Όπου:	$v=v(t)$	στιγμιαία τιμή ή χρονική συνάρτηση
	V_m	το πλάτος ή μέγιστη τιμή της τάσης
	$(\omega t + \varphi)$	το όρισμα του ημιτόνου
	φ	γωνία φάσης
	ωt	κυκλική συχνότητα.

Το τελευταίο έχει να κάνει με τις στιγμιαίες τιμές της κυματομορφής του εναλλασσόμενου μεγέθους. Αν παρατηρήσετε το παρακάτω σχήμα θα δείτε την σχηματική αναπαράσταση μίας ημιτονοειδούς τάσης η οποία περικλείει ίδιες θετικές τιμές και ίδιες αρνητικές τιμές στη καμπύλη του.



Σχήμα 10.1.1: Καμπύλη ημιτόνου.

Ο χρόνος που απαιτείτε για να ολοκληρωθεί ένας κύκλος της κυματομορφής, όπως έχουμε ορίσει ξανά σε προηγούμενο κεφάλαιο, ονομάζεται περίοδος T και έχει μονάδα μέτρησης το *second* (s).

Μία εξίσου σημαντική μονάδα είναι η αντίστροφη ποσότητα της περιόδου T που ονομάζεται συχνότητα f και εκφράζει τον αριθμό των κύκλων ανά δευτερόλεπτο:

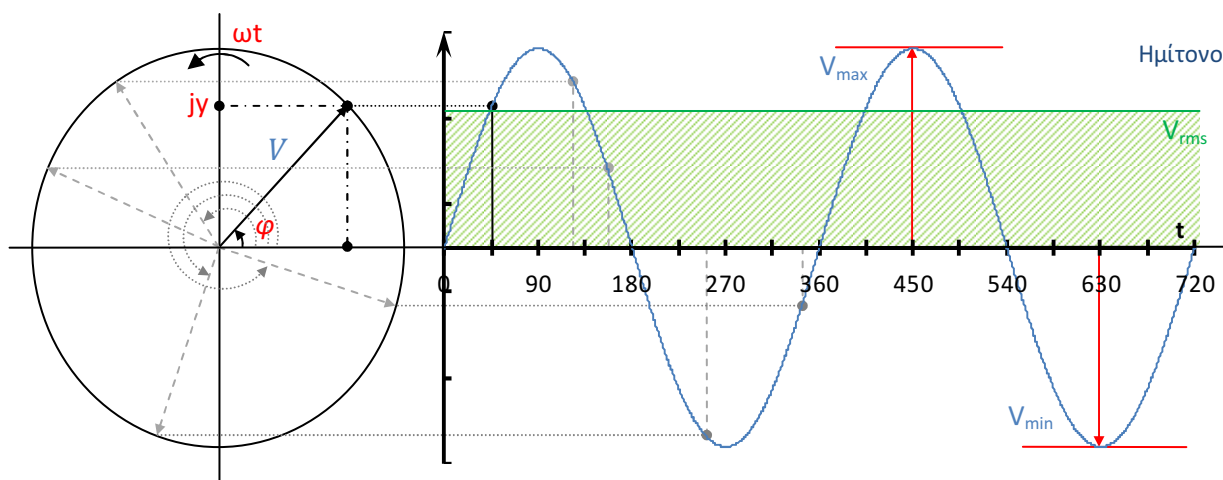
$$f = \frac{1}{T}$$

Η μονάδα μέτρησης της συχνότητας ονομάζεται *Hertz* και συμβολίζεται με *Hz*. Η δε μονάδα μέτρησης του είναι το sec^{-1} (s^{-1}).

Η γωνιακή ταχύτητα ω είναι ένα σταθερό μέγεθος που σχετίζεται με την συχνότητα. Η σχέση που συνδέει την συχνότητα f και την κυκλική συχνότητα ω είναι η παρακάτω:

$$\omega = 2\pi \cdot f$$

Η κυκλική συχνότητα ή αλλιώς γωνιακή ταχύτητα, έχει μονάδα μέτρησης το *rad/sec* (*ακτίριο ανά δευτερόλεπτο*). Ο χρόνος που απαιτείται για να ολοκληρωθεί ένας κύκλος της κυματομορφής είναι ίδιος με το χρόνο της περιόδου T . Για να καταλάβουμε καλύτερα την έκφραση της κυκλικής συχνότητας σε σχέση με μία ημιτονοειδής καμπύλη αρκεί να ρίξουμε τα ματιά στην σχηματική αναπαράσταση που ακολουθεί.



Σχήμα 10.1.2: Σύνδεση κυκλικής συχνότητας και ημιτόνου.

Το πλεονέκτημα της αναπαράστασης της τάσης ως διανυσματικό μέγεθος είναι η απαλλαγή της εξάρτησής του από το χρόνο. Αυτό που καταγράφουμε τελικά είναι το πλάτος του και η γωνιακή μετατόπιση από τον άξονα x . Βλέπουμε λοιπόν ότι όσο περιστρέφεται (*ανθρωπολογικά*) το μέγεθος V με γωνιακή ταχύτητα ωt καταγράφει από δίπλα με την προσθήκη του χρόνου, σημεία του ημιτόνου. Μία πλήρης περιστροφή του V θα μας δώσει μία πλήρη καμπύλη του ημιτόνου.

Ένα άλλο πλεονέκτημα είναι ο απλός και ξεκάθαρος συμβολισμός των μεγεθών που εξετάζονται και κυρίως της φασικής γωνίας η οποία είναι πάντα σταθερή.

10.2 Μέση και ενεργή τιμή.

Στα παραπάνω σχήμα παρατηρούμε κι άλλες τιμές που αφορούν μία κυματομορφή. Αυτές είναι η μέγιστη τιμή τάσης V_{max} , την ελάχιστη τιμή τάσης V_{min} , όπως επίσης και ένα μέγεθος που καλείται η ενεργή τιμή της τάσης V_{rms} ή V_{ev} . Να πούμε και εδώ ότι τα αρχικά *rms* προέρχονται από τους όρους *Root Mean Square* και με απλά λόγια είναι η ολοκλήρωση του τετραγώνου της μέσης τιμής.

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u(t)^2 \cdot dt} \Rightarrow \boxed{V_{rms} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}}$$

Τα πράγματα δεν είναι τόσο απλά όμως. Όταν στο συνεχές ρεύμα λέμε ότι έχουμε ρεύμα 1 A , γνωρίζουμε ότι αυτό είναι σταθερό και ίσο με 1 A , ανεξάρτητα από το χρόνο. Στο εναλλασσόμενο αντίθετα, δεν μπορεί να οριστεί όσο εύκολα, επειδή η τιμή του μεταβάλλεται από τι μια στιγμή στην άλλη. Η μέγιστη τιμή δεν είναι ικανοποιητικός ορισμός επειδή εμφανίζεται στιγμιαία μέσα σε μια περίοδο. Επίσης η μέση τιμή σε μία περίοδο, όπως προκύπτει από τον παραπάνω ορισμό της τιμής του E.P. είναι μηδέν. Αυτό μπορεί να διαπιστωθεί και από την σχηματική αναπαράσταση της καμπύλης του ημιτόνου. Έτσι, στη προκειμένη περίπτωση η μέση τιμή της χρονικής συνάρτησης δεν προσφέρει κάποια σημαντική πληροφορία. Εδώ έρχεται η ανάγκη να προστεθεί ένας νέος όρος. Αυτός ο όρος είναι η ενεργή τιμή. Αναρωτιόμαστε τώρα τι μας λέει αυτό το μέγεθος και σε τι να μας χρησιμεύσει; Η απάντηση σίγουρα μπορεί να δοθεί μόνο αν καθορίσουμε το σκοπό που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί η τιμή αυτή. Οπωσδήποτε ο υπολογισμός της ηλεκτρικής ισχύος στο εναλλασσόμενο ρεύμα είναι ένας στόχος. Άλλος ένας στόχος μας είναι ο συσχετισμός της ισχύος του E.P. με εκείνη του Σ.Ρ. Πρακτικά η σχέση ανάμεσα τους μπορεί να εξηγηθεί με τον παρακάτω ορισμό:

Ενεργός ένταση ενός εναλλασσόμενου ρεύματος ονομάζεται η σταθερή ένταση που πρέπει να έχει συνεχές ρεύμα, το οποίο, όταν περνά από την ίδια αντίσταση, αποδίδει στον ίδιο χρόνο το αυτό ποσό θερμότητας με το εναλλασσόμενο.

Με άλλα λόγια, θέλουμε να ξέρουμε ποιο E.P. με γνωστή τη μέγιστη τιμή του θα μας δώσει την ίδια ισχύ που μας δίνει μία σταθερή τιμή στο Σ.Ρ. και τα δύο διαρρέοντας μια ωμική αντίσταση για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, να επιφέρουν σε αυτό τα ίδια θερμικά αποτελέσματα

10.3 Ισχύς στο εναλλασσόμενο ρεύμα.

Είδαμε μέχρι τώρα τη σημασία της στιγμιαίας, μέγιστης, μέσης και ενεργής τιμής. Είδαμε επίσης από τον ορισμό της ενεργής τιμής ότι αυτή διαφέρει από τη μέγιστη τιμή του ρεύματος ή της τάσης. Όσο αφορά την ισχύ τώρα εισέρχονται και εδώ οι αντίστοιχοι όροι της στιγμιαίας, μέγιστης, μέσης και ενεργής τιμής.

Η στιγμιαία ισχύς του E.P. είναι ίση με:

$$p = u \cdot i + i^2 \cdot R = \frac{u^2}{R}$$

Γνωρίζουμε ότι όταν μια τιμή υψώνεται στο τετράγωνο μας δίνει πάντα θετικό αποτέλεσμα. Συνεπώς η στιγμιαία ισχύς σε ένα στοιχείο όπως είναι για παράδειγμα η ωμική αντίσταση είναι πάντα θετική και μεταβάλλεται μέσα σε μία περίοδο T της τάσης και του ρεύματος δύο φορές από μια μέγιστη τιμή P_m και μια ελάχιστη που είναι ίση με το μηδέν.

Από πρακτική σκοπιά δεν χρησιμεύει πολύ να γνωρίζουμε τη στιγμιαία ισχύ p . Αυτό που πραγματικά θέλουμε είναι η μέση ισχύς P , που είναι ο μέσος ρυθμός κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας στην R . Αν γνωρίζουμε τη μέση ισχύ P και την πολλαπλασιάσουμε με το χρόνο t θα βρούμε την ενέργεια που καταναλώνεται στην αντίσταση R . Η ισχύς που παράγεται από μια πηγή Σ.Ρ. με τάση στα άκρα του U που εφαρμόζεται πάνω σε μία αντίσταση είναι:

$$P = \frac{U^2}{R}$$

Η μέση ισχύ που παράγεται από μία περιοδική τάση $u(t)$ είναι:

$$P = \frac{1}{T} \sqrt{\int_0^T \frac{u(t)^2}{R} \cdot dt}$$

Εξισώνοντας τις δύο παραπάνω ισχύς και σύμφωνα με του ορισμούς που δώσαμε στη προηγούμενη παράγραφο, προκύπτουν η ενεργή τιμή της τάσης και η ενεργή τιμή του ρεύματος.

10.4 Εναλλασσόμενο ρεύμα σε ωμική αντίσταση.

Έστω ότι το εναλλασσόμενο ρεύμα που διαρρέει μια ωμική αντίσταση R είναι:

$$i = I_m \cdot \sin(\omega t + \varphi)$$

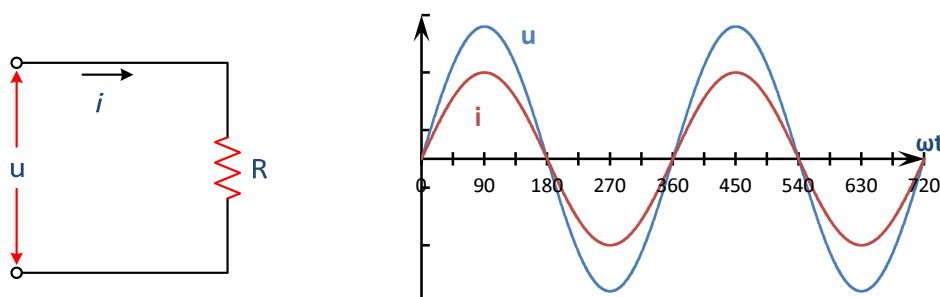
Σύμφωνα με το νόμο του *Ohm*, η πτώση τάσης στην αντίσταση θα είναι:

$$u = i \cdot R$$

Με αντικατάσταση των παραπάνω μεγεθών με όσα έχουμε μάθει μέχρι τώρα θα έχουμε:

$$u = i \cdot R \Rightarrow (I_m \cdot R) \cdot \sin(\omega t + \varphi) = U_m \cdot \sin(\omega t + \varphi)$$

Αν χαράξουμε τις δύο κυματομορφές σε μία γραφική παράσταση, τότε θα δούμε την εξής σχηματική αναπαράσταση τάσης και ρεύματος:



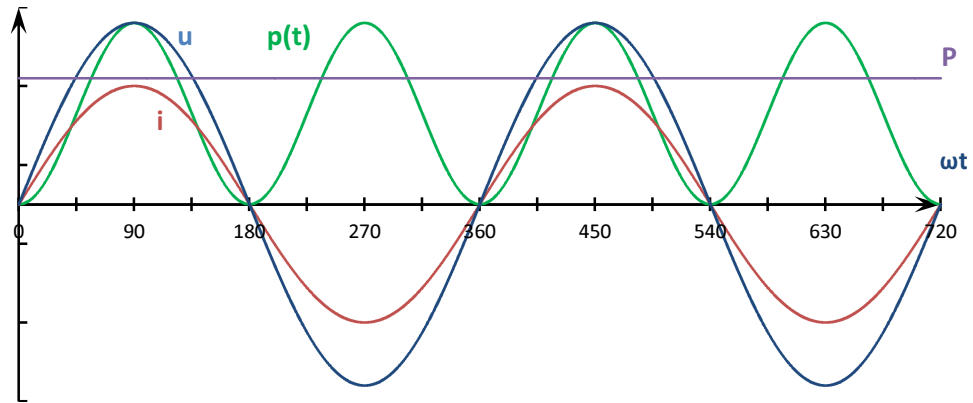
Εικόνα 10.1: Απεικόνιση τάση - ρεύματος πάνω στην αντίσταση.

Από τις σχέσεις της τάσης u και του ρεύματος i , είναι εύκολο να διαπιστώσει κάποιος ότι η τάση και το ρεύμα είναι συμφασικές ποσότητες.

Παρατηρώντας την γραφική παράσταση της u και του i βλέπουμε ότι η στιγμιαία ισχύς $p = u \cdot i$ είναι πάντα θετική και η μέση (πραγματική) ισχύς P που καταναλώνεται πάνω στην αντίσταση είναι ίση με:

$$P = I^2 \cdot R = \left(\frac{I_m}{\sqrt{2}}\right)^2 \cdot R = \frac{I_m^2}{2} \cdot R \Rightarrow \boxed{P = \frac{1}{2} \cdot I_m^2 \cdot R}$$

Στη παρακάτω εικόνα βλέπουμε την αναπαράσταση της μέση και στιγμιαίας ισχύος.



Εικόνα 10.2: Σχηματική αναπαράσταση μέσης και στιγμιαίας ισχύος πάνω στην R .

Διαπιστώνουμε από τα παραπάνω ότι όλη η ενέργεια που περνάει από την R καταναλώνεται αποκλειστικά και μόνο σε μορφή θερμότητας.

10.5 Εναλλασσόμενο ρεύμα σε ιδανικό πηνίο.

Στη περίπτωση αυτή πρέπει η τάση $u(t)$, που εφαρμόζεται στα άκρα του ιδανικού πηνίου με αυτεπαγωγή L , πρέπει να υπερνικήσει την $H.E.Δ.$ της αυτεπαγωγής. Σύμφωνα με τα όσα έχουμε μάθει μέχρι τώρα από προηγούμενο κεφάλαιο, η $H.E.Δ.$ αυτεπαγωγής δίνεται από τη παρακάτω σχέση:

$$-e = L \cdot \frac{di}{dt}$$

και η διαφορά δυναμικού u στα άκρα της αυτεπαγωγής L θα είναι ίση με:

$$u = L \cdot \frac{di}{dt}$$

Έστω ότι το ρεύμα που κυκλοφορεί στο πηνίο είναι:

$$i(t) = I_m \cdot \sin(\omega t + \varphi)$$

Μετά από αντικατάσταση παίρνουμε:

$$u(t) = L \cdot \frac{di(t)}{dt} = L \cdot \frac{d}{dt} \cdot [I_m \cdot \sin(\omega t)] = L \cdot I_m \cdot \left[\frac{d}{dt} \cdot [\sin(\omega t)] \right] = (\omega L \cdot I_m \cdot \cos \omega t)$$

Κάνοντας χρήση της τριγωνομετρικής σχέσης:

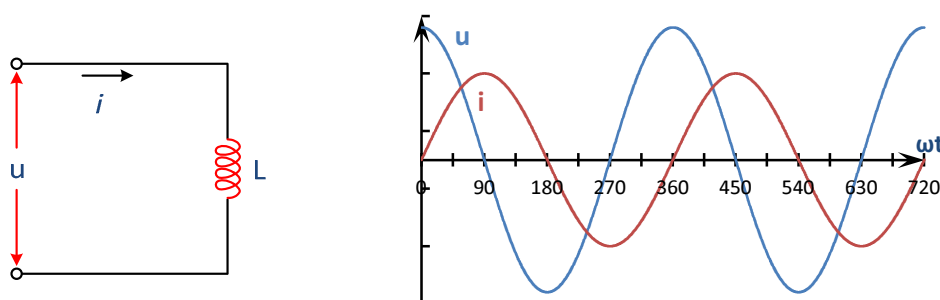
$$\sin x = \cos(x - 90^\circ)$$

Μετατρέπουμε το ημίτονο σε συνημίτονο ή αντίστροφα, για να είναι ίδια τα μεγέθη.

$$u(t) = (\omega L \cdot I_m \cdot \cos \omega t) = \omega L \cdot I_m \cdot \sin(\omega t + 90^\circ) = U_m \cdot \sin(\omega t + 90^\circ)$$

όπου $U_m = \omega L \cdot I_m$.

Αν χαράξουμε τις δύο κυματομορφές σε μία γραφική παράσταση, τότε θα δούμε την εξής σχηματική αναπαράσταση τάσης και ρεύματος:



Εικόνα 10.3: Απεικόνιση τάση - ρεύματος σε ιδανικό πηνίο.

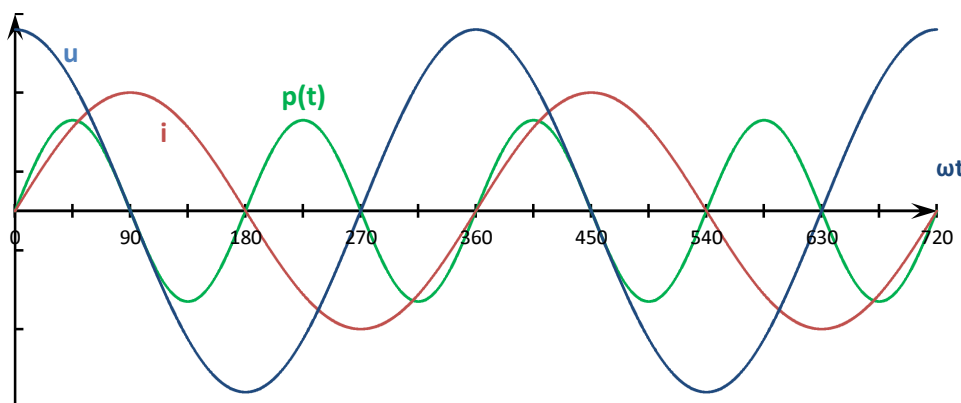
Από τις σχέσεις της τάσης u και του ρεύματος i , διαπιστώνουμε ότι η τάση u προπορεύεται από το ρεύμα i με μια γωνία ίση με 90° ή ότι το ρεύμα καθυστερεί της τάσης κατά 90° . Συνεπώς, σε ένα τέτοιο κύκλωμα η τάση και το ρεύμα δεν μπορεί να είναι συμφασικές ποσότητες.

Εξετάζοντας τώρα την ισχύ για τις προηγούμενες τιμές τάσης και ρεύματος, έχουμε:

$$p = u \cdot i = (\omega L \cdot I_m \cdot \cos \omega t) \cdot (I_m \cdot \sin \omega t) = \omega L \cdot I_m^2 \cdot \cos(\omega t) \cdot \sin(\omega t) = \omega L \cdot I_m^2 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot \sin 2\omega t \right]$$

$$p = \frac{1}{2} \cdot \omega L \cdot I_m^2 \cdot \sin 2\omega t$$

Είδη μπορούμε να πονηρευτούμε για το τι συμβαίνει σχετικά με τη συχνότητα της ισχύος. Το σχήμα που ακολουθεί δείχνει γραφικά τη σχέση ανάμεσα στις στιγμιαίες τιμές της u και του i και της ισχύος. Σε κάθε χρονική στιγμή η ισχύς δίνεται από το γινόμενο $p=u \cdot i$.



Εικόνα 10.4: Σχηματική αναπαράσταση στιγμιαίας ισχύος σε ιδανικό πηνίο.

Είναι εμφανές ότι όταν τάση και ρεύμα έχουν αντίθετα πρόσημα, η ισχύς είναι αρνητική ενώ όταν έχουν τα ίδια η ισχύς είναι θετική. Τι ακριβώς όμως σημαίνει ότι η ισχύς είναι αρνητική; Μέχρι στιγμής θεωρήσαμε θετική την ροή ενέργεια από την πηγή προς τον καταναλωτή. Το αρνητικό πρόσημο σημαίνει ότι η ενέργεια δεν απορροφάται από το πηνίο, αλλά αντίθετα, ότι το πηνίο επιστρέφει την ενέργεια αυτή στη πηγή. Μπορεί να γίνει όμως κάτι τέτοιο; Η απάντηση σε αυτό το ζήτημα δίνεται από το θεώρημα του *Lentz*.

Κατά τη διάρκεια μιας πλήρους εναλλαγής της περιόδου (ηλεκτρικός κύκλος) γίνεται ανταλλαγή ισχύος ανάμεσα στη πηγή και το πηνίο καθώς η ενέργεια του μαγνητικού πεδίου αυξομειώνεται. Κατά τη διάρκεια του κύκλου αυτού και όταν το ρεύμα αυξάνει, το πηνίο αντιδρά στη μεταβολή του

ρεύματος προσπαθώντας να μην αφήσει να αυξηθεί η ροή του και κατά συνέπεια να προσπαθεί να απορροφήσει την ενέργεια αυτή και αποθηκεύοντας την σε μορφή μαγνητικού πεδίου. Όταν το ρεύμα αρχίσει να μικραίνει τότε το πηνίο προσπαθεί να κρατήσει την ίδια ενεργειακή ισορροπία στο κύκλωμα και επιστρέφει την αποθηκευμένη ενέργεια στη πηγή.

Από τη προηγούμενη εικόνα όπως και το τύπο της ισχύος είναι εμφανές ότι η συχνότητα της είναι διπλάσια από εκείνη του ρεύματος που την προκάλεσε. Από την ίδια εικόνα και την ίδια σχέση διαπιστώνουμε ότι η μέση τιμή του ιδανικού πηνίου είναι μηδέν και ως εκ τούτου δεν καταναλώνει καθόλου ενέργεια.

10.6 Εναλλασσόμενο ρεύμα σε ιδανικό πυκνωτή.

Στο ακόλουθο κύκλωμα δίνεται το κύκλωμα ενός ιδανικού πυκνωτή με χωρητικότητα C και τάση τροφοδοσίας $u(t)$ και εφαρμόζεται στα άκρα του. Έστω λοιπόν ότι η τάση αυτή είναι της παρακάτω μορφής:

$$u(t) = U_m \cdot \sin(\omega t)$$

Από τη θεμελιώδη εξίσωση τάσης - ρεύματος για τον πυκνωτή, έχουμε:

$$i = C \cdot \frac{du}{dt}$$

Μετά από αντικατάσταση:

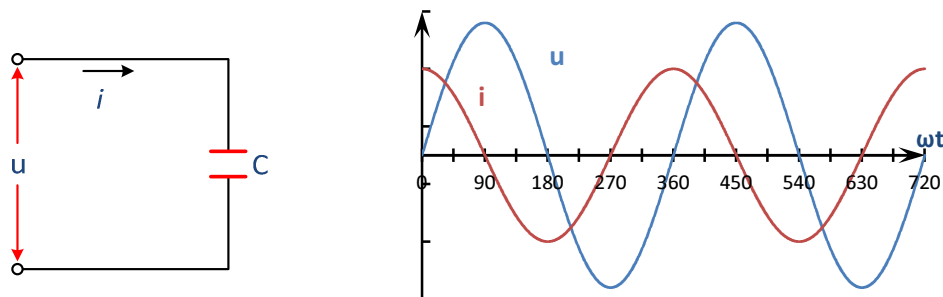
$$i(t) = C \cdot \frac{du}{dt} = C \cdot \frac{d}{dt} \cdot [U_m \cdot \sin(\omega t)] = C \cdot U_m \cdot \left[\frac{d}{dt} \cdot [\sin(\omega t)] \right] = \omega C \cdot U_m \cdot \cos \omega t$$

Κάνοντας χρήση της τριγωνομετρικής σχέσης που περιγράψαμε πιο πάνω μετατρέπουμε το συνημίτονο σε ημίτονο για να είναι ίδιου ορίσματος τα μεγέθη:

$$i(t) = (\omega C \cdot U_m \cdot \cos \omega t) = I_m \cdot \sin(\omega t + 90^\circ) =$$

όπου $I_m = \omega C \cdot U_m$.

Αν χαράξουμε τις δύο κυματομορφές σε μία γραφική παράσταση, τότε θα δούμε την εξής σχηματική αναπαράσταση τάσης - ρεύματος:



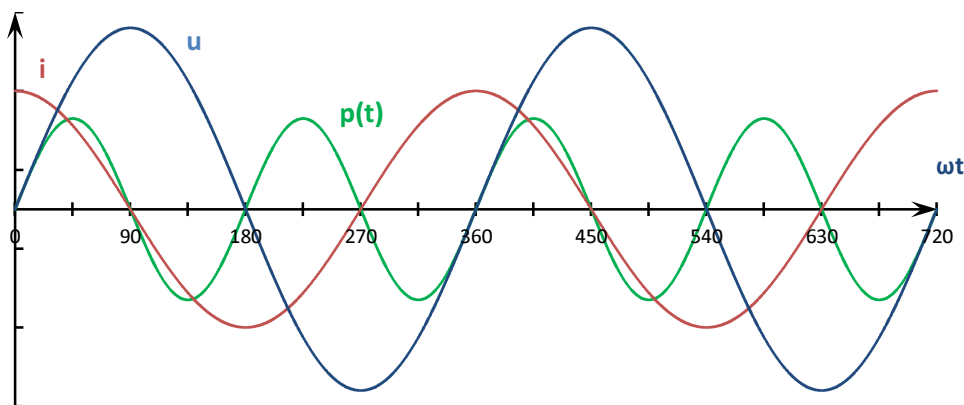
Εικόνα 10.5: Απεικόνιση τάση - ρεύματος σε ιδανικό πυκνωτή.

Από τις παραπάνω σχέσεις $u - i$, διαπιστώνουμε ότι το ρεύμα i προπορεύεται της τάσης u με μια γωνία 90° . Διαφορετικά θα μπορούσαμε να πούμε ότι η τάση καθυστερεί από το ρεύμα κατά 90° . Συνεπώς, διαπιστώνουμε επίσης ότι, σε ένα τέτοιο κύκλωμα όπως και στο προηγούμενο η τάση και το ρεύμα δεν μπορεί να είναι συμφασικές ποσότητες.

Μελετώντας τη σχέση ισχύος στον ιδανικό πυκνωτή:

$$\begin{aligned}
 p &= u \cdot i = (U_m \cdot \sin(\omega t)) \cdot (\omega C \cdot U_m \cdot \cos \omega t) \\
 &= \omega C \cdot U_m^2 \cdot \cos(\omega t) \cdot \sin(\omega t) \\
 &= \omega C \cdot U_m^2 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot \sin 2\omega t \right] \\
 &= \frac{1}{2} \cdot \omega C \cdot U_m^2 \cdot \sin 2\omega t \\
 &= \left[\frac{\omega C \cdot U_m}{\sqrt{2}} \right] \cdot \left[\frac{U_m}{\sqrt{2}} \right] \cdot \sin 2\omega t = \\
 p &= I \cdot U \cdot \sin 2\omega t
 \end{aligned}$$

Από τη σχέση αυτή συμπεραίνουμε ότι, όπως και στο ιδανικό πηνίο, έτσι και στο ιδανικό πυκνωτή, η ισχύς είναι εναλλασσόμενη με συχνότητα διπλάσια από τη συχνότητα της τάσης και η μέση τιμή της ισχύος είναι μηδέν. Στη παρακάτω εικόνα εμφανίζεται γραφικά η χρονικές συναρτήσεις των u , i και p .



Εικόνα 10.6: Σχηματική αναπαράσταση στιγμιαίας ισχύος σε ιδανικό πυκνωτή.

Ο ιδανικός πυκνωτής, όπως και το ιδανικό πηνίο, δεν καταναλώνει ενέργεια μόνο την αποθηκεύει. Η ενέργεια που αποθηκεύει κυμαίνεται από μηδέν μέχρι κάποια μέγιστη τιμή, που είναι πάντοτε θετική, επειδή η τάση είναι στο τετράγωνο. Κατά τη διάρκεια μιας πλήρους εναλλαγής της περιόδου η ενέργεια αποθηκεύεται στο ηλεκτρικό πεδίο του πυκνωτή. Κατά τη διάρκεια που η τάση αυξάνει, ο πυκνωτής αντιδρά στη μεταβολή αυτή προσπαθώντας να μην την αφήσει να αυξηθεί, με συνέπεια να προσπαθεί να απορροφήσει την ενέργεια αυτή και αποθηκεύοντας την στους οπλισμούς του σε μορφή ηλεκτρικού πεδίου. Όταν η τάση αρχίσει να μειώνεται τότε ο πυκνωτής θα προσπαθεί να κρατήσει την ίδια ενεργειακή ισορροπία στο κύκλωμα επιστρέφοντας την αποθηκευμένη ενέργεια στο κύκλωμα (ή στη πηγή) μέχρι που θα μηδενιστεί. Ο ρυθμός που η ενέργεια παρέχεται στον πυκνωτή ή επιστρέφει στο υπόλοιπο κύκλωμα καθορίζεται από τη σχέση της ισχύος p .

10.7 Μετρήσεις για εναλλασσόμενο ρεύμα.

Το εναλλασσόμενο ρεύμα χαρακτηρίζεται από τη συχνότητά του. Σε περιβάλλον μετρήσεων για σήματα εναλλασσομένου ρεύματος, τυπικά, τα περισσότερα όργανα κατασκευάζονται για συχνότητες δικτύου $50/60\text{ Hz}$ και για τάσεις έως $750 - 1000\text{ Volt}$. Η κατηγορίες αυτές των οργάνων αφορούν την άμεση μέτρηση. Η μέτρηση σε μεγαλύτερες τιμές τάσης γίνεται με διαφορετικούς τρόπους και κυρίως όχι άμεσους.

Στις μετρήσεις εναλλασσομένου, όπως αναφέραμε προηγουμένως, σημασία έχουν τρεις τιμές που αναφέρονται στο ημιτονοειδές σήμα: η τιμή κορυφής (*peak*), η μέση τετραγωνική τιμή (*rms*) και η μέση τιμή (*average*). Η τιμή που μας ενδιαφέρει άμεσα είναι η τιμή *rms*. Ο λόγος είναι ότι αυτή η τιμή είναι το «ισοδύναμο» του εναλλασσομένου σε συνεχές. Συχνά η τάση *rms* σε κάποια όργανα συμβολίζεται σαν V_{dc} αντί για V_{rms} .

10.8 Όργανα εναλλασσόμενου ρεύματος.

Ένα όργανο κινητού πηνίου, όταν δεχτεί εναλλασσόμενο ρεύμα θα δείξει τη μέση τιμή τού ημιτονοειδούς, που είναι μηδέν. Δηλαδή, χωρίς κάποια παρέμβαση, ένα τέτοιο 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. Μια σύντομη αναφορά σε τέτοιες μετατροπές είχαμε κάνει και στο δεύτερο κεφάλαιο στα ηλεκτρονικά όργανα όπου είναι εμφανές ότι η ανόρθωση γίνεται με ανορθωτές που στην πιο απλή περίπτωση κατασκευάζονται με βάση ημιαγωγούς, πιο συγκεκριμένα διόδους. Η διάδος είναι ένα στοιχείο κυκλώματος που ανήκει στην κατηγορία των αντιστατών καθώς η χαρακτηριστική καμπύλη της είναι στο επίπεδο τάσης-ρεύματος. Η ιδανική διάδος έχει ίδια χαρακτηριστική με ένα διακόπτη, μόνο που λειτουργεί σαν βαλβίδα και αφήνει μόνο θετικές ή μόνο αρνητικές τιμές να «περάσουν». Η πραγματική διάδος είναι ένα πολύπλοκο, μη γραμμικό στοιχείο και η χαρακτηριστική της καμπύλη είναι αρκετά περίπλοκη και εξαρτάται και από το είδος της διόδου (*απλή διάδος, zener, schottky, gunn, led*) και το υλικό κατασκευής (*πυρίτιο, γερμάνιο, κλπ.*). Για παράδειγμα: ο πιο απλός ανορθωτής είναι μια απλή διάδος. Τότε το κύκλωμα ονομάζεται ανορθωτής ημίσεως κύματος. Ο πιο συνηθισμένος όμως είναι ο ανορθωτής πλήρους κύματος.

Με εντελώς αντίστοιχο(υς) τρόπο(υς) μπορούμε να μετρήσουμε και εναλλασσόμενο ρεύμα. Χρειάζεται μόνο λίγο προσοχή στον σχεδιασμό διότι η αντίσταση που παρεμβάλλει το αμπερόμετρο (*γενικά*) πρέπει να είναι μικρή (*θεωρητικά μηδέν*), οπότε οι τάσεις που δημιουργούνται είναι επίσης πάρα πολύ μικρές (*γύρω στα 100 mV*). Όμως, μόνο η πτώση τάσης στις διόδους είναι της τάξης των $0,5$ ή $0,7\text{ V}$ και παραπάνω, πράγμα που σημαίνει ότι η κατευθείαν σύνδεση δεν θα δουλέψει και απαιτείται κάποια παρέμβαση. Αυτό γίνεται με τη βοήθεια ενός *μετασχηματιστή ρεύματος* που «ενισχύει» τις ασθενείς τάσεις (*ενώ ταυτόχρονα υποβιβάζει τα ρεύματα*) έτσι ώστε να δημιουργεί τάσεις αρκετά μεγάλες ώστε να κάνουν τις ανορθωτές διόδους να λειτουργήσουν. Στο δευτερεύον τού μετασχηματιστή παρεμβάλλουμε μια αντίσταση μεγάλης ακριβείας που έχει αποστολή να καταναλώνει το ρεύμα που δεν είναι απαραίτητο για τη μέτρηση.

10.9 Εργαστηριακή άσκηση.

10.10 Ερωτήσεις.

Παράρτημα Ι

Πώς εισάγουμε πρόθεμα για μονάδες στο Casio fx – 82SX.

Η εισαγωγή προθέματος σε αυτή την αριθμομηχανή είναι πολύ εύκολη διαδικασία. Για οτιδήποτε δεν αναφέρεται σε αυτές της οδηγίες, συστήνεται η παραπομπή στη Οδηγίες Χρήσης της αριθμομηχανής που βρίσκεται στην συσκευασία από τον κατασκευαστή. Εκεί θα βρείτε συγκεκριμένες οδηγίες για όλες τις δυνατότητες που παρουσιάζει η συγκεκριμένη αριθμομηχανή.

Όταν θέλουμε να εισάγουμε μία δύναμη όπως στο παρακάτω παράδειγμα:

$$V = 0,328 \cdot 10^{-3} \text{ Volt}$$

Πληκτρολογούμε με την εξής σειρά τα παρακάτω πλήκτρα:

$$\boxed{0,328} \dots \boxed{EXP} \dots \boxed{3} \dots \boxed{+/-}$$

Και στην οθόνη θα εμφανιστεί το παρακάτω:

$$\boxed{0,328^{-03}}$$

Αυτό γίνεται γιατί η συγκεκριμένη αριθμομηχανή απλά δεν απεικονίζει την δύναμη του δέκα.

Όταν θέλουμε να κάνουμε πράξεις με δυνάμεις, κυρίως όταν είναι διαφορετικής τάξης, για να είμαστε σίγουροι ότι οι πράξεις θα γίνουν σωστά, καλό είναι να χρησιμοποιούμε παρενθέσεις. Για παράδειγμα:

Έχουμε τις δύο παρακάτω τάσεις:

$$V_1 = 0,328 \cdot 10^{-3} \text{ Volt}$$

$$V_2 = 1,81 \cdot 10^{-4} \text{ Volt}$$

Και θέλουμε να κάνουμε την πρόσθεση V_1+V_2 :

Πληκτρολογούμε με την εξής σειρά τα παρακάτω πλήκτρα:

$$\boxed{C} \dots \boxed{C} \dots \boxed{0,328} \dots \boxed{EXP} \dots \boxed{3} \dots \boxed{+/-} \dots \boxed{D} \dots \boxed{+} \dots \boxed{C} \dots \boxed{1,81} \dots \boxed{EXP} \dots \boxed{4} \dots \boxed{+/-} \dots \boxed{D} \dots \boxed{D} \dots \boxed{=}$$

Και στην οθόνη θα εμφανιστεί το παρακάτω:

$$\boxed{0,509^{-03}} \quad \text{ή} \quad \boxed{0,000509}$$

Αν η αριθμομηχανή που χρησιμοποιείτε είναι διαφορετικό μοντέλο ή ακόμα και από διαφορετικό κατασκευαστή, τότε και πάλι θα πρέπει να ανατρέξετε στις οδηγίες χρήσης (*data sheet*).

Αν για οποιοδήποτε λόγο δεν διαθέτετε τις οδηγίες χρήσης, τότε ανατρέξτε στην ιστοσελίδα του κατασκευαστή στο διαδίκτυο. Άλλος τρόπος αναζήτησης είναι εισάγοντας στον «εξερευνητή» (*browser*) τον τύπο της αριθμομηχανής ακολουθούμενος από τον όρο «*data sheet*» ή «*manual*».

Παράδειγμα εκτίμησης σφάλματος μέτρησης.

Δίνονται οι παρακάτω μετρήσεις ωμικών αντιστάσεων με το αντίστοιχο απόλυτο σφάλμα μέτρησης:

$$R_1 = 18,2 \pm 0,20 \Omega$$

$$R_2 = 15,0 \pm 0,20 \Omega$$

$$R_3 = 72,5 \pm 0,01 \Omega$$

$$R_4 = 72,5 \pm 0,25 \Omega$$

Σύμφωνα με όσα διατυπώθηκαν σε σχέση με τα σφάλματα στο πρώτο κεφάλαιο, στις αντιστάσεις R_1 και R_2 δεν μπορούμε να έχουμε σύγκριση των σφαλμάτων μέτρησης διότι το σφάλμα είναι απόλυτο και δεν σχετίζεται με μετρούμενο μέγεθος. Ενώ στην περίπτωση των αντιστάσεων R_3 και R_4 μπορούμε να κάνουμε σύγκριση επειδή έχουμε το ίδιο μέτρο. Στη προκειμένη περίπτωση μπορούμε να πούμε ότι η μέτρηση της R_3 έγινε με μεγαλύτερη ακρίβεια. Αν όμως το σφάλμα των παραπάνω παρουσιάζεται ως σχετικό, σύμφωνα με το τύπο που διατυπώσαμε πιο πριν:

$$R_1 = 18,2 \Omega \pm 1,100 \%$$

$$R_2 = 15,0 \Omega \pm 1,333 \%$$

$$R_3 = 72,5 \Omega \pm 0,001 \%$$

$$R_4 = 72,5 \Omega \pm 0,345 \%$$

Βλέπουμε ότι κατά την μέτρηση της R_1 έγινε μικρότερο σφάλμα σε σχέση με την R_2 , ενώ όντως η μέτρηση της R_3 έχει μικρότερο σφάλμα σε σχέση με την R_4 . Τώρα μπορούμε να συγκρίνουμε όλες της μετρήσεις και να πούμε ότι το μικρότερο σφάλμα έγινε κατά την μέτρηση της R_3 .

Πράξεις με πολλαπλάσια και υποπολλαπλάσια μονάδων.

Τα προθέματα μας βοηθάνε παρά πολύ στις πράξεις. Με μια ιδιαιτερότητα όσο αφορά την προσθαφαίρεση και τη διαίρεση και το πολλαπλασιασμό. Για να κάνουμε πρόσθεση ή αφαίρεση θα πρέπει οι μονάδες να είναι ίδιας τάξης μεγέθους. Σε διαφορετική περίπτωση θα έχουμε λανθασμένα αποτελέσματα στις πράξεις μας. Η διαφορά με την διαίρεση και το πολλαπλασιασμό είναι ότι εδώ δεν μας ενδιαφέρει η τάξη μεγέθους γιατί ισχύει ότι ακριβώς ισχύει και στις αντίστοιχες πράξεις που έχουμε μάθει με δυνάμεις. Δηλαδή, κατά το πολλαπλασιασμό προσθέτουμε τις δυνάμεις ενώ κατά την διαίρεση αφαιρούμε από την δύναμη του αριθμητή την δύναμη του παρανομαστή.

❖ Πρόσθεση.

Κατά την πρόθεση τέτοιων μεγεθών όπως είπαμε πρέπει να είναι και τα δύο μεγέθη ίδιας τάξης μεγέθους. Έστω τα παρακάτω δύο μεγέθη διαφορετικής τάξης δύναμης όπου το μέτρο του $A=0,0005$ και το μέτρο του $B=2000$:

$$A = (|A| \cdot 10^5) \text{ και } B = (|B| \cdot 10^{-2})$$

$$A + B = (|A| \cdot 10^5) + (|B| \cdot 10^{-2}) \Rightarrow$$

$$A + B = (0,0005 \cdot 10^5) + (2000 \cdot 10^{-2}) \Rightarrow$$

$$A + B = (0,05 \cdot 10^3) + (0,02 \cdot 10^3) \Rightarrow$$

$$A + B = (0,05 + 0,02) \cdot 10^3 \Rightarrow$$

$$\boxed{A + B = (|A| + |B|) \cdot 10^x}$$

❖ Αφαίρεση.

Κατά την αφαίρεση τέτοιων μεγεθών όπως είπαμε πρέπει και εδώ να είναι και τα δύο μεγέθη ίδιας τάξης. Έστω τα παρακάτω δύο μεγέθη διαφορετικής τάξης δύναμης όπου το μέτρο του $A=0,0005$ και το μέτρο του $B=2000$:

$$A = (|A| \cdot 10^5) \text{ και } B = (|B| \cdot 10^{-2})$$

$$A - B = (|A| \cdot 10^5) - (|B| \cdot 10^{-2}) \Rightarrow$$

$$A - B = (0,0005 \cdot 10^5) - (2000 \cdot 10^{-2}) \Rightarrow$$

$$A - B = (0,05 \cdot 10^3) - (0,02 \cdot 10^3) \Rightarrow$$

$$A - B = (0,05 - 0,02) \cdot 10^3 \Rightarrow$$

$$\boxed{A - B = (|A| - |B|) \cdot 10^x}$$

❖ Πολλαπλασιασμός.

Κατά τον πολλαπλασιασμό των μεγεθών αυτών, πολλαπλασιάζουμε το μέτρο του ενός μεγέθους με το μέτρο του άλλου μεγέθους ενώ απλά προσθέτουμε αλγεβρικά τις δυνάμεις και των δύο. Έστω τα παρακάτω δύο μεγέθη διαφορετικής τάξης μεγέθους δύναμης:

$$A = |A| \cdot 10^{x_1} \text{ και } B = |B| \cdot 10^{x_2}$$

$$A \cdot B = (|A| \cdot 10^{x_1}) \cdot (|B| \cdot 10^{x_2}) \Rightarrow$$

$$A \cdot B = (|A| \cdot |B|) \cdot (10^{x_1} \cdot 10^{x_2}) \Rightarrow$$

$$A \cdot B = (|A| \cdot |B|) \cdot 10^{[x_1+x_2]}$$

$$\boxed{A \cdot B = (|A| \cdot |B|) \cdot 10^{(x_1+x_2)}}$$

❖ Διαίρεση.

Έστω τα παρακάτω δύο μεγέθη διαφορετικής τάξης μεγέθους δύναμης:

$$A = |A| \cdot 10^{x_1} \quad \text{και} \quad B = |B| \cdot 10^{x_2}$$

$$\frac{A}{B} = \frac{|A| \cdot 10^{x_1}}{|B| \cdot 10^{x_2}} \Rightarrow$$

$$\frac{A}{B} = \left(\frac{|A|}{|B|} \right) \cdot \left(\frac{10^{x_1}}{10^{x_2}} \right) \Rightarrow$$

$$\frac{A}{B} = \left(\frac{|A|}{|B|} \right) \cdot 10^{[x_1 - x_2]}$$

$$\boxed{\frac{A}{B} = \left(\frac{|A|}{|B|} \right) \cdot 10^{(x_1 - x_2)}}$$

Ο τρόπος που λειτουργούμε με τα προθέματα θα γίνει στη πορεία μηχανική κίνηση γραφής. Ακόμη και η μετατροπές. Η κατανόηση τους θεωρείται αυτονόητη μιας και θα χρησιμοποιείται συνέχεια στη πορεία του συγκεκριμένου μαθήματος και όχι μόνο.

Αυτός ο τρόπος γραφής των αριθμών προτιμάται κυρίως από μηχανικούς γιατί αποφεύγουν να γράφουν πολλούς αριθμούς αλλά κυρίως να γράφουν αριθμούς με πολύ μεγάλη υποδιαστολή. Χρησιμοποιώντας τον τρόπο αυτό δίνεται η δυνατότητα να στρογγυλοποιείς τα ψηφία που δεν επηρεάζουν την ακρίβεια των μετρήσεων. Συνήθως σημαντικά ψηφία για τους μηχανικούς είναι τρία άλλοτε είναι τέσσερα ή και παραπάνω αναλόγως των απαιτήσεων.

Παράρτημα II:

Γενικές οδηγίες σύνταξης εργαστηριακών ασκήσεων και τεχνικών μελετών.

1. Εισαγωγή.

Σκοπός των οδηγιών αυτών είναι να δοθεί η βάση, σύμφωνα με την οποία συντάσσονται οι ασκήσεις στο εργαστηριακό μάθημα «Αρχές Ηλεκτρικών Κυκλωμάτων και Μετρήσεων - Α.Η.Κ.Μ.», του Τμήματος Ηλεκτρολογίας της Σχολής Τεχνολογικών Εφαρμογών του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Κρήτης.

Η σωστή σύνταξη των εργαστηριακών ασκήσεων αποσκοπεί στην απόκτηση εμπειρίας στη σωστή σύνταξη τεχνικών μελετών, ικανών να προσφέρουν το απαραίτητο κύρος στους μελλοντικούς μηχανικούς - τους σημερινούς φοιτητές του Τμήματος Ηλεκτρολογίας. Για το λόγο αυτό, στο εξής, αντί του όρου «Εργαστηριακή Άσκηση» προτείνεται η χρήση του όρου «*Τεχνική Μελέτη*».

Η χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών (H/Y) έχει δώσει τη δυνατότητα σύνταξης ιδιαίτερα καλαίσθητων κειμένων. Αν και το περιεχόμενο των κειμένων αυτών είναι εκείνο που αντικατοπτρίζει την ποιότητα της μελέτης, η μέθοδος γραφής της τη βάζει σε ένα αξιοπρεπές «πλαίσιο», προσδίδοντας της και οπτικά την απαραίτητη αξιοπιστία.

Οι οδηγίες που ακολουθούν βασίζονται στην παραδοχή ότι όλοι οι φοιτητές έχουν δυνατότητα πρόσβασης σε H/Y, που διαθέτει λογισμικό γραφής κειμένου *MS-Word* ή *Open Office Writer*.

Το κείμενο αυτό είναι προκαταρκτικό και επιδέχεται βελτιώσεις και προσθήκες. Για το λόγο αυτό ζητείτε η κατανόηση των αναγνωστών, για παραλήψεις που πιθανόν υπάρχουν.

2. Συγγραφή Κειμένου.

2.1. Γλώσσα Γραφής

Είναι αυτονόητο ότι η γλώσσα γραφής μίας Τεχνικής Μελέτης καθορίζεται από τον τελικό αποδέκτη αυτής. Εφόσον μία Τεχνική Μελέτη έχει αποδέκτη πρόσωπο - φυσικό ή νομικό - ή εταιρία, που δραστηριοποιείται στην Ελλάδα, η μελέτη θα πρέπει να συνταχθεί στην Ελληνική γλώσσα.

Είναι επίσης αυτονόητο ότι η συγγραφή ενός κειμένου σε μία γλώσσα προϋποθέτει χρήση του αλφαβήτου της γλώσσας αυτής. Είναι ασφαλώς λάθος - και συχνά αφορμή για δυσμενή σχόλια - η χρήση του λατινικού αλφαβήτου για τη σύνταξη κειμένου στην ελληνική γλώσσα.

Συντάσσονται σύντομες (μικρές) φράσεις, ικανές να αποδώσουν το ζητούμενο νόημα. Η χρήση μεγάλων προτάσεων απαιτεί πολύ καλή γνώση και χρήση της γλώσσας, ενώ υπάρχει ο κίνδυνος αποπροσανατολισμού του αναγνώστη, ο οποίος μπορεί να οδηγηθεί σε λάθος συμπεράσματα.

Η μελέτη πρέπει να μην περιέχει ορθογραφικά σφάλματα και η σύνταξή της να είναι εύκολα κατανοητή. Αναμφίβολα θα περιέχονται τεχνικοί όροι και ορολογία γνωστή σε ηλεκτρολόγους μηχανικούς. Εφόσον απευθύνεται σε άτομα άλλων ειδικοτήτων, θα πρέπει να περιέχει και άλλες επεξηγήσεις, ώστε τα άτομα αυτά να μπορέσουν να κατανοήσουν το περιεχόμενο της μελέτης κατά τον καλύτερο δυνατό τρόπο.

2.2. Πρόσωπο Γραφής

Χρησιμοποιείται το τρίτο πρόσωπο, εκτός περιπτώσεων, όπου η χρήση του προσώπου αυτού καθιστά το νόημα μιας φράσης δύσκολο να αποδοθεί. Το τρίτο πρόσωπο χρησιμοποιείται στον ενικό ή τον πληθυντικό αριθμό, ανάλογα με τις απαιτήσεις του κειμένου.

Για παράδειγμα, εάν πρέπει να περιγραφεί η συνδεσμολογία μιας συσκευής λήψης δεδομένων (π.χ. παλμογράφου) σε ένα κύκλωμα, θα πρέπει να ακολουθηθεί η εξής σύνταξη :

«Επαληθεύεται η σωστή σύνδεσή του κυκλώματος και στη συνέχεια ενεργοποιείται ο παλμογράφος ο οποίος θα είναι σε θέση μέτρησης εναλλασσόμενου σήματος. Κατόπιν θέτουμε το κύκλωμα υπό τάση».

Η σύνταξη αυτή είναι προτιμότερη από την ακόλουθη συνήθη :

«Κοιτάζουμε να δούμε αν το κύκλωμα είναι σωστό και μετά ανοίγουμε τον παλμογράφο στο A.C. και τον συνδέουμε στο κύκλωμα».

Τα προφανή λάθη στη δεύτερη σύνταξη είναι τα ακόλουθα :

«Ανοίγουμε» : Χρησιμοποιείται κατά κόρον στην καθομιλουμένη για την ενεργοποίηση μιας συσκευής, είναι όμως προφανές σφάλμα όταν χρησιμοποιείται στο γραπτό λόγο.

«... και κοιτάζουμε να δούμε ...» και «... βλέπει ...» : Απλοϊκές εκφράσεις πρέπει να αποφεύγονται, όπως αναφέρεται και προηγουμένως.

«A.C.» : Για να είναι ορθή η χρήση μίας συντομογραφίας ενός τεχνικού όρου, αυτή θα πρέπει να έχει οριστεί σε προηγούμενο σημείο της μελέτης. Γενικότερα όμως προτιμάται η χρήση ελληνικών όρων. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, αντί του όρου «A.C.» είναι προτιμότερη η χρήση του ελληνικού όρου «Σ.Ρ», εφόσον έχει εξηγηθεί η κατά τα άλλα γνωστή σημασία του προηγουμένως. Εάν δεν έχει εξηγηθεί, τότε θα πρέπει να αναφερθεί με τη μορφή «συνεχές ρεύμα (Σ.Ρ)». Από το σημείο εκείνο και μετά, αντί του όρου «συνεχές ρεύμα» μπορεί να χρησιμοποιείται για συντομία ο όρος «Σ.Ρ». Εάν παρόλα αυτά, οι κατάλληλοι ξένη ορολογία είναι περισσότερο χρησιμοποιούμενη από την αντίστοιχη Ελληνική, τότε θα πρέπει και πάλι να αναφέρεται ο όρος με την Ελληνική του ονομασία, ακολουθούμενος από την αντίστοιχη ξένη, σας να επρόκειτο για επεξήγηση συντομογραφίας. Σε αυτήν την περίπτωση όμως, ο ξένος όρος πλέον χρησιμοποιείται ως ξένη λέξη και γράφεται στην αντίστοιχη γλώσσα. Για παράδειγμα, ο ελληνικός όρος «μαλακός δίσκος» είναι λιγότερο γνωστός και ακόμα λιγότερο χρησιμοποιούμενος από τον αντίστοιχο αγγλικό *“floppy disk”*. Εφόσον πρέπει να αναφερθεί ο όρος αυτός, πρέπει η πρώτη αναφορά να περιλαμβάνει τον όρο και στις δύο γλώσσες, με τη μορφή «μαλακός δίσκος (*floppy disk*)». Στη συνέχεια του κειμένου, η χρήση του αγγλικού κατανοητότερου όρου μπορεί να γίνει κανονικά, πάντα όμως ο όρος αυτός θα γράφεται στην Αγγλική γλώσσα και ποτέ εξελληνισμένος, όπως για παράδειγμα «*φλόπυ ντίσκ*».

2.3. Γραμματοσειρά

Η καθημερινή χρήση των Η/Υ στο σύνολο σχεδόν των δραστηριοτήτων του ανθρώπου, του έχει δώσει δυνατότητες, στη σύνταξη και εκτύπωση κειμένων, που πριν από μερικές δεκαετίες διέθεταν μόνον τυπογράφοι. Μια τέτοια περίπτωση είναι η χρήση γραμματοσειρών.

Παρότι υπάρχουν πλήθος διαθέσιμες γραμματοσειρές - και η τέχνη της γραφιστικής συνεχώς προσθέτει νέες, η σύνταξη μιας Τεχνικής Μελέτης απαιτεί την χρήση συγκεκριμένων παραμέτρων.

Συνήθης γραμματοσειρά σε επίσημα έγγραφα είναι η *Times New Roman* και μάλιστα σε μέγεθος 10. Πιο αναλυτικά, τα διάφορα στοιχεία μιας Τεχνικής Μελέτης θα πρέπει να ακολουθούν τις οδηγίες του παρακάτω πίνακα.

Είδος Κειμένου	Γραμματοσειρά	Μέγεθος	Ειδικά Χαρακτηριστικά
Επικεφαλίδα	Times New Roman	12	Έντονη Γραφή (Bold)
Τίτλοι Παραγράφων	Times New Roman	10	Έντονη Γραφή (Bold)
Κείμενο Μελέτης	Times New Roman	10	Απλή Γραφή (Normal)
Υποσημειώσεις Εικόνων	Times New Roman	8	Έντονη Γραφή (Bold)
Περιεχόμενο Πινάκων	Times New Roman	8	Απλή Γραφή (Normal)
Υποσημειώσεις - Παραπομπές	Times New Roman	8	Απλή Γραφή (Normal)
Ξένοι Όροι	Times New Roman	Ανάλογα	Πλάγια Γραφή (Italic)

Πίνακας μεγέθους γραμματοσειράς.

2.4. Διάστημα Γραφής

Μεταξύ των διαδοχικών στίχων (*γραμμών*) του κειμένου χρησιμοποιείται απλό κενό (*Line Spacing: Single*).

Μεταξύ των διαδοχικών παραγράφων του ίδιου κειμένου χρησιμοποιείται κενό 6 pt πριν και μετά την κάθε παράγραφο.

Σημαντικό στοιχείο επίσης είναι το απλό διάστημα, μεταξύ διαδοχικών λέξεων, στο κυρίως κείμενο της Τεχνικής Μελέτης. Δε χρησιμοποιείται ποτέ περισσότερες από μία φορά το κενό (*space*).

Σε οποιαδήποτε περίπτωση απαιτείται στοίχιση ή κάτι παρόμοιο, υπάρχει η αντίστοιχη εντολή στο λογιστικό γραφής κειμένου που χρησιμοποιείται.

2.5. Αρίθμηση Σελίδων

Στο κάτω μέρος κάθε σελίδας - με εξαίρεση το εξώφυλλο - αναφέρεται ο αριθμός της σελίδας του κειμένου αυτού. Κείμενο χωρίς αρίθμηση είναι ελλιπές.

Για μεγαλύτερη ευκολία του τελικού αναγνώστη, εκτός από τον αριθμό της τρέχουσας σελίδας, μπορεί να αναφέρεται και το πλήθος των σελίδων συνολικά. Για παράδειγμα: 2/14. Την αρίθμηση αυτή φέρει η δεύτερη σελίδα ενός κειμένου, το οποίο απαρτίζεται από δέκα τέσσερις (14) συνολικά σελίδες.

3. Εξώφυλλο - Οπισθόφυλλο.

Πρώτο φύλλο - και όχι σελίδα - μιας Τεχνικής Μελέτης αποτελεί το εξώφυλλο αυτής, όπως υποδηλώνει και ο ορισμός της λέξης. Το εξώφυλλο φέρει αναφορά των εμπλεκόμενων φορέων, τίτλο της Τεχνικής Μελέτης, ονομαστική αναφορά των μελετητών, καθώς και την ημερομηνία εκπόνησης της μελέτης. Δε φέρει, ούτε λαμβάνει μέρος στην αρίθμηση των σελίδων της Τεχνικής Μελέτης.

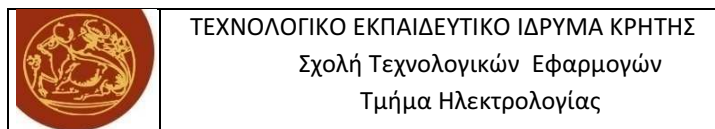
Το εξώφυλλο θα πρέπει να είναι γενικά λιτό, μπορεί όμως να φέρει κάποια γραφική απεικόνιση, σχετικά με το αντικείμενο της μελέτης, εφόσον το επιθυμούν οι συντάκτες της μελέτης αυτής.

Ομοίως, το τελευταίο φύλλο της μελέτης, το οπισθόφυλλο, δεν περιέχει κάποιο τμήμα της μελέτης και μπορεί να φέρει περισσότερα στοιχεία επικοινωνίας με τους συντάκτες της μελέτης. Ούτε το οπισθόφυλλο λαμβάνει μέρος στην αρίθμηση των σελίδων.

3.1. Φορέας

Πρώτη θέση σε μια Τεχνική Έκθεση - Μελέτη κατέχει η αναφορά του φορέα ή των φορέων, που εμπλέκονται σε αυτήν. Για παράδειγμα, εάν μια Τεχνική Μελέτη εκπονείται από το Τμήμα

Ηλεκτρολογίας της Σχολής Τεχνολογικών Εφαρμογών του Τ.Ε.Ι. Κρήτης, η αναφορά του φορέα έχει ως εξής :



Εάν όμως μια Τεχνική Μελέτη εκπονείται από κοινού με Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών της Σχολής Μηχανικών του *M.I.T.*, για λογαριασμό κάποιου τρίτου, η αναφορά των δύο συνεργαζόμενων φορέων έχει ως εξής :



Η σειρά με την οποία αναφέρονται οι δύο φορείς, υποδηλώνει και τη θέση των δύο φορέων στη συγκεκριμένη συνεργασία. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, υποδηλώνεται ότι το *T.E.I. Κρήτης* ήταν, εκτός από εταίρος στην εκπόνηση της μελέτης και συντονιστής αυτής.

3.2. Επικεφαλίδα Τεχνικής Μελέτης

Η επικεφαλίδα της Τεχνικής Μελέτης είναι η περιγραφή με τίτλο της εργασίας και του αντικειμενικού σκοπού του συνόλου της μελέτης που ακολουθεί. Πρέπει να είναι ολιγόλογη και πρέπει να έχει μήκος μία μόνον γραμμή. Εφόσον αυτό είναι αδύνατο, η επικεφαλίδα μπορεί να καταλάβει και δεύτερη γραμμή, ποτέ όμως τρίτη.

Η επικεφαλίδα γράφεται με κεφαλαία γράμματα, της ίδιας γραμματοσειράς με το κυρίως κείμενο. Το μέγεθος της γραμματοσειράς είναι 12.

3.3. Μελετητής

Μετά την επικεφαλίδα της Τεχνικής Μελέτης ακολουθούν τα ονόματα όλων των εμπλεκόμενων στη μελέτη - και όχι μόνο των συντονιστών αυτής - συνοδευόμενα από τον επαγγελματικό τους τίτλο και παραπομπή στο φορέα που ανήκουν. Για παράδειγμα :

Πουλής Δημήτριος¹

Μηχανολόγου - Ηλεκτρολόγου Μηχανικού ΕΜΠ

Αρτάν Μπούσαϊ²

Σπουδαστής τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών

¹Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης - Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών - Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών. Τηλ. : 2810 – 000000.

E-mail: poulis@staff.teicrete.gr.

²Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης - Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών - Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών. Τηλ. : 2100 – 000000.

E-mail: artanbushaj@gmail.com.

Παρατηρήστε τις παραπομπές, μέσω των δεικτών 1 και 2, στο τέλος της σελίδας.

Με τον τρόπο αυτό, κάποιος που διαβάζει την Τεχνική Μελέτη, αλλά δεν έχει σχέση με κάποιον από τους φορείς που την εκπόνησαν, ούτε και με τον τελικό αποδέκτη της μελέτης, μπορεί να έρθει σε επαφή με τους συντάκτες της, εφόσον επιθυμεί επιπλέον πληροφορίες ή κάποια άλλη πληροφορία ή συνεργασία.

Επιπλέον, μελέτη ή οποιασδήποτε μορφής κείμενο, που δε συνοδεύεται από τα βασικά στοιχεία του συντάκτη του, αντιμετωπίζεται ως αμφίβολης προέλευσης και εγκυρότητας και συνήθως απορρίπτεται χωρίς ιδιαίτερη αξιολόγηση.

3.4. Προσαρτήματα

Τεχνικές πληροφορίες, σχετικά με όργανα και μεθοδολογίες, που χρησιμοποιήθηκαν για την ολοκλήρωση της μελέτης, εφόσον αυτό κρίνεται απαραίτητο, αναφέρονται σε Προσαρτήματα, μετά το κύριο σώμα της Τεχνικής Μελέτης.

3.5. Ονομασία Εργασιών

Επανερχόμενοι στον αντικειμενικό σκοπό αυτού του κειμένου, υπενθυμίζεται ότι πρόκειται για γενικές οδηγίες γραφής, που σκοπό έχουν κατ' αρχήν τη συγγραφή εργασιών, στα πλαίσια του εργαστηριακού μαθήματος «Αρχές Ηλεκτρικών Κυκλωμάτων και Μετρήσεων».

Οι εργασίες αυτές θα παραδίδονται σε έντυπη μορφή ή θα αποστέλλονται μέσω ηλεκτρονικού ταχυδρομείου (*e-mail*). Κάθε εργασία θα πρέπει να συνοδεύεται από κείμενο με τις απαραίτητες περιεκτικές περιγραφές των διάφορων τεχνικών εργασιών που πραγματοποιήθηκαν, όπως αυτά περιγράφονται στο αντίστοιχο κεφάλαιο του παρόντος. Σε περίπτωση που μία εργασία ζητηθεί να αποσταλεί σε ηλεκτρονική μορφή μέσω *e-mail*, η ονομασία του απεσταλμένου αρχείου θα πρέπει να ακολουθεί τη μορφή :

ΕπίθετοΌνομα_ΑριθμόςΕργασίας.doc

Όπου:

ΕπίθετοΌνομα: το επίθετο και το όνομα του σπουδαστή, με τη συγκεκριμένη σειρά, χωρίς κενό μεταξύ των δύο λέξεων και με κεφαλαία τα πρώτα γράμματα του ονόματος και του επιθέτου. Τόσο το όνομα, όσο και το επίθετο, θα πρέπει να αναγράφονται με λατινικούς χαρακτήρες, ακολουθώντας το πρότυπο μετατροπής γραμμάτων μεταξύ Ελληνικού και Λατινικού αλφαβήτου, του Ελληνικού Οργανισμού Τυποποίησης (ΕΛ.Ο.Τ.).

ΑριθμόςΕργασίας: Ο αριθμός της εργασίας στο συγκεκριμένο εξάμηνο. Ο αριθμός εκφράζεται ως διψήφιος.

Μεταξύ των στοιχείων του φοιτητή και του αριθμού της εργασίας παρεμβάλλεται μία υπογράμμιση (*underscore*) ή αλλιώς κάτω παύλα. Κενά, καθώς επίσης και εισαγωγή χαρακτήρων από το Ελληνικό αλφάβητο δεν επιτρέπονται.

Για παράδειγμα, εάν πρόκειται για την τέταρτη εργασία του σπουδαστή Μπούσαϊ Αρτάν, η αντίστοιχη ονομασία της εργασίας είναι η εξής :

BushajArtan_04.doc

Αν στην εργασία ζητείται να παραδοθεί κάποιο επιπρόσθετο αρχείο λογισμικού, για παράδειγμα, ένα αρχείο σχεδιαστικού προγράμματος όπως το AutoCad.

Αντίστοιχα, λοιπόν, ισχύει και για αυτό το συνοδευτικό αρχείο, στο οποίο η μορφή που πρέπει να ακολουθεί η ονομασία του είναι η παρακάτω:

ΕπίθετοΌνομα_ΑριθμόςΕργασίας.dwg

Και τέλος, κατά την αποστολή μέσω *e-mail*:

BushajArtan_04.dwg

Ολοκληρώνοντας μία Τεχνική Μελέτη, αυτή φέρει αναφορά των συντακτών της, καθώς και την ημερομηνία της τελικής της σύνταξης.

Για παράδειγμα, μία μελέτη μπορεί να συνταχθεί τμηματικά, μεταξύ 10 και 15 Μαρτίου 2014. Η μελέτη όμως, θα αποκτήσει την οριστική της μορφή, αναθεωρημένη και διορθωμένη, στις 21 Μαρτίου 2014. Τότε, ως ημερομηνία της μελέτης χρησιμοποιείται η 21-3-2014.

3.6. Ειδικά για την ηλεκτρονική αποστολή

Η ηλεκτρονική αποστολή μίας Τεχνικής Μελέτης γίνεται με τη μορφή αρχείου Adobe Acrobat (*.pdf). Κείμενα που έχουν τη μορφή Adobe Acrobat (*.pdf), καθιστούν πολύ δύσκολη την αλλοίωσή τους από τρίτους. Κατ' εξαίρεση, για τις ανάγκες του εργαστηριακού μαθήματος «Αρχές Ηλεκτρικών Κυκλωμάτων και Μετρήσεων», και όταν και αν αυτό χρειάζεται, τα συνοδευτικά κείμενα θα πρέπει να έχουν τη μορφή αρχείου MS-Word (*.doc).

Βιβλιογραφία

- N. Κολιόπουλος - Η. Λόη**, Ηλεκτροτεχνία Ι, εκδόσεις ΙΩΝ, Αθήνα 2010.
- N. Κολιόπουλος**, Ηλεκτροτεχνία ΙΙ, εκδόσεις ΙΩΝ, Αθήνα 1998.
- Ι.Ε. Φραγκιαδάκης**, Φυσική & τεχνολογία -Θεμελιώδεις έννοιες και εφαρμογές, εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη 2003.
- Ι.Ε. Φραγκιαδάκης**, Εργαστηριακές ασκήσεις φυσικής, Τ.Ε.Ι. Κρήτης, Ηράκλειο 2004.
Ι. Σφάλματα – Γραφικές παραστάσεις.
- Π. Ντοκόπουλος**, Ηλεκτρικές εγκαταστάσεις καταναλωτών μέσης και χαμηλής τάσης, εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη 1992 Β' Έκδοση.
- ΔΡ.ΜΗΧ. Νικόλαος Π. Πολύζος - Επίκουρος καθηγητής**, Σημειώσεις εργαστηρίου Ηλεκτρονικών Ισχύος, Τ.Ε.Ι. Κρήτης - Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών - Τμήμα Ηλεκτρολογίας, Ηράκλειο 2008.
- Τοπαλής Φραγκίσκος - Χαραλαμπάκης Νικόλαος - Χριστοδούλου Θεόδωρος**, Ηλεκτρολογικό εργαστήριο – Τ.Ε.Ε. Α' Τάξη 1^{ου} κύκλου - Τομές Ηλεκτρολογικός, Υπουργείο Εθνικής Παιδείας και Θρησκευμάτων - Παιδαγωγικό Ινστιτούτο, Αθήνα 1999.
- Γ. Ζαννής - Δρ Μηχανολόγος Μηχανικός**, Χαρακτηριστικά οργάνων μέτρησης τεχνικών μεγεθών, Σημειώσεις Εργαστήριο Ετερογενών Μειγμάτων & Συστημάτων Καύσης, Τομέας Θερμότητας - Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- N. Ασπράγκαθος**, Εργαστηριακές ασκήσεις ηλεκτροτεχνίας και ηλεκτρικών μηχανών, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα 2000.
- N. Κολιόπουλος**, Βασική ηλεκτρολογία, Εκδόσεις Ιων, Αθήνα 2001.
- Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας**, Τμ. Μηχανολόγων Μηχανικών, Εργαστήριο Ηλεκτροτεχνίας - Ηλεκτρικών Μηχανών - Ρομποτικής, Εργαστηριακές Ασκήσεις Ηλεκτρικών Μηχανών.
- Massachusetts Institute of Technology Department of Electrical Engineering and Computer Science**, σημειώσεις από το μάθημα ηλεκτροτεχνίας (θεωρία και εργαστήριο).
- Radio-electronics.com**, Oscilloscope tutorial and introduction, - a summary or tutorial about the basics of oscilloscopes, O-scopes or scopes detailing their basics as the first page of a multipage in-depth tutorial.
http://www.radio-electronics.com/info/t_and_m/oscilloscope/tutorial-basics-introduction.php
- Φυσική Β' Λυκείου** (Γενικής Παιδείας) - (Διαδραστικά σχολικά βιβλία).
<http://ebooks.edu.gr/modules/ebook/show.php/DSGL-B134/513/3336,13452/>
- Φυσική Β' Λυκείου** (Θετικής και τεχνολογικής κατεύθυνσης) - (Διαδραστικά σχολικά βιβλία).
<http://ebooks.edu.gr/modules/ebook/show.php/DSGL-B101/541/3556,14592/>

Ηλεκτρολογία (Τεχνολογικής Κατεύθυνσης: Κύκλος Τεχνολογίας και Παραγωγής) - (Διαδραστικά σχολικά βιβλία).

<http://ebooks.edu.gr/modules/ebook/show.php/DSGL-C123/487/3182,12829/>

Ν. Ασπράγκαθος, Εργαστηριακές ασκήσεις ηλεκτροτεχνίας και ηλεκτρικών μηχανών, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα 2000.

Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, Τμήμα Φυσικής, Πειράματα Ηλεκτρομαγνητισμού.

<http://pml.physics.uoi.gr/wordpress/>

Πανεπιστήμιο Κύπρου, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών - Εργαστήριο Κυκλωμάτων και Μετρήσεων. Σημειώσεις εργαστηρίου.

ΙΕΚ Αμαρουσίου, Διατάξεις μέτρηση ηλεκτρικών μεγεθών.

<http://iek->

amarous.att.sch.gr/announcements/Electrical_Measurements_03_Measuring_Methods.pdf

Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο - Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών, Μαγνητικά πεδία και υλικά.

<http://www.metal.ntua.gr/uploads/4701/1182/chap5.pdf>

Σφάλματα. Ασφάλεια των ηλεκτρολογικών εργασιών.

<http://www.physics.ntua.gr/~christ/ERGASTIRIA/SFALMATA.pdf>

Ασφάλεια εγκαταστάσεων και ηλεκτρικών εργασιών:

<https://www.osha.gov/SLTC/electricalcontractors/>

Χαρακτηριστικά των τροφοδοτικών *TT 302 0 - 30 Volt*:

<http://www.tklink.co.uk/system/site/uploads/content/docs/3c011877-f6af-46bc-9883-f9e1cb1fbaca.pdf>

Εγχειρίδιο παλμογράφου.

<http://www.microplanet.gr/tutorials/instruments/oscilloscope>

Είδη δοκιμαστικών (*probes*) παλμογράφου.

<http://teledynelecroy.com/probes/?capid=102&mid=508>

Εγχειρίδια οργάνων μέτρησης.

<http://www.microplanet.gr/tutorials/instruments>

Πανεπιστήμιο Πατρών, Ηλεκτρικές Μετρήσεις (Σημειώσεις) - Κούσουλας Νικόλαος - Καθηγητής Διευθυντής του Εργαστηρίου Συστημάτων και Μετρήσεων (Γενικής Ηλεκτροτεχνίας), Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών.

