



**ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ**

ΗΛΕΚΤΡΟΤΕΧΝΙΑ-ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ

Ενότητα: Εργαστηριακές Ασκήσεις Ηλεκτροτεχνίας-Ηλεκτρονικής

Αστέριου Λ. Πασχόπουλου – Αριστείδη Νικ. Παυλίδη

Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών και Βιομηχανικού Σχεδιασμού ΤΕ

Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο ΤΕΙ Δυτικής Μακεδονίας και στην Ανώτατη Εκκλησιαστική Ακαδημία Θεσσαλονίκης**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



Περιεχόμενα

1. Σκοποί ενότητας	6
2. Περιεχόμενα ενότητας.....	6
3. Εισαγωγή	8
4. Περιήγηση του Εργαστηρίου.....	9
5. Ηλεκτροτεχνικά Υλικά	11
6. Μονάδες– Πολλαπλάσια- Υπολλαπλάσια	18
7. Όργανα Ηλεκτρικών Μετρήσεων. (Γενικά)	19
8. Συνδεσμολογίες Οργάνων	25
9. Διαδικασία Μέτρησης.....	31
10. Πρακτικό Μέρος: Όργανα	34
11. Νόμος του ΟΗΜ – Κανόνες του KIRCOFF	36
12. Πρακτικό Μέρος: Νόμος του Ohm κανόνες Kirchoff	40
13. Ισχύς στο Συνεχές Ρεύμα.....	40
14. Πρακτικό Μέρος: Μέτρηση ισχύος στο Συνεχές Ρεύμα (DC)	46
15. Εναλλασσόμενο Ρεύμα	48
16. Σύνδεση R – L – C σε Σειρά	50
17. Σύνδεση R - L – C Παράλληλα.....	54
18. Υπόμνημα.....	59
19. Συντονισμός	65
20. Πρακτικό Μέρος: Συντονισμός	73
21. Διόρθωση Συντελεστού Ισχύος.....	74
22. Πρακτικό Μέρος: Συντελεστής ισχύος	77
23. Βιβλιογραφία.....	78
24. Παράρτημα	78

Περιεχόμενα Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1: Τάση-ένταση σε καθαρή ωμική αντίσταση.....	13
Διάγραμμα 2: Μεταβολή της τάσης και της έντασης σε σχέση με τον χρόνο στο Ε.Ρ.	48
Διάγραμμα 3: Διάγραμμα εύρεσης συνολικής αντίστασης σε κύκλωμα R-L.	51
Διάγραμμα 4: Διάγραμμα εύρεσης συνολικής αντίστασης σε κύκλωμα R-C.....	52
Διάγραμμα 5: Διάγραμμα τάσης κύκλωμα R-L-C.	53
Διάγραμμα 6: Διάγραμμα τάσης κύκλωμα R-L-C.	54
Διάγραμμα 7: Συνολική τάση κυκλώματος.	59
Διάγραμμα 8: Σχέση τάσης ρεύματος σε ένα χωρητικό κύκλωμα.....	64
Διάγραμμα 9: Σε ένα καθαρά χωρητικό κύκλωμα δεν υπάρχει πραγματική ισχύς.	64

Διάγραμμα 10: Επαγωγική αντίσταση του πηνίου και την χωρητική αντίσταση του πυκνωτή.....	67
Διάγραμμα 11: Διάγραμμα έντασης και συνολικής αντίστασης σε παράλληλο κύκλωμα συντονισμού R-L-C.	72
Διάγραμμα 12: α) Πριν την τοποθέτηση του πυκνωτή, β) Μετά την τοποθέτηση του πυκνωτή.....	76

Περιεχόμενα Εικόνων

Εικόνα 1: Ο πάγκος του εργαστηρίου.....	10
Εικόνα 2: Κιβώτιο με ωμικά , επαγωγικά και χωρητικά φορτία για διεξαγωγή πειραμάτων και μετρήσεων.	12
Εικόνα 3: Αυτόνομη μονάδα παροχής AC και DC τάσης με μεταβλητά φορτία.	12
Εικόνα 4: Δομή μιας ωμικής αντίστασης άνθρακα.	14
Εικόνα 5: Αντίσταση σύρματος.	15
Εικόνα 6: Διπλή μεταβλητή αντίσταση από 0 έως 250 Ω.	16
Εικόνα 7: Εσωτερικό μεταβλητής αντίστασης	17
Εικόνα 9: ΓΑΛΒΑΝΟΜΕΤΡΟ.	21
Εικόνα 10: ΑΜΠΕΡΟΜΕΤΡΟ.	22
Εικόνα 11: ΒΟΛΤΟΜΕΤΡΟ.	23
Εικόνα 12: ΩΜΟΜΕΤΡΟ.	24
Εικόνα 13: ΒΑΤΟΜΕΤΡΟ.	25
Εικόνα 14: ΠΟΛΥΜΕΤΡΟ.....	25
Εικόνα 15: Πρακτική.	26
Εικόνα 16: Εσωτερικό οργάνου.	26
Εικόνα 17: Πρακτική.....	27
Εικόνα 18: Εσωτερικό οργάνου.	28
Εικόνα 19: Πρακτική συνδεσμολογία 1ου βήματος.	29
Εικόνα 20: Πρακτική συνδεσμολογία 2ου βήματος.	30
Εικόνα 21: Πρακτική συνδεσμολογία 2ου βήματος.	31
Εικόνα 21: Αντίσταση και πηνίο σε σειρά.	50
Εικόνα 22: Αντίσταση και πυκνωτής σε σειρά.....	51

Περιεχόμενα Πινάκων

Πίνακας 1: ΜΟΝΑΔΕΣ – ΠΟΛΛΑΠΛΑΣΙΑ - ΥΠΟΠΟΛΛΑΠΛΑΣΙΑ.....	18
Πίνακας 2: Εργαστηριακές μετρήσεις.	73
Πίνακας 3: Εργαστηριακές μετρήσεις και υπολογισμού.	78

Περιεχόμενα Σκαριφημάτων

Σκαρίφημα 1: Βελόνα, 2.επανατατικό ελατήριο, 3. Πηνίο περιστρεφόμενο, 4. Πλαίσιο αλουμινίου	19
---	----

Περιεχόμενα Σχημάτων

Σχήμα 1: Σχεδιαστική.	26
Σχήμα 2: Σχεδιαστική.	27
Σχήμα 3: Σύνδεση πηνίου αμπερόμετρου του βαττόμετρου (σχέδιο).	28
Σχήμα 4: βραχυκύκλωση των 2 ακροδεκτών που έχουν αστερίσκο (σχέδιο).	29
Σχήμα 5: Σύνδεση και του δεύτερου άκρου του τυλίγματος του βαλτόμετρου.	30
Σχήμα 6: Σχηματική παράσταση βαττόμετρο με 2 πηνία.	31
Σχήμα 7: Σύμβολα οργάνων.	33
Σχήμα 8: Με αμπερόμετρο.	35
Σχήμα 9: Με βολτόμετρο.	35
Σχήμα 10: Με βατόμετρο.	35
Σχήμα 11: Κύκλωμα.	36
Σχήμα 12: Αναπαράσταση της εξίσωσης 1 (τάση και ρεύμα).	37
Σχήμα 13: Κύκλωμα.	38
Σχήμα 14: Κύκλωμα.	39
Σχήμα 15: Κύκλωμα.	40
Σχήμα 16: Απεικόνιση τάσης, έντασης και ισχύς.	41
Σχήμα 17: Αμπερόμετρο αμέσως μετά την πηγή και το βολτόμετρο στα άκρα της αντίστασης.	42
Σχήμα 18: Βολτόμετρο στα άκρα της πηγής και το αμπερόμετρο πριν την αντίσταση.	44
Σχήμα 19: Πηνίο αμπερομέτρου αμέσως μετά την πηγή και το πηνίο βολτομέτρου στα άκρα της αντίστασης.	45
Σχήμα 20: Πηνίο βολτομέτρου στα άκρα της πηγής και το πηνίο αμπερομέτρου πριν την αντίσταση.	45
Σχήμα 21: 1 ^ο Κύκλωμα.	46
Σχήμα 22: 2ο Κύκλωμα.	46
Σχήμα 23: 3ο Κύκλωμα.	47
Σχήμα 24: Κύκλωμα.	47
Σχήμα 25: Εύρεσης συνολικής αντίστασης σε κύκλωμα L-C.	52
Σχήμα 26: Κύκλωμα R – L – C σε σειρά.	53
Σχήμα 27: Παράλληλη σύνδεση R - L.	54
Σχήμα 28: Παράλληλη σύνδεση R – C.	55
Σχήμα 29: Παράλληλη σύνδεση R C.	56
Σχήμα 30: Πηνίο με ωμική αντίσταση αμελητέα.	56
Σχήμα 31: Πραγματική κατάσταση πηνίου (Με ωμική αντίσταση).	57
Σχήμα 32: Κύκλωμα σειράς R-L-C.	58
Σχήμα 33: Η εφαρμοζόμενη με την επαγόμενη τάση βρίσκονται σε διαφορά φάσης 180°.	60
Σχήμα 34: Το ρεύμα καθυστερεί της τάσης κατά 90°.	60
Σχήμα 35: Η αντιπιθέμενη τάση, περιορίζει την ροή του ρεύματος.	62
Σχήμα 36: Διαφορά τάσης και έντασης σε πηνίο.	63
Σχήμα 37: Κύκλωμα.	65
Σχήμα 38: Κύκλωμα συντονισμού σειράς.	67
Σχήμα 39: Διάγραμμα έντασης και συνολικής αντίστασης σε κύκλωμα συντονισμού σειράς R-L-C.	69
Σχήμα 40: Κύκλωμα συντονισμού L-C (ιδανικό πηνίο).	69
Σχήμα 41: Κύκλωμα συντονισμού L-C (πραγματικό πηνίο).	70
Σχήμα 42: Σύνθετη αντίσταση πραγματικού πηνίου.	71

Σχήμα 43: Γεννήτρια Συχνοτήτων.....	73
Σχήμα 44: Τρίγωνο ισχύος.	75
Σχήμα 45: Κύκλωμα πρακτικού μέρους.	77

1. Σκοποί ενότητας

Οι Σκοποί της παρούσας ενότητας είναι:

- Η εξοικείωση των σπουδαστών με τον χώρο του εργαστηρίου.
- Κατανόηση των βασικών εννοιών της ηλεκτρολογίας
- Εξοικείωση των σπουδαστών με τα όργανα μετρήσεων και τον τρόπο που παίρνονται οι μετρήσεις.
- Εξοικείωση των σπουδαστών με τα όργανα μετρήσεων και τον τρόπο που παίρνονται οι μετρήσεις.
- Κατανόηση του Νόμου του Ohm και των κανόνων του Kickoff.
- Εφαρμογή των κανόνων του Kickoff για την κατανόηση της μέτρησης ισχύος στο συνεχές ρεύμα.
- Ανασκόπηση για λύση τυχών αποριών στο Συνεχές Ρεύμα.
- Εισαγωγή στο Εναλλασσόμενο ρεύμα και διαφορές από το Συνεχές.
- Τρόπος σκέψης για την επίλυση ασκήσεων στο εναλλασσόμενο ρεύμα.
- Η κατανόηση του συντονισμού στα ηλεκτρικά κυκλώματα και η χρήση των κυκλωμάτων συντονισμού.
- Η κατανόηση του συντελεστή ισχύος στο εναλλασσόμενο ρεύμα και η χρησιμότητά του στην πράξη.
- Ανασκόπηση για λύση τυχών αποριών στο Εναλλασσόμενο Ρεύμα.

2. Περιεχόμενα ενότητας

Γίνεται μια παρουσίαση του χώρου του εργαστηρίου, δείχνεται στους σπουδαστές ο τρόπος με τον οποίο λειτουργούμε το εργαστήριο έτσι ώστε να αποφεύγουμε τυχόν ατυχήματα, εξηγείται στους σπουδαστές η χρήση των πάγκων του εργαστηρίου και γίνεται μια πρώτη αναφορά σχετικά με το ρεύμα, την τάση και τις αντιστάσεις.

Εξηγούνται στους σπουδαστές οι βασικές έννοιες της ηλεκτρολογίας, ο τρόπος μετάδοσης του ρεύματος, τι είναι οι αγωγοί και ποια στοιχεία λέμε αγωγούς, τι είναι οι μονωτές και ποια στοιχεία χρησιμοποιούμε συνήθως, τι είναι οι ημιαγωγοί, τι είναι το αμπέρ, το βόλτ, η αντίσταση, πόσα είδη αντιστάσεων έχουμε.

Παρουσιάζονται τα τέσσερα βασικά όργανα που θα χρησιμοποιήσουμε στο εργαστήριο. Το Αμπερόμετρο, το Βολτόμετρο, το Βατόμετρο και το πολύμετρο. Γίνεται αναλυτική παρουσίαση του κάθε οργάνου και του τρόπου που παίρνουμε τις μετρήσεις με το καθένα και στην συνέχεια οι σπουδαστές κάνουν τις πρώτες συνδεσμολογίες τους για να μπορέσουν να καταγράψουν τις μετρήσεις με τα όργανα.

Αρχικά γίνεται εκτενής ανάλυση του νόμου του Ohm και των κανόνων του Kickoff με τα συμπεράσματά τους και ανάλυση των κυκλωμάτων. Στην συνέχεια γίνεται επίδειξη της συνδεσμολογίας του κυκλώματος και κατόπιν οι σπουδαστές επιχειρούν μόνοι τους να κάνουν την συνδεσμολογία υπό την επίβλεψη του διδάσκοντα. Τέλος αφού πραγματοποιηθεί ο τελικός έλεγχος σε όλους τους σπουδαστές, παίρνονται οι μετρήσεις για την πραγματοποίηση της εργασίας.

Αναφερόμαστε στους τρόπους με τους οποίους μπορούμε να βρούμε την ισχύ στο DC. Υπάρχουν τέσσερις τρόποι συνδεσμολογίας, δύο άμεσοι και δύο έμμεσοι. Η επιλογή του καλύτερου τρόπου εξαρτάται από τις εσωτερικές αντιστάσεις των οργάνων. Κατά την πορεία της διάλεξης επισημαίνεται στους σπουδαστές ο ρόλος των εσωτερικών αντιστάσεων και ο τρόπος της χρήσης των κανόνων του Kickoff για την σωστή επιλογή της συνδεσμολογίας. Στην συνέχεια οι σπουδαστές πραγματοποιούν και τις τέσσερις συνδεσμολογίες, υπό την επίβλεψη του διδάσκοντα, και παίρνουν τις μετρήσεις που θα τους βοηθήσουν να πραγματοποιήσουν την εργασία τους.

Γίνεται ουσιαστικά μια επανάληψη στο DC όπου οι σπουδαστές έχουν την ευκαιρία να ακούσουν συνολικά το θεωρητικό μέρος του συνεχούς ρεύματος και να διευκρινίσουν τυχόν απορίες τους. Στην συνέχεια πραγματοποιούνται και οι συνδεσμολογίες των προηγούμενων εργαστηρίων για να εξοικειωθούν περισσότερο οι σπουδαστές με τον τρόπο συνδεσμολογίας των οργάνων και τον τρόπο εύρεσης της μετρούμενης τιμής.

Σύντομη αναφορά στα διανύσματα και στην πρόσθεση διανυσμάτων. Αυτό θα βοηθήσει τους σπουδαστές να θυμηθούν τι είναι το διάνυσμα και πως γίνεται η πρόσθεση διανυσμάτων σε ορθογώνιο άξονα. Στην συνέχεια αναλύεται η διανυσματική μορφή των δεδομένων που έχουνε στο εναλλασσόμενο ρεύμα και γίνεται σύνδεση της πρόσθεσης διανυσμάτων με την τοποθέτηση των μεγεθών στον ορθογώνιο άξονα και στη συνέχεια την πρόσθεσή τους. Με αυτόν τον τρόπο γίνεται κατανοητός στους σπουδαστές ο τρόπος με τον οποίο θα πρέπει να λειτουργήσουν ώστε να μπορέσουν να λύσουν ένα πρόβλημα στο εναλλασσόμενο ρεύμα.

Αναλυτική επίλυση μιας άσκησης στο εναλλασσόμενο ρεύμα και ο τρόπος σκέψης για την επίλυσή της. Εξετάζονται τυχόν άλλοι τρόποι για την επίτευξη του ίδιου αποτελέσματος και δίνεται η δυνατότητα στους σπουδαστές να κατανοήσουν πιο πρακτικά την χρήση όσων είπαμε στην προηγούμενη ενότητα. Στην συνέχεια, ακολουθεί η συνδεσμολογία της άσκησης, υπό την επίβλεψη του διδάσκοντα, και η καταγραφή των μετρήσεων που θα επεξεργαστούν οι σπουδαστές στο σπίτι, για να παραδώσουν την επόμενη φορά την άσκηση.

Αναφορά στον συντονισμό σαν φυσικό φαινόμενο και παρουσιάζεται στους σπουδαστές βίντεο από το διαδίκτυο που δείχνει την πτώση γέφυρας από

συντονισμό. Στην συνέχεια γίνεται μια εισαγωγή στα ηλεκτρικά κυκλώματα συντονισμού και αναλύεται η εύρεση της συχνότητας συντονισμού από ένα διάγραμμα που παρουσιάζεται η μεταβολή της χωρητικής και της επαγωγικής αντίστασης σε σχέση με την μεταβολή της συχνότητας. Αναλύονται δύο κυκλώματα συντονισμού, ένα σειράς και ένα παράλληλο, για να καταλήξουμε πως η συχνότητα συντονισμού είναι ίδια και στα δύο κυκλώματα και εξαρτάται μόνο απ' την αυτεπαγωγή του πηνίου και την χωρητικότητα του πυκνωτή. Στην συνέχεια γίνεται επίδειξη της γεννήτριας συχνοτήτων που διαθέτει το εργαστήριο και με την βοήθεια του διδάσκοντα γίνεται η συνδεσμολογία και η καταγραφή των μετρήσεων για την άσκηση που θα πρέπει να παραδώσουν οι σπουδαστές.

Αναλύονται οι τρεις παράμετροι που έχει η ισχύς στο εναλλασσόμενο ρεύμα. Πρώτα εξηγείται στους σπουδαστές ο τύπος και οι μονάδες μέτρησης της κάθε παραμέτρου, στην συνέχεια η χρησιμότητα της κάθε παραμέτρου, έπειτα ο τρόπος με τον οποίο σχηματίζεται το τρίγωνο ισχύος και τέλος τι είναι ο συντελεστής ισχύος, πως μπορεί να μεταβληθεί και τι μας χρησιμεύει αυτή η μεταβολή. Στην συνέχεια, υπό την επίβλεψη του διδάσκοντα, γίνεται η συνδεσμολογία της άσκησης και καταγράφονται οι μετρήσεις για την άσκηση που θα πρέπει να παραδοθεί.

Τέλος, γίνεται ουσιαστικά μια επανάληψη στο AC όπου οι σπουδαστές έχουν την ευκαιρία να ακούσουν συνολικά το θεωρητικό μέρος του εναλλασσόμενου ρεύματος, του συντονισμού ηλεκτρικών κυκλωμάτων, του συντελεστή ισχύος και να διευκρινίσουν τυχόν απορίες τους. Στην συνέχεια πραγματοποιούνται και οι συνδεσμολογίες των προηγούμενων εργαστηρίων για να εξοικειωθούν περισσότερο οι σπουδαστές με τον τρόπο συνδεσμολογίας των οργάνων και τον τρόπο εύρεσης της μετρούμενης τιμής.

3. Εισαγωγή

Στις σημειώσεις που κρατάτε στα χέρια σας, έγινε μια προσπάθεια να αναπτυχθεί το θεωρητικό μέρος των εργαστηριακών ασκήσεων που θα διεξαχθούν στο μάθημα της Ηλεκτροτεχνίας.

Σε κάθε άσκηση γίνεται μια αναφορά, στο συγκεκριμένο θέμα που εξετάζει η άσκηση, για να βοηθηθούν οι σπουδαστές στην επεξεργασία των μετρήσεων που θα πάρουν στο εργαστήριο, στην ανάλυση των μετρήσεων αυτών και στην εξαγωγή κατάλληλων συμπερασμάτων.

Για κάθε εργαστηριακή άσκηση που γίνεται στο εργαστήριο θα πρέπει να παραδίδεται μια γραπτή εργασία η οποία θα πρέπει να έχει τα ακόλουθα μέρη:

- **Ημερομηνία παράδοσης της άσκησης.**
- **Τίτλος της άσκησης.** Σε αυτό το μέρος γράφουμε τον τίτλο της άσκησης από τις σημειώσεις.
- **Σκοπός για τον οποίο έγινε αυτή η άσκηση.** (Όχι παραπάνω από 2 (δύο) γραμμές). Στο κομμάτι αυτό, με δύο λόγια αναφέρουμε για ποιόν λόγο έγινε

αυτή η άσκηση. Δηλαδή τι θέλουμε να εξετάσουμε πραγματοποιώντας αυτή την άσκηση.

- **Περίληψη του θεωρητικού μέρους.** (Όχι παραπάνω από 10 (δέκα) γραμμές). Εδώ προετοιμάζουμε τον αναγνώστη της εργασίας μας με το θεωρητικό υπόβαθρο που θα πρέπει να έχει για να κατανοήσει την συνέχεια της άσκησης. Γράφουμε συνοπτικά την θεωρία στην οποία θα στηριχθούμε για να βγάλουμε τα συμπεράσματά μας.
- **Το σχέδιο της συνδεσμολογίας** της άσκησης από το οποίο πάρθηκαν οι μετρήσεις. Είναι ένα απαραίτητο στοιχείο για να μπορέσει ο αναγνώστης να παρακολουθήσει την συνέχεια της άσκησης. Θα πρέπει να ξέρει ποια αντίσταση εννοούμε όταν λέμε R_1 ή R_2 , και σε ποιο στοιχείο γενικά αναφερόμαστε κάθε φορά.
- Σε ένα πίνακα **οι μετρήσεις που πάρθηκαν στο εργαστήριο**. Ένα εξίσου σημαντικό κομμάτι της εργασίας μας είναι το κομμάτι αυτό. Διαβάζοντας ο αναγνώστης της μετρήσεις μας θα μπορέσει να ελέγξει αν έχουμε αντικαταστήσει τις σωστές τιμές στις πράξεις μας.
- **Η επεξεργασία των μετρήσεων.** (Όλες οι πράξεις αναλυτικά. Τίποτα δεν εννοείται). Για να μπορέσουμε να ελέγξουμε την ορθότητα των πράξεών μας, θα πρέπει να έχουμε συνέχεια στις πράξεις μας και όχι να δίνουμε ένα τύπο και στη συνέχεια το αποτέλεσμα.
- **Διαγράμματα σε μιλιμετρέ χαρτί**. (Αν η άσκηση έχει διαγράμματα). Στο ιδικό αυτό χαρτί μπορούμε να κάνουμε πιο αξιόπιστη αντικατάσταση των τιμών μας. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, μεγαλύτερη ορθότητα στα συμπεράσματά μας.
- **Τα συμπεράσματα που βγαίνουν από την σύγκριση της θεωρίας με την πράξη.** Είναι ίσως το πιο βασικό κομμάτι της εργασίας μας. Με αυτά φαίνεται αν έχουμε κατανοήσει την άσκηση που κάναμε. Η πράξη θα πρέπει να επιβεβαιώνει την θεωρία. Αν αυτό δεν γίνεται τότε μάλλον κάτι έχουμε κάνει λάθος. Αλλιώς θα πρέπει να αποδείξουμε ότι εμείς έχουμε δίκαιο και να ανατρέψουμε την προηγούμενη θεωρία.
- Προαιρετικά **αν υπάρχουν κάποιες παρατηρήσεις** στην διεξαγωγή της άσκησης. Είναι το κομμάτι της άσκησης στο οποίο αναφέρουμε, αν έχουμε κάτι σοβαρό ν' αναφέρουμε, διάφορα σημεία της άσκησης που μας εντυπωσίασαν ή μας φάνηκαν παράξενα.

Τα στάδια αυτά είναι υποχρεωτικό να φαίνονται σε κάθε άσκηση.

Οι ασκήσεις παραδίδονται σε τετράδιο την αμέσως επόμενη φορά του εργαστηρίου που θα παρουσιαστεί ο σπουδαστής/στρια. Στην ετικέτα του τετραδίου θα πρέπει να αναγράφεται το ονοματεπώνυμο, η ημέρα και η ώρα παρακολούθησης του εργαστηρίου. Στο τέλος του εξαμήνου το τετράδιο παραδίδεται και δεν ξαναεπιστρέφεται.

4. Περιήγηση του Εργαστηρίου



Εικόνα 1: Ο πάγκος του εργαστηρίου.

Πηγή: Διδάσκων (2014).

Στο εργαστήριο υπάρχουν δέκα πανομοιότυποι συμμετρικοί πάγκοι. Ξεκινώντας από το αριστερό μέρος έχουμε πηγή μεταβαλλόμενης τριφασικής τάσης από 0 έως 380 V (L1= μαύρος ακροδέκτης, L2 = κόκκινος ακροδέκτης, L3 = πράσινος ακροδέκτης, N = άσπρος ακροδέκτης). Στη συνέχεια έχουμε ένα ρευματοδότη σούκο με καπάκι (πρίζα) σταθερής τάσης 220 V AC τον οποίο χρησιμοποιούμε όταν θέλουμε να λειτουργήσουμε μια συσκευή. Οι επόμενοι δυο μπλε ακροδέκτες παρέχουν μεταβλητή εναλλασσόμενη τάση (AC) από 0 έως 220 V. Κατόπιν έχουμε πηγή συνεχούς τάσης (DC) όπου ο θετικός πόλος είναι ο κόκκινος ακροδέκτης (+) και ο αρνητικός το μαύρο (-). Στο κέντρο υπάρχει ένα κλειδί διακόπτης από το οποίο στρέφοντας το δεξιά ενεργοποιούνται οι πηγές (εφόσον είναι ανοιχτός ο κεντρικός πάγκος τον οποίο χειρίζεται ο υπεύθυνος). Ακριβώς δίπλα υπάρχει ένας κόκκινος διακόπτης ανάγκης σε μορφή μανιταριού, που αν το πιέσουμε απενεργοποιείται ο πάγκος και τον χρησιμοποιούμε σε περίπτωση που συμβεί κάτι στον συγκεκριμένο πάγκο. Στρέφοντας τον λίγο δεξιά επανέρχεται σε λειτουργία. Στο δεξί ήμισυ μέρος υπάρχουν οι ίδιες πηγές για το λόγο ότι είναι κατασκευασμένες για δυο σπουδαστές. Στο πάνω μέρος των πάγκων υπάρχουν φορτία, μετασχηματιστές, αντιστάσεις, γεννήτριες τα οποία χρησιμοποιούμε σταδιακά στη διεξαγωγή ασκήσεων. Συνιστάται να υπάρχει συνεργασία μεταξύ των σπουδαστών την στιγμή που παίρνουν μετρήσεις και να ενεργοποιούν τους πάγκους ταυτόχρονα. Αν δεν τηρείται αυτό έχουμε διακυμάνσεις στην τάση του δικτύου με αποτέλεσμα την δημιουργία σφαλμάτων.

5. Ηλεκτροτεχνικά Υλικά

Ηλεκτροτεχνικά υλικά ονομάζονται τα υλικά που χρησιμοποιούνται στις διάφορες εφαρμογές της ηλεκτρολογίας, όπως για την κατασκευή αγωγών, αντιστάσεων, επαφών, πυρήνων μετασχηματιστών, υλικών για την απαγωγή θερμότητας κλπ .

Όλα αυτά τα υλικά χωρίζονται σε τέσσερις μεγάλες κατηγορίες : στα υλικά αγωγών , στα υλικά των ωμικών αντιστάσεων , στα μαγνητικά υλικά και στα μονωτικά υλικά .

Αγώγιμα υλικά.

Για την κατασκευή αγωγών και άλλων αγώγιμων εξαρτημάτων χρησιμοποιούνται μέταλλα σε συμπαγή μορφή ή σε μορφή κραμάτων . Πρέπει να συνδυάζουν υψηλή ηλεκτρική και θερμική αγωγιμότητα, σκληρότητα, αντιδιαβρωτικότητα και μηχανική αντοχή. Ο χαλκός είναι το χρησιμότερο μέταλλο στην ηλεκτρολογία γιατί συνδυάζει χαμηλό κόστος και πολύ καλή ηλεκτρική αγωγιμότητα. Το αλουμίνιο επίσης έχει υψηλή αγωγιμότητα στην διέλευση του ηλεκτρικού ρεύματος και στην θερμότητα . Χρησιμοποιείται στην κατασκευή αγωγών γραμμών μεταφοράς . Όταν βρεθεί στον αέρα οξειδώνεται επιφανειακά, το στρώμα όμως αυτό που δημιουργείται το προστατεύει από παραπέρα διάβρωση. Ο μόλυβδος, ο οποίος χρειάζεται προσοχή γιατί οι ενώσεις του είναι δηλητήρια. Χρησιμοποιείται στους συσσωρευτές και στα ηλεκτρόδια τους. Το νικέλιο το οποίο έχει υψηλή αντιδιαβρωτική συμπεριφορά και το συναντάμε σε επίστρωση άλλων μετάλλων για προστασία από διάβρωση.

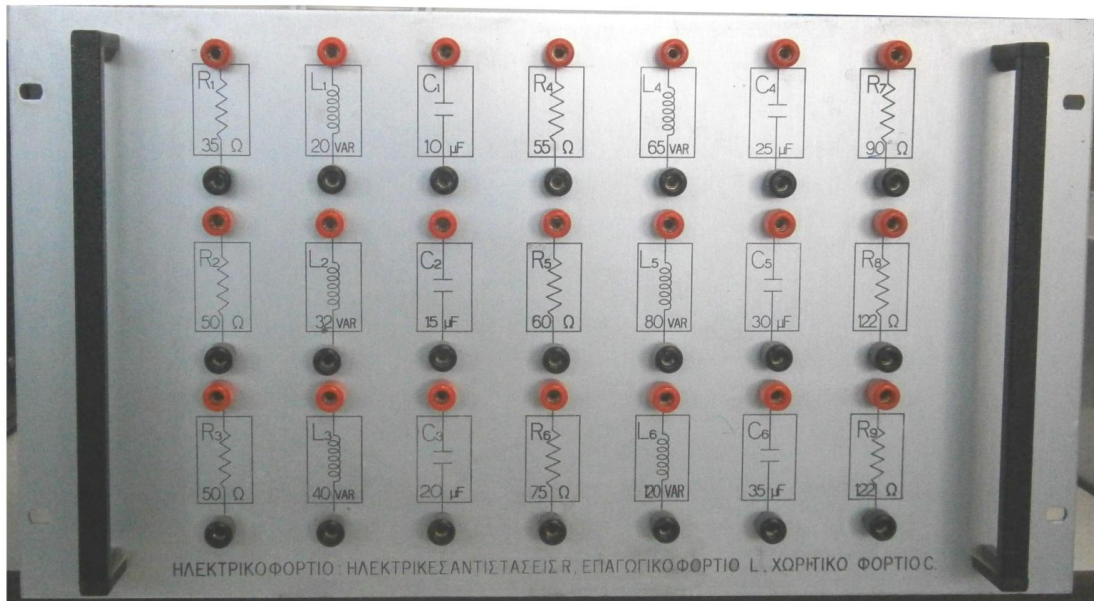
Τα κράματα είναι τήγματα που αποτελούνται από δυο και περισσότερα μέταλλα. Η αναλογίες τους καθορίζουν τις ιδιότητες του κράματος. Γενικά έχουν μεγαλύτερη αντοχή και σκληρότητα από τα μέταλλα που τα συνθέτουν. Ο ορείχαλκος (κράμα χαλκού και ψευδαργύρου) από τον οποίο κατασκευάζονται διάφορα ηλεκτρολογικά εξαρτήματα, υποδοχές, κοχλίες, δίσκοι κλπ. Κράματα χαλκού και κασσίτερου, για την κατασκευή ρευματοφόρων ελασμάτων. Άλλα κράματα χαλκού με ποικίλες εφαρμογές όπως ράβες, συλλέκτες, ηλεκτρόδια συγκόλλησης κλπ . Επίσης άλλα κράματα αλουμινίου για γραμμές μεταφοράς κλπ.

Μονωτικά υλικά.

Τα μονωτικά υλικά είναι κακοί αγωγοί του ηλεκτρικού ρεύματος, δηλαδή δεν επιτρέπουν την διέλευση του. Βρίσκονται σε στερεή, υγρή και αέρια κατάσταση. Το γυαλί, ο αμίαντος, η μίκα και πολλά κεραμικά υλικά βρίσκουν άπειρες εφαρμογές για την προστασία από το ηλεκτρικό ρεύμα . Υπάρχουν και τα λεγόμενα οργανικά υλικά που η δομή τους είναι μοριακή . Δημιουργούνται θερμοπλαστικά και σκληροπλαστικά μονωτικά υλικά για επικάλυψη καλωδίων, μονωτικές ταινίες, τυπωμένων κυκλωμάτων, οικιακές συσκευές, μόνωση μεταξύ ηλεκτρονικών εξαρτημάτων, μόνωση κινητήρων και μετασχηματιστών με εμποτισμό κλπ.

Φορτία

Οι καταναλώσεις που συνδέουμε στις ηλεκτρικές πηγές αποκαλούνται συχνά και φορτία . Οι τρεις βασικοί τύποι φορτίων είναι οι αντιστάσεις, τα πηνία και οι πυκνωτές



Εικόνα 2: Κιβώτιο με ωμικά , επαγωγικά και χωρητικά φορτία για διεξαγωγή πειραμάτων και μετρήσεων.

Πηγή: Διδάσκων (2014).



Εικόνα 3: Αυτόνομη μονάδα παροχής AC και DC τάσης με μεταβλητά φορτία.

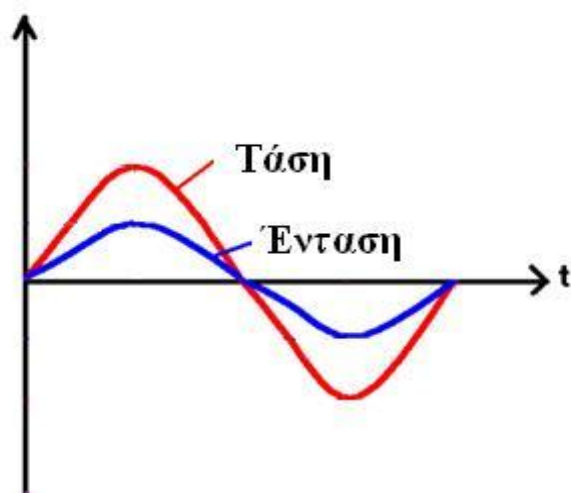
Πηγή: Διδάσκων (2014).

Ωμικά φορτία

Στα κυκλώματα DC υπάρχει ένας βασικός τύπος φορτίου, το ωμικό (R). Ακόμη και οι ηλεκτρικοί κινητήρες αποτελούν ωμικά φορτία. Σε αυτό τον τύπο η πραγματική

ισχύς (watts) αποτελεί το γινόμενο της τάσης επί την ένταση. Στα AC κυκλώματα υπάρχουν τρεις διαφορετικοί τύποι φορτίων, τα ωμικά τα επαγωγικά και τα χωρητικά. Παρουσιάζουν διαφορετική συμπεριφορά στην φασική σχέση μεταξύ τάσης και έντασης. Τα ωμικά φορτία περιλαμβάνουν καθαρή ωμική αντίσταση π.χ. συσκευές ηλεκτρικής θέρμανσης, λυχνίες πυράκτωσης κτλ. Τα ωμικά φορτία χαρακτηρίζονται από το ότι:

1. παράγουν θερμότητα, και
2. το ρεύμα και η τάση είναι συμφασικά μεταξύ τους.



Διάγραμμα 1: Τάση-ένταση σε καθαρή ωμική αντίσταση.

Πηγή: Διδάσκων (2014).

Σε ένα καθαρά ωμικό φορτίο η τάση και η ένταση είναι συμφασικά μεταξύ τους .

Αντιστάσεις.

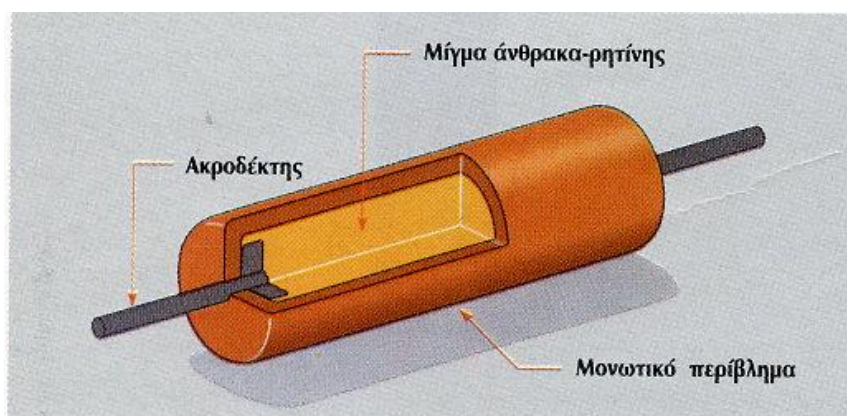
Οι ωμικές αντιστάσεις αποτελούν ένα από τα πιο συνηθισμένα εξαρτήματα των ηλεκτρικών κυκλωμάτων. Η μονάδα μέτρησης της τιμής μίας ωμικής αντίστασης (R) είναι το Ohm (Ω). Η ονομασία αυτή δόθηκε προς τιμήν του Γερμανού επιστήμονα George S. Ohm. Οι ωμικές αντιστάσεις κατασκευάζονται σε διάφορα μεγέθη, τύπους και χαρακτηριστικά, για κάθε κυκλωματική εφαρμογή.

Οι ωμικές αντιστάσεις συνήθως χρησιμοποιούνται στα ηλεκτρικά κυκλώματα για δύο λόγους. Ο ένας λόγος είναι ο περιορισμός της ροής του ρεύματος μέσα σε ένα κύκλωμα. Η δεύτερη χρήση των ωμικών αντιστάσεων είναι η κατασκευή κατανομών τάσης. Χρησιμοποιώντας αντιστάσεις κατάλληλων τιμών, μπορεί να επιτευχθεί η οποιαδήποτε επιθυμητή τιμή τάσης .

Ωμικές Αντιστάσεις Σταθερής Τιμής.

Οι ωμικές αντιστάσεις σταθερής τιμής υπάρχουν σε διάφορους τύπους. Ο περισσότερο συνηθισμένος τύπος είναι οι αντιστάσεις άνθρακα. Οι αντιστάσεις αυτές κατασκευάζονται από μίγμα γραφίτη με κάποια ρητίνη ως συνδετικό υλικό. Οι αναλογίες γραφίτη και ρητίνης καθορίζουν και την τιμή της ωμικής αντίστασης. Το μίγμα αυτό περικλείεται μέσα σε μία θήκη μη-αγώγιμου υλικού με μεταλλικούς ακροδέκτες.

Οι αντιστάσεις άνθρακα είναι πολύ δημοφιλείς στις περισσότερες εφαρμογές, κυρίως λόγω του χαμηλού κόστους και της μεγάλης διαθεσιμότητας. Κατασκευάζονται σε τυποποιημένες τιμές και σε ονομαστική ισχύ. Η ονομαστική ισχύς μίας αντίστασης φαίνεται από το φυσικό της μέγεθος. Αν και οι αντιστάσεις άνθρακα διαθέτουν πολλά επιθυμητά χαρακτηριστικά, παρουσιάζουν όμως κάποιο σοβαρό μειονέκτημα, η τιμή τους μεταβάλλεται με τη γήρανση και την υπερθέρμανση. Γενικά, η τιμή των αντιστάσεων άνθρακα αυξάνεται αντί να μειώνεται.



Εικόνα 4: Δομή μιας ωμικής αντίστασης άνθρακα.

Πηγή: Herman (1998).

Ένας άλλος τύπος αντιστάσεων σταθερής τιμής, οι οποίες κατασκευάζονται με παρόμοιο τρόπο είναι οι αντιστάσεις επίστρωσης άνθρακα. Οι αντιστάσεις αυτές κατασκευάζονται με επίστρωση της κεραμικής ράβδου με άνθρακα, αντί κάποιου μετάλλου. Οι αντιστάσεις επιστροφής άνθρακα έχουν χαμηλότερο κόστος κατασκευής από τις αντιστάσεις μεταλλικής επίστρωσης και παρουσιάζουν αυστηρότερες ανοχές από τις απλές αντιστάσεις άνθρακα.

Υπάρχουν επίσης οι αντιστάσεις μετάλλου - γυαλιού οι οποίες είναι παρεμφερείς με τις αντιστάσεις μεταλλικής επίστρωσης. Κατασκευάζονται από μίγμα μετάλλου και γυαλιού, το οποίο στη συνέχεια εφαρμόζεται πάνω σε μία κεραμική βάση. Η τιμή της αντίστασης καθορίζεται από την ποσότητα του χρησιμοποιούμενου στο μίγμα μετάλλου. Οι συνήθεις ανοχές κυμαίνονται από 1% έως 2%.

Οι αντιστάσεις σύρματος, κατασκευάζονται με την περιέλιξη σύρματος, γύρω από κάποιο κεραμικό πυρήνα . Η τιμή της αντίστασης προσδιορίζεται από τρεις παράγοντες:

1. τον τύπο του υλικού του σύρματος,
2. τη διάμετρο του σύρματος και
3. το μήκος του σύρματος

Οι αντιστάσεις σύρματος συναντώνται σε διάφορα μεγέθη σχήματα και περιβλήματα. Γενικά, οι αντιστάσεις αυτές χρησιμοποιούνται όταν υπάρχουν απαιτήσεις υψηλής ισχύος. Οι αντιστάσεις σύρματος αντέχουν στις υψηλότερες θερμοκρασίες λειτουργίας από οποιονδήποτε άλλο τύπο . Τα μειονεκτήματα των αντιστάσεων σύρματος είναι ότι έχουν υψηλότερο κατασκευαστικό κόστος και απαιτούν μεγαλύτερο χώρο εγκατάστασης .



Εικόνα 5: Αντίσταση σύρματος.

Πηγή: Herman (1998).

Οι ονομαστικές τιμές των ωμικών αντιστάσεων, συνήθως προσδιορίζονται από κάποιο χρωματικό κώδικα. Πολλές αντιστάσεις διαθέτουν έγχρωμες λωρίδες, για τον προσδιορισμό της ονομαστικής τιμής αντίστασης, της ανοχής και σε ορισμένες περιπτώσεις της αξιοπιστίας. Οι έγχρωμες λωρίδες αναπαριστούν αριθμούς . Το κάθε χρώμα έχει διαφορετική αριθμητική τιμή.

Ωμικές αντιστάσεις μεταβλητής τιμής

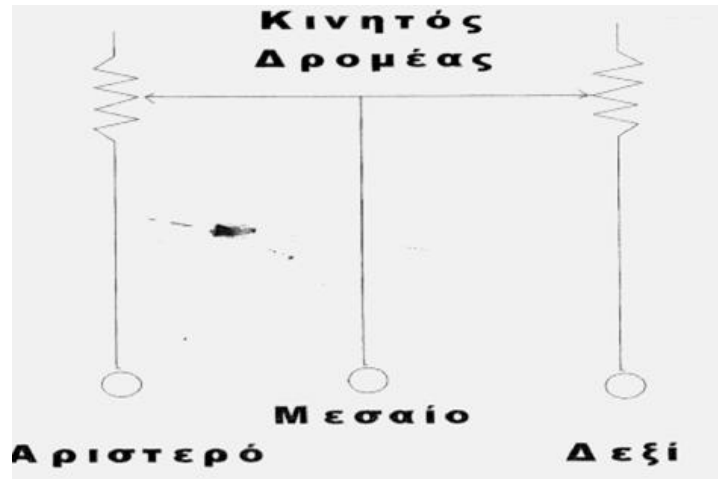


Εικόνα 6: Διπλή μεταβλητή αντίσταση από 0 έως 250 Ω.

Πηγή: Διδάσκων (2014).

Στις μεταβλητές αντιστάσεις έχουμε την δυνατότητα να μεταβάλλουμε την τιμή της σε ένα συγκεκριμένο εύρος . Συναντώνται σε διάφορες μορφές και ονομαστικές τιμές ισχύος . Το ωμικό σύρμα είναι τυλιγμένο σε μια κυκλική διάταξη πάνω στην οποία ολισθαίνει ένας δρομέας . Η τιμή της αντίστασης ρυθμίζεται από την θέση του δρομέα . Αν η συνολική αντίσταση του σύρματος είναι 250 Ω μπορούμε να έχουμε τιμές από 0 έως 250 Ω . Στην συγκεκριμένη που θα χρησιμοποιούμε είναι διπλή και έχει τρία άκρα . Στο μεσαίο άκρο είναι συνδεδεμένος ο δρομέας ο οποίος ενώνεται με ένα άκρο από κάθε αντίσταση . Τα δεύτερα άκρα των δυο αντιστάσεων συνδέονται στο αριστερό και δεξί αντίστοιχα . Όταν ο δρομέας βρίσκεται στο τέρμα του προς το μέρος των ακροδεκτών η αντίσταση είναι μηδενική . Σύροντας τον, η

αντίσταση αυξάνει ώσπου να τερματίσει όπου έχουμε την μέγιστη τιμή.



Εικόνα 7: Εσωτερικό μεταβλητής αντίστασης

Πηγή: Διδάσκων (2014).

6. Μονάδες– Πολλαπλάσια- Υπολλαπλάσια

	ΕΝΤΑΣΗ	ΤΑΣΗ	ΙΣΧΥΣ	ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ	ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ	ΕΠΑΓΩΓΗ	
ΒΑΣΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ	A (Amper)	V (Volt)	W (Watt)	Ω (Ohm)	F (Farad)	H (Henry)	Δυνάμεις του 10
ΠΟΛΛΑΠΛΑΣΙΑ	KA	KV	KW	KΩ	KF	KH	10 ³
	MA	MV	MW	MΩ	MF	MH	10 ⁶
	GA	GV	GW	GΩ	GF	GH	10 ⁹
	TA	TV	TW	TΩ	TF	TH	10 ⁹
ΥΠΟΠΟΛΛΑΠΛΑΣΙΑ	mA	mV	<u>mW</u>	mΩ	mF	mH	10 ⁻³
	μA	μV	μW	μΩ	μF	μH	10 ⁻⁶
	nA	nV	nW	nΩ	nF	nH	10 ⁻⁹
	pA	pV	pW	pΩ	pF	pH	10 ⁻¹²

Πίνακας 1: ΜΟΝΑΔΕΣ – ΠΟΛΛΑΠΛΑΣΙΑ - ΥΠΟΠΟΛΛΑΠΛΑΣΙΑ.

Πηγή: Διδάσκων (2014).

7. Όργανα Ηλεκτρικών Μετρήσεων. (Γενικά)

Τα όργανα των ηλεκτρικών μετρήσεων μας χρησιμεύουν για να μετρήσουμε τις τιμές διαφόρων μεγεθών όπως η τάση, η ένταση, η ισχύς, η αντίσταση, κ.α. .

Ανάλογα με την μέθοδο που χρησιμοποιούν για να μας δώσουν την μέτρηση χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες :

A) Τα αναλογικά.

B) Τα ψηφιακά.

Αναλογικά είναι τα όργανα που η λειτουργία τους στηρίζεται στη μέθοδο του κινητού πηνίου. Υπάρχει στο όργανο ένα πηνίο το οποίο συνδέεται στο κύκλωμα του οργάνου και στο πηνίο αυτό υπάρχει μία βελόνα. Ανάλογα με το ρεύμα που περνά απ' το πηνίο μετατοπίζεται και η βελόνα.

Το κινητό μέρος του οργάνου συνήθως αποτελείται από ένα πλαίσιο, ένα πηνίο και ένα δείκτη, που μπορεί να περιστρέφεται γύρω από έναν άξονα, όπως φαίνεται στο σκαρίφημα 1:

Σκαρίφημα 1: [Βελόνα](#), [2.επανατακτικό ελατήριο](#), [3. Πηνίο περιστρεφόμενο](#), [4. Πλαίσιο αλουμινίου](#) (Ανακτήθηκε 14 Δεκεμβρίου, 2014).

Το κινητό τμήμα, ανάλογα με τον τύπο του οργάνου, μπορεί να αποτελείται από πηνία ή από κομμάτια μαλακού σιδήρου ή από κομμάτια μόνιμων μαγνητών ή από μεταλλικές πλάκες που χρησιμεύουν σαν σπλισμοί πυκνωτών.

Το σταθερό τμήμα του οργάνου μπορεί να είναι ένας μόνιμος μαγνήτης, ένας ηλεκτρομαγνήτης, ένα πηνίο ή σπλισμοί πυκνωτών.

Ανάμεσα στο κινητό και το σταθερό μέρος του οργάνου υπάρχει αλληλεπίδραση.

Αποτέλεσμα αυτής της επίδρασης είναι η δημιουργία ροπής στρέψης που παρασύρει σε κίνηση την βελόνα του οργάνου μπροστά σε μία βαθμονομημένη κλίμακα.

Ψηφιακά είναι τα όργανα τα οποία στηρίζονται σε ηλεκτρονικά κυκλώματα και την ένδειξη μας την δείχνουν σε μία οθόνη κρυστάλλων. Τα πλεονεκτήματα των ψηφιακών οργάνων είναι :

- Δεν έχουμε πρόβλημα σταθερότητας και θορύβου.
- Η ακρίβεια αυξάνεται, αυξάνοντας τον αριθμό των ψηφίων.
- Αποφεύγουμε τα σφάλματα ανάγνωσης της κλίμακας.

Ακριβέστερη μέτρηση μπορούμε να πάρουμε με τα ψηφιακά όργανα.

Ανάλογα με την χρήση τους τα όργανα χωρίζονται σε τρεις βασικές κατηγορίες:

A) **Ενδεικτικά** όργανα, που μας δείχνουν το μέγεθος μια ποσότητας και γενικά κάνουν χρήση βαθμολογημένης κλίμακας. (Εργαστηριακά όργανα ή όργανα προσαρμοσμένα σε ηλεκτρικές συσκευές).

B) **Καταγραφικά** όργανα, με τα οποία μπορούμε να έχουμε μια συνεχή καταγραφή της ποσότητας που θέλουμε να μετρήσουμε. (Όργανα σε μονάδες μέτρησης ρύπων).

Γ) **Ολοκληρωτικά** όργανα. Αυτά μας παρέχουν ένα άθροισμα, το οποίο είναι το γινόμενο ενός ορισμένου χρόνου και μιας ηλεκτρικής ποσότητας. (Όργανα σε μονάδες μέτρησης ρύπων).

Στις προσόψεις των οργάνων μπορούμε να βρούμε πληροφορίες σχετικές με το όργανο και τον τρόπο χρήσης του. Τις πληροφορίες αυτές τις παίρνουμε από τα διάφορα σύμβολα που υπάρχουν στην πρόσοψη του κάθε οργάνου. Τα σύμβολα αυτά μας πληροφορούν για:

- Τον εσωτερικό μηχανισμό του οργάνου.
- Το είδος του ρεύματος στο οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί το όργανο (AC ή DC).
- Την τάση δοκιμής μονώσεως του μηχανισμού του οργάνου.
- Την θέση (Οριζόντια ή κάθετη) στην οποία πρέπει να τοποθετηθεί το όργανο για να έχουμε, κατά την μέτρηση, ορθή ένδειξη. (κ.α.)

Οι μετρήσεις που μπορούμε να πραγματοποιήσουμε μπορεί να είναι:

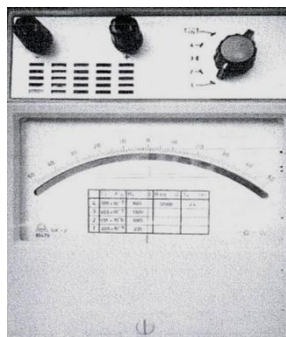
- Άμεσοι όταν το ζητούμενο μέγεθος βρίσκεται απ' ευθείας με ανάγνωση από το κατάλληλο όργανο.
- Έμμεσοι όταν το ζητούμενο μέγεθος βρίσκεται από υπολογισμό μετά από μετρήσεις άλλων μεγεθών.
- Συγκριτικές όταν το ζητούμενο μέγεθος βρίσκεται μετά από σύγκριση με άλλο όμοιο με αυτό, με την βοήθεια ειδικών μεγεθών.

Τα βασικότερα όργανα που χρησιμοποιούμε συνήθως σε ηλεκτρικές μετρήσεις είναι:

A) ΓΑΛΒΑΝΟΜΕΤΡΑ:

Είναι όργανα που χρησιμοποιούνται για μέτρηση της έντασης του ρεύματος, ή για να διαπιστώσουμε αν υπάρχει ρεύμα σ' ένα οποιοδήποτε κύκλωμα ή αγωγό

(καλώδιο). Γενικά όμως έχει επικρατήσει να ονομάζουμε γαλβανόμετρα τα όργανα που χρησιμοποιούνται για να διαπιστώσουμε αν υπάρχει κάπου ρεύμα. Τα γαλβανόμετρα που χρησιμοποιούνται για μέτρηση, επειδή βαθμονομούνται σε Volt, Ampere, Ohm, Watt κ.λ.π., τα ονομάζουμε και ανάλογα (Βολτόμετρα, Αμπερόμετρα, Ωμόμετρα, Βατόμετρα κ.λ.π.).



Εικόνα 8: ΓΑΛΒΑΝΟΜΕΤΡΟ.

Πηγή: Διδάσκων (2014).

Β) ΑΜΠΕΡΟΜΕΤΡΑ:

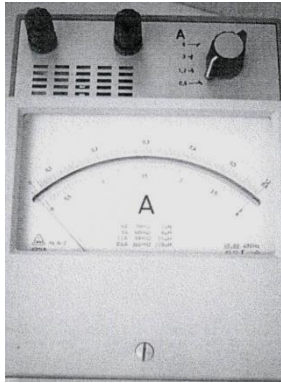
Είναι όργανα που τα χρησιμοποιούμε για την μέτρηση της έντασης του ρεύματος.

Τα χαρακτηριστικά του πηνίου τους είναι : **α) Αμελητέα εσωτερική αντίσταση** (για να καταναλώνει το όργανο όσο το δυνατόν μικρότερη ηλεκτρική ενέργεια), **β) Χοντρό καλώδιο, γ) Λίγες σπείρες.**

Τα αμπερόμετρα τα συνδέουμε πάντοτε σε σειρά με το στοιχείο του οποίου την ένταση θέλουμε να μετρήσουμε.

Εκτός από τα αμπερόμετρα για πολύ μικρές εντάσεις χρησιμοποιούμε τα Μιλιαμπερόμετρα και τα Μικροαμπερόμετρα.

Τα αμπερόμετρα που χρησιμοποιούμε στο εργαστήριο έχουν τέσσερις κλίμακες. Δύο πλήρως ανεπτυγμένες και δύο οι οποίες δεν είναι ανεπτυγμένες αλλά είναι πολλαπλάσιες των προηγούμενων. (Για την ακρίβεια η κάθε μία είναι διπλάσια μιας πλήρως ανεπτυγμένης)



Εικόνα 9: ΑΜΠΕΡΟΜΕΤΡΟ.

Πηγή: Διδάσκων (2014).

Γ) ΒΟΛΤΟΜΕΤΡΑ:

Είναι όργανα που τα χρησιμοποιούμε για την μέτρηση της Ηλεκτρεγερτικής δύναμης μιας πηγής (Η.Ε.Δ.) ή της διαφοράς δυναμικού (φάσεως) μεταξύ δύο σημείων ενός οποιουδήποτε κλειστού κυκλώματος.

Τα χαρακτηριστικά του πηνίου τους είναι: α) Πολύ μεγάλη εσωτερική αντίσταση (για να περνά απ' το όργανο όσο το δυνατόν λιγότερο ρεύμα), β) Λεπτό καλώδιο, γ) Πολλές σπείρες.

Το βολτόμετρο συνδέεται πάντοτε παράλληλα με το εξεταζόμενο κύκλωμα ή στοιχείο.

Με την σύνδεση του οργάνου στο κύκλωμα αλλάζει η κατάσταση λειτουργίας του κυκλώματος με αποτέλεσμα να δείχνει το όργανο μικρότερη τάση από αυτή που επικρατεί πριν απ' την παρεμβολή του. Το σφάλμα που δημιουργείται είναι τόσο μεγαλύτερο, όσο μικρότερη είναι η αντίσταση του οργάνου, σε σχέση με την αντίσταση του τμήματος του κυκλώματος στο οποίο συνδέεται το όργανο.

Τα βολτόμετρα που χρησιμοποιούμε στο εργαστήριο, εκτός ελάχιστων εξαιρέσεων, έχουν όλες τις κλίμακες του μεταγωγικού διακόπτη πλήρως ανεπτυγμένες. Άρα κάθε φορά θα πρέπει να βλέπουμε την επιλογή του διακόπτη και στην συνέχεια να μετράμε στην κλίμακα που έχουμε επιλέξει.



Εικόνα 10: ΒΟΛΤΟΜΕΤΡΟ.

Πηγή: Διδάσκων (2014).

Δ) ΩΜΟΜΕΤΡΑ:

Είναι όργανα τα οποία μετράνε απ' ευθείας την ωμική αντίσταση ενός κυκλώματος.

Ανάλογα με τον τρόπο που συνδέουμε στο όργανο την προς μέτρηση αντίσταση διακρίνονται τα Ωμόμετρα σε :

- α) Ωμόμετρα τύπου σειράς.
- β) Ωμόμετρα παράλληλου τύπου.
- γ) Ωμόμετρα μικτού ή σύνθετου τύπου.

Με τα ωμόμετρα τύπου σειράς μπορούμε να μετρήσουμε αντιστάσεις μέσης και πολύ υψηλής τιμής. Με τα ωμόμετρα παράλληλης συνδεσμολογίας μπορούμε να μετρήσουμε αντιστάσεις πολύ μικρής τιμής. Ο συνδυασμός των παραπάνω τύπων οργάνων, παρέχει το ωμόμετρο σύνθετης συνδεσμολογίας. Αυτό χρησιμοποιείται σαν ωμόμετρο συνδεσμολογίας σειράς για μετρήσεις μεγάλων αντιστάσεων και σαν ωμόμετρο παράλληλης συνδεσμολογίας για μετρήσεις μικρών αντιστάσεων.



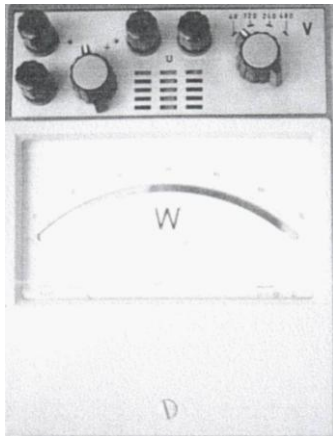
Εικόνα 11: ΩΜΟΜΕΤΡΟ.

Πηγή: Διδάσκων (2014).

Ε) ΒΑΤΟΜΕΤΡΑ:

Για την μέτρηση της ηλεκτρικής ισχύος χρησιμοποιούνται τα. Βατόμετρα (Μονοφασικά –Τριφασικά).

Τα μονοφασικά (Ηλεκτροδυναμικά) βατόμετρα έχουν δύο πηνία. Το σταθερό πηνίο αποτελείται από λίγες σπείρες με μεγάλη διατομή και μπαίνει σε σειρά με το κύκλωμα μετρήσεως (πηνίο αμπερομέτρου). Το κινητό πηνίο αποτελείται από πολλές σπείρες μικρής διατομής και συνδέεται παράλληλα στο κύκλωμα (πηνίο βολτομέτρου). Τα βατόμετρα κάνουν συνδυασμό μετρήσεων. Ουσιαστικά έχουν ένα πηνίο αμπερομέτρου και ένα πηνίο βολτομέτρου. Αν συνδεθεί μόνο το πηνίο αμπερομέτρου το κύκλωμα κλείνει, αλλά δεν έχουμε ένδειξη στο όργανο. Αν συνδεθεί μόνο το πηνίο βολτομέτρου, ούτε το κύκλωμα κλείνει, ούτε ένδειξη έχουμε στο όργανο. Για να έχουμε ένδειξη στο όργανο θα πρέπει να συνδεθούν και τα δύο πηνία. Το πηνίο αμπερομέτρου σε σειρά με το κύκλωμα και το πηνίο βολτομέτρου παράλληλα. Στο δεξιό μέρος του οργάνου υπάρχει ο μεταγωγικός διακόπτης με τον οποίο αλλάζουμε την μέγιστη τάση που μπορεί να δεχθεί το όργανο. Ανάμεσα απ' τους ακροδέκτες του πηνίου αμπερομέτρου, που είναι οι δύο κάθετοι ακροδέκτες ανάμεσα απ' τους οποίους υπάρχει και το γράμμα I και απ' τους ακροδέκτες του πηνίου βολτομέτρου, που είναι οι δύο οριζόντιοι ακροδέκτες που ανάμεσά τους υπάρχει το γράμμα U, υπάρχει άλλος ένας διακόπτης με τις ενδείξεις «+» και «-», ο οποίος αλλάζει την πολικότητα σε κύκλωμα DC. Επειδή το όργανο έχει μόνο μία πλήρως ανεπτυγμένη κλίμακα, κάτω από το γράμμα W υπάρχει ένα πινακάκι το οποίο μας δίνει τους συντελεστές με τους οποίους θα πρέπει να πολλαπλασιάσουμε την ένδειξη του οργάνου ανάλογα με την θέση του μεταγωγικού διακόπτη αλλαγής της μέγιστης εισερχόμενης τάσης.

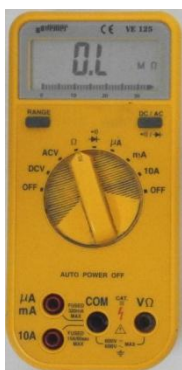


Εικόνα 12: ΒΑΤΟΜΕΤΡΟ.

Πηγή: Διδάσκων (2014).

Στ) ΠΟΛΥΜΕΤΡΑ:

Είναι όργανα τα οποία μας δίνουν τη δυνατότητα με κατάλληλο χειρισμό να μετρήσουμε διάφορα μεγέθη όπως τάση, ένταση, αντίσταση, θερμοκρασία, χωρητικότητα κ.λ.π. με το ίδιο όργανο. Υπάρχει ένας διακόπτης μεταγωγικός με τον οποίο επιλέγουμε το μέγεθος που θέλουμε να μετρήσουμε (Τάση ή Ένταση ή Αντίσταση ή Ισχύ ή πυκνωτή ή Θερμοκρασία ή Τρανζίστορ). Αφού κάνουμε αυτή την επιλογή στη συνέχεια τοποθετούμε δύο καλώδια στους ακροδέκτες που έχει πάλι ανάλογα με το προς μέτρηση μέγεθος. Ο ένας μπαίνει στο κεντρικό ακροδέκτη που γράφει και Com και ο άλλος, όταν θέλουμε να μετρήσουμε τάση και αντίσταση, στο δεξιό ακροδέκτη, ενώ όταν θέλουμε να μετρήσουμε μικροαμπέρ ή μιλιαμπέρ, στο αριστερό επάνω και όταν θέλουμε να μετρήσουμε αμπέρ στο αριστερό κάτω.

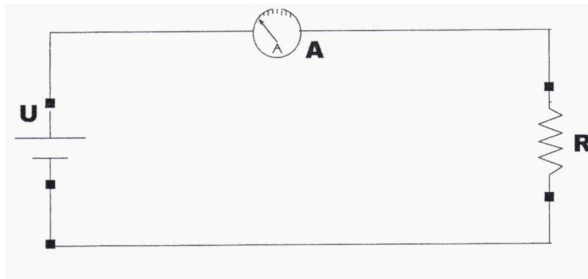


Εικόνα 13: ΠΟΛΥΜΕΤΡΟ.

Πηγή: Διδάσκων (2014).

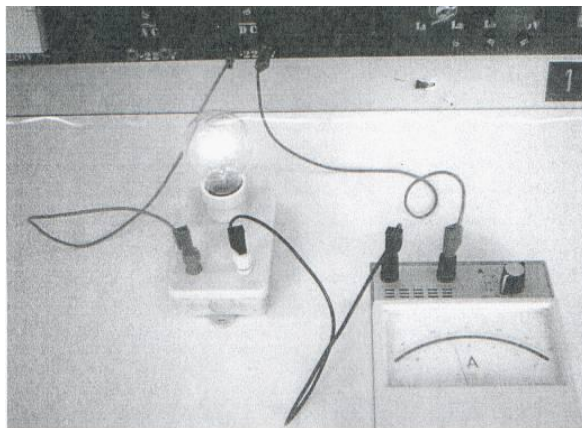
8. Συνδεσμολογίες Οργάνων

Α) ΑΜΠΕΡΟΜΕΤΡΟ.



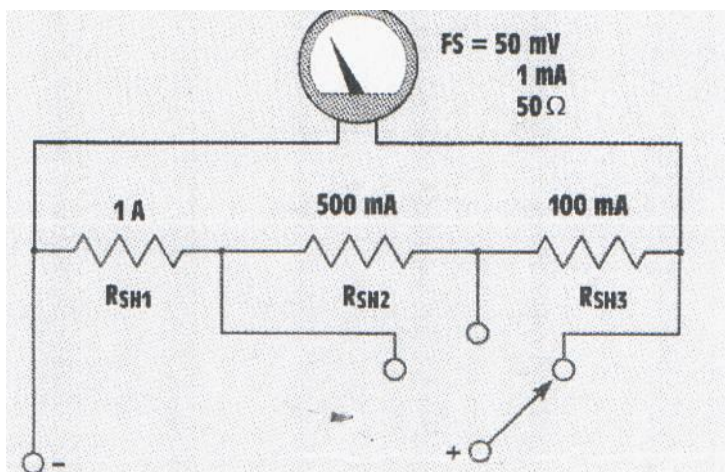
Σχήμα 1: Σχεδιαστική.

Πηγή: Διδάσκων (2014).



Εικόνα 14: Πρακτική.

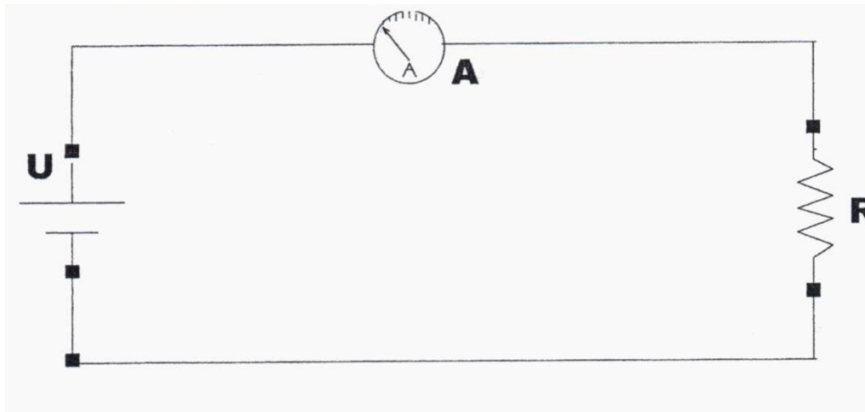
Πηγή: Διδάσκων (2014).



Εικόνα 15: Εσωτερικό οργάνου.

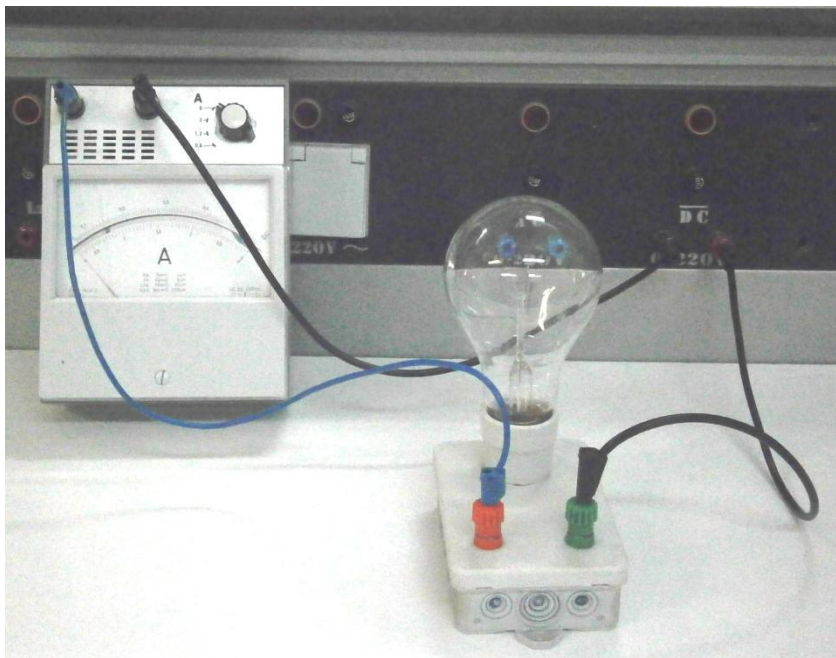
Πηγή: Herman (1998).

Β) ΒΟΛΤΟΜΕΤΡΟ.



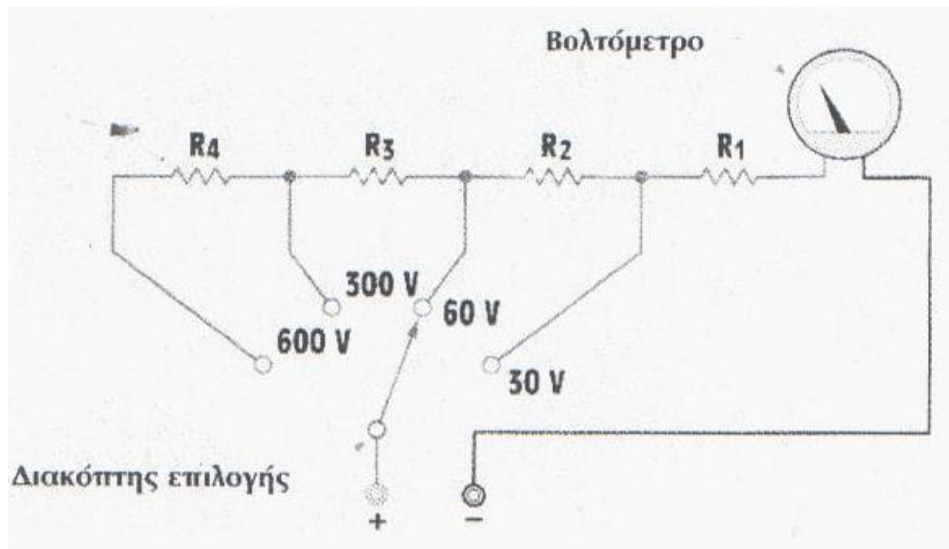
Σχήμα 2: Σχεδιαστική.

Πηγή: Διδάσκων (2014).



Εικόνα 16: Πρακτική.

Πηγή: Διδάσκων (2014).



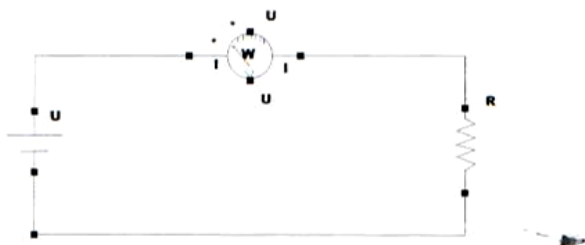
Εικόνα 17: Εσωτερικό οργάνου.

Πηγή: Herman (1998).

Γ) ΒΑΤΟΜΕΤΡΟ.

Συνδεσμολογία κατά βήματα.

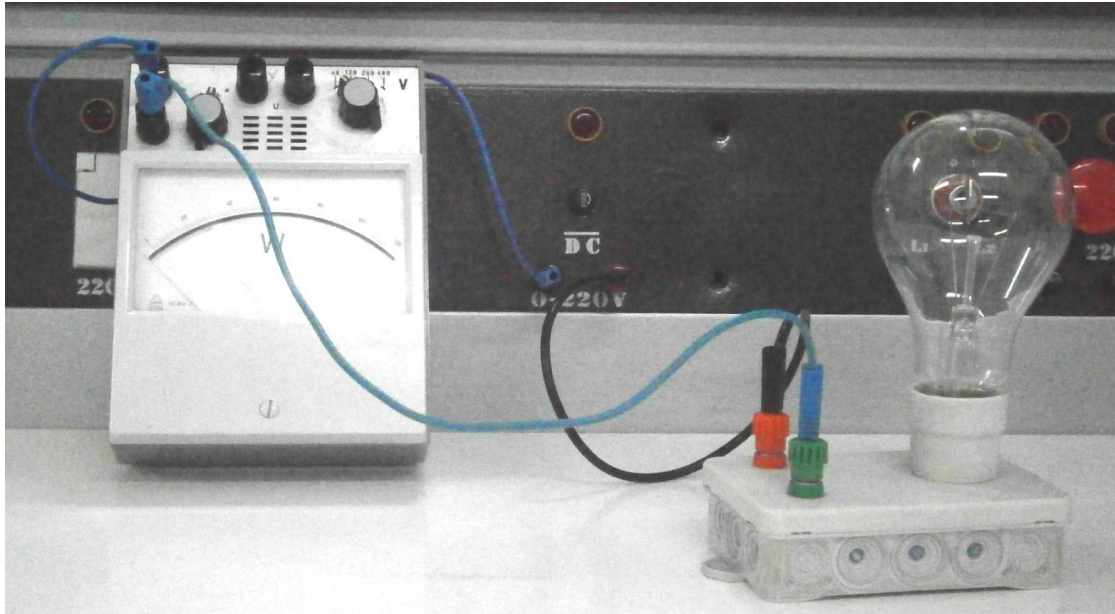
1ο Βήμα (Συνδέουμε το πηνίο αμπερομέτρου).



α) Σύνδεση πηνίου αμπερομέτρου του βαττόμετρου (σχέδιο).

Σχήμα 3: Σύνδεση πηνίου αμπερομέτρου του βαττόμετρου (σχέδιο).

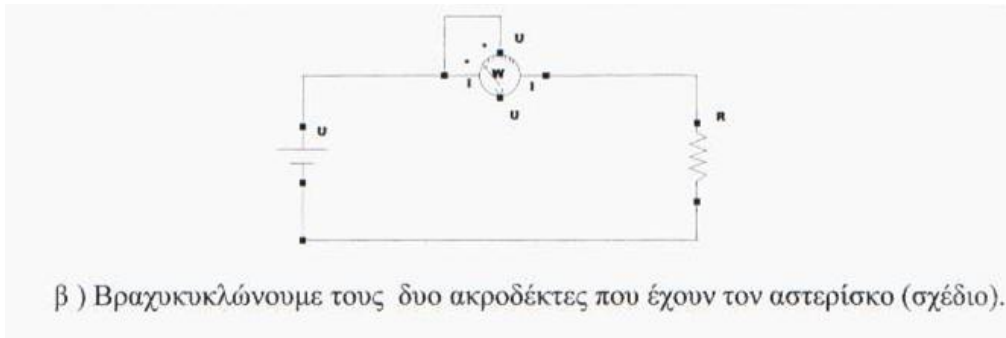
Πηγή: Διδάσκων (2014).



Εικόνα 18: Πρακτική συνδεσμολογία 1ου βήματος.

Πηγή: Διδάσκων (2014).

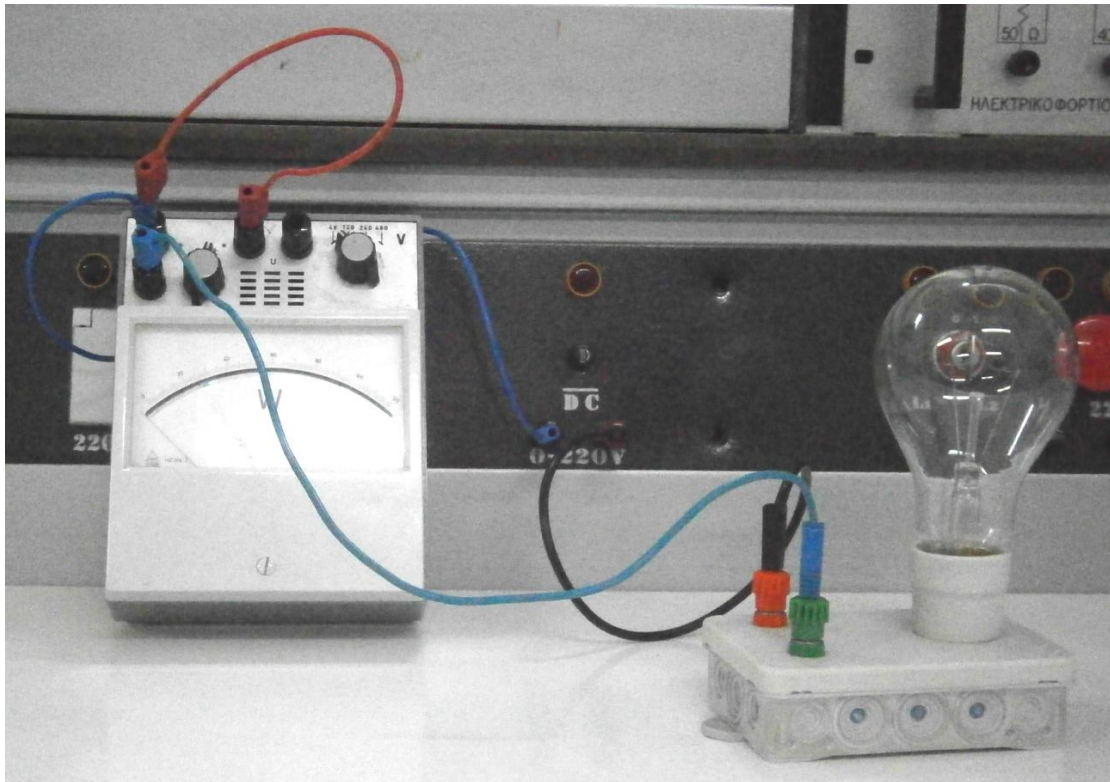
2ο Βήμα (Συνδέουμε αστερίσκο με αστερίσκο).



β) Βραχυκυκλώνουμε τους δυο ακροδέκτες που έχουν τον αστερίσκο (σχέδιο).

Σχήμα 4: βραχυκύκλωση των 2 ακροδεκτών που έχουν αστερίσκο (σχέδιο).

Πηγή: Διδάσκων (2014).



Εικόνα 19: Πρακτική συνδεσμολογία 2ου βήματος.

Πηγή: Διδάσκων (2014).

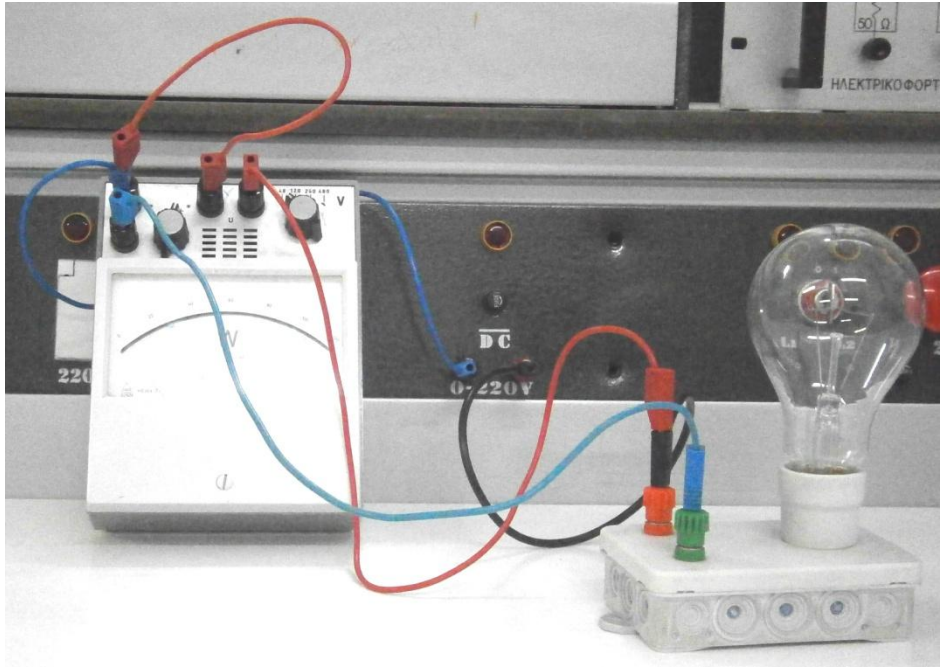
3ο Βήμα (Συνδέουμε το άλλο άκρο του πηνίου βολτομέτρου).



γ) Συνδέουμε και το δεύτερο άκρο του τυλίγματος του βολτομέτρου .

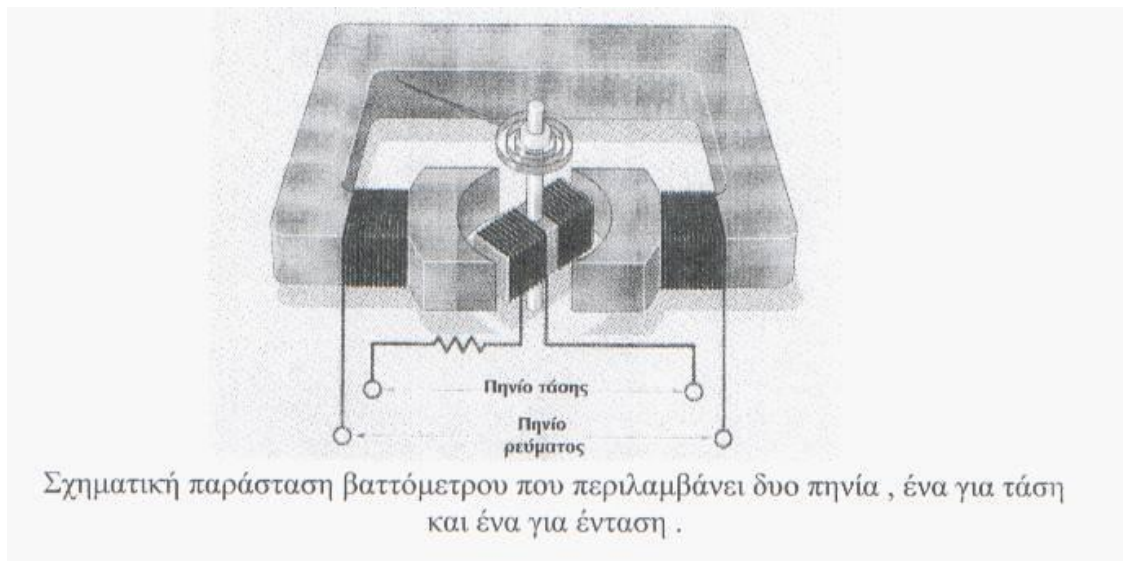
Σχήμα 5: Σύδεση και του δεύτερου άκρου του τυλίγματος του βολτομέτρου.

Πηγή: Διδάσκων (2014).



Εικόνα 20: Πρακτική συνδεσμολογία 2ου βήματος.

Πηγή: Διδάσκων (2014).



Σχήμα 6: Σχηματική παράσταση βαττόμετρο με 2 πηνία.

Πηγή: Herman (1998).

9. Διαδικασία Μέτρησης

Πριν από κάθε μέτρηση θα πρέπει πρώτα απ' όλα να μηδενίσουμε το όργανο. Η διαδικασία αυτή γίνεται με μια βίδα που υπάρχει στο κάτω μέρος της πρόσοψης του οργάνου και στο κέντρο. Αφού τελειώσουμε με αυτή την διαδικασία συνεχίζουμε με τα εξής βήματα :

1. Επιλέγουμε την μεγαλύτερη κλίμακα από τον μεταγωγικό διακόπτη που υπάρχει συνήθως στο επάνω δεξιά μέρος της πρόσοψης. Την ενέργεια αυτή την κάνουμε για να προστατέψουμε το όργανο από μια τυχόν μεγαλύτερη μέτρηση απ' ότι επιτρέπετε σε μια άλλη κλίμακα γιατί δεν ξέρουμε την τιμή του μετρούμενου μεγέθους.
2. Μεταβάλλοντας τον διακόπτη προς μικρότερη κλίμακα προσπαθούμε, αν αυτό είναι δυνατόν, να φέρουμε την βελόνα από το κέντρο της κλίμακας και προς τα δεξιά της διαδρομής της. Αυτό το κάνουμε για να έχουμε όσο το δυνατόν πιο ακριβή μέτρηση.
3. Η εύρεση της τιμής του μεγέθους που μετράμε βρίσκεται απ' τον συνδυασμό δύο παραγόντων. Α) Της θέσης του μεταγωγικού διακόπτη και Β) Της θέσης της βελόνας στην κλίμακα. Η θέση του διακόπτη μας οδηγεί να επιλέξουμε σε ποια κλίμακα θα πάρουμε την μέτρησή μας. Αν η κλίμακα αυτή είναι πλήρως ανεπτυγμένη (υπάρχουν δηλαδή όλες οι υποδιαίρεσεις), τότε η μέτρησή μας είναι εύκολη. Απλά μετράμε την υποδιαίρεση στην οποία βρίσκεται η βελόνα και αυτή είναι η μέτρησή μας. Αν η κλίμακά μας όμως δεν είναι πλήρως ανεπτυγμένη, τότε σίγουρα θα είναι κάποιο πολλαπλάσιο μιας ανεπτυγμένης κλίμακας. Σ' αυτή την περίπτωση βρίσκουμε ποιας κλίμακας πολλαπλάσιο είναι η κλίμακα στην οποία βρίσκεται ο διακόπτης, στην συνέχεια μετράμε την τιμή του μεγέθους στην αναπτυγμένη κλίμακα και πολλαπλασιάζουμε με το πολλαπλάσιο.

Προστασία οργάνων.

Τα όργανα των ηλεκτρικών μετρήσεων, πρέπει να προστατεύονται από περιπτώσεις υπέρβασης του ορίου μέτρησης ενός μεγέθους, με τη βοήθεια ειδικών ηλεκτρικών ασφαλειών. Επίσης, τα όργανα θα πρέπει να προστατεύονται από μαγνητικά πεδία, από υψηλές θερμοκρασίες εξωτερικού χώρου και από υπερβολική υγρασία του περιβάλλοντος.

Θα πρέπει να τηρούνται με ακρίβεια οι οδηγίες χρήσης και το προς μέτρηση μέγεθος, να βρίσκεται περίπου στο μέσον της κλίμακας του οργάνου.

Σε περίπτωση μέτρησης άγνωστου μεγέθους, θα πρέπει το όργανο να τίθεται στη μεγαλύτερη περιοχή μέτρησης. Μεγάλη προσοχή πρέπει να δίνεται για περιπτώσεις οργάνων (ωμόμετρα), που δεν πρέπει να συνδέονται σε κυκλώματα που βρίσκονται υπό τάση.

Ανάγνωση ενδείξεων & καταγραφή.

Η ανάγνωση και η καταγραφή των ενδείξεων, θα πρέπει να γίνεται με μεγάλη προσοχή.

Ιδιαίτερη προσοχή, θα πρέπει να δίνεται για την αποφυγή σφάλματος από παράλλαξη, λόγω κακής τοποθέτησης του οφθαλμού του παρατηρητή, σε σχέση με τη βελόνα του οργάνου. Η άκρη της βελόνας, η υποδιαίρεση της κλίμακας και ο οφθαλμός του παρατηρητή, θα πρέπει να βρίσκονται στην ίδια κατακόρυφη ευθεία.

Σε πολλά όργανα, η κλίση της βελόνας δεν είναι ανάλογη με το μέγεθος που μετράμε, με αποτέλεσμα να μην έχουμε σωστές ενδείξεις, σε όλες τις περιοχές της κλίμακας του οργάνου.

Αυτό το πρόβλημα μπορεί να αντιμετωπισθεί, αν χρησιμοποιήσουμε όργανα, με κατάλληλες περιοχές μέτρησης.

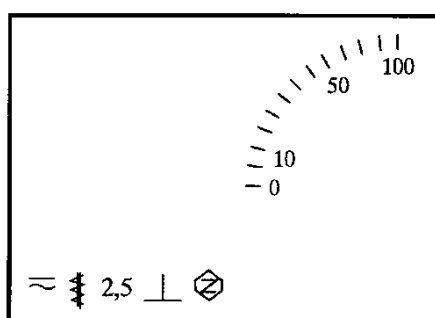
Σύμβολα οργάνων ηλεκτρικών μετρήσεων.

Τα όργανα έχουν στην μπροστινή τους όψη χαρακτηριστικά που δίνουν πληροφορίες, για τον τύπο του οργάνου και τη σωστή του χρήση.

Όταν χρησιμοποιούμε τα όργανα πρέπει να ακολουθούμε πιστά τις οδηγίες του κατασκευαστή.

Ιδιαίτερη προσοχή χρειάζεται στην τοποθέτηση των οργάνων. Υπάρχουν όργανα που πρέπει να τοποθετούνται κατακόρυφα, όργανα που πρέπει να τοποθετούνται οριζόντια και όργανα που πρέπει να τοποθετούνται με κάποια γωνία.

Αν ένα όργανο που πρέπει να τοποθετηθεί κατακόρυφα το τοποθετήσουμε οριζόντια ή σε γωνία, η ένδειξη που θα πάρουμε θα είναι λανθασμένη.



Σχήμα 7: Σύμβολα οργάνων.

Πηγή: Hearman (1998).

Σφάλματα οργάνων και μετρήσεων.

Τα σφάλματα που κάνουμε στις ηλεκτρικές μετρήσεις οφείλονται, τόσο στα όργανα που χρησιμοποιούμε, όσο και στις μεθόδους μέτρησης.

A) Σφάλματα οργάνων.

Όταν με ένα όργανο πραγματοποιούμε μία μέτρηση, το αποτέλεσμα που έχουμε δεν μας δίνει την πραγματική τιμή του μετρούμενου φυσικού μεγέθους. Αυτό μπορούμε να το διαπιστώσουμε αν επαναλάβουμε την ίδια μέτρηση πολλές φορές, είτε με το ίδιο όργανο, είτε με διαφορετικό.

Επομένως, σε κάθε μέτρηση, κάνουμε σφάλματα, που σημαίνει ότι το αποτέλεσμα της μέτρησης, δεν είναι η πραγματική τιμή της ποσότητας που μετράμε.

Τα σφάλματα των οργάνων μέτρησης, οφείλονται σε διάφορες αιτίες που μπορούμε να τις διακρίνουμε σε:

α. **Εσωτερικές αιτίες** (σφάλματα μηχανικά, σφάλματα βαθμολογίας του οργάνου).

β. **Εξωτερικές αιτίες** (σφάλματα από επίδραση της θερμοκρασίας, από την επίδραση μαγνητικών πεδίων κ.λ.π.).

γ. **Υποκειμενικές αιτίες** (σφάλματα λόγω περιοχής δύσκολης ανάγνωσης, σφάλματα από τη μέθοδο μέτρησης κ.λ.π.).

B) Σφάλματα μετρήσεων.

Συνήθως το αποτέλεσμα που έχουμε από μία μέτρηση δεν συμπίπτει ακριβώς με την πραγματική τιμή του μεγέθους που μετράμε. Αυτό μπορούμε να το διαπιστώσουμε κάνοντας πολλές μετρήσεις, είτε με το ίδιο όργανο, είτε με διαφορετικό όργανο είτε με διαφορετικές μεθόδους μετρήσεων.

Σε κάθε περίπτωση εκτός των τυχαίων συμπτώσεων, έχουμε και διαφορετικό αποτέλεσμα.

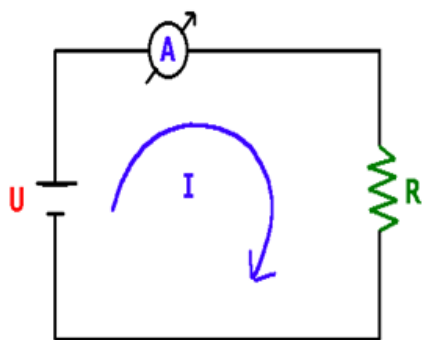
Τα σφάλματα ανάλογα με την προέλευση τους, μπορούν βασικά να διακριθούν σε **συστηματικά σφάλματα** και σε **τυχαία σφάλματα**.

Τα συστηματικά σφάλματα, οφείλονται συνήθως σε ατέλειες των οργάνων μέτρησης ή άλλες γνωστές αιτίες (ατέλειες οργάνων, κακή ρύθμιση μηδενός κ.λ.π.).

Τα τυχαία σφάλματα, οφείλονται σε άγνωστες αιτίες, δηλαδή, έχουμε προέλευση τυχαία. Δεν μπορούμε να εκτιμήσουμε ακριβώς τη θέση της βελόνας σε ένα Ωμόμετρο, οπότε τη στιγμή που γίνεται ανάγνωση της ένδειξης, έχουμε ένα τυχαίο σφάλμα.

10. Πρακτικό Μέρος: Όργανα

A. Με αμπερόμετρο.

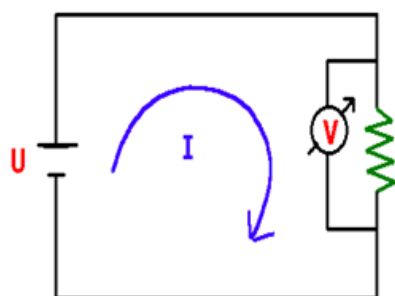


Κλίμακα	Ένδειξη	Συντελεστής	Μέτρηση	Μονάδες
6		2		
3		1		
1,2		2		
0,6		1		

Σχήμα 8: Με αμπερόμετρο.

Πηγή: Διδάσκων (2014).

B. Με βολτόμετρο.

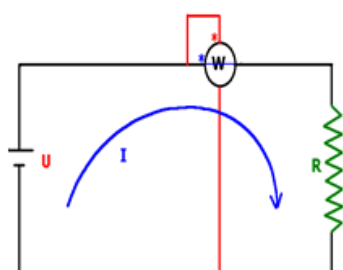


Κλίμακα	Ένδειξη	Συντελεστής	Μέτρηση	Μονάδες
600		1		
300		1		
120		1		
60		1		

Σχήμα 9: Με βολτόμετρο.

Πηγή: Διδάσκων (2014).

Γ. Με βατόμετρο.



Κλίμακα	Ένδειξη	Συντελεστής	Μέτρηση	Μονάδες
480		20		
240		10		
120		5		
48		2		

Σχήμα 10: Με βατόμετρο.

Πηγή: Διδάσκων (2014).

Δ. Με πολύμετρο.

Αντίσταση $R = \dots\dots\dots$ (.....).

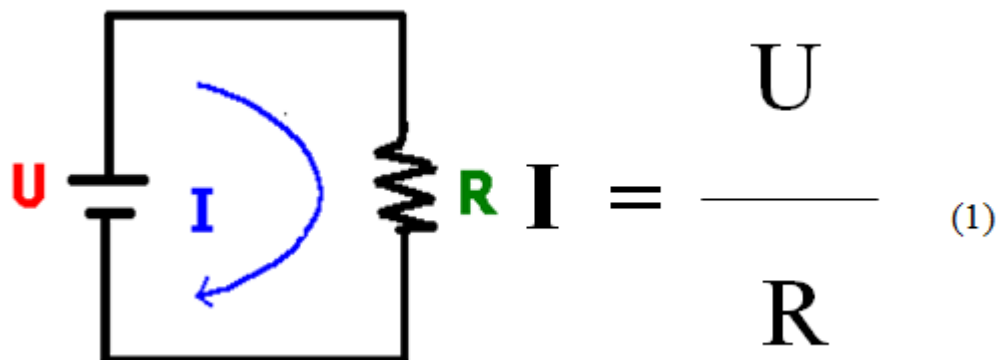
11. Νόμος του OHM – Κανόνες του KIRCOFF

Τα διάφορα ηλεκτρολογικά κυκλώματα διέπονται από διάφορους νόμους και θεωρήματα, με τα οποία μπορούμε να τα εξετάσουμε, αλλά και να τα κατανοήσουμε και να τα αναλύσουμε. Οι πιο βασικοί κανόνες για την ανάλυση και κατανόηση των ηλεκτρικών κυκλωμάτων είναι ο νόμος του Ohm και οι κανόνες του Kirchoff.

ΝΟΜΟΣ ΤΟΥ OHM.

Μετά από μελέτες ετών ο Ohm κατέληξε στο συμπέρασμα ότι σε ένα ενεργό κύκλωμα: Η ένταση που διαρρέει το κύκλωμα είναι ανάλογη με την τάση στα άκρα του κυκλώματος και αντιστρόφως ανάλογη με την συνολική αντίσταση που παρουσιάζει το κύκλωμα.

Περισσότερο κατανοητός για την ώρα γίνεται ο νόμος του Ohm αν τον εξετάσουμε σε ένα απλό κύκλωμα. Έτσι λοιπόν:



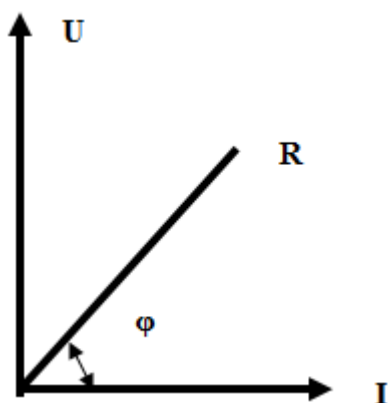
Σχήμα 11: Κύκλωμα.

Πηγή: Διδάσκων (2014).

Η ένταση του ρεύματος μετριέται σε Amper (A), η τάση του ρεύματος μετριέται σε Volt (V) και η αντίσταση του κυκλώματος μετριέται σε Ohm (Ω). Άρα εύκολα βγαίνει το συμπέρασμα ότι : Ένα Amper είναι η ένταση που διαρρέει μια αντίσταση ενός Ohm που στα άκρα της έχουμε πτώση τάσης ενός Volt και το Amper μας δίνεται απ' το πηλίκο του ενός Volt προς ένα Ohm.

Για να παραστήσουμε γραφικά την εξίσωση (1), τοποθετούμε σε έναν ορθογώνιο άξονα την τάση και το ρεύμα ως εξής: Στον άξονα των Y βάζουμε διαδοχικές τιμές τις τάσης που εφαρμόζεται στο κύκλωμα, ενώ στον άξονα των X τις τιμές του ρεύματος που αντιστοιχούν σ' αυτές τις τάσεις. Έτσι θα έχουμε:

$$\epsilon\phi\phi = R = U/I$$



Σχήμα 12: Αναπαράσταση της εξίσωσης 1 (τάση και ρεύμα).

Πηγή: Διδάσκων (2014).

Η σταθερά R της αναλογίας χαρακτηρίζει το υλικό απ' το οποίο είναι κατασκευασμένη η αντίσταση. Οι παραδοχές που πρέπει να κάνουμε είναι δύο. Α) Η αντίσταση δεν επηρεάζεται απ' την θερμοκρασία και Β) Η αντίσταση που χρησιμοποιούμε υπακούει στο νόμο του Ohm. Οι ημιαγωγοί τα ιονισμένα αέρια και άλλες κατηγορίες αντιστάσεων δεν υπακούουν στο νόμο του Ohm.

Ο νόμος του Ohm είναι αρκετός για την επίλυση πάρα πολύ απλών κυκλωμάτων. Όταν όμως τα κυκλώματά μας γίνονται πιο περίπλοκα, τότε τι θα κάνουμε; Την απάντηση σ' αυτό το ερώτημα έδωσε ένας άλλος επιστήμονας, ο Kirchoff.

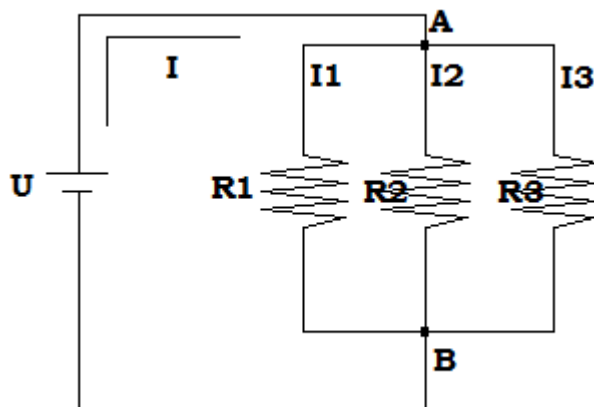
ΚΑΝΟΝΕΣ ΤΟΥ KIRCOFF.

Όταν στο κύκλωμά μας υπάρχει μία μόνο αντίσταση χρησιμοποιούμε όπως είπαμε τον νόμο του Ohm. Αν όμως υπάρχουν περισσότερες αντιστάσεις θα πρέπει πρώτα να ξεκαθαρίσουμε τον τρόπο με τον οποίο είναι αυτές συνδεδεμένες και στην συνέχεια να χρησιμοποιήσουμε έναν απ' τους δύο κανόνες του Kirchoff που είναι οι εξής:

1ος κανόνας του Kirchoff ή κανόνας των εντάσεων : Το άθροισμα των ρευμάτων που εισέρχονται σ' έναν κόμβο είναι ίσο με το άθροισμα των ρευμάτων που εξέρχονται απ' τον κόμβο. (Κόμβος είναι το σημείο του κυκλώματος όπου συναντώνται περισσότερα από ένα στοιχεία ή πηγές. Για να έχουμε κόμβο σ' ένα κύκλωμα θα

πρέπει τα στοιχεία να είναι συνδεδεμένα παράλληλα. Δηλαδή θα πρέπει η αρχή του ενός στοιχείου να είναι συνδεδεμένη με την αρχή του άλλου στοιχείου και το τέλος του ενός με το τέλος του άλλου.)

Μια άλλη έκφραση του πρώτου κανόνα είναι και η εξής : Το αλγεβρικό άθροισμα όλων των ρευμάτων που συναντώνται σ' ένα κόμβο είναι ίσο με το μηδέν.



Σχήμα 13: Κύκλωμα.

Πηγή: Διδάσκων (2014).

Στο συγκεκριμένο κύκλωμα ο πρώτος κανόνας μας λέει: $I=I_1+I_2+I_3$. Το ρεύμα δηλαδή που εισέρχεται στο σημείο A του κόμβου είναι ίσο με το ρεύμα που εξέρχεται απ' το σημείο B του κόμβου. (Αυτό ισχύει για άπειρο αριθμό ρευμάτων.) Η τάση στα άκρα του κόμβου είναι η ίδια, άρα και κάθε στοιχείο ξεχωριστά έχει την ίδια τάση.

Αν στην σχέση αυτή αντικαταστήσουμε τα ρεύματα με το ίσον τους από τον νόμο του Ohm θα έχουμε:

$$\frac{U}{R_{ολ}} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3} \Rightarrow U * \frac{1}{R_{ολ}} = U * \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) \Rightarrow \frac{1}{R_{ολ}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \quad (\text{Σχέση 2})$$

Η δεύτερη σχέση (2) είναι το αποτέλεσμα του πρώτου κανόνα του Kirchoff και μας λέει ότι όταν έχουμε αντιστάσεις συνδεδεμένες παράλληλα τότε η συνολική αντίστασή τους μας δίνεται από την σχέση(2).

Για να θεωρήσουμε ότι ισχύει ο 1^{ος} κανόνας, στο συγκεκριμένο παράδειγμα, θα πρέπει $I_{ολ}=I_1+I_2+I_3$ ή $I_{ολ} - (I_1+I_2+I_3) = 0$.

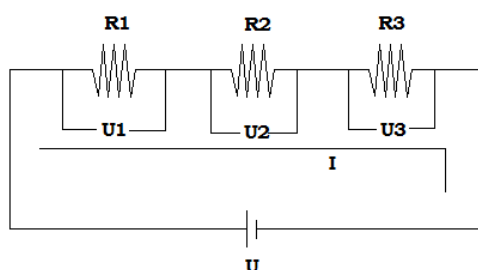
Ο κανόνας δηλαδή μας μιλά για τα ρεύματα ενώ το συμπέρασμά του μας μιλά για τον τρόπο που μπορούμε να βρούμε την συνολική αντίσταση σε παράλληλα συνδεδεμένες αντιστάσεις.

1η ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ : Όταν έχουμε δύο αντιστάσεις παράλληλα συνδεδεμένες και μόνο τότε, αντί να πάρουμε τον γενικό τύπο μπορούμε να πάρουμε τον τύπο:

$$R_{1,2} = \frac{R_1 * R_2}{R_1 + R_2}$$

2η ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ: Σε παράλληλα συνδεδεμένες αντιστάσεις, η συνολική αντίσταση είναι μικρότερη από την μικρότερη αντίσταση στο παράλληλο κύκλωμα.

2ος κανόνας του Kirchoff ή κανόνας των τάσεων: Το άθροισμα των ανυψώσεων δυναμικού κατά μήκος οποιουδήποτε κλειστού βρόγχου είναι ίσο με το άθροισμα των πτώσεων δυναμικού. Μια άλλη έκφραση είναι : Το αλγεβρικό άθροισμα των διαφορών δυναμικού κατά μήκος ενός κλειστού βρόγχου είναι ίσο με μηδέν.



Σχήμα 14:Κύκλωμα.

Πηγή: Διδάσκων (2014).

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα ο δεύτερος κανόνας μας λέει: $U=U_1+U_2+U_3$ ή $U-(U_1+U_2+U_3)=0$.

Οι τύποι αυτοί ισχύουν για άπειρο αριθμό αντιστάσεων συνδεδεμένων σε σειρά (Μια αντίσταση ή ένα στοιχείο είναι συνδεδεμένο σε σειρά με άλλο στοιχείο όταν το τέλος του ενός στοιχείου είναι συνδεδεμένο με την αρχή του άλλου).

Το ρεύμα που διαρρέει τις αντιστάσεις είναι ίδιο σε όλες τις αντιστάσεις.

Αν στην πρώτη σχέση αντικαταστήσουμε τις τάσεις με το ίσον τους από το νόμο του Ohm θα έχουμε :

$$I * R_{ολ} = I * R_1 + I * R_2 + I * R_3 \Rightarrow I * R_{ολ} = I * (R_1 + R_2 + R_3) \Rightarrow R_{ολ} = R_1 + R_2 + R_3$$

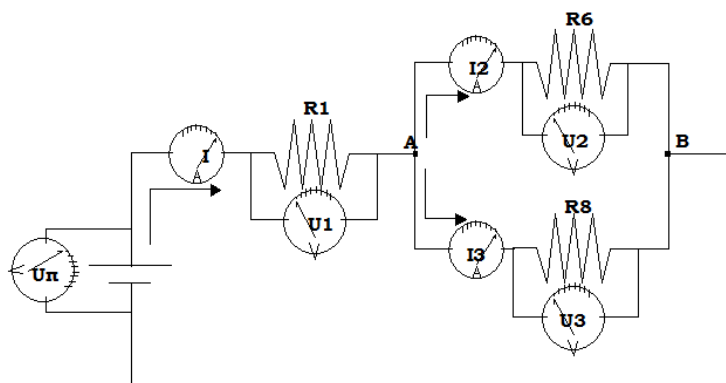
Η τελευταία σχέση είναι το συμπέρασμα του δεύτερου κανόνα του Kirchoff και μας λέει ότι όταν έχουμε αντιστάσεις συνδεδεμένες σε σειρά, η συνολική αντίστασή τους ισούται με το άθροισμα των επί μέρους αντιστάσεων.

Και στον δεύτερο κανόνα το συμπέρασμα αφορά τις αντιστάσεις, ενώ ο κανόνας αφορά τις τάσεις.

Και τους δύο κανόνες τους εξετάσαμε για συγκεκριμένο αριθμό στοιχείων (Αντιστάσεων), ωστόσο ισχύουν για άπειρο αριθμό στοιχείων ο καθένας. Το ίδιο ισχύει και για τα συμπεράσματά τους, δηλαδή τις σχέσεις που διέπουν τις αντιστάσεις σε κάθε κύκλωμα.

12. Πρακτικό Μέρος: Νόμος του Ohm κανόνες Kirchoff

A) Να κατασκευαστεί το παρακάτω κύκλωμα.



Σχήμα 15: Κύκλωμα.

Πηγή: Διδάσκων (2014).

B) Να μετρηθούν :

$I = \dots\dots\dots (\quad)$, $I_2 = \dots\dots\dots (\quad)$, $I_3 = \dots\dots\dots (\quad)$.

$U_{\pi} = \dots\dots\dots (\quad)$, $U_1 = \dots\dots\dots (\quad)$, $U_2 = \dots\dots\dots (\quad)$, $U_3 = \dots\dots\dots (\quad)$.

Γ) Να υπολογιστούν : R_1 , R_2 , R_3 , R_{23} , $R_{ολ}$.

Δ) Να ελεγχθεί αν ισχύει στο σημείο A ο πρώτος κανόνας του Kirchoff.

Ε) Να ελεγχθεί αν ισχύει ο δεύτερος κανόνας του Kirchoff στον βρόγχο.

Στ) Να αιτιολογηθούν τυχόν αποκλίσεις.

13. Ισχύς στο Συνεχές Ρεύμα

Τα στοιχεία που χρησιμοποιούμε στο εργαστήριο, είναι στην πραγματικότητα καταναλωτές. Όταν στον ηλεκτρισμό λέμε καταναλωτές, δεν εννοούμε αυτό που έχει επικρατήσει στις καθημερινές μας συναλλαγές αλλά τις ηλεκτρικές συσκευές οι οποίες συνδεδεμένες σ' ένα κύκλωμα μετατρέπουν την ηλεκτρική ενέργεια σε άλλη μορφή ενέργειας όπως θερμότητα, μηχανική ενέργεια, χημική ενέργεια κ.λ.π.

Η ροή του ηλεκτρικού ρεύματος μέσα από έναν καταναλωτή έχει σαν αποτέλεσμα την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας η οποία όπως είπαμε μετατρέπεται σε άλλη μορφή ενέργειας. Η ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται σε μια συσκευή δίνεται από την σχέση :

$$W = U * I * t \text{ (σχέση 1)}$$

W = το έργο που παράγεται.

U = Η τάση ή η διαφορά δυναμικού στα άκρα του καταναλωτή.

I = Η ένταση του ρεύματος που διαπερνά τον καταναλωτή.

t = Ο χρόνος, δηλαδή η χρονική περίοδος κατά την οποία παράγει έργο ο καταναλωτής.

Το έργο όμως δεν είναι ένα μέγεθος το οποίο μας είναι άμεσα απαραίτητο στον ηλεκτρισμό. Μας βοηθάει όμως να υπολογίσουμε την ισχύ σ' ένα κύκλωμα συνεχούς ρεύματος. Ισχύς σ' ένα κύκλωμα είναι ο ρυθμός κατανάλωσης έργου ή ο ρυθμός της ροής ηλεκτρικής ενέργειας και δίνεται από την σχέση:

$$P = W / t \text{ (σχέση 2).}$$

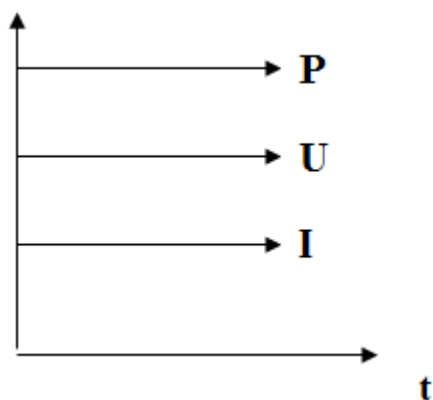
Αν τώρα στην σχέση 2 αντικαταστήσουμε την σχέση 1 το αποτέλεσμα θα είναι:

$$P = U * I \text{ (σχέση 3).}$$

Η σχέση 3 μας δίνει την ισχύ σε ένα κύκλωμα συνεχούς ρεύματος. Αντικαθιστώντας τώρα στην σχέση 3 την τάση ή την ένταση με τον νόμο του Ohm μπορούμε να πάρουμε τις εξής σχέσεις:

$$I = U/R \text{ άρα } P = U^2/R . \text{ Αν αντίστοιχα πάρουμε } U = I * R \text{ η σχέση 3 γίνεται } P = I^2 * R.$$

Στο συνεχές ρεύμα η τάση, η ένταση και η ισχύς σε συνάρτηση με τον χρόνο παραμένουν σταθερές. Αν δηλαδή θελήσουμε να τις απεικονίσουμε σ' έναν ορθογώνιο άξονα θα έχουμε την εξής παράσταση:



Σχήμα 16: Απεικόνιση τάσης, έντασης και ισχύς.

Πηγή: Διδάσκων (2014).

Αν ο καταναλωτής μας είναι μία καθαρή ωμική αντίσταση, τότε όλη η ηλεκτρική ενέργεια μετατρέπεται σε θερμική ενέργεια.

Μονάδα μέτρησης της ισχύος είναι το Watt (W). Ένα Watt είναι η ισχύς που καταναλώνεται σε έναν καταναλωτή ο οποίος διαρρέεται από ρεύμα εντάσεως ενός Ampere και στα άκρα του υπάρχει διαφορά δυναμικού ενός Volt . $1W = 1V * 1A$.

Μονάδα μέτρησης του ηλεκτρικού έργου είναι το Joule. $1Joule = 1Watt * 1 Sec$.

Στους οικιακούς μετρητές που τοποθετεί η ΔΕΗ στα σπίτια μας, μονάδα μέτρησης δεν είναι το Watt, αλλά η kWh (κιλοβατώρα). Μία κιλοβατώρα είναι η κατανάλωση που έχουμε σε kW για χρόνο μίας ώρας.

Μέτρηση ισχύος.

Για να μετρήσουμε την ισχύ σε ένα κύκλωμα υπάρχουν δύο βασικοί τρόποι:

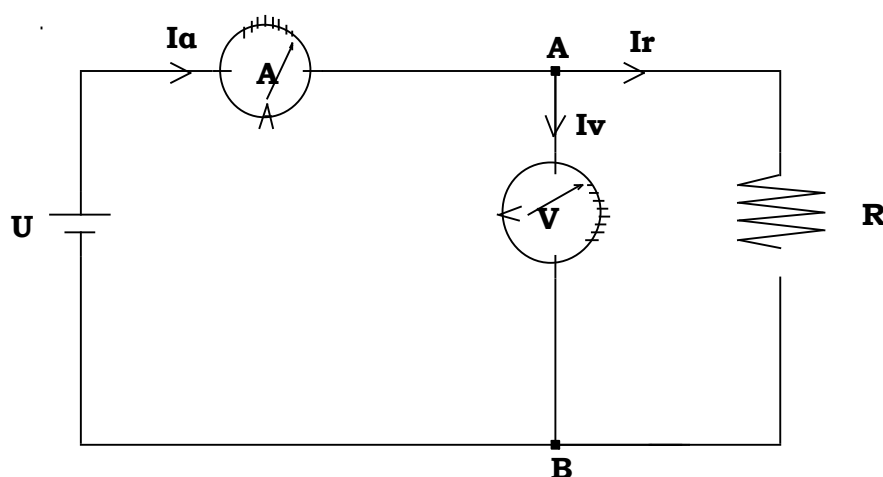
A) Ο έμμεσος (Με την χρήση ενός αμπερομέτρου και ενός βολτομέτρου).

B) Ο άμεσος (Με την χρήση ενός βαττομέτρου).

A) Έμμεσος τρόπος μέτρησης ισχύος (Με Αμπερόμετρο και Βολτόμετρο).

Υπάρχουν δύο τρόποι με τους οποίους μπορούμε να συνδέσουμε τα όργανα σ' ένα κύκλωμα για να μετρήσουμε την ισχύ με έμμεσο τρόπο.

1) Το αμπερόμετρο αμέσως μετά την πηγή και το βολτόμετρο στα άκρα της αντίστασης.



Σχήμα 17: Αμπερόμετρο αμέσως μετά την πηγή και το βολτόμετρο στα άκρα της αντίστασης.

Πηγή: Διδάσκων (2014).

Σε αυτόν τον τρόπο σύνδεσης παρατηρούμε ότι :

A) Το Βολτόμετρο είναι συνδεδεμένο στα άκρα της αντίστασης και άρα μετρά άμεσα την πτώση τάσης που έχουμε στην αντίσταση.

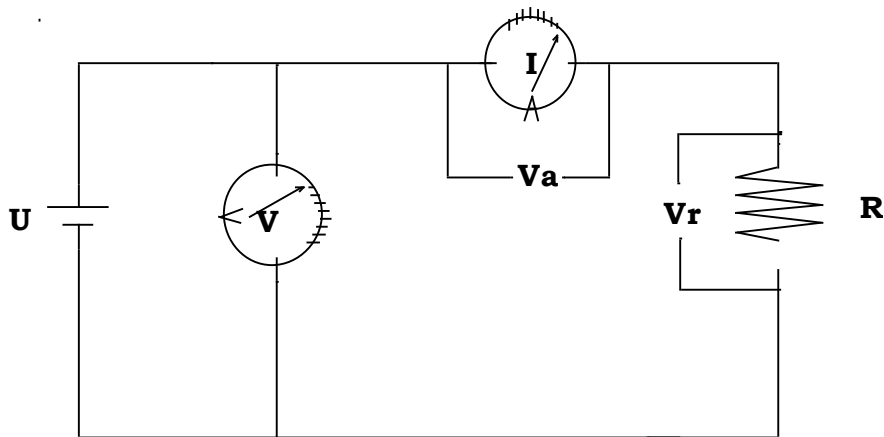
B) Το Αμπερόμετρο μετρά την ένταση του ρεύματος πριν από τον κόμβο A. Στον κόμβο A το ρεύμα χωρίζεται σε δύο ρεύματα γιατί και το Βολτόμετρο παρουσιάζει μία αντίσταση (Άπειρη σύμφωνα με την θεωρία μας) Σύμφωνα όμως με τον πρώτο κανόνα του Kirchoff τα ρεύματα που εισέρχονται σ' ένα κόμβο είναι ίσα με τα ρεύματα που εξέρχονται. Δηλαδή στο σημείο A έχουμε : $I_a = I_r + I_v$. Άρα το αμπερόμετρο δεν μετρά την ένταση του ρεύματος που διαπερνά την αντίσταση. Το ρεύμα στο βολτόμετρο δίνεται από την σχέση: $I_v = V/R_v$ (Από το νόμο του Ohm). Αν η R_v είναι σχεδόν άπειρη, τότε ο παρανομαστής της σχέσης γίνεται άπειρος και το ρεύμα I_v γίνεται σχεδόν μηδέν. Άρα το ρεύμα που μετρά το αμπερόμετρο θα είναι το ρεύμα που περνά από την αντίσταση γιατί το $I_v = 0$ δηλαδή η σχέση θα γίνει $I_a = I_r + 0 = I_a$.

Έστω ότι η αντίσταση δεν είναι άπειρη αλλά πάρα πολλή μεγαλύτερη από την R τότε το ρεύμα που πάντα διαλέγει την πιο εύκολη διαδρομή διέλευσης θα περάσει σχεδόν όλο από την αντίσταση και άρα το αμπερόμετρο θα μετρά πάλι την ένταση του ρεύματος που διαπερνά την αντίσταση. Ο τύπος θα γίνει $I_a = I_r$.

Εάν λοιπόν η εσωτερική αντίσταση του πηνίου Βολτομέτρου είναι σχεδόν άπειρο τότε δεν έχουμε σφάλμα στον υπολογισμό της ισχύος που παίρνουμε από τον τύπο $P = I_a * V$.

Εάν όμως η αντίσταση του Βολτομέτρου δεν είναι άπειρη ή δεν είναι κατά πολύ μεγαλύτερη της αντίστασης του κυκλώματος τότε το ρεύμα που μετράμε με το Αμπερόμετρο δεν είναι το ρεύμα που περνά από την αντίσταση και άρα η ισχύς που υπολογίζουμε δεν είναι ακριβής.

II) Το βολτόμετρο στα άκρα της πηγής και το αμπερόμετρο πριν την αντίσταση.



Σχήμα 18: Βολτόμετρο στα άκρα της πηγής και το αμπερόμετρο πριν την αντίσταση.

Πηγή: Διδάσκων (2014).

Σε αυτόν τον τρόπο σύνδεσης παρατηρούμε ότι :

A) Το Αμπερόμετρο μετρά την ένταση του ρεύματος που διαπερνά την αντίσταση χωρίς σφάλμα γιατί δεν παρεμβάλλεται τίποτα μεταξύ αυτού και της αντίστασης.

B) Το βολτόμετρό μας όμως δεν μετρά την πτώση τάσης μόνο στα άκρα της αντίστασης. Έχουμε ένα βρόγχο και σύμφωνα με το δεύτερο κανόνα του Kirchoff το βολτόμετρό μας μετρά και την πτώση τάσης στα άκρα του αμπερομέτρου. Δηλαδή: $V=V_a+V_r$. Ξέρουμε όμως πως η εσωτερική αντίσταση του αμπερομέτρου είναι σχεδόν μηδενική. Εφόσον συμβαίνει αυτό θα έχουμε : $V_a=I \cdot 0 = 0$. Άρα η σχέση μας γίνεται: $V= 0+V_r=V_r$. Δηλαδή το βολτόμετρό μας μετρά μόνο την πτώση τάσης στα άκρα της αντίστασης γιατί δεν παρουσιάζεται δυναμικό στα άκρα του αμπερομέτρου.

Εάν τώρα η αντίσταση του αμπερομέτρου δεν είναι μηδενική αλλά πάρα πολύ μικρότερη σε σχέση με την αντίστασή μας, τότε πάλι η πτώση τάσης που μετρά το βολτόμετρό μας είναι σχεδόν ίση με την πτώση τάσης στα άκρα της αντίστασης με ένα αμελητέο σφάλμα.

Εάν λοιπόν η εσωτερική αντίσταση του πηνίου του αμπερομέτρου είναι σχεδόν μηδενική δεν έχουμε σφάλμα στον υπολογισμό της ισχύος του κυκλώματος μας που μας δίνεται από τον τύπο: $P=I \cdot V_r$.

Εάν όμως η εσωτερική αντίσταση του πηνίου του αμπερομέτρου δεν είναι σχεδόν μηδέν ή έστω δεν είναι πολύ μικρότερη από την αντίσταση του κυκλώματός μας, τότε το βολτόμετρό μας δεν μετρά μόνο την πτώση τάσης στα άκρα της αντίστασης και επομένως η ισχύς που υπολογίζουμε δεν είναι ακριβής.

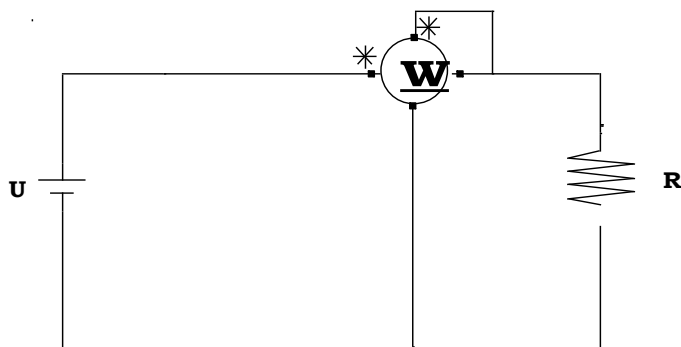
Συμπερασματικά θα λέγαμε ότι στον έμμεσο τρόπο εύρεσης της ισχύος κύριο ρόλο παίζουν οι εσωτερικές αντιστάσεις των οργάνων που χρησιμοποιούμε. Γι αυτόν τον

λόγο θα πρέπει να διαλέγουμε για τις μετρήσεις μας αμπερόμετρα με εσωτερική αντίσταση σχεδόν μηδέν και βολτόμετρα με εσωτερική αντίσταση σχεδόν άπειρη.

B) Άμεσος τρόπος μέτρησης ισχύος (Με Βατομετρο)

Υπάρχουν δύο τρόποι που μπορούμε να συνδέσουμε ένα βατόμετρο σ' ένα κύκλωμα για να μετρήσουμε την ισχύ του άμεσα.

I) Το πηνίο αμπερομέτρου αμέσως μετά την πηγή και το πηνίο βολτομέτρου στα άκρα της αντίστασης.

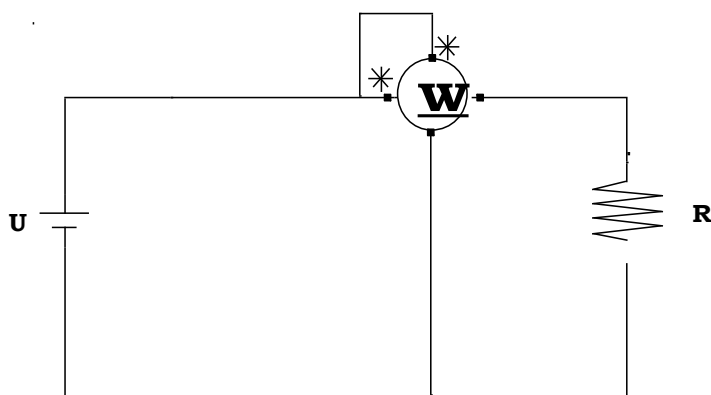


Σχήμα 19: Πηνίο αμπερομέτρου αμέσως μετά την πηγή και το πηνίο βολτομέτρου στα άκρα της αντίστασης.

Πηγή: Διδάσκων (2014).

Στην περίπτωση αυτή τα πηνία του οργάνου είναι συνδεδεμένα όπως ακριβώς και στην πρώτη περίπτωση του έμμεσου τρόπου μέτρησης. Άρα ισχύουν όσα είπαμε στην περίπτωση αυτή με την διαφορά ότι εδώ δεν μπορούμε να προσδιορίσουμε την πιθανότητα σφάλματος.

II) Το πηνίο βολτομέτρου στα άκρα της πηγής και το πηνίο αμπερομέτρου πριν την αντίσταση.



Σχήμα 20: Πηνίο βολτομέτρου στα άκρα της πηγής και το πηνίο αμπερομέτρου πριν την αντίσταση.

Πηγή: Διδάσκων (2014).

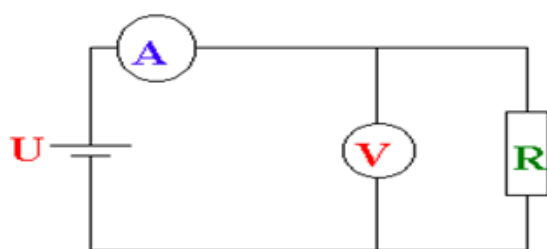
Στην περίπτωση αυτή τα πηνία του οργάνου είναι συνδεδεμένα όπως ακριβώς και στην δεύτερη περίπτωση του έμμεσου τρόπου μέτρησης. Άρα ισχύουν όσα είπαμε στην περίπτωση αυτή με την διαφορά ότι εδώ δεν μπορούμε να προσδιορίσουμε την πιθανότητα σφάλματος.

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ: Η ικανότητα του Βατομέτρου δεν προσδιορίζεται μόνο από τα μέγιστα Watts που μπορεί να μετρήσει, αλλά και από το μέγιστο ρεύμα που μπορεί να περάσει από το πηνίο έντασης και από την μέγιστη τάση που μπορεί να δεχθεί το πηνίο τάσης. Είναι απαραίτητο να μην ξεπεράσουμε τις μέγιστες τιμές τάσης και έντασης ακόμα και αν είναι μικρότερη από την μέγιστη τιμή ισχύος με βολτόμετρο και αμπερόμετρο (έμμεσος τρόπος).

14. Πρακτικό Μέρος: Μέτρηση ισχύος στο Συνεχές Ρεύμα (DC)

Εργαστηριακές Μετρήσεις:

A) Κατασκευάσαμε το κύκλωμα με το αμπερόμετρο πριν το βολτόμετρο και μετρήσαμε:



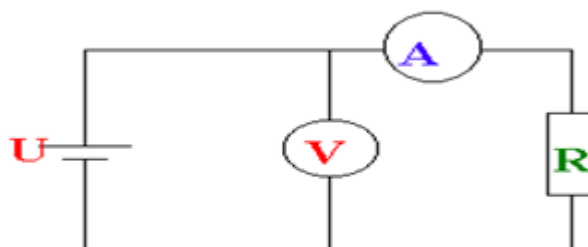
1ο Κύκλωμα

$I = \dots\dots\dots ()$ και $U = \dots\dots\dots ()$

Σχήμα 21: 1^ο Κύκλωμα.

Πηγή: Διδάσκων (2014).

B) Κατασκευάσαμε το κύκλωμα με το αμπερόμετρο μετά το βολτόμετρο και μετρήσαμε :



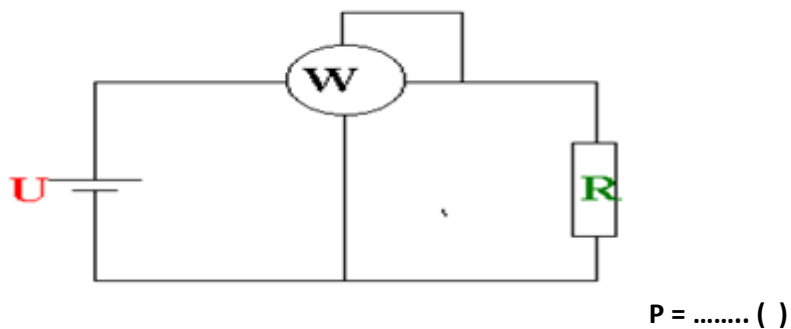
2ο Κύκλωμα

$I = \dots\dots\dots ()$ και $U = \dots\dots\dots ()$

Σχήμα 22: 2ο Κύκλωμα.

Πηγή: Διδάσκων (2014).

Γ) Κατασκευάσαμε το κύκλωμα με βατόμετρο όπου το πηνίο αμπερομέτρου συνδέεται μετά το πηνίο βολτομέτρου και μετρήσαμε:

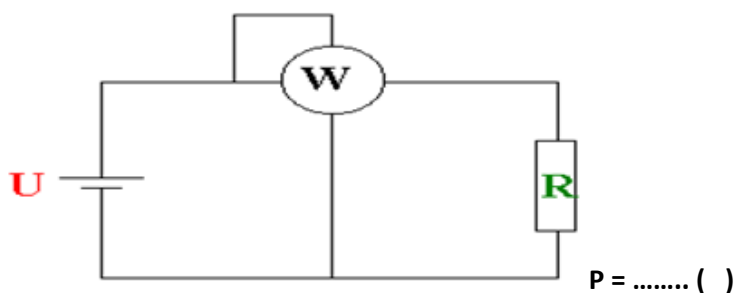


Σχήμα 23: 3ο Κύκλωμα.

Πηγή: Διδάσκων (2014).

3^ο Κύκλωμα

Δ) Κατασκευάσαμε το κύκλωμα με βατόμετρο όπου το πηνίο αμπερομέτρου συνδέεται πριν το πηνίο βολτομέτρου και μετρήσαμε :



Σχήμα 24: Κύκλωμα.

Πηγή: Διδάσκων (2014).

4^ο Κύκλωμα.

Ερωτήσεις

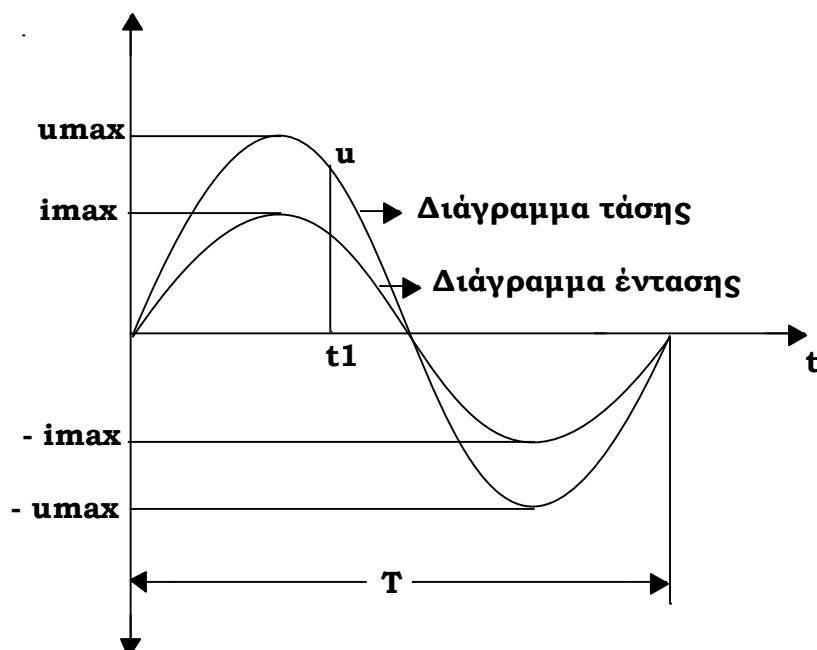
1. Να συγκριθούν τα κυκλώματα 1 και 2 και να γραφούν τα συμπεράσματά σας.

2. Να συγκριθούν τα κυκλώματα 3 και 4 και να γραφούν τα συμπεράσματά σας.

15. Εναλλασσόμενο Ρεύμα

Γενικά

Εάν θελήσουμε να παραστήσουμε την μεταβολή της τάσης και της έντασης, σε σχέση με τον χρόνο, στο Εναλλασσόμενο Ρεύμα, θα πάρουμε ένα διάγραμμα ημιτονοειδούς μορφής (ίσες θετικές – ίσες αρνητικές τιμές) της μορφής :



Διάγραμμα 2: Μεταβολή της τάσης και της έντασης σε σχέση με τον χρόνο στο Ε.Ρ.

Πηγή: Διδάσκων (2014).

Η τάση μας ξεκινάει απ' το μηδέν, παίρνει μία **μέγιστη** θετική τιμή που την ονομάζουμε u_0 μηδενίζεται ξανά, παίρνει μία **μέγιστη** αρνητική τιμή $-u_0$ και ξανά μηδενίζεται. Ο χρόνος που χρειάζεται για να γίνει αυτό ονομάζεται περίοδος και συμβολίζεται με το γράμμα **T**. Το ίδιο ισχύει και για το ρεύμα. Η τάση και το ρεύμα στο διάγραμμά μας είναι συμφασικά.

Από το παραπάνω διάγραμμα μπορούμε να υπολογίσουμε την μεταβολή της τάσης για όποια χρονική στιγμή θέλουμε. Έστω η χρονική στιγμή t_2 στην οποία η τάση παίρνει την τιμή u . Η τάση αυτή ονομάζεται στιγμιαία τάση και ισούται με:

$$u = u_0 \cdot \eta\mu(\omega \cdot t_1).$$

- u_0 η μέγιστη τιμή της τάσης.
- ω η κυκλική συχνότητα ή γωνιακή ταχύτητα ($\omega = 2\pi f$. $\pi = 3,14$ και f η συχνότητα σε Hz) που μετριέται σε **rad/sec**.

Το ίδιο ισχύει και για την ένταση του ρεύματος.

Η τιμή την οποία μετράμε εμείς με το βολτόμετρό μας ονομάζεται ενεργός τιμή της τάσης και ισούται με: $U = 0.707 * u_0$ σε Volt. Η ενεργός τιμή της έντασης ισούται με $I = 0.707 * i_0$.

Συχνότητα ονομάζεται το πηλίκο $1/T$ και μετριέται σε Hz. Συχνότητα είναι ο αριθμός των περιόδων σε ένα δευτερόλεπτο. Στην Ελλάδα η συχνότητα είναι 50 Hz.

Στο εναλλασσόμενο ρεύμα παύουμε να έχουμε απόλυτες τιμές μεγεθών και έχουμε να κάνουμε με διανυσματικά μεγέθη. Αυτό σημαίνει πως θα πρέπει να έχουμε διαρκώς υπ' όψιν μας την πρόσθεση διανυσματικών μεγεθών.

Ένα διάνυσμα ορίζεται από το μέτρο την διεύθυνση και την φορά του. Κατά την πραγματοποίηση των υπολογισμών μας λοιπόν θα πρέπει να ορίζουμε τα μεγέθη μας πλήρως. Δηλαδή δεν αρκεί μόνο να υπολογίσουμε το μέτρο τους αλλά θα πρέπει να ορίσουμε και την διεύθυνση και την φορά τους.

Για να μπορέσουμε να τοποθετήσουμε τα μεγέθη μας σ' έναν ορθογώνιο άξονα συντεταγμένων θα πρέπει να γνωρίζουμε ότι :

- Όταν συνδέουμε έναν ωμικό καταναλωτή R στο εναλλασσόμενο ρεύμα (E.P.), τότε η τάση U , που εφαρμόζεται στα άκρα του και το ρεύμα I που τον διαρρέει, **βρίσκονται σε φάση**.
- Όταν συνδέουμε έναν καθαρά επαγωγικό καταναλωτή X_L στο E.P., τότε η τάση U στα άκρα του προπορεύεται του ρεύματος I κατά 90° .
- Όταν συνδέουμε έναν χωρητικό καταναλωτή X_C στο E.P., τότε η τάση U στα άκρα του **καθυστερεί** του ρεύματος I κατά 90° .

Επίσης θα πρέπει να γνωρίζουμε πως:

- ότι έχει σχέση με καθαρά ωμικά φορτία τοποθετείται στον άξονα των χ και είναι πραγματικός αριθμός.
- Ότι έχει σχέση με επαγωγικά και χωρητικά φορτία είναι φανταστικός αριθμός και τοποθετείται στον άξονα των ψ .

Οι αντιστάσεις που βρίσκουμε στα κυκλώματά μας έχουν τα εξής χαρακτηριστικά :

R = Ωμική αντίσταση που μετριέται σε (Ω).

X_L = Αυτεπαγωγική αντίσταση που μετριέται σε (Ω).

$X_L = \omega * L$.

Όπου L = συντελεστής αυτεπαγωγής και μετριέται σε (Henry).

Όπου $\omega = 2\pi f$ η γωνιακή ταχύτητα και μετριέται σε rad/sec.

X_c = Χωρητική αντίσταση και μετριέται σε (Ω).

$$X_c = \frac{1}{\omega * C}$$

Όπου C η χωρητικότητα του πυκνωτή και μετριέται σε **F (Farad)**.

Όταν έχουμε συνδυασμό φορτίων στο κύκλωμα, ωμικά, επαγωγικά, χωρητικά, τότε η συνολική αντίσταση του κυκλώματος ονομάζεται σύνθετη αντίσταση και συμβολίζεται με το γράμμα Z .

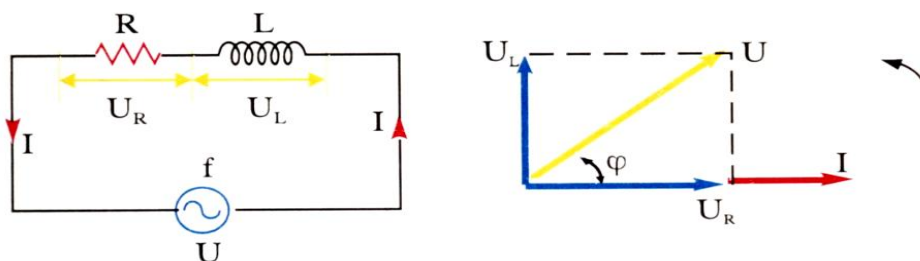
16. Σύνδεση R – L – C σε Σειρά

ΣΥΝΔΕΣΗ R – L ΣΕ ΣΕΙΡΑ.

Όταν έχουμε συνδεδεμένο ένα ωμικό και ένα καθαρά επαγωγικό φορτίο, τότε από το δεύτερο κανόνα του Kirchoff το ρεύμα είναι ίδιο αλλά έχουμε διαφορετικές τάσεις.

Στο ωμικό φορτίο η τάση είναι σε φάση με το ρεύμα.

Στο επαγωγικό φορτίο η τάση προηγείται του ρεύματος κατά 90° .



Εικόνα 21: Αντίσταση και πηνίο σε σειρά.

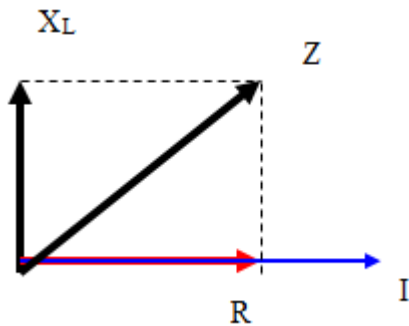
Πηγή: Διδάσκων (2014).

Από το Πυθαγόρειο θεώρημα έχουμε : $U = \sqrt{U_R^2 + U_L^2}$ και $\cos \phi = \frac{U_R}{U}$

Αν τώρα διαιρέσουμε στο διανυσματικό διάγραμμα των τάσεων, τις τρεις τάσεις U , U_R , U_L με το ρεύμα του κυκλώματός I , θα πάρουμε το διανυσματικό διάγραμμα των αντιστάσεων :

Στο διάγραμμα έχουμε πάρει ως : $R = U_R/I$, $X_L = U_L/I$ και $Z = U/I$.

Από το Πυθαγόρειο θεώρημα έχουμε λοιπόν: $Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$ και $\cos \phi = \frac{R}{Z}$



Διάγραμμα 3: Διάγραμμα εύρεσης συνολικής αντίστασης σε κύκλωμα R-L.

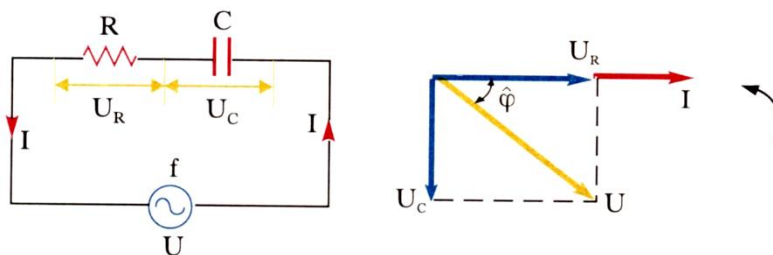
Πηγή: Διδάσκων (2014).

ΣΥΝΔΕΣΗ R – C ΣΕ ΣΕΙΡΑ.

Το ρεύμα είναι ίδιο και στα δύο φορτία από τον δεύτερο κανόνα του Kirchoff.

Η τάση στο ωμικό φορτίο είπαμε πως είναι συμφασική με το ρεύμα.

Η τάση στο χωρητικό φορτίο καθυστερεί του ρεύματος κατά 90° .



Εικόνα 22: Αντίσταση και πυκνωτής σε σειρά.

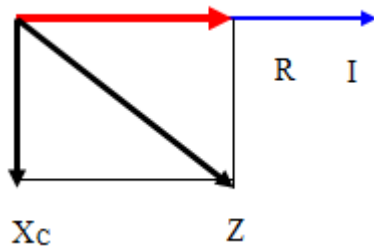
Πηγή: Διδάσκων (2014).

Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία με την περίπτωση αντίστασης και πηνίου σε σειρά καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι:

Στο διάγραμμα έχουμε πάρει ως: $R = U_R/I$, $X_C = U_C/I$ και $Z = U/I$.

Από το Πυθαγόρειο θεώρημα έχουμε λοιπόν:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} \text{ και } \cos \phi = \frac{R}{Z}$$



Διάγραμμα 4: Διάγραμμα εύρεσης συνολικής αντίστασης σε κύκλωμα R-C.

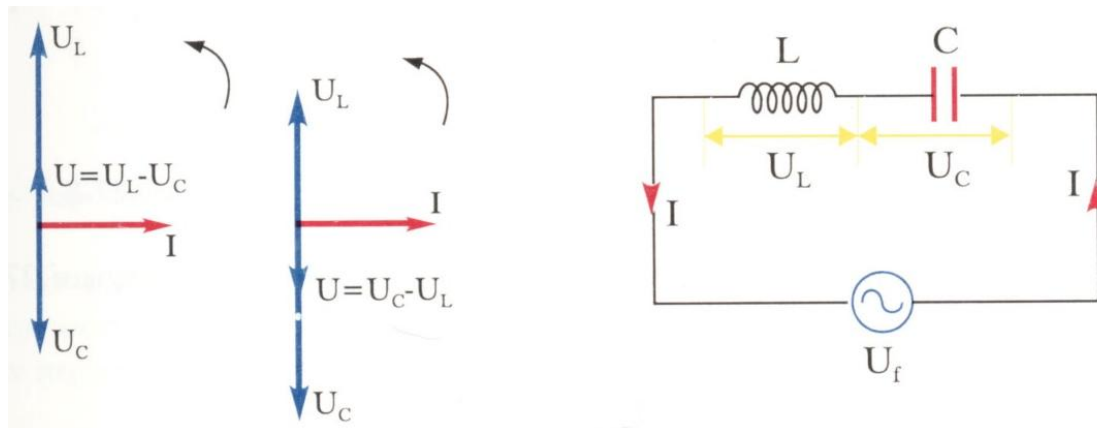
Πηγή: Διδάσκων (2014).

ΣΥΝΔΕΣΗ L – C ΣΕ ΣΕΙΡΑ.

Το ρεύμα του κυκλώματος είναι πάλι το ίδιο και στα δύο φορτία (2ος κανόνας του Kirchoff).

Στο επαγωγικό φορτίο η τάση προηγείται του ρεύματος κατά 90° .

Στο χωρητικό φορτίο η τάση καθυστερεί του ρεύματος κατά 90° .



Σχήμα 25: Εύρεσης συνολικής αντίστασης σε κύκλωμα L-C.

Πηγή: Διδάσκων (2014).

Συμπέρασμα:

- Άρα η τάση στο πηνίο και η τάση στον πυκνωτή είναι αντίθετες.
- Αν η τάση στο πηνίο είναι μεγαλύτερη από την τάση στα άκρα του πυκνωτή, τότε το κύκλωμα παρουσιάζει επαγωγική συμπεριφορά.
- Αν η τάση στον πυκνωτή είναι μεγαλύτερη από την τάση στο πηνίο, τότε το κύκλωμα παρουσιάζει χωρητική συμπεριφορά.
- Αν η τάση στο πηνίο είναι ίση με την τάση στον πυκνωτή τότε έχουμε: $Z = X_L - X_C = 0$. Άρα το ρεύμα του κυκλώματος I θεωρητικά τείνει στο άπειρο.

Στην πράξη δεν υπάρχουν καθαρά επαγωγικά φορτία. Τα πηνία στα κυκλώματα παρουσιάζουν και ωμική αντίσταση την οποία θα πρέπει να συνυπολογίσουμε στα ωμικά φορτία του κυκλώματος. Την ωμική αντίσταση των πηνίων μπορούμε να την βρούμε αν μετρήσουμε μ' ένα ωμόμετρο το πηνίο. Στο τέταρτο συμπέρασμα λοιπόν η Z του

κυκλώματος γίνεται ίση με την R του πηνίου και η ένταση του ρεύματος παίρνει την μέγιστη τιμή του που είναι : $I = U/R$.

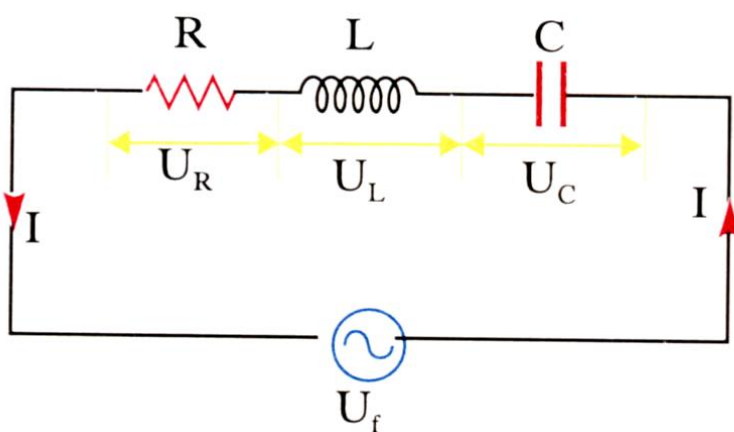
ΣΥΝΔΕΣΗ R - L - C ΣΕ ΣΕΙΡΑ.

Το ρεύμα του κυκλώματος είναι πάλι το ίδιο και στα δύο φορτία (2ος κανόνας του Kirchoff).

Στο ωμικό φορτίο η τάση είναι σε φάση με το ρεύμα.

Στο επαγωγικό φορτίο η τάση προηγείται του ρεύματος κατά 90° .

Στο χωρητικό φορτίο η τάση καθυστερεί του ρεύματος κατά 90° .



Σχήμα 26: Κύκλωμα R - L - C σε σειρά.

Πηγή: Διδάσκων (2014).

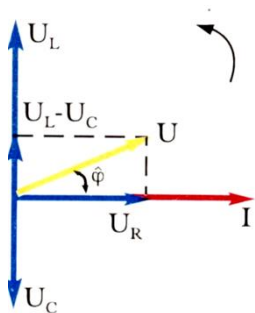
Αν $U_L > U_C$ έχουμε επαγωγική συμπεριφορά του κυκλώματος.

Η συνολική τάση του κυκλώματος δίνεται απ' τον τύπο:

$$U = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2} \quad \text{και} \quad \cos \phi = \frac{U_R}{U}$$

Η συνολική αντίσταση δίνεται από τον τύπο:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \quad \text{και} \quad \cos \phi = \frac{R}{Z}$$



Διάγραμμα 5: Διάγραμμα τάσης κύκλωμα R-L-C.

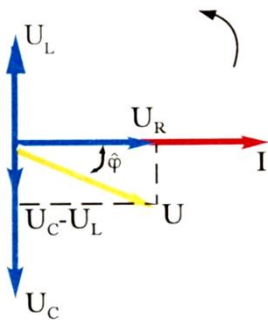
Πηγή: Διδάσκων (2014).

Αν $U_C > U_L$ έχουμε χωρητική συμπεριφορά του κυκλώματος.

Η συνολική τάση του κυκλώματος δίνεται απ' τον τύπο:

$$U = \sqrt{U_R^2 + (U_C - U_L)^2} \text{ και } \cos \phi = \frac{U_R}{U}$$

Η συνολική αντίσταση δίνεται από τον τύπο : $Z = \sqrt{R^2 + (X_C - X_L)^2}$ και $\cos \phi = \frac{R}{Z}$



Διάγραμμα 6: Διάγραμμα τάσης κύκλωμα R-L-C.

Πηγή: Διδάσκων (2014).

17. Σύνδεση R - L - C Παράλληλα

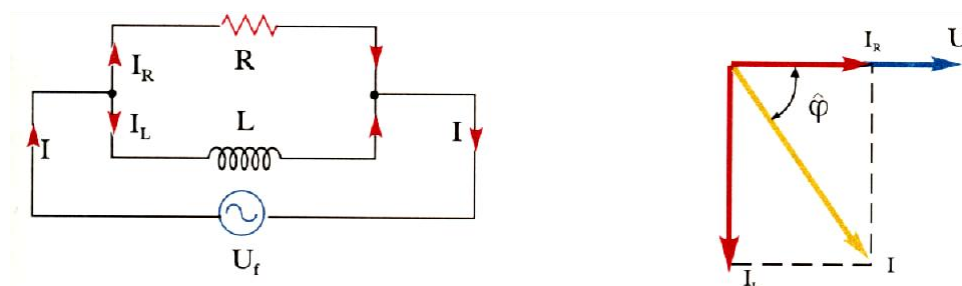
Στα παράλληλα κυκλώματα από τον πρώτο κανόνα του Kirchoff ξέρουμε ότι η τάση παραμένει η ίδια στα άκρα του κόμβου, το ρεύμα όμως είναι διαφορετικό σε κάθε φορτίο.

Το ρεύμα I που διαρρέει το ωμικό φορτίο είναι σε φάση με την τάση.

Το ρεύμα I που διαρρέει το καθαρά επαγωγικό φορτίο καθυστερεί της τάσης U_L κατά 90° .

Το ρεύμα I που διαρρέει το χωρητικό φορτίο προπορεύεται της τάσης U_C κατά 90° .

ΣΥΝΔΕΣΗ R - L ΠΑΡΑΛΛΗΛΑ.



Σχήμα 27: Παράλληλη σύνδεση R - L.

Πηγή: Διδάσκων (2014).

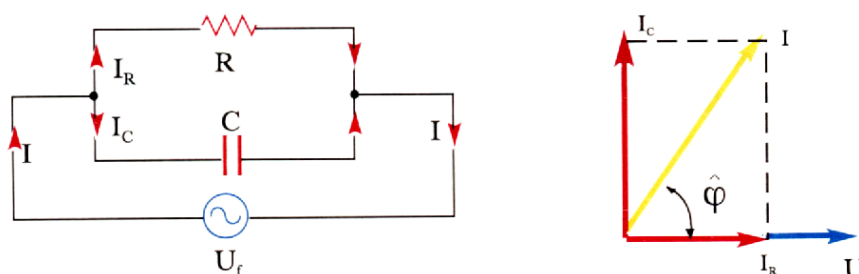
Το ρεύμα I που διαρρέει το ωμικό φορτίο είναι σε φάση με την τάση.

Το ρεύμα I που διαρρέει το καθαρά επαγωγικό φορτίο καθυστερεί της τάσης U_L κατά 90° .

Το ρεύμα βρίσκεται από τον τύπο : $I = \sqrt{I_R^2 + I_L^2}$ και $\cos \phi = \frac{I_R}{I}$

Η συνολική αντίσταση βρίσκεται από τον τύπο: $Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$ και $\cos \phi = \frac{R}{Z}$

ΣΥΝΔΕΣΗ R-C ΠΑΡΑΛΛΗΛΑ.



Σχήμα 28: Παράλληλη σύνδεση R - C.

Πηγή: Διδάσκων (2014).

Το ρεύμα I που διαρρέει το ωμικό φορτίο είναι σε φάση με την τάση.

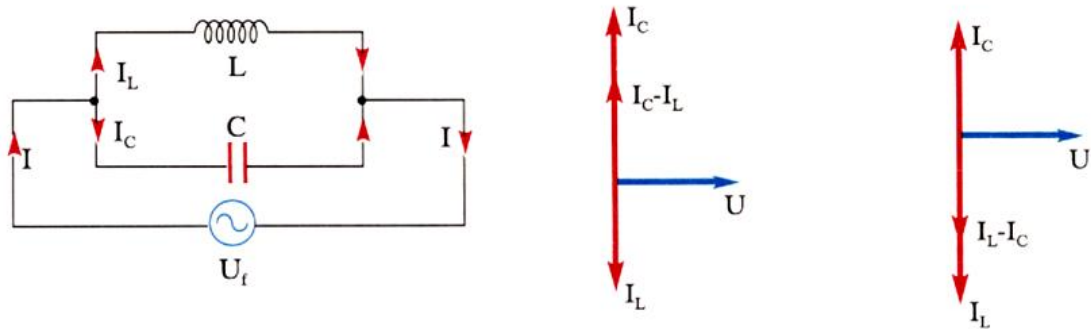
Το ρεύμα I που διαρρέει το χωρητικό φορτίο προπορεύεται της τάσης U κατά 90° .

Το ρεύμα βρίσκεται από τον τύπο : $I = \sqrt{I_R^2 + I_C^2}$ και $\cos \phi = \frac{I_R}{I}$

Η συνολική αντίσταση βρίσκεται από τον τύπο : $Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$ και $\cos \phi = \frac{R}{Z}$

ΣΥΝΔΕΣΗ L - C ΠΑΡΑΛΛΗΛΑ.

Όπως είδαμε σε παράλληλα συνδεδεμένα φορτία η τάση είναι ίδια στα άκρα του κόμβου, ενώ το κάθε φορτίο διαρρέεται από διαφορετικό ρεύμα.



Σχήμα 29: Παράλληλη σύνδεση R C.

Πηγή: Διδάσκων (2014).

Το ρεύμα I που διαρρέει το καθαρά επαγωγικό φορτίο καθυστερεί της τάσης U κατά 90° .

Το ρεύμα I που διαρρέει το χωρητικό φορτίο προπορεύεται της τάσης U κατά 90° .

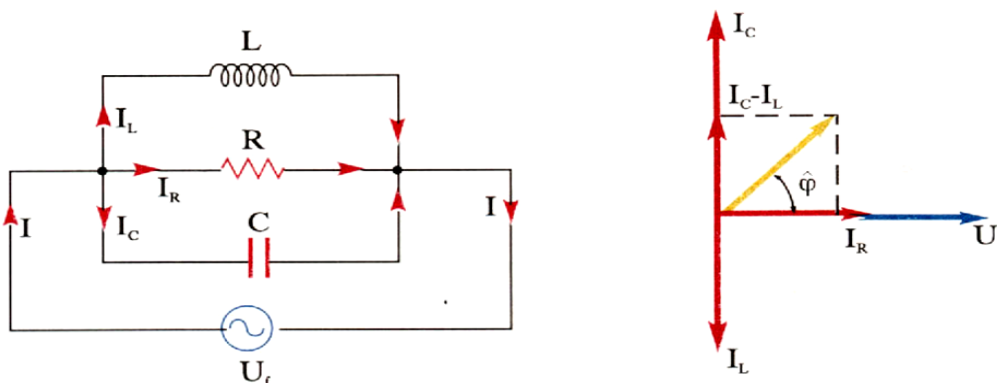
Όταν το ρεύμα στο πηνίο είναι μεγαλύτερο από το ρεύμα στον πυκνωτή, τότε το κύκλωμά μας παρουσιάζει επαγωγική συμπεριφορά.

Όταν το ρεύμα στον πυκνωτή είναι μεγαλύτερο από το ρεύμα στο πηνίο, τότε το κύκλωμά μας παρουσιάζει χωρητική συμπεριφορά.

Όταν το ρεύμα του πηνίου είναι ίσο με το ρεύμα του πυκνωτή, τα δύο ρεύματα αλληλοεξουδετερώνονται και το συνολικό ρεύμα του κυκλώματος γίνεται ίσο με μηδέν. Η σύνθετη αντίσταση του κυκλώματος τείνει τότε στο άπειρο. (Στην πράξη δεν υπάρχουν πηνία χωρίς καθόλου ωμική αντίσταση).

ΣΥΝΔΕΣΗ R - L - C ΠΑΡΑΛΛΗΛΑ.

A) Αν θεωρήσουμε ότι η ωμική αντίσταση του πηνίου είναι αμελητέα, τότε έχουμε:



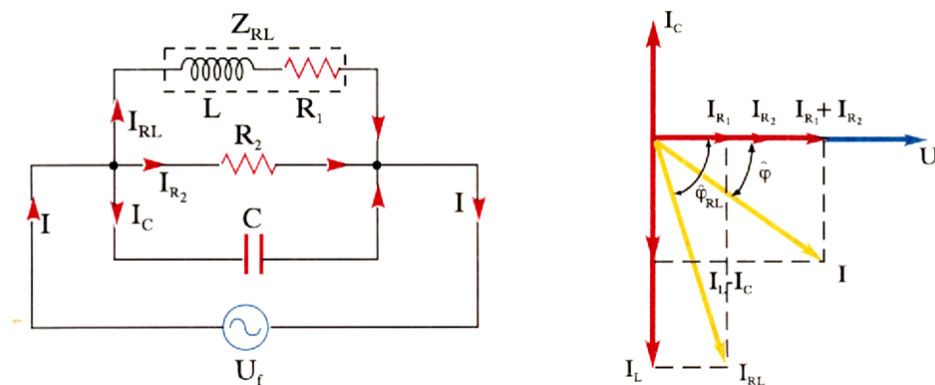
Σχήμα 30: Πηνίο με ωμική αντίσταση αμελητέα.

Πηγή: Διδάσκων (2014).

$$I_L = \frac{U}{X_L}, I_R = \frac{U}{R}, I_C = \frac{U}{X_C}$$

και $I = \sqrt{I_R^2 + (I_C - I_L)^2}$, $Z = \frac{U}{I}$, $\cos \phi = \frac{I_R}{I}$ (Στο κύκλωμα θεωρούμε ότι $I_C > I_L$)

Β) Πραγματική κατάσταση πηνίου (Με ωμική αντίσταση).



Σχήμα 31: Πραγματική κατάσταση πηνίου (Με ωμική αντίσταση).

Πηγή: Διδάσκων (2014).

$$Z_{RL} = \sqrt{R_L^2 + X_L^2}, \cos \phi = \frac{R_L}{Z_{RL}}, I_{RL} = \frac{U}{Z_{RL}}$$

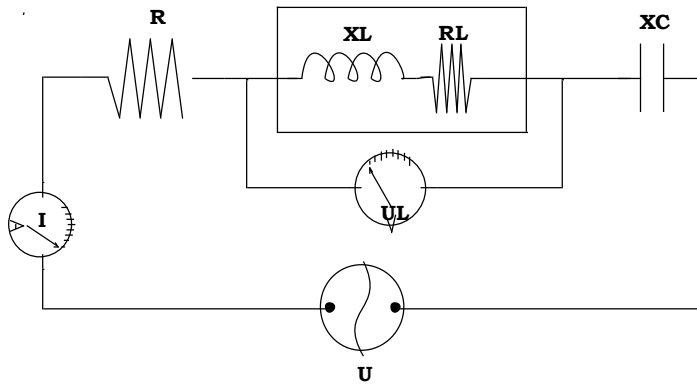
$$I = \sqrt{(I_{R1} + I_{RL})^2 + (I_L - I_C)^2}, Z = \frac{U}{I} \quad (\text{θεωρούμε ότι } I_C > I_L)$$

$$\cos \phi = \frac{I_{R1} + I_{RL}}{I}$$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ :

Σε ένα κύκλωμα σειράς R-L-C μετρήσαμε:

την τάση στα άκρα του πηνίου $U_L=80(V)$, την ένταση του ρεύματος $I=0.5(A)$, την ωμική αντίσταση του πηνίου $R_L=5(\Omega)$, την ωμική αντίσταση του κυκλώματος $R=100(\Omega)$. Ο πυκνωτής έχει χωρητικότητα $C=120(\mu F)$ η συχνότητα είναι $f=50Hz$. Να υπολογιστεί πλήρως η συνολική τάση του κυκλώματος.



Σχήμα 32: Κύκλωμα σειράς R-L-C.

ΛΥΣΗ:

Τα $120(\mu\text{F}) = 120 \cdot 10^{-6} \text{ (F)} = 0,00012 \text{ (F)}$

Η τάση στην αντίσταση μας δίνεται από το νόμο του Ohm $U_R = I \cdot R = 0.5(\text{A}) \cdot 100 \text{ (\Omega)} = 50 \text{ (V)}$.

Η τάση στον πυκνωτή μας δίνεται από το νόμο του Ohm $U_C = I \cdot X_C$.

Το I το ξέρουμε δεν ξέρουμε το X_C .

Υπολογίζουμε το X_C :

$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C} \Rightarrow X_C = \frac{1}{2\pi f \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot 3.14 \cdot 50 \cdot 0.00012} = \frac{1}{0.03768} \Rightarrow X_C = 26.56(\Omega)$$

Η τάση λοιπόν στον πυκνωτή γίνεται : $U_C = I \cdot X_C = 0.5(\text{A}) \cdot 26,56(\Omega) = 13,28 \text{ (V)}$.

Η τάση U_L στο πηνίο είναι η συνολική τάση του πηνίου. Εμείς θα πρέπει να υπολογίσουμε τις δύο τάσεις που διαχωρίζεται η U_L . Δηλαδή τις U_{RL} και U_{XL} .

Η τάση στην ωμική αντίσταση του πηνίου απ' το νόμο του Ohm :

$$U_{RL} = I \cdot R_L = 0.5(\text{A}) \cdot 5(\Omega) = 2.5(\text{V}).$$

Για να βρούμε την U_{XL} θα πρέπει πρώτα να υπολογίσουμε την X_L .

Γνωρίζουμε την R_L , την συνολική τάση στο πηνίο και την ένταση .

$$\text{Άρα } Z_L = \frac{U_L}{I} = \frac{80(\text{V})}{0.5(\text{A})} \Rightarrow Z_L = 160(\Omega)$$

Όμως

$$Z_L = \sqrt{R_L^2 + X_L^2} \Rightarrow X_L = \sqrt{Z_L^2 - R_L^2} \Rightarrow X_L = \sqrt{160^2 - 5^2} = \sqrt{25600 - 25} = \sqrt{25575} \Rightarrow X_L = 159.92(\Omega)$$

$$\text{Άρα } U_{XL} = I \cdot X_L = 0.5(\text{A}) \cdot 159.92(\Omega) = 79.96 \text{ (V)}.$$

Η συνολική ωμική τάση $U_{RoL} = U_R + U_{RL} = 50(\text{V}) + 2.5(\text{V}) = 52.5(\text{V})$.

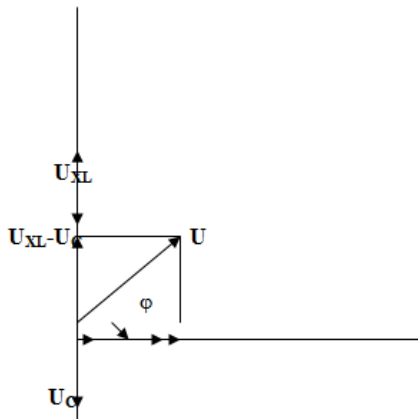
Αφού υπολογίσαμε όλες τις τάσεις τις τοποθετούμε στο διάγραμμα.

$$U = \sqrt{U_{R\omega L}^2 + (U_{XL} - U_C)^2} \Rightarrow U = \sqrt{52.5^2 + (79.96 - 13.28)^2} \Rightarrow \\ \Rightarrow U = \sqrt{2756.25 + 4446.22} \Rightarrow U = 84.86(V)$$

$$\cos \phi = \frac{U_{R\omega L}}{U} = \frac{52.5}{84.86} \Rightarrow \cos \phi = 0,61$$

Άρα $\cos \phi^{-1} = 51,78^\circ$

Άρα: $U = 84.86 \angle 51.78^\circ$.



Διάγραμμα 7: Συνολική τάση κυκλώματος.

Πηγή: Διδάσκων (2014).

18. Υπόμνημα

Επαγωγικά φορτία.

Η αυτεπαγωγή (L) αποτελεί έναν από τους σημαντικούς τύπους φορτίων. Ένα κύκλωμα θεωρείται ότι διαθέτει αυτεπαγωγή όταν περιλαμβάνει κάποιου είδους πηνίο. Οι κινητήρες, οι μετασχηματιστές περιέχουν όλα περιελίξεις αγωγών. Στο συνεχές ρεύμα τα πηνία συμπεριφέρονται σαν βραχυκύκλωμα. Στο εναλλασσόμενο όμως παρουσιάζουν εξαιρετικό ενδιαφέρον. Όταν ένα πηνίο διαρρέετε από ρεύμα δημιουργεί γύρω του μαγνητικό πεδίο. Αν ελαττωθεί το ρεύμα ελαττώνεται και το μαγνητικό πεδίο. Σύμφωνα με το νόμο του Lenz που θεωρούμε ότι είναι γνωστός, τα επαγωγικά φορτία αντιδρούν σε οποιαδήποτε μεταβολή του ρεύματος. Έτσι εκείνη τη στιγμή επάγεται μια τάση στο πηνίο που βρίσκεται σε διαφορά φάσης 180° από την εφαρμοζόμενη τάση στο πηνίο με αποτέλεσμα να δημιουργείται ένα αντίθετο ρεύμα. Επομένως για να υπάρξει ροή ρεύματος θα πρέπει η εφαρμοζόμενη τάση να υπερνικήσει την επαγόμενη. Παρατηρούμε ότι η επαγόμενη τάση εμποδίζει την ροή του ρεύματος με παρόμοιο τρόπο όπως η ωμική αντίσταση. Η ιδιότητα αυτή της αυτεπαγωγής λέγεται **αντίδραση** και συμβολίζεται γράμμα X. Ειδικότερα επειδή οφείλεται σε αυτεπαγωγή λέγεται **επαγωγική αντίδραση ή επαγωγική αντίσταση** και συμβολίζεται με X_L . Μετριέται σε Ohm και υπολογίζεται από τον τύπο:

$$X_L = \omega * L \text{ ή } X_L = 2 * \pi * f * L$$

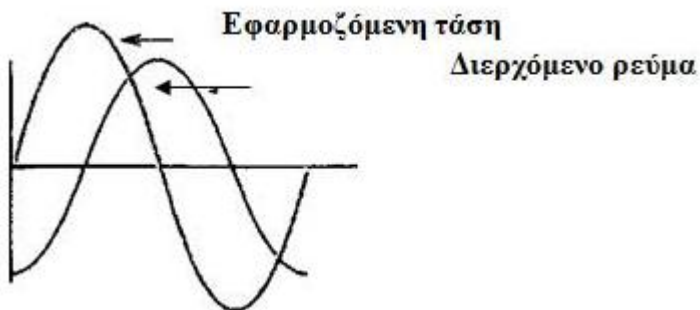
- X_L = Επαγωγική αντίδραση.
- 2 = μια σταθερά.
- $\pi = 3,1416$.
- f = συχνότητα σε Hz.
- L = αυτεπαγωγή σε henrys (H).
- $\omega = 2\pi f$ (κυκλική συχνότητα).



Σχήμα 33: Η εφαρμοζόμενη με την επαγόμενη τάση βρίσκονται σε διαφορά φάσης 180°.

Πηγή: Διδάσκων (2014).

Όταν το ρεύμα δεν μεταβάλλεται η επαγόμενη τάση είναι μηδενική. Η επαγόμενη τάση είναι ανάλογη του ρυθμού μεταβολής του ρεύματος. Αν υποθέσουμε ότι κάποια χρονική στιγμή το ρεύμα έχει την μέγιστη αρνητική του τιμή η επαγόμενη τάση είναι μηδενική. Καθώς το ρεύμα μειώνεται και το μαγνητικό πεδίο αρχίζει να εξασθενεί αρχίζει να επάγεται κάποια **τάση**. Την στιγμή που το ρεύμα περνά από αρνητικές σε θετικές τιμές ή και αντίστροφα η επαγόμενη τάση γίνεται μέγιστη. Πλησιάζοντας το ρεύμα στην μέγιστη θετική ο ρυθμός του ελαττώνεται και η επαγόμενη τάση τείνει στο μηδέν. Το διερχόμενο από μια αυτεπαγωγή **ρεύμα** προπορεύεται της επαγόμενης **τάσης** κατά 90°. Επειδή όμως η επαγόμενη τάση έχει 180° διαφορά με την εφαρμοζόμενη **τάση το ρεύμα ακολουθεί την εφαρμοζόμενη τάσης κατά 90°.**



Σχήμα 34: Το ρεύμα καθυστερεί της τάσης κατά 90°.

Πηγή: Herman (1998).

Ο αριθμός των σπειρών , οι αποστάσεις μεταξύ τους, η διατομή του αγωγού και το υλικό του πυρήνα καθορίζουν την τιμή της αυτεπαγωγής (henrys). Η ταχύτητα μεταβολής της μαγνητικής ροής, είναι ανάλογη της συχνότητας (Hz). Αύξηση της συχνότητας αυξάνει την ταχύτητα με την οποία κόβονται οι δυναμικές γραμμές, και επομένως αυξάνει την τιμή της επαγόμενης τάσης και την τιμή της επαγωγικής αντίδρασης. Τα επαγωγικά φορτία παρουσιάζουν κα^λ ωμική αντίσταση η οποία μετριέται με το ωμόμετρο (ποτέ δεν χρησιμοποιούμε ωμόμετρο σε κύκλωμα που βρίσκεται υπό τάση). Σε πολλές περιπτώσεις κυρίως για επίλυση ασκήσεων θεωρούμε τα πηνία **ιδανικά**, δηλαδή παρουσιάζουν μόνο επαγωγική αντίσταση . Η ωμική αντίσταση θεωρούμε ότι είναι μηδέν .

Ισχύς σε επαγωγικό κύκλωμα.

Σε ένα καθαρά ωμικό κύκλωμα, η πραγματική ισχύς (watts) ισούται με το γινόμενο της τάσης επί του ρεύματος. Ωστόσο, σε ένα καθαρά επαγωγικό κύκλωμα, δεν παράγεται καθόλου πραγματική ισχύς . Για την παραγωγή πραγματικής ισχύος, θα πρέπει το ρεύμα και η τάση να είναι και τα δύο θετικά ή και τα δύο αρνητικά. Αφού σε ένα καθαρά επαγωγικό κύκλωμα, η τάση και το ρεύμα βρίσκονται σε μεταξύ τους διαφορά φάσης 90°, τον μισό χρόνο θα έχουν την ίδια πολικότητα και τον υπόλοιπο μισό θα έχουν αντίθετες μεταξύ τους πολικότητες. Μέσα στο χρονικό διάστημα , κατά το οποίο η τάση και το ρεύμα έχουν ίδια πολικότητα , τότε παρέχεται από το κύκλωμα ισχύς σε μορφή παραγόμενου μαγνητικού πεδίου. Στο χρονικό διάστημα κατά το οποίο η τάση και το ρεύμα έχουν αντίθετες πολικότητες τότε το μαγνητικό πεδίο εξασθενεί και η ισχύς επιστρέφει πίσω στο κύκλωμα, σε μορφή επαγόμενης τάσης. Αφού η ισχύς αποθηκεύεται υπό τη μορφή μαγνητικού πεδίου, και στη συνέχεια επιστρέφει πίσω στο κύκλωμα, στην πραγματικότητα η αυτεπαγωγή δεν καταναλώνει καθόλου ενέργεια . Η ισχύς που καταναλώνεται πάνω σε μία αυτεπαγωγή, οφείλεται αποκλειστικά στην ωμική αντίσταση του πηνίου, σε απώλειες δινορευμάτων και σε απώλειες υστέρησης .

Άεργη ισχύς.

Αν και στην πραγματικότητα σε ένα επαγωγικό κύκλωμα δεν καταναλώνεται ισχύς εκτός από τις απώλειες που αναφέρθηκαν, στα επαγωγικά κυκλώματα αναφερόμαστε σε άεργη ισχύ, η οποία μετράται σε VAR (Volts-Ampere-Reactive). Η άεργη ισχύς υπολογίζεται με τον ίδιο τρόπο με την πραγματική ισχύ, αντικαθιστώντας την ωμική αντίσταση με την επαγωγική αντίδραση . Η άεργη ισχύς ισούται με το γινόμενο του διερχόμενου από την αυτεπαγωγή ρεύματος, επί την εφαρμοζόμενη σε αυτήν τάση.

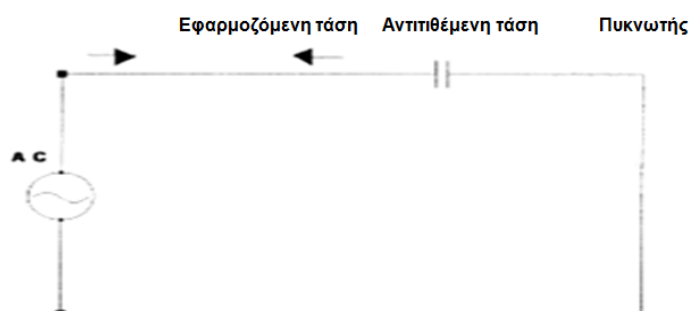
Χωρητικά φορτία.

Όταν λέμε χωρητικά φορτία αναφερόμαστε σε πυκνωτές. Αν συνδέσουμε ένα πυκνωτή σε συνεχή τάση θα παρατηρήσουμε ότι θα έχουμε ροή ρεύματος για λίγο χρονικό διάστημα και κατόπιν όταν ο πυκνωτής φορτιστεί πλήρως, το ρεύμα μηδενίζεται. Δηλαδή μπορούμε να πούμε ότι ο πυκνωτής στο συνεχές ρεύμα αντιδρά σαν διακόπτης. Σε εναλλασσόμενη τάση όμως κατά την μια ημιπερίοδο η μια πλάκα του πυκνωτή φορτίζεται θετικά και η άλλη αρνητικά . Στη διάρκεια της επόμενης ημιπεριόδου που η τάση αλλάζει πολικότητα, ο πυκνωτής εκφορτίζεται και αρχίζει να φορτίζεται αντίθετα. Αν συνδέσουμε ένα αμπερόμετρο θα έχουμε ένδειξη γιατί το ρεύμα ρέει από τη μια πλάκα στην άλλη. Κατά την

φόρτιση εμφανίζεται κάποια τάση που οφείλεται στη συγκέντρωση ηλεκτροστατικού φορτίου. Αυτή η τάση αντιτίθεται στην εφαρμοζόμενη , περιορίζοντας την ροή του ρεύματος στο κύκλωμα με παρόμοιο τρόπο που γνωρίσαμε στην επαγωγή. Επειδή οφείλεται όμως σε χωρητικότητα ονομάζεται χωρητική αντίδραση (X_c), μετριέται σε Ohm και παρέχεται από τη σχέση:

$$X_c = 1/(\omega * C) \text{ ή } X_c = 1/(2 * \pi * f * C)$$

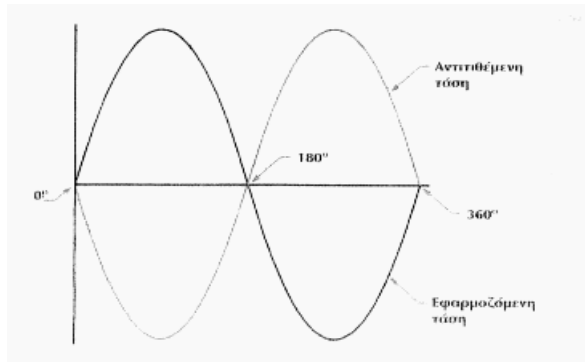
- X_c = χωρητική αντίδραση.
- $\pi = 3,1416$.
- f = συχνότητα σε Hertz.
- c = χωρητικότητα σε Farads.



Σχήμα 35: Η αντιπθέμενη τάση, περιορίζει την ροή του ρεύματος.

Πηγή: Διδάσκων (2014).

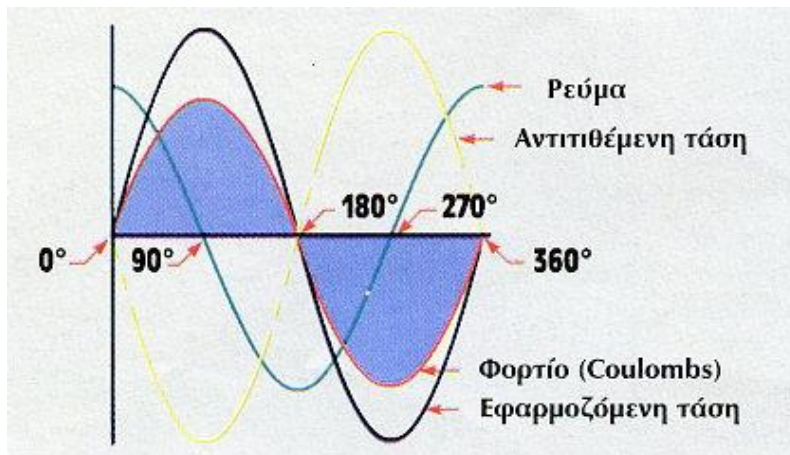
Είναι γνωστό ότι η τάση και το ρεύμα σε ένα καθαρά ωμικό κύκλωμα, είναι συμφασικά, ενώ σε ένα καθαρά επαγωγικό κύκλωμα το ρεύμα υστερεί της τάσης: κατά 90° . Σε ένα καθαρά χωρητικό κύκλωμα, το ρεύμα προηγείται της τάσης κατά 90° . Ένας πυκνωτής συνδεδεμένος σε κάποιο κύκλωμα AC, φορτίζεται και εκφορτίζεται με τον ίδιο ρυθμό που μεταβάλλεται και η εφαρμοζόμενη τάση. Η μεταβολή του φορτίου (Coulombs) ισούται με τη χωρητικότητα του πυκνωτή επί την εφαρμοζόμενη τάση ($Q = U * C$). Όταν η εφαρμοζόμενη τάση είναι μηδενική, τότε το φορτίο και η αντιπθέμενη τάση είναι και αυτά μηδενικά. Όταν η εφαρμοζόμενη τάση πλησιάζει τη μέγιστη τιμή της, θετική ή αρνητική, τότε το αναπτυσσόμενο φορτίο και η παραγόμενη αντιπθέμενη τάση πλησιάζουν και αυτά τη μέγιστη τιμή τους. Όμως, η αντιπθέμενη τάση, θα ακολουθεί αντίθετη καμπύλη μεταβολής από την εφαρμοζόμενη τάση.



Σχήμα 36: Διαφορά τάσης και έντασης σε πηνίο.

Πηγή: Herman (1998).

Η εφαρμοζόμενη τάση και το φορτίο του πυκνωτή στη θέση 0, είναι και τα δυο μηδενικά . Αφού στη θέση αυτή δεν υπάρχει φορτίο στον πυκνωτή , τότε δεν θα υπάρχει και κανένας περιορισμός στη ροή του ρεύματος, με αποτέλεσμα η τιμή του ρεύματος να γίνεται μέγιστη. Καθώς η εφαρμοζόμενη τάση αυξάνει από το μηδέν προς τη μέγιστη θετική της τιμή στη θέση 90°, μέσα στο διάστημα αυτό ο πυκνωτής,; θα φορτίζεται. Το παραγόμενο φορτίο προκαλεί εμφάνιση στον πυκνωτή μίας αντιτιθέμενης τάσης, η οποία περιορίζει τη ροή του ρεύματος. Η αντιτιθέμενη αυτή τάση , βρίσκεται σε 180° διαφορά από την εφαρμοζόμενη τάση. Όταν η εφαρμοζόμενη τάση φθάνει στις 90° τη μέγιστη θετική της τιμή , τότε το φορτίο φθάνει τη μέγιστη τιμή του, η αντιτιθέμενη τάση φθάνει τη μέγιστη αρνητική της τιμή και το ρεύμα μηδενίζεται. Καθώς η εφαρμοζόμενη τάση μειώνεται, ο πυκνωτής εκφορτίζεται, προκαλώντας ροή ρεύματος προς την αντίθετη (αρνητική) κατεύθυνση. Όταν η εφαρμοζόμενη τάση και το φορτίο μηδενιστούν στη θέση 180 τότε η αντιτιθέμενη τάση μηδενίζεται και αυτή, ενώ το ρεύμα θα παρουσιάζει τη μέγιστη αρνητική του τιμή. Καθώς η εφαρμοζόμενη τάση και το φορτίο αυξάνουν προς την αρνητική κατεύθυνση, η αύξηση της αντιτιθέμενης τάσης προκαλεί τη μείωση του ρεύματος. Η εφαρμοζόμενη τάση και το φορτίο φθάνουν τις μέγιστες αρνητικές του; τιμές , στη θέση 270°. Στη θέση αυτή , η αντιτιθέμενη τάση φθάνει τη μέγιστη θετική της τιμή και το ρεύμα μηδενίζεται. Καθώς η εφαρμοζόμενη τάση μειώνεται από τη μέγιστη αρνητική της τιμή, ο πυκνωτής εκφορτίζεται πάλι. Αυτό, προκαλεί τη ροή ρεύματος προς τη θετική κατεύθυνση. Στη θέση των 360, το ρεύμα φθάνει πάλι τη μέγιστη θετική του τιμή, ενώ η εφαρμοζόμενη τάση και το φορτίο μηδενίζονται.

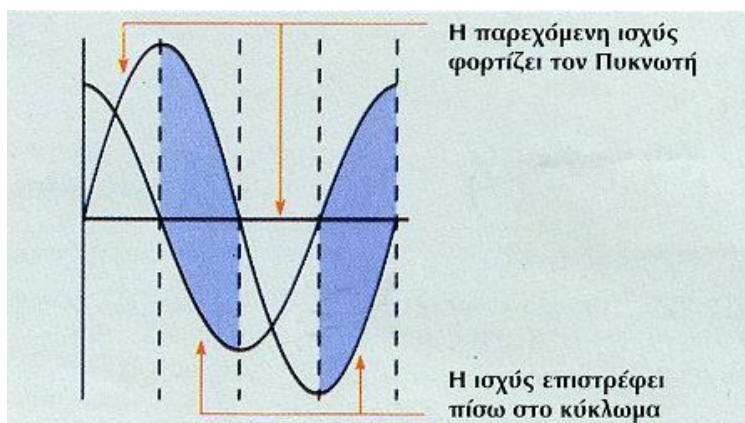


Διάγραμμα 8: Σχέση τάσης ρεύματος σε ένα χωρητικό κύκλωμα.

Πηγή: Herman (1998).

Ισχύς σε χωρητικό κύκλωμα.

Σε ένα καθαρά χωρητικό κύκλωμα, το ρεύμα προηγείται της εφαρμοζόμενης τάσης κατά 90° , η τάση και το ρεύμα θα έχουν την ίδια πολικότητα για το μισό χρονικό διάστημα, ενώ θα έχουν αντίθετες πολικότητες για το υπόλοιπο μισό. Στα χρονικά διαστήματα μέσα στα οποία η τάση και το ρεύμα έχουν την ίδια πολικότητα αποθηκεύεται στον πυκνωτή ενέργεια σε μορφή ηλεκτροστατικού πεδίου. Όταν η τάση και το ρεύμα έχουν αντίθετες πολικότητες, ο πυκνωτής εκφορτίζεται και η αποθηκευμένη ενέργεια επιστρέφει στο κύκλωμα. Όταν η αποθηκευμένη ενέργεια αφαιρεθεί από την επιστρεφόμενη ενέργεια μέσα έναν κύκλο (περίοδο), το αποτέλεσμα θα είναι μηδενικό. Αυτό σημαίνει, ότι σε ένα καθαρά χωρητικό κύκλωμα, δεν υπάρξει πραγματική ισχύς (watts). Η ισχύς που υπάρχει σε κάποιον πυκνωτή, είναι άεργη ισχύς (VAR), όπως και στην αυτεπαγωγή. **Η επαγωγική άεργη ισχύς με τη χωρητική άεργη ισχύ, βρίσκονται σε μεταξύ τους διαφορά φάσης 180° .**



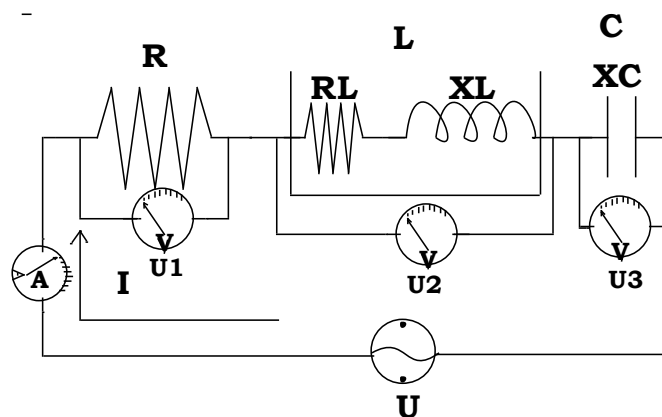
Διάγραμμα 9: Σε ένα καθαρά χωρητικό κύκλωμα δεν υπάρχει πραγματική ισχύς.

Πηγή: Herman (1998).

Σε καθαρά χωρητικό κύκλωμα δεν υπάρχει πραγματική ισχύς (watts) . Η παρεχόμενη ισχύς για τη φόρτιση του πυκνωτή, επιστρέφει πάλι πίσω κύκλωμα κατά την εκφόρτιση του πυκνωτή.

ΠΡΑΚΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ: Εναλλασσόμενο Ρεύμα (AC)

1. Να πραγματοποιηθεί το παρακάτω κύκλωμα.



Σχήμα 37: Κύκλωμα.

Πηγή: Διδάσκων (2014).

$f = 50 \text{ Hz}$.

2. Να μετρηθούν τα : $R_L = \dots\dots\dots(\Omega)$ $I = \dots\dots\dots(A)$ $U_{πηγής} = \dots\dots\dots(V)$

$U_1 = \dots\dots\dots(V)$, $U_2 = \dots\dots\dots(V)$, $U_3 = \dots\dots\dots(V)$

3. Να υπολογιστούν τα:
 - $R_1 = \dots\dots\dots(\Omega)$.
 - Πηνίο: $Z_L = \dots\dots\dots(\Omega)$, $X_L = \dots\dots\dots(\Omega)$, $L = \dots\dots\dots(\text{Henry})$.
 - Πυκνωτής : $X_c = \dots\dots\dots(\Omega)$, $C = \dots\dots\dots(\mu F)$.
4. Να γίνει το διάγραμμα τάσεων και να υπολογιστούν :
 - η U και τα: $\cos\phi$ και \cos^{-1} .

19. Συντονισμός

Γενικά.

Ονομάζουμε γενικά "συντονισμό κυκλώματος" σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα, την κατάσταση στην οποία η τάση U που εφαρμόζουμε στο κύκλωμα **R-L-C**, βρίσκεται σε φάση με το ρεύμα I που το διαρρέει. Ο συντονισμός είναι μία ειδική κατάσταση λειτουργίας των ηλεκτρικών κυκλωμάτων.

Για να εμφανισθεί συντονισμός σε ένα κύκλωμα **R-L-C** πρέπει η επαγωγική και η χωρητική αντίσταση του κυκλώματος να αλληλοεξουδετερωθούν. Η αλληλοεξουδετέρωση των δύο αντιστάσεων δεν σημαίνει και εξαφάνισή τους. Απλώς μπορούμε να πούμε ότι το αποτέλεσμα της μιας αντισταθμίζει το αποτέλεσμα της άλλης. Οι αντιστάσεις X_L και X_C υπάρχουν και αυτό το διαπιστώνουμε από τις τάσεις που επικρατούν στις άκρες τους.

Για να αλληλοεξουδετερωθούν η επαγωγική και η χωρητική αντίσταση θα πρέπει να γίνουν ίσες.

Όταν ένα κύκλωμα βρίσκεται σε συντονισμό παρουσιάζει τις εξής ιδιότητες :

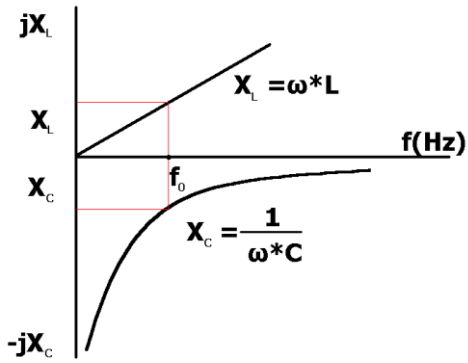
1. Τα διανύσματα **U** και **I**, τόσο στο κύκλωμα RLC σειράς όσο και στο παράλληλο κύκλωμα, είναι συμφασικά.
2. Για το κύκλωμα σειράς η σύνθετη αντίσταση του κυκλώματος είναι ελάχιστη: $Z_0=R$ και το ρεύμα I_0 καθώς και η ισχύς P_0 παίρνουν την μέγιστη τιμή τους.
3. Για το παράλληλο κύκλωμα η σύνθετη αγωγιμότητα του κυκλώματος είναι ελάχιστη και το ρεύμα I_0 καθώς και η ισχύς P_0 παίρνουν την ελάχιστη τιμή τους.
4. Καθώς η συχνότητα f παίρνει τιμές κοντά στην f_0 , που όμως σταδιακά αποκλίνουν είτε κάτω ($f < f_0$) είτε πάνω ($f > f_0$) από αυτή τότε:
 - για το κύκλωμα σειράς η $|Z|$ αυξάνει με γρήγορο ρυθμό και
 - για το παράλληλο κύκλωμα η $|Z|$ ελαττώνεται με γρήγορο ρυθμό.

Τα απλά κυκλώματα RLC συντονίζονται σε μια μόνο συχνότητα και παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον επειδή μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελούν τη βάση της θεωρίας των ηλεκτρικών φίλτρων.

Πιο συγκεκριμένα, το κύκλωμα σειράς RLC είναι ένα απλό φίλτρο διέλευσης που επιτρέπει να περνούν τα ηλεκτρικά σήματα σε ένα ορισμένο φάσμα συχνοτήτων γύρω από την f_0 και τα αποκόπτει έξω από το φάσμα αυτό. Το φάσμα συχνοτήτων στο οποίο περνούν τα σήματα ονομάζεται εύρος ζώνης του φίλτρου. Το παράλληλο κύκλωμα RLC είναι ένα απλό φίλτρο αποκοπής που δεν επιτρέπει να περνούν τα ηλεκτρικά σήματα στο εύρος ζώνης και τα αφήνει να περνούν έξω απ' αυτό.

Μια εφαρμογή του φίλτρου διέλευσης είναι ο επιλογέας σταθμών του ραδιοφώνου. Το κύκλωμα επιλογής σταθμών, εκτός από διάφορα άλλα στοιχεία, αποτελείται από ένα πηνίο L και ένα μεταβλητό πυκνωτή C . Αλλάζοντας την τιμή του C αλλάζει η συχνότητα συντονισμού του κυκλώματος του δέκτη και το ραδιόφωνο "πιάνει" τους διάφορους σταθμούς που ο καθένας εκπέμπει σε διαφορετική συχνότητα.

Αν θελήσουμε να παραστήσουμε σε ορθογώνιο άξονα την επαγωγική αντίσταση του πηνίου και την χωρητική αντίσταση του πυκνωτή θα πάρουμε ένα διάγραμμα της παρακάτω μορφής:



Διάγραμμα 10: Επαγωγική αντίσταση του πηνίου και την χωρητική αντίσταση του πυκνωτή.

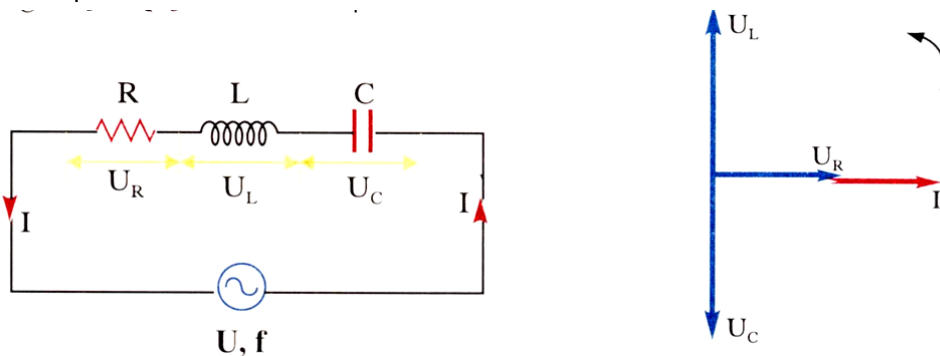
Πηγή: Διδάσκων (2014).

Η επαγωγική αντίσταση ($X_L = \omega * L$) παριστάνεται με μία ευθεία γραμμή με κλίση L και η χωρητική αντίσταση ($X_C = 1 / (\omega * C)$) με μία υπερβολή που αρχίζει ασυμπτωτικά με τιμή στο $-\infty$ όταν $f=0$ και τείνει στο μηδέν καθώς η f τείνει στο άπειρο.

Υπάρχει μία και μοναδική τιμή της f που την ονομάζουμε f_0 για την οποία η τιμή της X_L είναι ίση και αντίθετη με την τιμή της X_C . Την συχνότητα f_0 την ονομάζουμε συχνότητα συντονισμού.

Συντονισμός σειράς (συχνότητα συντονισμού).

Όταν σε ένα κύκλωμα **R-L-C** σειράς η επαγωγική αντίσταση X_L γίνει ίση με την χωρητική X_C τότε και η τάση U_L στις άκρες του πηνίου γίνεται ίση με την τάση U_C στις άκρες του πυκνωτή.



Σχήμα 38: Κύκλωμα συντονισμού σειράς.

Πηγή: Διδάσκων (2014).

Στον συντονισμό σειράς έχουμε :

$$X_L = X_C \Rightarrow X_L - X_C = 0 \text{ επίσης : } U_L = U_C \Rightarrow U_L - U_C = 0$$

$$U = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2} \Rightarrow U = \sqrt{U_R^2 + 0} = \sqrt{U_R^2} \Rightarrow U = U_R$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \Rightarrow Z = \sqrt{R^2 + 0} = \sqrt{R^2} \Rightarrow Z = R$$

$$\cos \phi = \frac{R}{Z} = 1$$

Άρα η γωνία $\phi=0^\circ$.

Το ρεύμα του κυκλώματος παίρνει την μεγαλύτερη τιμή του που είναι $I_{\max}=U/R$. Η συχνότητα f_0 στην οποία εμφανίζεται συντονισμός ονομάζεται **συχνότητα** συντονισμού και δίνεται από τον τύπο:

$$X_L = X_C \Rightarrow \omega * L = \frac{1}{C * \omega} \Rightarrow \omega^2 = \frac{1}{L * C} \Rightarrow 2 * \pi * f_0 = \sqrt{\frac{1}{L * C}} \Rightarrow$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L * C}}$$

Η μεταβολή της σύνθετης αντίστασης **Z** και του ρεύματος **I** σε ένα συντονισμένο κύκλωμα, όταν μεταβάλλεται η κυκλική συχνότητα ω και παραμένουν σταθερά η τάση **U** και τα

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(L * \omega - \frac{1}{C * \omega}\right)^2} \text{ και } I$$

στοιχεία **R,L,C**, δίνεται από τις σχέσεις:

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \left(L * \omega - \frac{1}{C * \omega}\right)^2}}$$

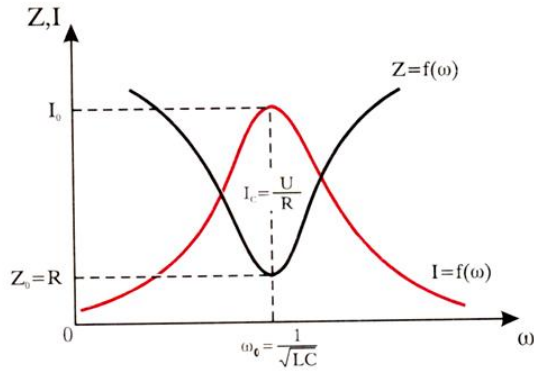
Με βάση τις σχέσεις αυτές θα έχουμε :

- Για $\omega \rightarrow 0$: $Z \rightarrow \infty$ και $I \rightarrow 0$.

- Για $\omega = \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L * C}}$ έχουμε : $Z_0=R$ και $I_0=U/R$.

- Για $\omega \rightarrow \infty$ έχουμε $Z \rightarrow \infty$ και $I \rightarrow 0$.

Με βάση τα παραπάνω κατασκευάζουμε τις καμπύλες συντονισμού **Z=f(ω)** και **I=f(ω)** που είναι γνωστές σαν καμπύλες συντονισμού.



Σχήμα 39: Διάγραμμα έντασης και συνολικής αντίστασης σε κύκλωμα συντονισμού σειράς R-L-C.

Πηγή: Διδάσκων (2014).

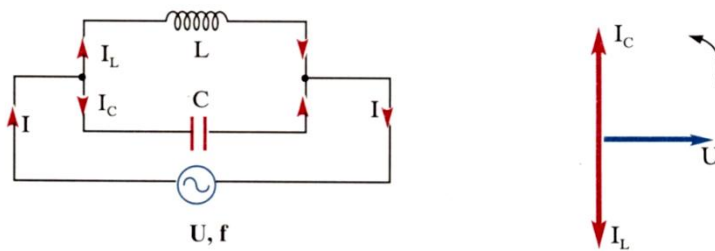
Συντονισμός σε παράλληλο κύκλωμα R-L-C.

Σε ένα παράλληλο κύκλωμα έχουμε συντονισμό, όταν η τάση U που εφαρμόζουμε στις άκρες του κυκλώματος βρίσκεται σε φάση με το ολικό ρεύμα I .

Για να έχουμε συντονισμό πρέπει να αλληλοεξουδετερωθούν το ρεύμα I_C που διαρρέει τον πυκνωτή και η άεργη συνιστώσα I_L του ρεύματος I_{RL} που διαρρέει το πηνίο.

α) Συχνότητα συντονισμού και ιδιοσυχνότητα.

1. Θεωρούμε ότι η αντίσταση R του πηνίου είναι μηδενική (ιδανικό πηνίο).



Σχήμα 40: Κύκλωμα συντονισμού L-C (ιδανικό πηνίο).

Πηγή: Διδάσκων (2014).

Για να έχουμε συντονισμό ($I_C=I_L$) θα πρέπει η αντίσταση του πυκνωτή γίνει ίση με την αντίσταση x_L του ιδανικού πηνίου.

$$I_L = \frac{U}{X_L} \Rightarrow I_L = \frac{U}{L * \omega}, I_C = \frac{U}{X_C} \Rightarrow I_C = \frac{U}{\frac{1}{\omega * C}} \Rightarrow I_C = U * C * \omega$$

$$I_L = I_C \Rightarrow \frac{U}{L * \omega_0} = U * C * \omega_0 \Rightarrow C * \omega_0 = \frac{1}{L * \omega_0}$$

από την παραπάνω σχέση θα έχουμε:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L * C}} \text{ και } f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L * C}}$$

Το ολικό ρεύμα του κυκλώματος I θα είναι:

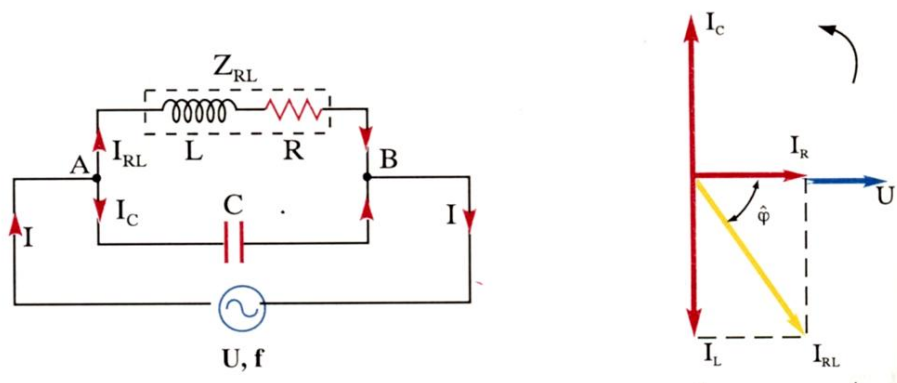
$$I = I_L - I_C \text{ άρα } I = 0.$$

Παρατήρηση: Στην περίπτωση συντονισμού με πυκνωτή και ιδανικό πηνίο παράλληλα, η ολική ένταση του κυκλώματος I είναι μηδέν και η κυκλική συχνότητα συντονισμού ω_0 υπολογίζεται από την ίδια σχέση που υπολογίζεται στο συντονισμό σειράς.

1. Θεωρούμε ότι η αντίσταση R του πηνίου δεν είναι μηδενική (πραγματικό πηνίο).

Στην πράξη δεν υπάρχουν ιδανικά πηνία. Ο κλάδος του πηνίου είναι σύνθετος και αποτελείται από την επαγωγική αντίσταση του πηνίου X_L και από την ωμική αντίσταση R_L και είναι μεταξύ τους συνδεδεμένες σε σειρά.

Για να έχουμε συντονισμό θα πρέπει το ρεύμα του πυκνωτή I_C να είναι ίσο με την άεργη συνιστώσα I_L του ρεύματος I_{RL} που διαρρέει το πηνίο. Επειδή στο πηνίο η X_L είναι σε σειρά με την R_L , θα έχουμε:



Σχήμα 41: Κύκλωμα συντονισμού L-C (πραγματικό πηνίο).

Πηγή: Διδάσκων (2014).

$$Z_{RL} = \sqrt{R_L^2 + X_L^2} \Rightarrow Z_{RL} = \sqrt{R_L^2 + (L * \omega)^2}$$

Το ρεύμα I_{RL} που διαρρέει το πηνίο θα είναι:

$$I_{RL} = \frac{U}{Z_{RL}} = \frac{U}{\sqrt{R_L^2 + (L * \omega_0)^2}}$$

Η συνιστώσα I του ρεύματος I_{RL} με βάση το παραπάνω διανυσματικό διάγραμμα, θα είναι:

$$I_L = I_{RL} * \eta\mu\phi \Rightarrow I_L = \frac{U}{\sqrt{R_L^2 + (L * \omega_0)^2}} * \eta\mu\phi$$

επειδή $I_C = U * C * \omega_0$ και $I_C = I_L$ (συντονισμός), θα έχουμε:

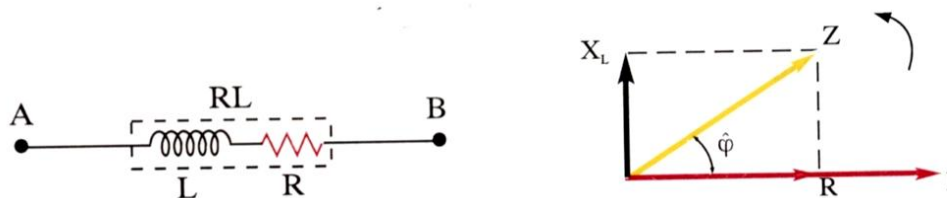
$$U * C * \omega_0 = \frac{U}{\sqrt{R_L^2 + (L * \omega_0)^2}} * \eta\mu\phi \Rightarrow C * \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{R_L^2 + (L * \omega_0)^2}} * \eta\mu\phi$$

Στα άκρα του πηνίου θα έχουμε:

$$\eta\mu\phi = \frac{X_L}{Z_{RL}} = \frac{L * \omega_0}{\sqrt{R_L^2 + (L * \omega_0)^2}} \quad \text{επειδή } C * \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{R_L^2 + (L * \omega_0)^2}} * \eta\mu\phi \quad \text{θα έχουμε :}$$

$$C * \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{R_L^2 + (L * \omega_0)^2}} * \frac{L * \omega_0}{\sqrt{R_L^2 + (L * \omega_0)^2}} \Rightarrow C * \omega_0 = \frac{L * \omega_0}{\left(\sqrt{R_L^2 + (L * \omega_0)^2}\right)^2} \Rightarrow$$

$$C * \omega_0 = \frac{L * \omega_0}{R_L^2 + (L * \omega_0)^2}$$



Σχήμα 42: Σύνθετη αντίσταση πραγματικού πηνίου.

Πηγή: Διδάσκων (2014).

Επειδή στην πράξη στα πραγματικά πηνία, η επαγωγική αντίσταση X_L είναι πολύ μεγαλύτερη από την ωμική R_L , τότε και $R_L^2 \ll (L * \omega_0)^2$ και η προηγούμενη σχέση μπορεί να γίνει:

$$C * \omega_0 = \frac{1}{L * \omega_0}$$

Από τη σχέση αυτή προκύπτει, η γνωστή από τα κυκλώματα συντονισμού σειράς σχέση, όπου:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L * C}} \text{ και } f_0 \approx \frac{1}{2\pi\sqrt{L * C}}$$

Επομένως και εδώ κατά προσέγγιση ισχύουν οι ίδιες σχέσεις, με τις σχέσεις των κυκλωμάτων συντονισμού σειράς.

Στην πράξη όταν σε ένα παράλληλο κύκλωμα έχουμε συντονισμό, μπορούμε να πούμε ότι αυτό συμπεριφέρεται σαν να περιλαμβάνει αποκλειστικά μια ωμική αντίσταση R στην οποία καταναλώνεται η ενέργεια που προσφέρεται από την πηγή. Στο εσωτερικό του κυκλώματος έχουμε περιοδικά ανταλλαγή ενέργειας ανάμεσα στον πυκνωτή και στο πηνίο. Για το λόγο αυτό το κύκλωμα ονομάζεται ταλαντευόμενο κύκλωμα.

Όταν έχουμε συντονισμό σ' ένα κύκλωμα με πηνίο και πυκνωτή συνδεδεμένα παράλληλα, θα έχουμε:

A) Κυκλική συχνότητα πηγής $\omega = \omega_0$ και συχνότητα πηγής $f = f_0$.

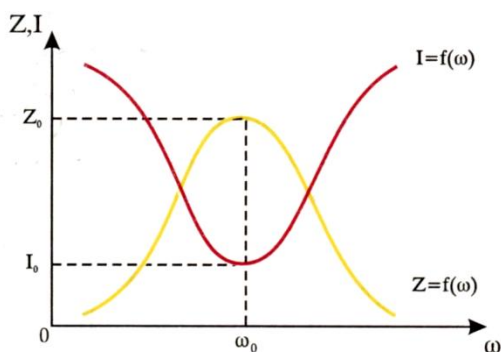
B) Ολικό ρεύμα του κυκλώματος I_0 στην μικρότερη τιμή και ίσο με την πραγματική συνιστώσα I_R του ρεύματος I_{RL} του πηνίου.

Γ) Σύνθετη αντίσταση του κυκλώματος Z_0 στην μεγαλύτερή της τιμή και ίση με U/I .

Με βάση τα παραπάνω, όταν σε ένα παράλληλο κύκλωμα L-C, κρατήσουμε σταθερή την τάση U και μεταβάλλουμε την κυκλική συχνότητα ω της πηγής, θα έχουμε:

- Όταν $\omega \rightarrow 0$ το $I \rightarrow \infty$ και το $Z \rightarrow 0$.
- Όταν $\omega = \omega_0$ το $I = I_0 = I_R$ και το $Z = Z_0 = U/I_0$.
- Όταν $\omega \rightarrow \infty$ το $I \rightarrow \infty$ και το $Z \rightarrow 0$.

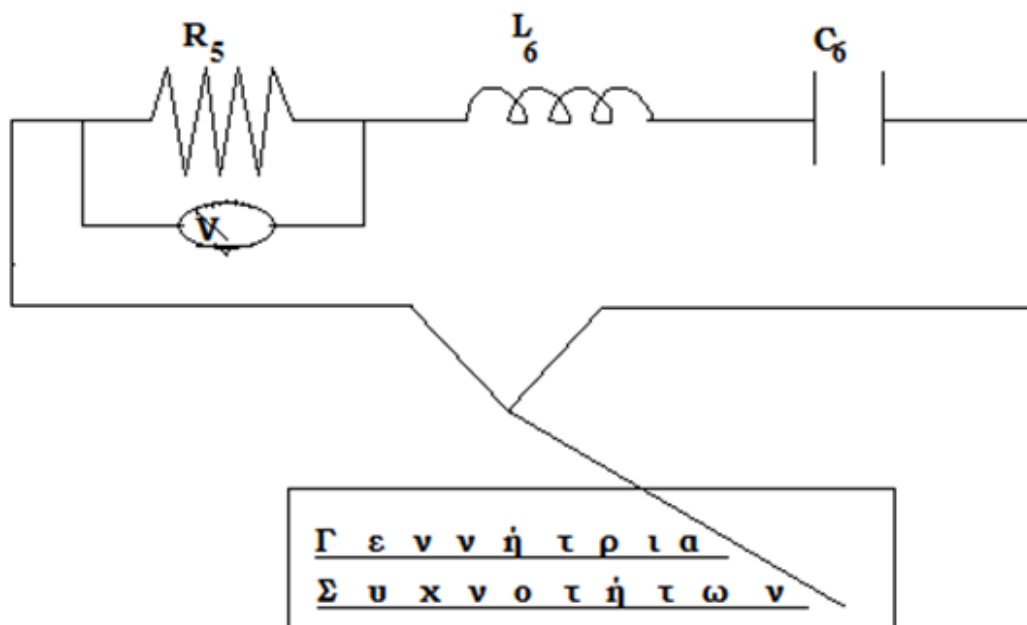
Οι καμπύλες συντονισμού $I=f(\omega)$ και $Z=f(\omega)$ θα έχουν τη μορφή του σχήματος Παρατηρούμε ότι οι καμπύλες συντονισμού σε παράλληλο κύκλωμα είναι αντίστροφες από τις καμπύλες στα κυκλώματα σειράς.



Διάγραμμα 11: Διάγραμμα έντασης και συνολικής αντίστασης σε παράλληλο κύκλωμα συντονισμού R-L-C.

Πηγή: Διδάσκων (2014).

20. Πρακτικό Μέρος: Συντονισμός



Σχήμα 43: Γεννήτρια Συχνοτήτων.

Πηγή: Διδάσκων (2014).

F (Hz)	10	20	40	60	80	100	110	200
U_R (mV)								

Πίνακας 2: Εργαστηριακές μετρήσεις.

Πηγή: Διδάσκων (2014).

- Έχουμε σταθερή **τάση** τροφοδοσίας :10 V.
- **Μεταβάλλουμε** την συχνότητα.
- **Καταγράφουμε** τις αντίστοιχες τιμές της U_R .
- Στην συχνότητα των **50Hz** μετράμε $U_R = \dots\dots\dots$ (V), $U_L = \dots\dots\dots$ (V), $U_C = \dots\dots\dots$ (V).
- Να μετρηθούν η αντίσταση $R = \dots\dots\dots$ (Ω) και η αντίσταση $R_L = \dots\dots\dots$ (Ω).

Να υπολογισθούν :

- Το ρεύμα $I = \dots\dots\dots$ (A).
- Τα $L = \dots\dots\dots$ (Henry) και $C = \dots\dots\dots$ (μF) (για $f = 50$ Hz).
- Η συχνότητα συντονισμού f_0 .
- Να σχεδιασθεί σε μιλιμετρέ χαρτί η μεταβολή $U = f(f)$.
- Από την καμπύλη να μετρήσετε την συχνότητα συντονισμού f_0 και να συγκριθεί με την τιμή που υπολογίσατε.

21. Διόρθωση Συντελεστού Ισχύος

Γενικά

Το συνεχές ηλεκτρικό ρεύμα (ΣΡ) I δεν αλλάζει φορά και διατηρεί την ένταση του σταθερή στο χρόνο. Το ίδιο ισχύει και με τη συνεχή τάση U η οποία έχει πάντοτε το ίδιο μέτρο και την ίδια πολικότητα.

Η ισχύς σε μια ωμική αντίσταση R που διαρρέετε από ΣΡ I και έχει τάση U είναι ίση με:

$$P = U \cdot I = I^2 \cdot R = \frac{U^2}{R}$$

Αντίθετα, στο ΕΡ η ένταση του ρεύματος δεν μπορεί να ορισθεί με την βία σαφήνεια, επειδή η κυματομορφή της είναι ημιτονοειδής και μεταβάλλεται συνεχώς με το χρόνο.

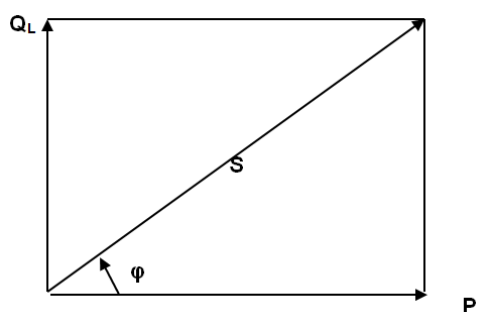
Ένας από τους βασικούς στόχους της ηλεκτρολογίας είναι ο υπολογισμός της ηλεκτρικής ισχύος ενός κυκλώματος. Αυτό μπορεί να γίνει αν προσδιορισθεί η σχέση μεταξύ της ισχύος του ΣΡ και του ΕΡ, δηλαδή ποια πρέπει να είναι η ένταση I ενός ΣΡ που θα δώσει στην ίδια R ίση ηλεκτρική ισχύ με μια ένταση ΕΡ πλάτους I_m . Η ένταση αυτή στο ΕΡ συμβολίζεται με I και είναι η ενεργός τιμή του ημιτονοειδούς εναλλασσόμενου ρεύματος.

$$I = I_m \cdot \cos(\omega t).$$

Στο Ε.Ρ. στις μονοφασικές καταναλώσεις, έχουμε τρία είδη ισχύος:

1. **Την πραγματική ισχύ P** , που μετριέται σε Watt (W). $P = U \cdot I \cdot \cos\phi$ Είναι η ισχύς που χρειαζόμαστε για να λειτουργήσουμε την εγκατάστασή μας.
2. **Την άεργη ισχύ Q** , που μετριέται σε (VAR). $Q = U \cdot I \cdot \sin\phi$ Είναι η ισχύς που χάνεται στα πηνία και τους πυκνωτές. Λέγεται άεργη γιατί δεν παράγει κανένα έργο.
3. **Την φαινόμενη ισχύ S** , που μετριέται σε (VA). $S = U \cdot I$ Είναι η ισχύς την οποία πρέπει να παράγει η ΔΕΗ για να μπορέσουμε να έχουμε εμείς την ισχύ που χρειαζόμαστε.

Η σχέση που συνδέει τις τρεις ισχύεις φαίνεται καθαρά αν τοποθετήσουμε τις ισχύεις αυτές στον ορθογώνιο άξονα. Η πραγματική ισχύς είναι αυτή που εμείς θέλουμε και παράγεται από τις ωμικές αντιστάσεις και γι αυτό θα την βάλουμε στον οριζόντιο άξονα. Η άεργη ισχύς παράγεται από τα πηνία και γι αυτό θα την τοποθετήσουμε στον κατακόρυφο άξονα. Το άθροισμα των δύο αυτών είναι η φαινόμενη ισχύς που παράγει η ΔΕΗ για εμάς. Σύμφωνα λοιπόν με αυτά θα έχουμε το ακόλουθο διάγραμμα:



Σχήμα 44: Τρίγωνο ισχύος.

Πηγή: Διδάσκων (2014).

Άρα θα ισχύουν οι σχέσεις:

$$S^2 = P^2 + Q^2 \text{ και } \cos\phi = \frac{P}{S}, \quad \eta\mu\phi = \frac{Q}{S}, \quad \varepsilon\phi\phi = \frac{Q}{P}$$

Το $\cos\phi$ στην πράξη είναι πάντα επαγωγικό και γι αυτό στο διάγραμμά μας δεν έχουμε υπολογίσει καθόλου χωρητική άεργη ισχύ. Οι καταναλωτές που παρουσιάζουν επαγωγική συμπεριφορά και έχουν μικρό $\cos\phi$ είναι :

- A) Οι κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος.
- B) Οι μετασχηματιστές.
- Γ) Όλα τα είδη λαμπτήρων φθορισμού.

Το $\cos\phi$ σ' αυτούς τους καταναλωτές κυμαίνεται από 0,5 έως 0,7 περίπου. Η ΔΕΗ μας υποχρεώνει να βελτιώσουμε το $\cos\phi$ τουλάχιστον στην τιμή 0,85. Αυτό γίνεται επειδή όσο πιο χαμηλό είναι το $\cos\phi$, τόσο μεγαλύτερη είναι η επιβάρυνση των δικτύων με άεργη ισχύ. Αποτέλεσμα αυτής της επιβάρυνσης είναι, είναι η αύξηση του συνολικού ρεύματος και η επιφόρτιση των γραμμών μεταφοράς, χωρίς καμιά αύξηση της πραγματικής ισχύος.

Η διαδικασία βελτίωσης του $\cos\phi$ ονομάζεται **Διόρθωση του Συντελεστή Ισχύος**.

Η διόρθωση του $\cos\phi$ γίνεται τοποθετώντας παράλληλα με την κατανάλωση πυκνωτές.

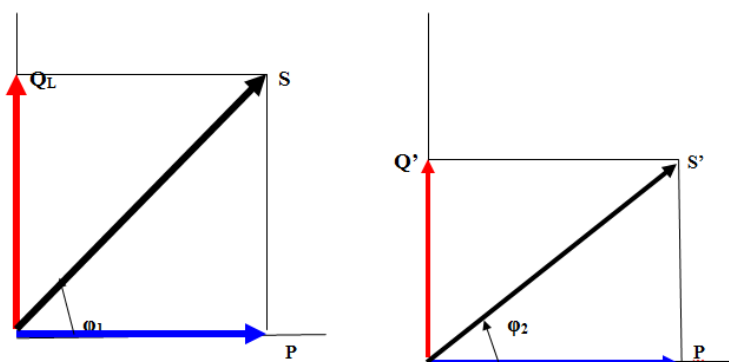
Η χωρητικότητα των πυκνωτών αυτών δεν είναι καθόλου τυχαία. Υπολογίζεται από τον τύπο:

$$C = \frac{P * (\tan \phi_1 - \tan \phi_2)}{U^2 * \omega}$$

Όπου :

- **C** = η χωρητικότητα του πυκνωτή.
- **P** = η πραγματική ισχύς που χρειαζόμαστε.
- **$\tan \phi_1$** = η εφαπτομένη της γωνίας που έχει η εγκατάστασή μας.
- **$\tan \phi_2$** = η εφαπτομένη της γωνίας που θα πρέπει να έχει η εγκατάστασή μας.
- **U** = η τάση της εγκατάστασης.
- **Ω** = η κυκλική συχνότητα.

Αυτό που θα πρέπει να ξεκαθαρίσουμε είναι ότι η πραγματική ισχύς πρέπει και παραμένει σταθερή. Αυτό που μεταβάλλεται είναι η γωνία (ϕ) μεταξύ πραγματική και άεργης ισχύος. Αν λοιπόν θελήσουμε να παραστήσουμε γραφικά το τρίγωνο ισχύος πριν και μετά την τοποθέτηση των πυκνωτών θα έχουμε ένα διάγραμμα της μορφής:



Διάγραμμα 12: α) Πριν την τοποθέτηση του πυκνωτή, β) Μετά την τοποθέτηση του πυκνωτή.

Πηγή: Διδάσκων (2014).

Η μεταβολή της άεργης ισχύος οφείλεται στην δημιουργία, με την τοποθέτηση του πυκνωτή, μιας αντίθετης άεργης ισχύος από αυτήν που έχουμε η οποία μειώνει την άεργη ισχύ που παρουσίαζε το κύκλωμά μας.

Ο όρος διόρθωση ή βελτίωση του συντελεστή ισχύος υποδηλώνει την αύξηση του, έτσι ώστε η τιμή του να τείνει στη μονάδα. Επειδή δε ο συντελεστής ισχύος είναι το $\cos \phi$, όπως είναι γνωστό, το ϕ είναι η γωνία φάσης του φορτίου Z, δηλαδή η διαφορά φάσης μεταξύ της τάσης u και του ρεύματος i , αυτό σημαίνει ότι όταν βελτιώνεται ο συντελεστής ισχύος, τα διανύσματα της τάσης U και του ρεύματος I τείνουν να γίνουν συμφασικά.

Για να λειτουργήσει μια ηλεκτρική συσκευή πρέπει να απορροφά μέση ισχύ P . Η ισχύς αυτή μπορεί να παρέχεται είτε από το ηλεκτρικό δίκτυο ή από κάποια ηλεκτρική γεννήτρια. Η συσκευή αυτή, καθώς κι όλες οι άλλες που ανήκουν στην ίδια ηλεκτρική εγκατάσταση, βιομηχανική ή οικιακή, συνδέονται παράλληλα μεταξύ τους, αλλά και παράλληλα με την ηλεκτρική πηγή που τις τροφοδοτεί.

Τα ηλεκτρικά φορτία Z_1, Z_2, \dots, Z_n είναι συνήθως επαγωγικά και μπορεί να είναι διάφοροι τύποι ηλεκτρικών κινητήρων (σύγχρονοι, επαγωγικοί), ωμικές καταναλώσεις, τόννοι, ηλεκτροσυγκολλητές, ηλεκτρικοί κλίβανοι, ηλεκτρικά ψυγεία, καταψύκτες, φωτιστικά σώματα κλπ.

Επειδή η τάση του ηλεκτρικού δικτύου της ΔΕΗ καθώς και η τάση των ηλεκτρικών γεννητριών είναι σταθερή, γι αυτό τα διάφορα ηλεκτρικά φορτία έχουν σχεδιασθεί να λειτουργούν υπό σταθερή τάση U .

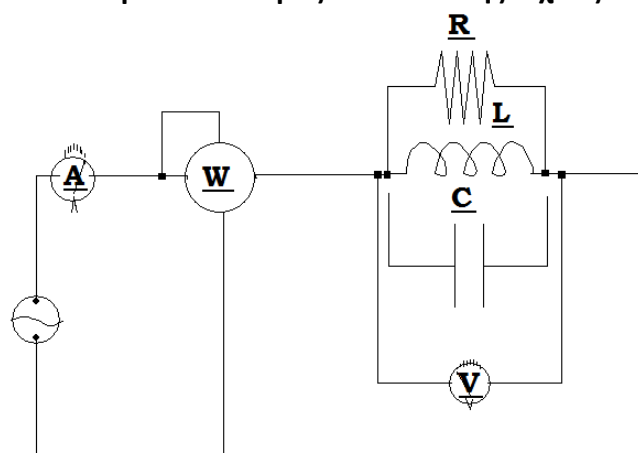
Από τον τύπο:

$$P = U \cdot I \cdot \cos\phi$$

μπορεί να διαπιστωθεί ότι για να παραμείνει η P σταθερή, υπό σταθερή τάση U και για $\cos\phi$ μεταβαλλόμενο, πρέπει ταυτόχρονα να μεταβάλλεται και το ρεύμα I . Όταν προκαλείται διόρθωση του συντελεστή ισχύος, δηλαδή αύξηση του $\cos\phi$, αυτό σημαίνει ότι το ρεύμα I θα μειωθεί με την ίδια αναλογία. Αντίστροφα, όταν το $\cos\phi$ μειώνεται, δηλαδή χειροτερεύει, τότε το ρεύμα αυξάνεται.

Άρα, για να βελτιωθεί ο συντελεστής ισχύος πρέπει απαραίτητα να μειωθεί το ρεύμα που απορροφά το φορτίο. Αυτό συνεπάγεται μείωση της διατομής των αγωγών, άρα μείωση του κόστους μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας.

22. Πρακτικό Μέρος: Συντελεστής ισχύος



Σχήμα 45: Κύκλωμα πρακτικού μέρους.

Πηγή: Διδάσκων (2014).

C	V (V)	I (A)	P (W)	S	Q _L	cosφ	tanφ	C (μf)
-								-
C								

Πίνακας 3: Εργαστηριακές μετρήσεις και υπολογισμού.

Πηγή: Διδάσκων (2014).

Να μετρηθούν:

A) Χωρίς πυκνωτή : U, I, P.

B) Με πυκνωτή: U, I, P.

Να υπολογιστούν:

1^ο A) Χωρίς πυκνωτή: S, Q_L, cosφ₂, tanφ₂.

B) Με πυκνωτή: S, Q_L, cosφ₁, tanφ₁, C.

2^ο Να κατασκευαστεί το τρίγωνο ισχύος.

23. Βιβλιογραφία

Herman, S. L. (1998). *ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑ*. Εκδόσεις Ίων.

Καλαμπούκας, Z. (1997). *Σημειώσεις ηλεκτροτεχνίας για Ηλεκτρολόγους*. ΤΕΙ Κοζάνης.

Κολλιόπουλος, Δ. Μ. (2006). *ΒΑΣΙΚΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑ*. Εκδόσεις Ίων.

24. Παράρτημα

Σημείωμα Αναφοράς.

Copyright ΤΕΙ Δυτικής Μακεδονίας, Αριστείδης Νικ. Παυλίδης. «ΗΛΕΚΤΡΟΤΕΧΝΙΑ-ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ». Έκδοση: 1.0. Κοζάνη 2015.

Σημείωμα Αδειοδότησης.

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο.
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο.
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο.

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

Διατήρηση Σημειωμάτων.

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς.
- το Σημείωμα Αδειοδότησης.
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων.
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει).

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.

Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων.

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

Εικόνες/Σχήματα/Διαγράμματα/Φωτογραφίες.

- Herman, S.L. (1998) Ηλεκτρολογία, Επιμέλεια Ανδρέας Γούτης, Εκδόσεις "ΙΩΝ" Περιστέρι.