

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ  
ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ**

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΕ**

# **Ηλεκτροτεχνία και Ηλεκτρονική**

Θεμελής Δημήτριος



Σεπτέμβριος 2015

## 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.



Το έργο αυτό αδειοδοτείται από την Creative Commons Αναφορά Δημιουργού - Παρόμοια Διανομή 4.0 Διεθνές Άδεια. Για να δείτε ένα αντίγραφο της άδειας αυτής, επισκεφτείτε <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.el>.

## Χρηματοδότηση

Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.

Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο ΤΕΙ Κεντρικής Μακεδονίας**» 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.

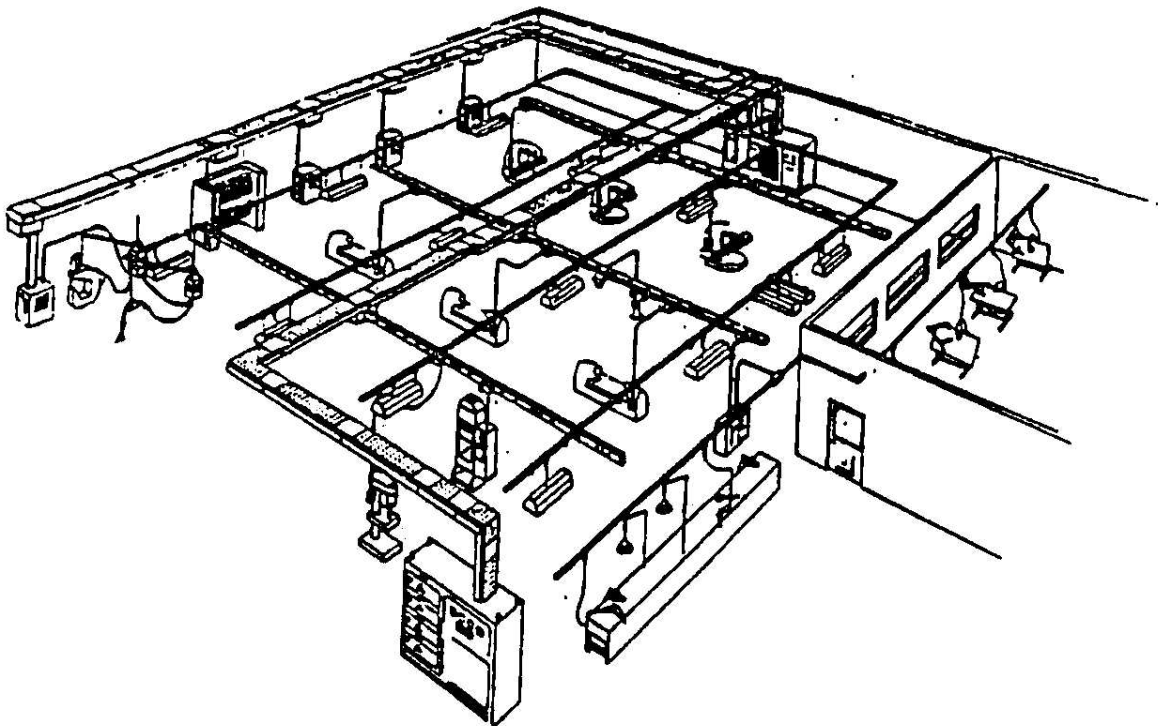


ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΕΘΝΙΚΗΣ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΣΕΡΡΩΝ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

----- ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ -----

## ΗΛΕΚΤΡΟΤΕΧΝΙΑΣ

ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ ΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ



Δ. Σ. ΘΕΜΕΛΗΣ  
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΤΟΥ ΤΕΙ ΣΕΡΡΩΝ

ΣΕΡΡΕΣ 2010

## Π Ρ Ο Λ Ο Γ Ο Σ

Ξεκίνησα να γράφω αυτές τις σημειώσεις θέλοντας να καλύψω το κενό που υπάρχει στον χώρο των ηλεκτρικών μετρήσεων για τους Μηχανολόγους Δ΄ του Τ.Ε.Ι. Σερρών.

Είναι γραμμένες σύμφωνα με το αναλυτικό πρόγραμμα του Υπουργείου Παιδείας.

Στην εισαγωγή περιλαμβάνονται μερικές χρήσιμες πληροφορίες γύρω από τα όργανα που θα χρησιμοποιηθούν στις ασκήσεις, ο τρόπος διεξαγωγής αυτών, τα σφάλματα και οι αιτίες τους, καθώς επίσης οι συμβολισμοί των διαφόρων εξαρτημάτων των μετρήσεων που είναι απαραίτητοι στους σπουδαστές για την επίλυση των κυκλωμάτων.

Στη συνέχεια αναπτύσσονται οι ασκήσεις κάθε μία των οποίων αποτελείται από τη σχετική θεωρία που πρέπει να κατέχει ο σπουδαστής, από το σκοπό, τα απαιτούμενα υλικά και όργανα, την πορεία διεξαγωγής της άσκησης, και τον πίνακα αποτελεσμάτων που πρέπει να συμπληρώσει ο σπουδαστής.

Η επιμονή μου στη λεπτομερή περιγραφή της πορείας για την εκτέλεση των ασκήσεων, τόσο στην εισαγωγή όσο και στις επιμέρους ασκήσεις, οφείλεται στο να αποκτήσει ο σπουδαστής τάξη στην σκέψη και σωστή σειρά στους διάφορους χειρισμούς.

Σέρρες 2010

ΔΗΜ/ Σ. ΘΕΜΕΛΗΣ

Π Ε Ρ Ι Ε Χ Ο Μ Ε Ν Α

ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	I
1. Πορεία εργασίας για την εκτέλεση κάθε άσκησης.....	2
2. Σφάλματα κατά τις Εργαστηριακές Μετρήσεις.....	3
3. Συμβολισμοί.....	4
ΑΣΚΗΣΗ 1.....	7
ΒΟΛΤΟΜΕΤΡΟ-ΑΜΠΕΡΟΜΕΤΡΟ.ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΕΣ.....	7
ΑΣΚΗΣΗ 2.....	13
ΣΥΝΔΕΣΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΩΝ ΣΕ ΣΕΙΡΑ .....	13
ΑΣΚΗΣΗ 3.....	17
ΠΑΡΑΛΛΗΛΗ ΣΥΝΔΕΣΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΩΝ.....	17
ΑΣΚΗΣΗ 4.....	22
ΠΟΛΥΜΕΤΡΑ-ΩΜΟΜΕΤΡΑ.....	22
ΑΣΚΗΣΗ 5.....	30
ΜΕΤΡΗΣΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΜΕ ΤΗ ΓΕΦΥΡΑ WHEATSTONE.....	30
ΑΣΚΗΣΗ 6.....	36
ΘΕΩΡΗΜΑ ΤΗΣ ΥΠΕΡΘΕΣΗΣ.....	36
ΑΣΚΗΣΗ 7.....	41
ΤΑΣΗ,ΕΝΤΑΣΗ ΚΑΙ ΣΥΝΘΕΤΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΣΤΟ Ε.Ρ.....	41
ΑΣΚΗΣΗ 8.....	46
ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΣ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ ΜΕ R,L ΚΑΙ C ΣΕ ΣΕΙΡΑ.....	46
ΑΣΚΗΣΗ 9.....	51
ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΣ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ ΜΕ R ΚΑΙ L ΠΑΡΑΛΛΗΛΑ ΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΑ ΜΕ C.....	51
ΑΣΚΗΣΗ 10.....	57
ΒΑΤΤΟΜΕΤΡΟ-ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΦΑΙΝΟΜΕΝΗΣ ΙΣΧΥΟΣ, ΤΗΣ ΑΕΡΓΗΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΙΣΧΥΟΣ ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ.....	57

ΑΣΚΗΣΗ 11 ΤΡΙΦΑΣΙΚΗ ΤΑΣΗ ΚΑΙ ΡΕΥΜΑ	Σελ. 65
ΑΣΚΗΣΗ 12 ΤΡΙΦΑΣΙΚΗ ΙΣΧΥ	Σελ. 77
ΑΣΚΗΣΗ 13 ΣΧΕΣΕΙΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ ΜΕΤΑΣΧΗ- ΜΑΤΙΣΤΟΥ	Σελ. 85
ΑΣΚΗΣΗ 14 ΠΑΛΜΟΓΡΑΦΟΣ - ΕΙΔΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ	Σελ. 93
ΑΣΚΗΣΗ 15 ΑΝΟΡΘΩΤΗΣ	Σελ. 102
ΑΣΚΗΣΗ 16 ΜΕΤΡΗΣΗ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΧΩΡΗΤΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΠΥΚΝΩΤΗ ΜΕ ΒΟΛΤΟΜΕΤΡΟ - ΑΜΠΕΡΟΜΕΤΡΟ - ΣΥΧΝΟΜΕ- ΤΡΟ ΜΕ ΓΕΦΥΡΑ ΚΑΙ ΜΕ ΚΑΠΑΣΙΤΟΜΕΤΡΟ	Σελ. 112
ΑΣΚΗΣΗ 17 ΜΕΤΡΗΣΗ ΑΥΤΕΠΑΓΩΓΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΑΥΤΕΠΑΓΩΓΗΣ ΠΗΝΙΟΥ ΜΕ ΒΟΛΤΟΜΕΤΡΟ - ΑΜΠΕΡΟΜΕΤΡΟ - ΣΥΧΝΟΜΕΤΡΟ ΚΑΙ ΜΕ ΕΠΑΓΩΓΙΚΗ ΓΕΦΥΡΑ	Σελ. 124
ΑΣΚΗΣΗ 18 ΑΜΕΣΗ ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΙΣΧΥΟΣ - ΒΕΛΤΙΩΣΗ	Σελ. 133
ΑΣΚΗΣΗ 19 ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΚΑΙ ΒΙΟΤΕΧΝΙΚΕΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΚΑΛΩΔΙΩΣΕΙΣ - ΣΧΕΔΙΑΣΗ Ε.Η.Ε ΚΙΝΗΣΗΣ	Σελ. 141
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	Σελ. 146

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σκοπός των Εργαστηριακών Ασκήσεων γενικά, είναι η επαλήθευση και εμπέδωση της θεωρίας.

Το ηλεκτρολογικό εργαστήριο έχει σαν σκοπό, όχι μόνο να επαληθεύσει τις θεωρητικές ηλεκτρολογικές γνώσεις, αλλά και στο να αποκτήσουν οι σπουδαστές τεχνική πείρα, τόσο στη χρήση των ποικίλων οργάνων, όσο και στην συνδεσμολογία κυκλωμάτων. Ο σκοπός αυτός όμως επιτυγχάνεται με τη σωστή εκτέλεση των εργαστηριακών ασκήσεων.

Η σωστή εκτέλεση των ασκήσεων απαιτεί μελέτη του θεωρητικού τούτου μέρους η οποία προηγείται σε κάθε άσκηση.

Είναι απαραίτητο δηλαδή ο σπουδαστής να έχει κατανοήσει από πριν το θέμα που πραγματεύεται η άσκηση.

Επίσης ο σπουδαστής πρέπει να γνωρίζει την ορθή χρήση των οργάνων μέτρησης και ελέγχου που θα χρησιμοποιήσει.

Μέχρι να πραγματοποιηθούν οι ειδικές ασκήσεις περί των οργάνων οι σπουδαστές θα πρέπει να γνωρίζουν ότι:

1. Τα αμπερόμετρα τα συνδέουμε σε σειρά προς το κύκλωμα, του οποίου θέλουμε να μετρήσουμε την ένταση.
2. Για την μέτρηση της διαφοράς δυναμικού στα άκρα ενός αγωγού χρησιμοποιούμε τα βολτόμετρα και πρέπει να τα συνδέουμε παράλληλα προς τον θεωρούμενο αγωγό.
3. Τα ωμόμετρα τα χρησιμοποιούμε για την μέτρηση αντιστάσεων και πάντα σε κυκλώματα εκτός τάσεως.
4. Όταν μετρούμε συνεχές μέγεθος η τοποθέτηση των ακροδεκτών οποιδήποτε οργάνου στα σημεία που πρόκειται να πραγματοποιηθεί η μέτρηση, πρέπει να γίνεται με την ορθή πολικότητα.

5. Πριν χρησιμοποιηθεί οποιοδήποτε όργανο εκλέγουμε την κατάλληλη κλίμακα που μας εξυπηρετεί στη συγκεκριμένη μέτρηση.

I. Πορεία εργασίας για την εκτέλεση κάθε άσκησης

Η εκτέλεση κάθε εργαστηριακής άσκησης πρέπει να ακολουθεί μια διαδικασία, η οποία σε γενικές γραμμές μπορεί να συνοψισθεί στα εξής:

- I. Μελέτη του θεωρητικού μέρους της άσκησης. Είναι απαραίτητο ο σπουδαστής να έχει κατανοήσει από πριν το θέμα που πραγματεύεται η άσκηση.
2. Αναγνώριση των κατάλληλων οργάνων για την άσκηση και εκλογή κατάλληλης κλίμακας.
3. Εκλογή κατάλληλης θέσης των συσκευών και των οργάνων της άσκησης πάνω στον πάγκο εργασίας έτσι ώστε και οι συνδέσεις να διευκολύνονται και να γίνεται άνετα η ανάγνωση των ενδείξεων των οργάνων.
4. Ακολουθεί η συνδεσμολογία, χωρίς όμως να εφαρμοσθεί τάση στο κύκλωμα.
5. Γίνεται έλεγχος της συνδεσμολογίας από τον Καθηγητή και τους Βοηθούς του εργαστηρίου.
6. Εφόσον η συνδεσμολογία είναι ορθή και δοθεί έγκριση του Καθηγητή και των Βοηθών εφαρμόζεται τάση στο κύκλωμα.
7. Εκτελούνται με προσοχή οι μετρήσεις.
8. Τέλος αποσυνδέονται οι συσκευές και τα όργανα και τοποθετούνται όπως ακριβώς ήταν πριν αρχίσει η άσκηση.

2. Σφάλματα κατά τις Εργαστηριακές Μετρήσεις



Σκοπός της παραγράφου αυτής δεν είναι να μας δείξει την ποσοτική εύρεση ενός σφάλματος (υπάρχει εκτεταμένη θεωρία πάνω σ' αυτό το θέμα), αλλά απλώς να γίνει μία απαρίθμηση των αιτιών, ώστε οι ασκούμενοι να μπορέσουν να τα αποφύγουν κατά το δυνατόν.

#### Αιτίες σφαλμάτων

1. Οι ατέλειες του ίδιου του οργάνου. Οι ατέλειες αυτές κυρίως, οφείλονται στην ποιότητα των υλικών κατασκευήσ τους. Στα όργανα ενδείξεων με κινητή βελόνα η ακρίβεια είναι μεγαλύτερη όταν χρησιμοποιούνται σε τέτοια κλίμακα, ώστε η ένδειξή τους να δίνεται στο τελευταίο τρίτο της κλίμακας.
  2. Η μέθοδος που χρησιμοποιείται κατά την μέτρηση. Υπάρχουν μέθοδοι μέτρησης (τρόπος συνδεσμολογίας των οργάνων και επίδραση από το ένα στο άλλο) που εισαγάγουν κάποιο αναπόφευκτό σφάλμα.
  3. Η μη σωστή χρησιμοποίηση του οργάνου από τον ασκούμενο. Δηλαδή, λανθασμένη τοποθέτηση του οργάνου (οριζόντια ή κάθετα), κακή εκλογή κλίμακας και μη καλή ανάγνωση των ενδείξεων.
  4. Τέλος δε τα σφάλματα μπορεί να οφείλονται και σε εξωτερικές αιτίες. Όπως π.χ. σε επιδράσεις από ηλεκτρικά ή μαγνητικά πεδία, στη θερμοκρασία, την υγρασία, κ.λ.π.
- Όλα αυτά όμως τα σφάλματα είναι μικρά και δεν παίζουν σημαντικό ρόλο στην βασική επίδωξη του σκοπού για τον οποίο διεξάγονται αυτές οι ασκήσεις και που αναφέρθηκε στην αρχή της Εισαγωγής.

### 3. Συμβολισμός






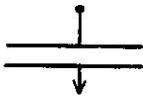
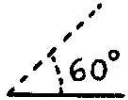

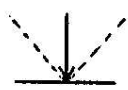


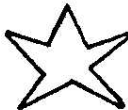





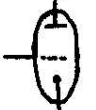
Σημαντική όσο και αποφασιστική βοήθεια στην όλη διαδικασία της πραγματοποίησης των εργαστηριακών ηλεκτρολογικών ασκήσεων προσφέρει το ηλεκτρολογικό σχέδιο. Για την κατανόηση όμως του ηλεκτρολογικού σχεδίου απαραίτητη προϋπόθεση είναι η γνώση των συμβόλων των διαφόρων εξαρτημάτων.

Στους παρακάτω πίνακες παριστάνονται τα σύμβολα που χρησιμοποιούνται στις ηλεκτρολογικές μετρήσεις και η ονομασία τους.

ΣΥΜΒΟΛΟ	ΟΝΟΜΑΣΙΑ	ΣΥΜΒΟΛΟ	ΟΝΟΜΑΣΙΑ
	Συνεχές ρεύμα (D.C)		Ωμική αντίσταση
	Εναλλασσόμενο ρεύμα (A.C)		Επαγωγική αντίσταση
	Συνεχές και Εναλλασσόμενο ρεύμα		Χωρητική αντίσταση
	Εναλλασσόμενο με ένδειξη φάσεων ω' συχνότητα		Σύνθετη αντίσταση
	Πηγή συνεχούς ρεύματος		Ρυθμιστική αντίσταση
	Πηγή Εναλλασσόμενου ρεύματος		Πυκνωτής ηλεκτρολογικός
	Διαμόρφηση		Αυτεπαγωγική βαλβίδα πηνίο με σιδηροπυρίνα

ΣΥΜΒΟΛΟ	ΟΝΟΜΑΣΙΑ	ΣΥΜΒΟΛΟ	ΟΝΟΜΑΣΙΑ
	Μετασχηματισ. μονοφασικός		Ρευματοδότης διπλούς
	Μετασχηματισ. μετρήσεως		Ρευματοδότης με χείωση
	M/T εντάσεως (μονογραμμικό σχέδιο).		Ρευματοδότης μετά διαμόπτου
	M/T εντάσεως τάσεως		Ρευματοδότης τηλεφώνου
	Ανορθωτής		Ρευματοδότης κεραιάς ραδιοφώνου-TV
	Διαμόπτης απλός		Πίνακας διανομής
	Διαμόπτης μομιζαζέρ		Διαμόπτης αστέρος - τριχώνου
	Διαμόπτης αλε ρεζούρ αμραιο		Ασφάλεια (μοχλιωτή - μαχαιρωτή)
	Διαμόπτης αλε ρεζούρ μεσαιος		Ασφάλεια απ-οξεύμης
	Ρευματοδότης απλός		Φωτισσιμό απλό.

ΣΥΜΒΟΛΟ	ΟΝΟΜΑΣΙΑ	ΣΥΜΒΟΛΟ	ΟΝΟΜΑΣΙΑ
	Φωτιστικό μέ διακόπτη		Όργανο μέτρησης στρεπτού πηνίου μέ μόνιμο μαγνήτη
	Φωτιστικό σχεδανό		Όργανο μέτρησης μέ διασταυρωμένο πηνίο
	Φωτιστικό επίτοιχο		Όργανο μέτρησης στρεπτού μαγνήτη
	Πολύφωτο V λαμπτήρων		Όργανο στροφάλι μαγνήτη μέ διασταυρωμένα πηνία
	Σωληνωτόν		Όργανο κινήτου ή βυθιζόμενου σιδήρου
	Βολτόμετρο		Όργανο διηλού κινήτου ή βυθιζόμενου σιδήρου
	Αμπερόμετρο		Ηλεκτροδυναμικό
	Βαττόμετρο		Ηλεκτροδυναμικό μέ διασταυρωμένα πηνία
	Μετρητής γενικής		Ηλεκτροδυναμικό μέ σιδερένιο υλωτό
	Μετρητής ηλεκτρικής ενέργειας		Ηλεκτροδυναμικό μέ διασταυρωμένο πηνίο και σιδερένιο υλωτό

ΣΥΜΒΟΛΟ	ΟΝΟΜΑΣΙΑ	ΣΥΜΒΟΛΟ	ΟΝΟΜΑΣΙΑ
	Επαγχειλιό		Προσοχή διαβάστε τις οδηγίες
	Επαγχειλιό πηλίου		Ρύθμιση μηδενός της αλίμανος οργάνου
	Θερμιό	α s t	Ασταξιμός μηχανισμός
	Ηλεκτροστατιό		Τοποθέτηση οργάνου σε πλάγια θέση
	Διμεταλλιό	1,5	Κλάση οργάνου
	Παλλομένων ελασμάτων (οργαν. συχνότητας)		Τάση δοκιμής οργάνου 5 KV
	Σιδηρένιος υλινός		Τάση δοκιμής οργάνου 500V
	Ηλεκτροστατιός υλινός.		Ηλεκτρονόμος (ρελέ)
	Ορθία τοποθέτηση οργάνου		Φωτομέτρη
	Οριζόντια τοποθέτηση οργάνου		Τριόδος λυχνία

Α Σ Κ Η Σ Η Ι

ΒΟΛΤΟΜΕΤΡΟ - ΑΜΠΙΕΡΟΜΕΤΡΟ. ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΕΣ

Θεωρητικό μέρος: I. Βολτόμετρο

Δυναμικό είναι η επιθυμία που έχουν τα ηλεκτρισμένα σώματα να επανέλθουν στην ουδέτερη τους κατάσταση.

Διαφορά δυναμικού ή ηλεκτρική τάση μεταξύ δύο σημείων ενός (ηλεκτρισμένου) αγωγού, ονομάζεται η διαφορά που υπάρχει μεταξύ των δυναμικών των σημείων αυτών.

Μονάδα μέτρησης της ηλεκτρικής τάσης είναι το I VOLT (σύστημα μονάδων SI), τα πολλαπλάσια και υποπολλαπλάσια του.

Αντιστοιχίες: I KILOVOLT (IKV) = 1000V =  $10^3$  V

I MEGAVOLT (IMV) = 1000000V =  $10^6$  V

I MILLIVOLT (IMV) = 0,001V =  $10^{-3}$  V

I MICROVOLT (IμV) = 0,000001 =  $10^{-6}$  V

Το όργανο που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της τάσης (DC ή AC) ονομάζεται βολτόμετρο και συνδέεται παράλληλα στο τμήμα του κυκλώματος που θέλουμε να μετρήσουμε την τάση. Με τη σύνδεση όμως του βολτομέτρου στο κύκλωμα, εξ αιτίας της εσωτερικής του αντίστασης, αλλάζουν τα χαρακτηριστικά του κυκλώματος.

Έτσι το βολτόμετρο δείχνει τάση μικρότερη της πραγματικής. Το σφάλμα αυτό είναι τόσο μικρότερο, όσο μεγαλύτερη είναι η εσωτερική αντίσταση του βολτομέτρου σε σχέση με την αντίσταση το τμήμα του κυκλώματος στα άκρα του οποίου έχουμε συνδέσει το όργανο.

Η σχέση μεταξύ της εσωτερικής αντίστασης και της κλίμακας ενός βολτομέτρου είναι σταθερή σε όλες τις περιοχές, λέγεται δε ευαισθησία και δηλώνει την ποιότητα του.

Η ευαισθησία μετριέται σε  $\Omega/V$ .

Όταν χρησιμοποιούμε το βολτόμετρο στο συνεχές ρεύμα πρέπει κατά την σύνδεση να προσέχουμε την πολικότητα του, δηλαδή το (+) της πηγής να συνδέεται με τον θετικό ακροδέκτη του οργάνου και το (-) με τον αρνητικό. Έτσι θα αποφύγουμε πιθανή καταστροφή του δείκτη.

Το βολτόμετρο στο Ε.Ρ. <sup>μερτά</sup> την ενεργό ή ενδείκνυμένη τιμή της τάσης.

$$V_{εν} = \frac{V_{max}}{\sqrt{2}} = 0,707 V_{max}$$

## 2. Αμπερόμετρο:

Ένταση (I) ηλεκτρικού ρεύματος ονομάζεται το ποσό του ηλεκτρικού φορτίου (Q) που διέρχεται από μία κάθετη τομή ενός αγωγού δια του αντίστοιχου χρόνου (t). Δηλαδή  $I = \frac{Q}{t}$   
Μονάδα μέτρησης της έντασης είναι το I AMPERE =  $\frac{1 \text{ C}}{1 \text{ sec}}$   
τα πολλαπλάσια και υποπολλαπλάσια αυτού.

Αντιστοιχίες: I MILLIAMPERE (1mA) = 0,001A =  $10^{-3}$ A

I MICROAMPERE (1 $\mu$ A) = 0,000001A =  $10^{-6}$ A

Το όργανο που χρησιμοποιείται για την μέτρηση της έντασης ονομάζεται αμπερόμετρο και συνδέεται σε σειρά στο τμήμα του κυκλώματος που θέλουμε να μετρήσουμε την ένταση.

Το όργανο που χρησιμοποιείται για την μέτρηση της έντασης ονομάζεται αμπερόμετρο και συνδέεται σε σειρά στο τμήμα του κυκλώματος που θέλουμε να μετρήσουμε την ένταση.  
Με την σύνδεση όμως του αμπερομέτρου στο κύκλωμα αλλάζουν

τα χαρακτηριστικά αυτού, εξ αιτίας της εσωτερικής του αντίστασης. Η πραγματική τιμή της έντασης  $I$  που θα έπρεπε να δείξει το αμπερόμετρο δίνεται από το νόμο του ΟΗΜ:  $I = \frac{V}{R}$  όπου  $R$  η ολική εξωτερική αντίσταση του κυκλώματος. Επειδή όμως το όργανο έχει και την εσωτερική του αντίσταση  $Z_V$  η τιμή της  $I$  που θα δείξει δίνεται από τη σχέση:  $I = \frac{V}{R + Z_V}$   
Έτσι το αμπερόμετρο δείχνει ένταση  $I$  μικρότερη της πραγματικής. Το σφάλμα αυτό είναι τόσο μικρότερο όσο μικρότερη είναι η εσωτερική αντίσταση του οργάνου.

Ευαισθησία ενός αμπερομέτρου ονομάζεται η ένταση του ρεύματος που χρειάζεται το κινητό του σύστημα για να ματαικινήσει το δείκτη σε πλήρη απόκλιση. Όταν χρησιμοποιούμε το αμπερόμετρο στο συνεχές ρεύμα πρέπει κατά τη σύνδεση να προσέχουμε την πολικότητα του, ώστε το (+) της πηγής να συνδέεται με το θετικό ακροδέκτη του οργάνου και το (-) με τον αρνητικό. Στο Ε.Ρ. το αμπερόμετρο μετρά την ενεργό ή ενδεικνυμένη τιμή της έντασης:  $I_{ε\upsilon} = \frac{I_{\max}}{\sqrt{2}} = 0,707 I_{\max}$

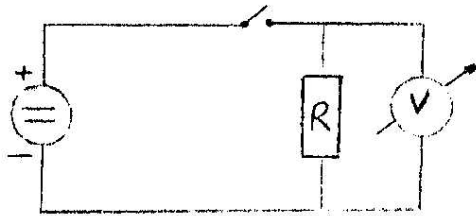
### Πειραματικό (Εργαστηριακό) μέρος:

#### 1. Σκοπός της άσκησης.

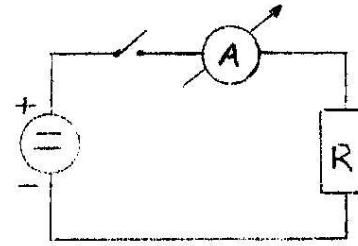
- Σκοπός της άσκησης είναι η απόκτηση ικανότητας
- στο τρόπο της σύνδεσης του βολτομέτρου και αμπερομέτρου σε κύκλωμα για τη μέτρηση τάσης και έντασης αντίστοιχα
  - στην ανάγνωση των ενδείξεων αυτών

#### 2. Σχέδιο έργου:





Σχ. 1.1



Σχ. 1.2

### 3. Όργανα και υλικά

Πηγή (Σ.Ρ. ή Ε.Ρ.) ρυθμιζόμενη

Βολτόμετρο (Σ.Ρ. ή Ε.Ρ.) μέχρι V

Καταναλωτής R

Αγωγοί για τις συνδέσεις

Διακόπτης

Αμπερόμετρο (Σ.Ρ. ή Ε.Ρ.) μέχρι A

### 4. Πορεία εργασίας: (Σχ. 1.1)

Αφού μελετήσετε το θεωρητικό μέρος της άσκησης πρέπει

- α) να αναγνωρίσετε τα κατάλληλα όργανα και να εκλέξετε την κατάλληλη κλίμακα.
- β) να τοποθετήσετε σε κατάλληλη θέση τα όργανα πάνω στον πάγκο εργασίας, ώστε να διευκολύνονται οι συνδέσεις και να γίνεται άνετα η ανάγνωση των ενδείξεων των οργάνων.
- γ) να συνδέσετε το κύκλωμα όπως στο Σχ. 1.1 χωρίς να εφαρμόσετε τάση.
- δ) να ελέγξετε την συνδεσμολογία παρουσία του Καθηγητή ή Βοηθού
- ε) να εφαρμόσετε τάση στο κύκλωμα, αφού κλείσετε το διακόπτη.

στ) να διαβάσετε και να γράψετε την ένδειξη του βολτομέτρου σε πέντε διαφορετικές θέσεις του δρομέα της πηγής.

ζ) να ανοίξετε τον διακόπτη και να αποσυνδέσετε τα όργανα και

η) τέλος να συμπληρώσετε τον πίνακα I.1

Την ίδια ακριβώς πορεία θα ακολουθήσετε για το Σχ. 1.2 και τον πίνακα I.2

Πίνακας 1.1

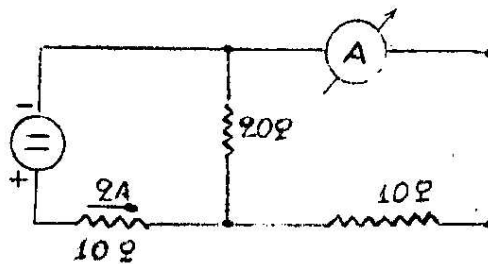
α/α	ΕΝΔΕΙΞΙΣ ΒΕΛΟΝΑΣ	ΚΛΙΜΑΞ (ΣΚΑΛΑ)	ΠΕΡΙΟΧΗ (RANGE)	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ	ΤΑΞΙΣ (ΜΟΝΑΣ)
1.					
2.					
3.					
4.					
5.					

Πίνακας 1.2

α/α	ΕΝΔΕΙΞΙΣ ΒΕΛΟΝΑΣ	ΚΛΙΜΑΞ (ΣΚΑΛΑ)	ΠΕΡΙΟΧΗ (RANGE)	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ	ΕΝΤΑΞΙΣ (ΜΟΝΑΣ)
1.					
2.					
3.					
4.					
5.					

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. Έχουμε δύο βολτόμετρα περιοχής μετρήσεως 0-250V και 0-400V. Ποιό από τα δύο θα χρησιμοποιήσουμε για να μετρήσουμε μία τάση 380V και γιατί;
2. Τα βολτόμετρα έχουν μικρή ή μεγάλη εσωτερική αντίσταση και γιατί;
3. Τι θα συμβεί αν συνδέσετε ένα αμπερόμετρο παράλληλα σε ένα κύκλωμα;
4. Τα αμπερόμετρα έχουν μικρή ή μεγάλη εσωτερική αντίσταση και γιατί;
5. Στο κύκλωμα του σχήματος το αμπερόμετρο τι ένδειξη δείχνει;

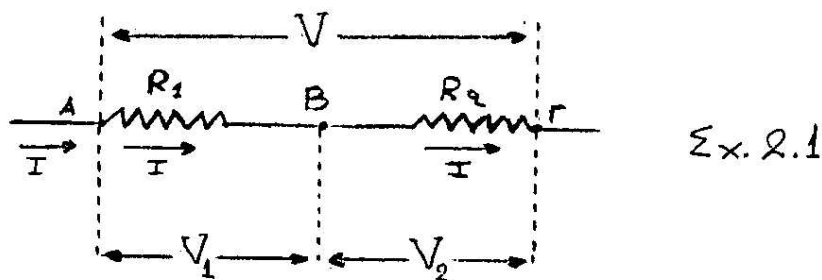


ΣΥΝΔΕΣΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΩΝ ΣΕ ΣΕΙΡΑ

Θεωρητικό μέρος:

Δύο ή περισσότερες αντιστάσεις μπορούν να συνδεθούν μεταξύ τους, ανάλογα με το σκοπό που θα εξυπηρετήσουν, κατά τους εξής τρεις τρόπους: α) σε σειρά β) παράλληλα και γ) σε μικτή σύνδεση.

Σ' αυτή την άσκηση θα ασχοληθούμε με την σύνδεση αντιστάσεων σε σειρά (Σχ. 2.1)



Σ' αυτή τη σύνδεση όλες οι αντιστάσεις διαρρέονται από το ίδιο ρεύμα έντασης  $I$ .

Εφαρμόζοντας τον νόμο του OHM για κάθε αντίσταση χωριστά λαμβάνουμε:

$$V_1 = V_A - V_B = I \cdot R_1 \quad , \quad V_2 = V_B - V_\Gamma = I \cdot R_2$$

Δια προσθέδωως των δύο εξισώσεων κατά μέλη, λαμβάνουμε:

$$V = V_A - V_\Gamma = I (R_1 + R_2) \Rightarrow R_1 + R_2 = \frac{V}{I}$$

Επειδή όμως η ολική αντίσταση  $R_{ολ}$  είναι εξ ορισμού ίση με  $\frac{V}{I}$

προκύπτει η σχέση:

$$R_{ολ} = R_1 + R_2$$

Δηλαδή στη σειρά σύνδεση αντιστάσεων η ολική αντίσταση ισούται με το άθροισμα των επί μέρους αντιστάσεων.

Τα χαρακτηριστικά μιας τέτοιας σύνδεσης αντιστάσεων είναι τα εξής:

α) Από όλες τις αντιστάσεις διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα της ίδιας έντασης  $I$ .

β) Η τάση της πηγής που τροφοδοτεί το κύκλωμα είναι ίση με το άθροισμα των πτώσεων τάσεως στις αντιστάσεις:

$$V = V_1 + V_2 + \dots$$

γ) Η ολική αντίσταση του κυκλώματος είναι ίση με το άθροισμα των επί μέρους αντιστάσεων:

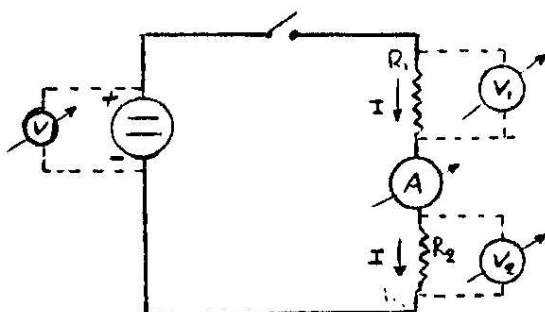
$$R_{ολ} = R_1 + R_2 + \dots$$

Πειραματικό (Εργαστηριακό) μέρος:

1. Σκοπός της άσκησης:

Σκοπός της άσκησης είναι η απόκτηση ικανότητας στη σύνδεση αντιστάσεων (καταναλώσεων) σε σειρά και η διαπίστωση των συνθηκών που επικρατούν σ' αυτή

2. Σχέδιο έργου:



Σχ. 2.2

3. Όργανα και υλικά:

Πηγή (Σ.Ρ. ή Ε.Ρ.) ρυθμιζόμενη  
Βολτόμετρο (Σ.Ρ. ή Ε.Ρ.) μέχρι V  
Αμπερόμετρο (Σ.Ρ. ή Ε.Ρ.) μέχρι A  
Διακόπτης  
Αγωγοί για τις συνδέσεις  
2 αντιστάσεις

4. Πορεία εργασίας

Αφού μελετήσετε το θεωρητικό μέρος της άσκησης πρέπει:

- α) να αναγνωρίσετε τα κατάλληλα όργανα και να εκλέξετε την κατάλληλη κλίμακα
- β) να τοποθετήσετε σε κατάλληλη θέση τα όργανα πάνω στο πάγκο εργασίας, ώστε να διευκολύνονται οι συνδέσεις και να γίνεται άνετα η ανάγνωση των ενδείξεων των οργάνων.
- γ) να συνδέσετε το κύκλωμα όπως στο Σχ. 2/2 χωρίς να εφαρμόσετε τάση.
- δ) να ελέγξετε την συνδεομολογία παρουσία του Καθηγητή ή Βοηθού
- ε) να εφαρμόσετε τάση στο κύκλωμα, αφού κλείσετε το διακόπτη
- στ) να διαβάσετε και να γράψετε τις ενδείξεις των βολτομέτρων και του αμπερομέτρου σε πέντε διαφορετικές θέσεις του δρομέα της πηγής
- ζ) να ανοίξετε τον διακόπτη και να αποσυνδέσετε τα όργανα και
- η) τέλος να συμπληρώσετε τον πίνακα

Πίνακας 2.1

$d/\alpha$	V (volt)	V <sub>1</sub> (volt)	V <sub>2</sub> (volt)	I (A)	V <sub>1</sub> +V <sub>2</sub> (volt)	V <sub>1</sub> /I (Ω)	V <sub>2</sub> /I (Ω)	V/I (Ω)	V <sub>1</sub> /I+V <sub>2</sub> /I (Ω)
1.									
2.									
3.									
4.									
5.									

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

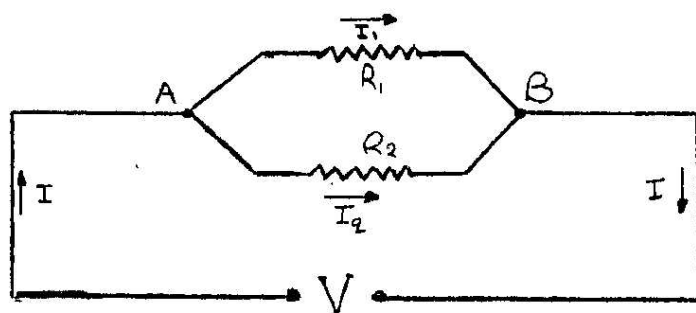
1. Εχολιάστε τα αποτελέσματα του πίνακα 2.1 και βγάλτε τα συμπεράσματα σας
2. Στη σύνδεση αντιστάσεων σε σειρά, η ολική αντίσταση είναι μικρότερη ή μεγαλύτερη από τις επί μέρους αντιστάσεις και γιατί;
3. Πότε οι τάσεις, στα άκρα αντιστάσεων συνδεδεμένων σε σειρά, είναι ίδιες;
4. Αποδείξτε ότι, σε κύκλωμα αντιστάσεων συνδεδεμένων σε σειρά, οι μερικές τάσεις έχουν ίδια σχέση με τις μερικές αντιστάσεις. Δηλαδή:  $\frac{V_1}{V_2} = \frac{R_1}{R_2}$
5. Γιατί οι καταναλωτές στην πράξη συνήθως δεν συνδέονται σε σειρά;

Α Σ Κ Η Σ Η 3

ΠΑΡΑΛΛΗΛΗ ΣΥΝΔΕΣΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΩΝ

Θεωρητικό μέρος:

Λέμε ότι δύο ή περισσότερες αντιστάσεις συνδέονται παράλληλα όταν στα άκρα τους επικρατεί η ίδια διαφορά δυναμικού.



Σχ. 3.1

Στο σχήμα 3.1 οι αντιστάσεις  $R_1$  και  $R_2$  διαρρέονται από ρεύματα εντάσεων  $I_1$  και  $I_2$  αντίστοιχα, ενώ η διαφορά δυναμικού μεταξύ των σημείων A και B της διακλάδωσης έχει σταθερή τιμή  $V$ .

Σύμφωνα με το νόμο του OHM έχουμε τις σχέσεις:

$$I_1 = \frac{V}{R_1} \quad , \quad I_2 = \frac{V}{R_2}$$

Δια προσθέσεως κατά μέλη των παραπάνω σχέσεων λαμβάνουμε:

$$I_1 + I_2 = V \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

Δια εφαρμογής όμως του 1<sup>ου</sup> κανόνα του KIRCHHOFF στο σχήμα

3.1 έχουμε

$$I_{ολ} = I_1 + I_2$$

Συνοπώς

$$I_{ολ} = V \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$



Εξ ορισμού όμως είναι  $I = \frac{V}{R}$

Άρα  $\frac{V}{R_{ολ}} = V \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \Rightarrow \frac{1}{R_{ολ}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$

Δηλαδή στη παράλληλη σύνδεση αντιστάσεων το αντίστροφο της ολικής αντίστασης  $R_{ολ}$  (αγωγιμότητα) ισούται με το άθροισμα των αντιστρόφων των επί μέρους αντιστάσεων.

Τα χαρακτηριστικά λοιπόν μιας τέτοιας σύνδεσης αντιστάσεων είναι τα εξής:

α) Η ολική ένταση του ρεύματος είναι ίση με το άθροισμα των εντάσεων που ρέουν σε κάθε κλάδο

$$I_{ολ} = I_1 + I_2 + \dots$$

β) Η ολική τάση του κυκλώματος είναι ίση με κάθε μια από τις μερικές τάσεις.

γ) Το αντίστροφο της ολικής αντίστασης (αγωγιμότητα) είναι ίσο με το άθροισμα των αντιστρόφων των επί μέρους αντιστάσεων.

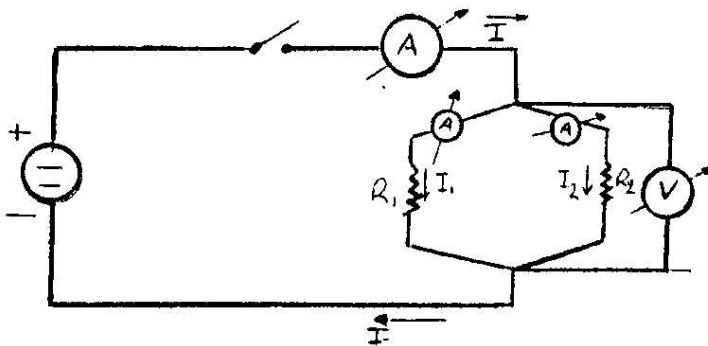
$$\frac{1}{R_{ολ}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots$$

Πειραματικό (Εργαστηριακό) μέρος:

1. Σκοπός της άσκησης:

Σκοπός της άσκησης είναι α) η απόκτηση ικανότητας στη σύνδεση αντιστάσεων (καταναλώσεων) παράλληλα και β) η διαπίστωση των συνθηκών που επικρατούν σ' αυτή.

2. Σχέδιο έργου



Σχ. 3.2

3. Όργανα και υλικά:

Πηγή (Σ.Ρ. ή Ε.Ρ.) ρυθμιζόμενη

3 Αμπερόμετρα (Σ.Ρ. ή Ε.Ρ.) μέχρι Α  
Διακόπτης

Βολτόμετρο (Σ.Ρ. ή Ε.Ρ.) μέχρι V

Αγωγοί για τις συνδέσεις

2 αντιστάσεις

4. Πορεία εργασίας

Αφού μελετήσετε το θεωρητικό μέρος της άσκησης πρέπει:

α) να αναγνωρίσετε τα κατάλληλα όργανα και να εκλέξετε την κατάλληλη κλίμακα

β) να τοποθετήσετε σε κατάλληλη θέση τα όργανα πάνω στο πάγκο εργασίας, ώστε να διευκολύνονται οι συνδέσεις και να γίνεται άνετα η ανάγνωση των ενδείξεων των οργάνων.

γ) να συνδέσετε το κύκλωμα όπως στο Σχ. 3.2 χωρίς να εφαρμόσετε τάση

δ) να ελέγξετε τη συνδεσμολογία παρουσία του Καθηγητή ή Βοηθού.

ε) να εφαρμόσετε τάση στο κύκλωμα, αφού κλείσετε τον διακόπτη.

στ) να διαβάσετε και να γράψετε τις ενδείξεις των αμπερομέτρων και του βολτομέτρου σε πέντε διαφορετικές θέσεις του δρομέα της πηγής.

ζ) να ανοίξετε τον διακόπτη και να αποσυνδέσετε τα όργανα και

η) τέλος να συμπληρώσετε τον πίνακα 3.1

Πίνακας 3.1

a/a	I (A)	I <sub>1</sub> (A)	I <sub>2</sub> (A)	V (Volt)	I <sub>1</sub> +I <sub>2</sub> (A)	I <sub>1</sub> /V (Ω <sup>-1</sup> )	I <sub>2</sub> /V (Ω <sup>-1</sup> )	I <sub>1</sub> +I <sub>2</sub> /V (Ω <sup>-1</sup> )	I/V (Ω <sup>-1</sup> )
1.									
2.									
3.									
4.									
5.									

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. Σχολιάστε τα αποτελέσματα του πίνακα 3.1 και βγάλτε τα συμπεράσματα σας.
2. Στη παράλληλη σύνδεση αντιστάσεων, η ολική αντίσταση είναι μικρότερη ή μεγαλύτερη από τις επί μέρους αντιστάσεις και γιατί;
3. Γιατί οι καταναλωτές στη πράξη <sup>συνδέονται</sup> συνδέονται παράλληλα;
4. Αποδείξτε ότι, σε κύκλωμα αντιστάσεων συνδεδεμένων παράλληλα οι μερικές εντάσεις έχουν την ακόλουθη σχέση με τις μερικές αντιστάσεις  $\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$

5. Εάν σ' ένα κύκλωμα με έξη αντιστάσεις συνδεδεμένες παράλληλα προσθέσουμε άλλη μία (παράλληλα) θα αυξηθεί ή θα ελαττωθεί το ολικό ρεύμα και γιατί;

6. Σε ένα κύκλωμα που περιλαμβάνει τέσσερεις αντιστάσεις και την πηγή, πότε θα διέρχεται περισσότερο ρεύμα, όταν οι αντιστάσεις συνδέονται σε σειρά ή όταν συνδέονται παράλληλα;

Α Σ Κ Η Σ Η 4

ΠΟΛΥΜΕΤΡΑ - ΩΜΟΜΕΤΡΑ

ΚΩΔΙΚΑΣ ΧΡΩΜΑΤΩΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΩΝ

Θεωρητικό μέρος: I. Πολύμετρο

Το πολύμετρο είναι σύνθετο όργανο που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση τάσεων (DC και AC), εντάσεων (DC και AC) και ωμικών αντιστάσεων.

Γενικά το πολύμετρο είναι συνδυασμός ενός βασικού οργάνου (συνήθως στρεπτού πηνίου) και διαφόρων ειδικών κυκλωμάτων. Για να χρησιμοποιηθεί το πολύμετρο σαν βολτόμετρο ή αμπερόμετρο ή ωμόμετρο, πρέπει να γίνεται κάθε φορά σωστή εκλογή του ειδικού κυκλώματος.

Η εκλογή του ειδικού κυκλώματος για την επιθυμητή μέτρηση γίνεται με τις διάφορες υποδοχές που διαθέτει το όργανο και με πολλαπλό διακόπτη (μεταγωγέα).

Η μέτρηση εναλλασσομένων μεγεθών γίνεται μέσω ανορθωτικής διατάξεως που βρίσκεται μέσα στο όργανο.

Με τη διάταξη αυτή επιτυγχάνεται η μετατροπή του εναλλασσομένου μεγέθους σε συνεχές. Έτσι η κλίμακα του οργάνου δείχνει τότε την ενδεικνυμένη τιμή του εναλλασσομένου μεγέθους.

Γενικά όταν πρόκειται να χρησιμοποιηθεί πολύμετρο πρέπει να προσέχουμε, ώστε:

α) να γίνεται ορθή τοποθέτηση του διακόπτη. Δηλαδή να τοποθετηθεί ο διακόπτης στη περιοχή τάσεων, ρευμάτων ή αντιστάσεων, ανάλογα με το τι πρόκειται να μετρηθεί και ανάλογα με το αν η προς μέτρηση τάση ή ένταση είναι εναλλασσόμενη ή συνεχής.

β) να γίνεται ορθή εκλογή της κλίμακας και μάλιστα όταν πρόκειται για μέτρηση τάσεων ή εντάσεων που δεν είναι περιπου γνωστό το μέγεθος, ο διακόπτης τοποθετείται στη μεγαλύτερη σχετική κλίμακα. Εάν η ένδειξη στην κλίμακα αυτή είναι πολύ μικρή τότε μεταφέρεται ο διακόπτης σε μικρότερη κλίμακα.

γ) να γίνει σωστά η σύνδεση των ακροδεκτών του οργάνου όταν πρόκειται για μέτρηση συνεχούς τάσης ή έντασης. Δηλαδή ο θετικός ακροδέκτης του οργάνου να συνδέεται με το θετικό πόλο του κυκλώματος και ο αρνητικός ακροδέκτης με τον αρνητικό πόλο.

## 2. Ωμόμετρο:

Το ωμόμετρο είναι όργανο που χρησιμοποιείται για την απ' ευθείας μέτρηση ωμικών αντιστάσεων.

Το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του είναι ότι μέσα στο όργανο υπάρχει πάντα και μία ηλεκτρική πηγή (ξηρό στοιχείο) για την παραγωγή ρεύματος που θα περάσει μέσα από την προς μέτρηση αντίσταση.

Πριν από κάθε μέτρηση πρέπει να γίνεται ο μηδενισμός του οργάνου (αυτός γίνεται βραχυκυκλώνοντας τους ακροδέκτες του οργάνου και γυρίζοντας ένα ειδικό κουμπί ώστε ο δείκτης να βρίσκεται στο μηδέν της κλίμακας).

Ο μηδενισμός επαναλαμβάνεται σε κάθε αλλαγή της θέσης της περιοχής.

Η κλίμακα των ωμομέτρων δεν είναι γραμμική.

Για την ευχερή ανάγνωση των τιμών των αντιστάσεων χρησιμοποιούμε τις διάφορες θέσεις του μεταγωγέα του οργάνου.

Π.χ. στη θέση XI του μεταγωγέα η θέση της βελόνας δίνει αμέσως και την τιμή της αντίστασης, δηλαδή ο συντελεστής κλίμακας είναι 1.

Στη θέση XIO ο συντελεστής είναι 10 οπότε η ανάγνωση της βελόνας παλλαπλασιάζεται επί 10.

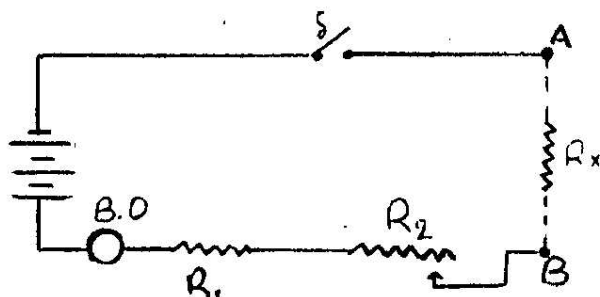
Τα ωμόμετρα ανάλογα με το τρόπο που συνδέεται η προς μέτρηση αντίσταση σε σχέση με το όργανο (του ωμομέτρου) χωρίζονται σε τρεις τύπους:

- α) Στα ωμόμετρα τύπου σειράς
- β) Στα ωμόμετρα παράλληλου τύπου
- γ) Στα ωμόμετρα μικτού τύπου

α) Ωμόμετρα τύπου σειράς

Λέγονται έτσι γιατί όλα τα στοιχεία τους συνδέονται σε σειρά.

Όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.1



Σχ. 4.1

αποτελούνται από μία πηγή συνεχούς ρεύματος, ένα βασικό

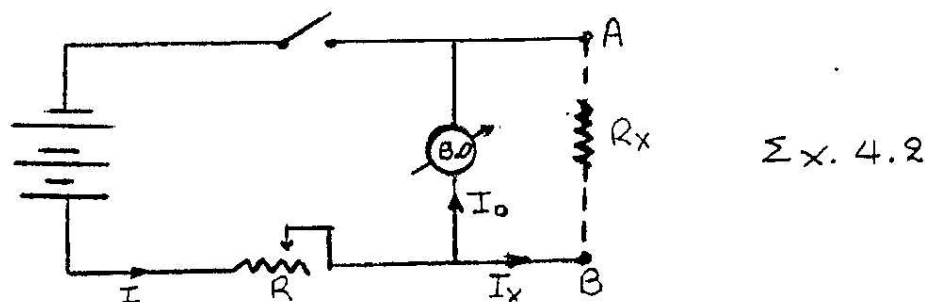
όργανο, μία σταθερή αντίσταση  $R_1$  και μία μεταβλητή  $R_2$ . Η  $R_x$  είναι η προς μέτρηση άγνωστη αντίσταση.

Το χαρακτηριστικό των ωμομέτρων αυτών είναι ότι δεν έχουν κλίμακα γραμμική.

Επίσης δεν είναι όργανα μεγάλης ακρίβειας και χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση μεγάλων αντιστάσεων και στον έλεγχο κυκλωμάτων.

### β) Ωμόμετρα παρ/λου τύπου

Η άγνωστη αντίσταση  $R_x$  σ'αυτά συνδέεται παρ/λα προς το βασικό όργανο όπως φαίνεται στο βασικό κύκλωμα του σχήματος 4.2



Είναι μεγαλύτερης ακρίβειας από τα σειρές και χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση μικρών αντιστάσεων. Το μηδέν της κλίμακας βρίσκεται στο αριστερό άκρο του βασικού οργάνου σε αντίθεση με το μηδέν των ωμομέτρων σειρές που βρίσκεται στο δεξιό άκρο του βασικού οργάνου αυτών.

### γ) Ωμόμετρα μικτού ή σύνθετου τύπου

Τα ωμόμετρα αυτά είναι συνδυασμός ωμομέτρου τύπου σειρές με ωμόμετρο παρ/λου τύπου έτσι ώστε:  
Όταν η προς μέτρηση αντίσταση είναι μεγάλη να λειτουργούν

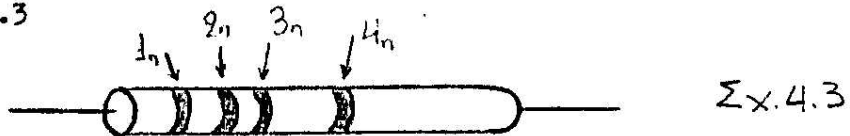


σαν ωμόμετρα τύπου οειράς, ενώ όταν η προς μέτρηση αντίσταση είναι μικρή να λειτουργούν σαν ωμόμετρα παρ/λου τύπου.

### 3. Κώδικας χρωμάτων αντιστάσεων (σταθερών) - Ανοχή

Οι αντιστάσεις σταθερής τιμής είναι διαφόρων τύπων. Εδώ θα ασχοληθούμε με τις αντιστάσεις χρωμάτων.

Οι τιμές των αντιστάσεων αυτών συμβολίζονται με διάφορα χρώματα στο σώμα των. Υπάρχουν όμως δύο τρόποι συμβολισμού των τιμών με χρώματα. Ο πιο συνηθισμένος είναι αυτός του σχήματος 4.3



Υπάρχουν, δηλαδή, τέσσερες ζώνες με χρώματα προς τη μία πλευρά της αντίστασης. Η πρώτη ζώνη από αριστερά αντιστοιχεί στις δεκάδες (πρώτο ψηφίο), η δεύτερη στις μονάδες (δεύτερο ψηφίο), η τρίτη ζώνη δίνει τον αριθμό των μηδενικών τα οποία ακολουθούν τα δύο πρώτα ψηφία και η τέταρτη αντιστοιχεί στην ανοχή (επί τοις εκατό) της τιμής της αντίστασης. Όταν δεν υπάρχει το χρώμα της τέταρτης ζώνης η ανοχή της τιμής της αντίστασης είναι  $\pm 20\%$ .

Π.χ. αν μία αντίσταση έχει στην 1η ζώνη καφέ χρώμα στη 2η μαύρο, στην 3η πορτοκαλί και στη τέταρτη ασημί, τότε σύμφωνα με τον κώδικα χρωμάτων του πίνακα 4.1, η αντίσταση αυτή θα έχει τιμή 10.000 ΩΜ και ανοχή  $\pm 10\%$ .

Πίνακας 4.1

Κώδικας χρωμάτων - Ανοχή		
Μαύρο	0	<u>ΑΝΟΧΗ</u>
Καφέ	1	Χρυσάφι ±5%
Κόκκινο	2	Δοκίμι ±10%
Πορτοκαλλί	3	Καφέ ±1%
Κίτρινο	4	Κόκκινο ±2%
Πράσινο	5	Χωρίς χρώμα ±20%
Μπλέ	6	
Μωβ	7	
Γκρι	8	
Λευκό	9	

Πειραματικό (Εργαστηριακό) μέρος:

1. Σκοπός της άσκησης

Σκοπός της άσκησης αυτής είναι η απόκτηση ευχέρειας στη χρήση του ωμόμετρου και του κώδικα χρωμάτων των αντιστάσεων.

2. Όργανα και υλικά

Πολύμετρο ή ωμόμετρο  
Κιβώτιο αντιστάσεων

3. Πορεία εργασίας

Αφού μελετήσετε το θεωρητικό μέρος της άσκησης πρέπει :

- α) να αναγνωρίσετε τα κατάλληλα όργανα
- β) να εκλέξετε την κατάλληλη κλίμακα
- γ) να κάνετε τον μηδενισμό του οργάνου (πολύμετρου ή ωμό-μετρου) στην κλίμακα που εκλέξατε και
- δ) να συμπληρώσετε το Α' μέρος του πίνακα 4.2 με τις τιμές που θα πάρετε από τις μετρήσεις
- ε) να συμπληρώσετε το Β' μέρος του πίνακα 4.2 από τα χρώματα των αντιστάσεων.

Πίνακας 4.2

Α' μέρος					Β' μέρος				
α/α	ΕΝΔΕΙΞΙΣ	ΘΕΣΙΣ ΜΕΤΑΓΩΓΕΑ	ΣΥΝΤΕΛ.	ΤΙΜΗ ΜΟΝΑΔΑ	1η ζώνη	2η	3η	4η	ΤΙΜΗ ΜΟΝΑΔΑ
R <sub>1</sub>									
R <sub>2</sub>									
R <sub>3</sub>									
R <sub>4</sub>									
R <sub>5</sub>									

στ) Σχολιάστε τα αποτελέσματα των δυο μεθόδων

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. Εξηγήστε γιατί στο βασικό κύκλωμα ωμόμετρου τύπου σειράς (σχ. 4.1) χρησιμοποιούνται οι αντιστάσεις R<sub>1</sub> και R<sub>2</sub>;
2. Εξηγήστε γιατί τα ωμόμετρα τύπου σειράς έχουν το μηδέν της κλίμακας δεξιά και τα παρά/λου τύπου αριστερά;
3. Να υπολογισθούν οι τιμές και οι α/οχές των αντιστάσεων του πίνακα 4.3

Πίνακας 4.3

A/A	1η ζώνη	2η ζώνη	3η ζώνη	4η ζώνη	Τιμή-Μονάδα	Ανοχή
R <sub>1</sub>	Κίτρινο	Καφέ	Μπλε	-		
R <sub>2</sub>	Καφέ	Πράσινο	Πράσινο	Χρυσάφι		
R <sub>3</sub>	Πράσινο	Πράσινο	Πορτο/λί	Ασημί		
R <sub>4</sub>	Γκρι	Πράσινο	Κόκκινο	Χρυσάφι		
R <sub>5</sub>	Πράσινο	Μαύρο	Κίτρινο	Ασημί		
R <sub>6</sub>	Μαύρο	Καφέ	Πορτο/λί	Κόκκινο		
R <sub>7</sub>	Μωβ	Πράσινο	Μαύρο	-		
R <sub>8</sub>	Λευκό	Κόκκινο	Καφέ	Καφέ		

Α Σ Κ Η Σ Η 5

ΜΕΤΡΗΣΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΜΕ ΤΗ ΓΕΦΥΡΑ WHEATSTONE (ΓΟΥΙΤΣΤΟΝ)

Θεωρητικό μέρος: Οι ωμικές αντιστάσεις <sup>μπορούν</sup> να μετρηθούν με πολλούς τρόπους.

- α) Με ενδεικτικά όργανα (ωμόμετρο, μέγκερ κ.λ.π.)
- β) Με βολτόμετρο - αμπερόμετρο και εφαρμογή του νόμου του OHM
- γ) Με συγκριτικές μεθόδους (μέθοδος με σύγκριση τάσεων-μέθοδος με σύγκριση εντάσεων)
- δ) Με γέφυρες (WHEATSTONE, THOMSON, KELVIN, MUELLER)

Οι μέθοδοι α, β, και γ δεν μας παρέχουν ακριβή μέτρηση των αντιστάσεων, διότι τα όργανα που χρησιμοποιούν δεν είναι μεγάλης ακρίβειας.

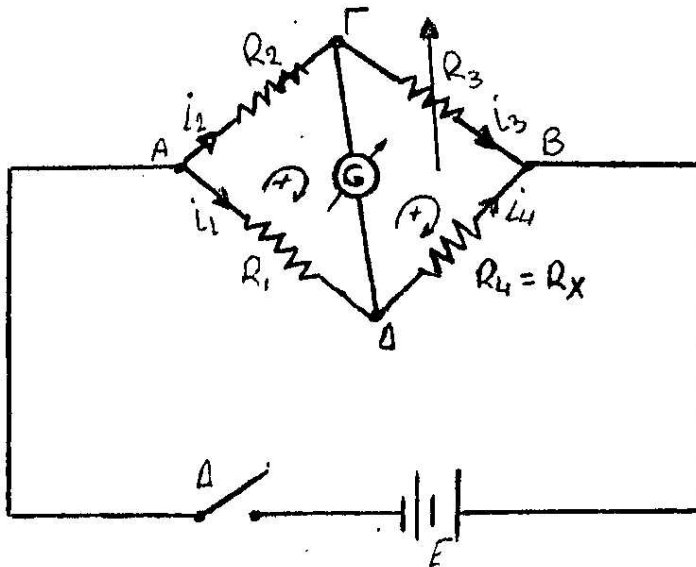
Για ακριβέστερη μέτρηση των αντιστάσεων χρησιμοποιούνται οι γέφυρες. Εδώ θα ασχοληθούμε με τη γέφυρα WHEATSTONE

Με τη γέφυρα αυτή μπορούμε να μετρήσουμε με ακρίβεια αντιστάσεις  $0,01\Omega$  μέχρι  $1.000.000.\Omega$

Η γέφυρα WHEATSTONE αποτελείται από μία πηγή DC, τέσσερις αντιστάσεις συνδεδεμένες σε σχήμα ρόμβου (εκ των οποίων η  $R_3$  είναι μεταβλητή βαθμολογημένη, οι  $R_1, R_2$ , είναι σταθερές γνωστές και η  $R_4$  είναι η άγνωστη αντίσταση) και ένα γαλβανόμετρο.

Χρησιμοποιώντας πηγή εναλλασσομένου ρεύματος και ακουστικά τηλεφώνου αντί για γαλβανόμετρο μπορούμε με τη γέφυρα WHEATSTONE να μετρήσουμε αυτεπαγωγές πηνίων και χωρητικότητες πυκνωτών.

Το σχήμα 5.1 παριστάνει το βασικό κύκλωμα μιας γέφυρας WHEATSTONE.



Σχ. 5.1

Με κλειστό το διακόπτη Δ το γαλβανόμετρο G μας δείχνει ότι από το κύκλωμα περνά κάποιο ρεύμα. Ρυθμίζοντας τη μεταβλητή αντίσταση  $R_3$  μπορούμε να πετύχουμε από το γαλβανόμετρο G να <sup>μη</sup> περνάει ρεύμα. Τότε λέμε ότι η γέφυρα WHEATSTONE ισορροπεί.

Ο πρώτος κανόνας του KIRCHHOFF στα σημεία Γ και Δ δίνει:

$$i_1 = i_2 \quad \text{και} \quad i_3 = i_4 \quad (5-1)$$

Με εφαρμογή του δεύτερου κανόνα του KIRCHHOFF στους βρόγχους

ΑΓΔ και ΓΒΔ παίρνουμε:

$$i_2 R_2 - i_1 R_1 = 0 \Rightarrow i_2 R_2 = i_1 R_1 \quad (5-2)$$

$$i_3 R_3 - i_4 R_4 = 0 \Rightarrow i_3 R_3 = i_4 R_4 \quad (5-3)$$

Διαδιαιρέσεως κατά μέλη των (5-2), (5-3) και έχοντας υπ'

όψιν την (5-1) καταλήγουμε στη συνθήκη ισορροπίας της γέφυρας:

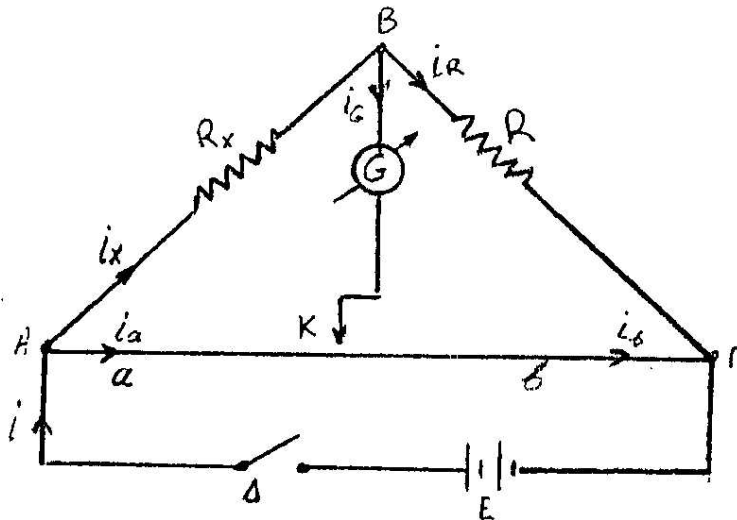
$$\boxed{\frac{R_2}{R_3} = \frac{R_1}{R_4}} \quad (5-4)$$

Στη συνθήκη ισορροπίας (5-4) όμως η  $R_4$  αποτελεί την άγνωστη αντίσταση.

Συνεπώς από την (5-4) θα έχουμε:

$$R_x = R_3 \frac{R_1}{R_2} \quad (5-5)$$

Στο σχήμα 5.2 παριστάνεται μία γέφυρα WHEATSTONE με χορδή.



$$a + b = \ell$$

Σχ. 5.2

Σ' αυτή αντικαθίστανται οι αντιστάσεις  $R_1$  και  $R_2$  με σύρμα από χρωμονικελίνη ή μαγγανίνη μήκους  $\ell$  και ένα δρομέα που κινείται πάνω σ' αυτό. Κάτω από το σύρμα υπάρχει ένας κανόνας βαθμολογημένος.

Μόλις κλείσει ο διακόπτης  $\Delta$ , το ρεύμα  $i$  της πηγής  $E$  φθάνει στο κόμβο  $A$  και διακλαδίζεται στα ρεύματα  $i_x$  και  $i_a$ . Με κατάλληλη μετακίνηση του δρομέα  $K$  πετυχαίνουμε μηδενική ένδειξη του γαλβανόμετρου.

Τότε,, ισχύει η σχέση:

$$\frac{R_x}{R} = \frac{a}{b} \quad (5-6)$$

Η σχέση αυτή προκύπτει από τη συνθήκη ισορροπίας (5-4) αν θέσουμε  $R_4 = R_x$ ,  $R_3 = R$ ,  $R_1 = \rho \frac{a}{S}$  και  $R_2 = \rho \frac{b}{S}$ , όπου  $\rho$  η ειδική

αντίσταση του σύρματος ΑΓ, S η διατομή του και α, β είναι τα μήκη ΑΚ και ΚΓ αντίστοιχα.

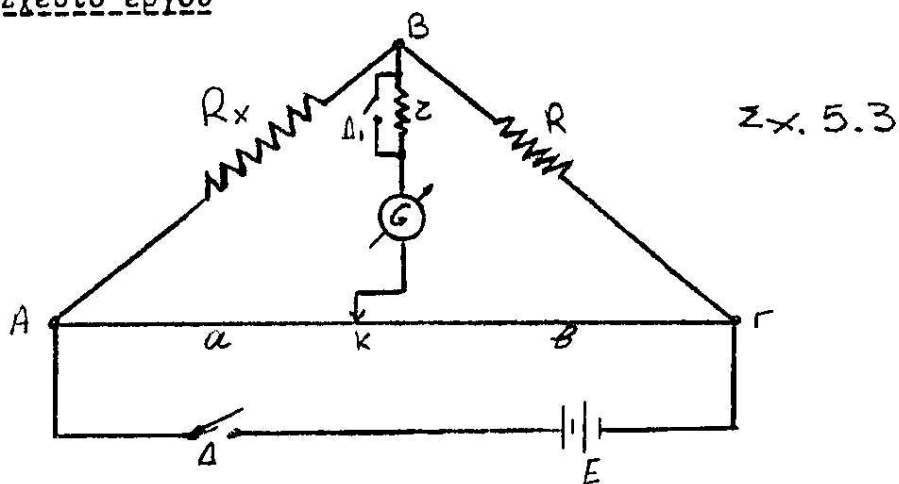
Έτσι από την σχέση (5-6) μπορούμε να βρούμε την άγνωστη αντίσταση λύνοντας ως προς  $R_x$

δηλαδή: 
$$R_x = R \frac{\alpha}{\beta}$$

Πειραματικό (Εργαστηριακό) μέρος:

1., Σκοπός της άσκησης αυτής είναι η μελέτη της γέφυρας WHEATSTONE και η απόκτηση ευχέρειας στη μέτρηση αντιστάσεων με αυτή.

2. Σχέδιο έργου



3. Όργανα και υλικά

Γέφυρα WHEATSTONE

Πηγή DC

5 άγνωστες αντιστάσεις

1 γνωστή αντίσταση

Γαλβανόμετρο

Διακόπτες Δ, Δ<sub>1</sub>

Αγωγοί για τις συνδέσεις



#### 4. Πορεία εργασίας

Αφού μελετήσετε το θεωρητικό μέρος της άσκησης πρέπει:

- α) να αναγνωρίσετε τα κατάλληλα όργανα
- β) να τοποθετήσετε σε κατάλληλη θέση τα όργανα πάνω στον πάγκο εργασίας, ώστε να διευκολύνονται οι συνδέσεις και να γίνεται άνετα η ανάγνωση της ένδειξης του γαλβανόμετρου.
- γ) να συνδέσετε το κύκλωμα όπως στο Σχ. 5.3 χωρίς να εφαρμόσετε τάση.
- δ) να ελέγξετε τη συνδεσμολογία παρουσία του Καθηγητή ή του Βοηθού.
- ε) να κλείσετε το διακόπτη  $\Delta$  και να μετακινήσετε το δρομέα  $K$  μέχρις ότου το γαλβανόμετρο δείξει την ένδειξη μηδέν.
- στ) να κλείσετε και τον διακόπτη  $\Delta_1$  και να μετακινήσετε πάλι το δρομέα  $K$  μέχρις ότου το γαλβανόμετρο δείξει ξανά την ένδειξη μηδέν.
- ζ) Σ' αυτή τη θέση του δρομέα να διαβάσετε και να γράψετε τα μήκη  $\alpha$  και  $\beta$ .
- η) να ανοίξετε τους διακόπτες  $\Delta, \Delta_1$  και να επαναλάβετε την ίδια διαδικασία για τις υπόλοιπες άγνωστες αντιστάσεις.
- θ) Τέλος να συμπληρώσετε τον πίνακα 5.1

Πίνακας 5.1

$R_x$	R (OHM)	$\alpha$ (CM)	$\beta$ (CM)	$R_x = \frac{\alpha}{\beta} R$ (OHM)
$R_{x_1}$				
$R_{x_2}$				
$R_{x_3}$				
$R_{x_4}$				
$R_{x_5}$				

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. Εξηγήστε το ρόλο του διακόπτη  $\Delta_1$  στο Σχ. 5.3
2. Σε μία ισορροπημένη γέφυρα WHEATSTONE με χορδή αν αντι-μεταθέσουμε πηγή και γαλβανόμετρο θα αλλάξει η ισορροπία και γιατί;
3. Σε ισορροπημένη γέφυρα WHEATSTONE με χορδή αν αλλάξουμε τη χορδή με άλλη διαφορετικής διατομής και υλικού η ισορροπία θα μεταβληθεί και γιατί;

Α Σ Κ Η Σ Η 6

ΘΕΩΡΗΜΑ ΤΗΣ ΥΠΕΡΘΕΣΗΣ

Ή

( ΕΠΑΛΛΗΛΙΑΣ )

Θεωρητικό μέρος: Το θεώρημα της υπέρθεσης στηρίζεται στο γεγονός ότι: Η εφαρμογή των νόμων του KIRCHOFF σε κόμβους και βρόχους του δικτύου δίνει γραμμικές εξισώσεις.

Ειδικά για τα γραμμικά δίκτυα το θεώρημα της υπέρθεσης μπορεί να διατυπωθεί ως εξής:

Όταν σε ένα γραμμικό δίκτυο δρουν περισσότερες από μία πηγές, η ένταση σε οποιοδήποτε κλάδο αυτού ισούται με το αλγεβρικό άθροισμα των εντάσεων που θα προέκυπταν στον κλάδο αυτό, εάν κάθε μία από τις πηγές δρούσε χωριστά.

Για να εφαρμόσουμε λοιπόν το θεώρημα της υπέρθεσης εργαζόμαστε ως εξής:

α) Βραχυκυκλώνουμε όλες τις πηγές του κυκλώματος εκτός από μία και βρίσκουμε το ρεύμα που προσφέρει η πηγή αυτή στον εξεταζόμενο κλάδο.

β) Επαναλαμβάνουμε την ίδια διαδικασία για όλες τις πηγές του κυκλώματος.

γ) Τέλος προσθέτουμε αλγεβρικά τα ρεύματα που προέκυψαν, δηλαδή σύμφωνα με τη φορά τους, και έτσι βρίσκουμε το πραγματικό ρεύμα του κλάδου.

Το θεώρημα της υπέρθεσης ισχύει και για την εύρεση της τάσης στα άκρα οποιουδήποτε κλάδου.

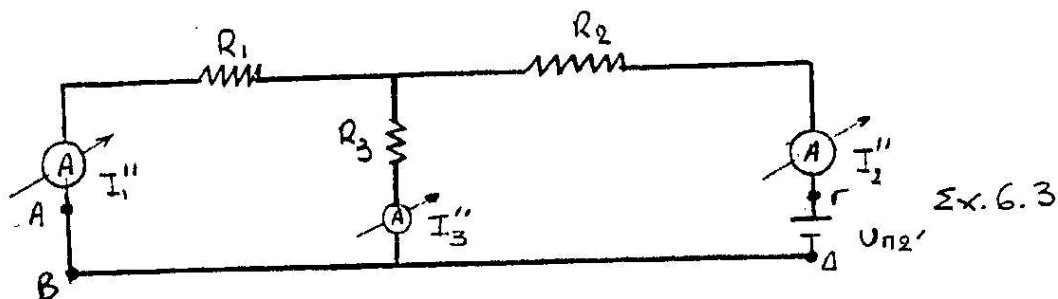
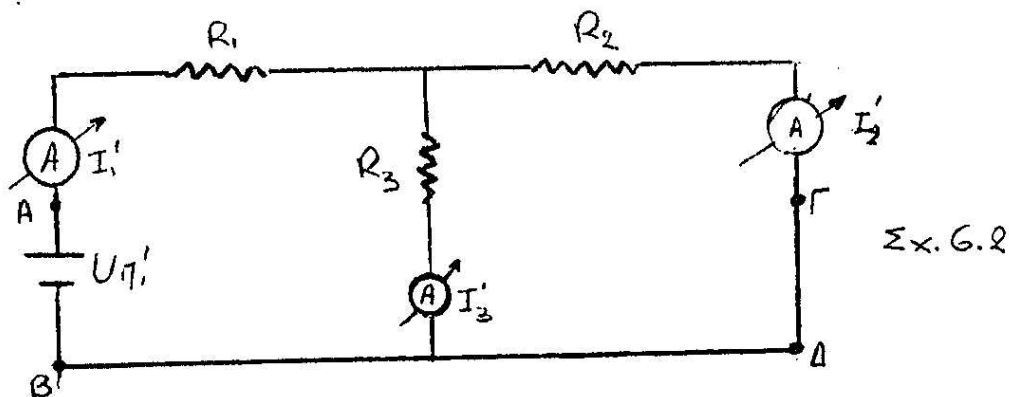
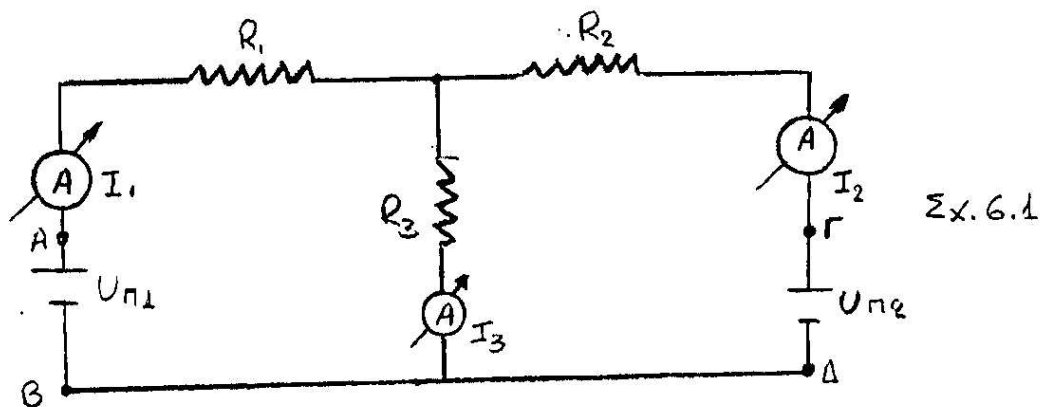
Επίσης το θεώρημα της υπέρθεσης ισχύει και στο εναλλασσόμενο ρεύμα.

Πειραματικό (Εργαστηριακό) μέρος

1. Σκοπός της άσκησης

Σκοπός της άσκησης είναι η κατανόηση και η πρακτική εφαρμογή του θεωρήματος της υπέρθεσης.

2. Σχέδιο έργου



3. Όργανα και υλικά

2 πηγές DC

3 αμπερόμετρα DC μέχρι

3 αντιστάσεις

1 βολτόμετρο DC μέχρι

Αγωγοί για τις συνδέσεις

4. Πορεία της εργασίας

Αφού μελετήσετε το θεωρητικό μέρος της άσκησης πρέπει:

α) να αναγνωρίσετε τα κατάλληλα όργανα

β) να τοποθετήσετε σε κατάλληλη θέση τα όργανα πάνω στον πάγκο εργασίας, ώστε να διευκολύνονται οι συνδέσεις και να γίνεται άνετα η ανάγνωση των ενδείξεων

γ) να κατασκευάσετε το κύκλωμα του Σχ. 6.1

δ) να ελέγξετε τη συνδεσμολογία παρουσία του Καθηγητή ή του Βοηθού

ε) να εφαρμόσετε τάση, να μετρήσετε τα ρεύματα  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$  και να προσδιορίσετε τη φορά των, καθώς επίσης να μετρήσετε τις πτώσεις τάσης  $V_1$ ,  $V_2$ ,  $V_3$ , επί των αντιστάσεων  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  και τις τάσεις  $V_{\pi_1}$ ,  $V_{\pi_2}$

στ) να κατασκευάσετε το κύκλωμα του Σχ. 6.2 αφαιρώντας την πηγή  $V_{\pi_2}$  του σχήματος 6.1 και βραχυκυκλώνοντας τα σημεία Γ, Δ.

ζ) να ελέξετε τη συνδεσμολογία παρουσία του Καθηγητή ή Βοηθού

η) να εφαρμόσετε τάση, να μετρήσετε τα ρεύματα  $I'_1$ ,  $I'_2$ ,  $I'_3$  και να προσδιορίσετε τη φορά των καθώς επίσης να μετρήσετε τις πτώσεις τάσης  $V'_1$ ,  $V'_2$ ,  $V'_3$ , επί των αντιστάσεων  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$

και την τάση της πηγής  $V_{\pi_1}$

θ) να κατασκευάσετε το κύκλωμα του Σχ. 6.3 αφαιρώντας τη πηγή  $V_{\pi_2}$  του Σχ. 6.1 και βραχυκυκλώνοντας τα σημεία A, B

ι) να ελέγξετε τη συνδεσμολογία παρουσία του καθηγητή ή βοηθού

κ) να εφαρμόσετε τάση, να μετρήσετε τα ρεύματα  $I_1''$ ,  $I_2''$ ,  $I_3''$  και να προσδιορίσετε τη φορά των καθώς επίσης να μετρήσετε τις πτώσεις τάσης  $V_1''$ ,  $V_2''$ ,  $V_3''$ , επί των αντιστάσεων  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  και την τάση της πηγής  $V_{\pi_2}$

λ) και τέλος συμπληρώστε τους πίνακες 6.1, 6.2

Πίνακας 6.1

Σχ.6.1	ΤΙΜΗ-ΜΟΝΑΔΑ	Σχ.6.2	ΤΙΜΗ-ΜΟΝΑΔΑ	Σχ.6.3	ΤΙΜΗ-ΜΟΝΑΔΑ
$I_1$		$I_1'$		$I_1''$	
$I_2$		$I_2'$		$I_2''$	
$I_3$		$I_3'$		$I_3''$	

Πίνακας 6.2

Σχ.6.1	ΤΙΜΗ-ΜΟΝΑΔΑ	Σχ.6.2	ΤΙΜΗ-ΜΟΝΑΔΑ	Σχ.6.3	ΤΙΜΗ-ΜΟΝΑΔΑ
$U_1$		$U_1'$		$U_1''$	
$U_2$		$U_2'$		$U_2''$	
$U_3$		$U_3'$		$U_3''$	
$U_{\pi_1}$		$U_{\pi_1}'$		$U_{\pi_2}'$	
$U_{\pi_2}$		X	X	X	X

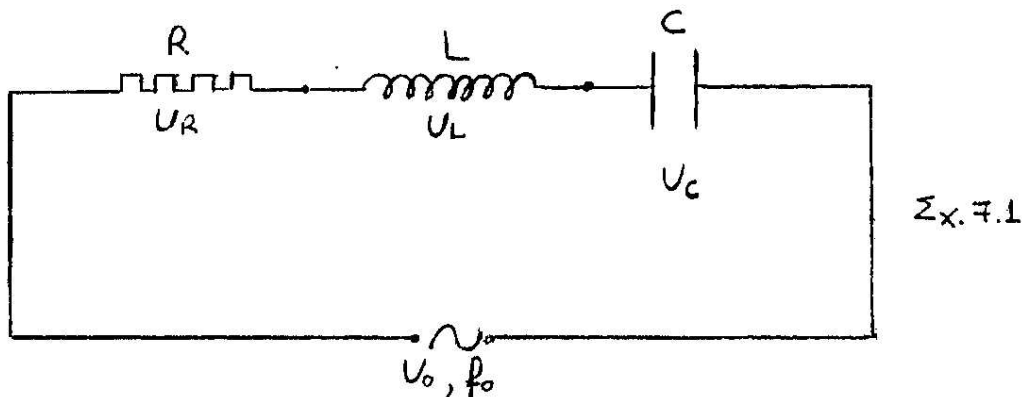
ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. Σχολιάστε τα αποτελέσματα των μετρήσεων και βγάλτε τα συμπεράσματα σας.
2. Ισχύει η εφαρμογή του θεωρήματος της υπέρθεσης για τον υπολογισμό απ'ευθείας της καταναλισκομένης ισχύος σε ένα κλάδο δικτυώματος και γιατί;

Α Σ Κ Η Σ Η 7

ΤΑΣΗ , ΕΝΤΑΣΗ , ΚΑΙ ΣΥΝΘΕΤΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΣΤΟ Ε.Ρ.

Θεωρητικό μέρος: Ας θεωρήσουμε ένα σύνθετο καταναλωτή που αποτελείται από τρία στοιχεία R,L,C συνδεδεμένα σε σειρά. Δηλαδή από μία καθαρά ωμική αντίσταση R, ένα πηνίο με συντελεστή αυτεπαγωγής L και ένα πυκνωτή με χωρητικότητα C συνδεδεμένα μεταξύ τους όπως στο σχήμα 7.1



Αν στον παραπάνω καταναλωτή εφαρμόσουμε μία εναλλασσόμενη τάση  $V_0$  που έχει συχνότητα  $f_0$ , θα περάσει μέσα και από τα τρία στοιχεία του η ίδια εναλλασσόμενη ένταση με συχνότητα επίσης  $f_0$  και ενεργό (RMS) τιμή I.

θα έχουμε λοιπόν τις ακόλουθες πτώσεις τάσις:

α) πτώση τάσις εξ αιτίας της ωμικής αντίστασης

$$V_R = I \cdot R$$

β) πτώση τάσις εξ αιτίας της αυτεπαγωγικής αντίστασις

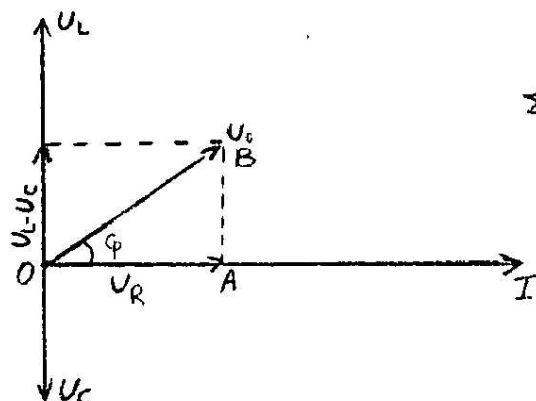
$$V_L = I \cdot R_L = I \cdot \omega \cdot L$$

γ) πτώση τάσις εξ αιτίας της χωρητικής αντίστασις



$$V_C = I \cdot R_C = I \cdot \frac{1}{\omega \cdot C}$$

Το διάγραμμα των ανυσμάτων που παριστάνουν τα  $I, V_R, V_L$ , και  $V_C$  φαίνεται στο σχήμα 7.2 (αν υποτεθεί ότι  $V_L > V_C$ )



Σχ. 7.2

Το διάγραμμα αυτό μας λέει ότι:

Επί της ωμικής αντίστασης  $R$  η τάση και η ένταση του ρεύματος ευρίσκονται πάντοτε σε συμφωνία φάσης. Επί του πηνίου η φάση της έντασης του ρεύματος καθυστερεί ως προς τη φάση της τάσης κατά  $90^\circ$ . Τέλος επί του πυκνωτού η φάση της έντασης του ρεύματος προηγείται της φάσης της τάσης κατά  $90^\circ$ . Έτσι οι συνιστώσες τάσεις  $V_L$  και  $V_C$  είναι κάθετοι προς τη συνιστώσα τάση  $V_R$  και έχουν πάντοτε αντίθετο φορά. Η τάση  $V_0$  που εφαρμόσαμε στο κύκλωμα είναι το διανυσματικό άθροισμα των  $V_R, V_L$  και  $V_C$

Από το ορθογώνιο τρίγωνο  $OAB$  έχουμε ότι:

$$V_0^2 = V_R^2 + (V_L - V_C)^2 \quad \text{ή}$$

$$V_0 = \sqrt{V_R^2 + (V_L - V_C)^2} \quad \text{ή}$$

$$V_0 = I \cdot \sqrt{R^2 + (\omega \cdot L - \frac{1}{\omega \cdot C})^2}$$

Επομένως η ένταση του ρεύματος που ρέει στο κύκλωμα είναι:

$$I = \frac{V_0}{\sqrt{R^2 + (\omega \cdot L - \frac{1}{\omega \cdot C})^2}}$$

Ο όρος  $\sqrt{R^2 + (\omega \cdot L - \frac{1}{\omega \cdot C})^2}$  αντιπροσωπεύει την ολική αντίσταση του

κυκλώματος και ονομάζεται σύνθετη αντίσταση τη συμβολίζουμε με το γράμμα  $Z$  και μετρείται σε ΩΜ.

Η σχέση λοιπόν  $I = \frac{U_0}{Z}$  αποτελεί τη γενική μορφή του νόμου του ΩΜ στο εναλλασσόμενο ρεύμα.

Από το σχήμα 7.2 επίσης βρίσκουμε ότι μεταξύ της τάσης και της έντασης του ρεύματος υπάρχει διαφορά φάσης  $\varphi$  η

οποία δίδεται από τη σχέση:

$$\tan \varphi = \frac{U_L - U_C}{U_R} \quad \text{ή} \quad \tan \varphi = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}$$

$$\text{και} \quad \cos \varphi = \frac{U_R}{U_0} = \frac{R}{Z}$$

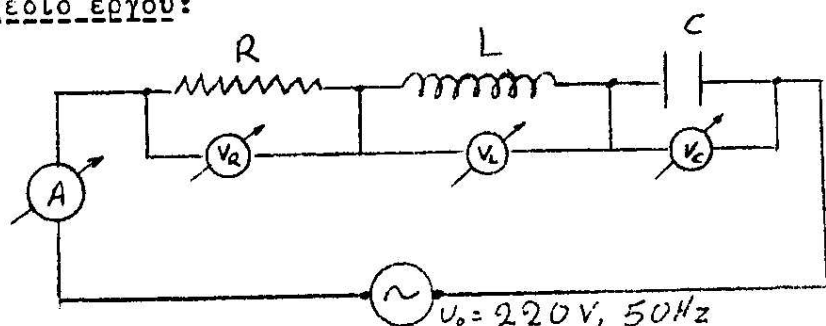
Ανάλογα με το πιο από τα διανύσματα  $V_L$  και  $V_C$  είναι μεγαλύτερο η  $V_0$  θα προπορεύεται ή θα ακολουθεί την ένταση  $I$  κατά γωνία ίση με τη διαφορά φάσης  $\varphi$ . Δηλαδή ο σύνθετος καταναλωτής θα παρουσιάζει αντίστοιχα επαγωγική φόρτιση (όπως στο σχήμα 7.2) ή χωρητική φόρτιση στο δίκτυο.

### Πειραματικό (Εργαστηριακό) μέρος:

#### 1. Σκοπός της άσκησης:

Σκοπός της άσκησης είναι η απόκτηση ικανότητας στο τρόπο συνδεσμολογίας των οργάνων και η διαπίστωση της συμπεριφοράς του ρεύματος της τάσης και της σύνθετης αντίστασης σε κύκλωμα με  $R, L,$  και  $C$  σε σειρά.

#### 2. Σχέδιο έργου:



Σχ. 7.3

### 3. Όργανα και υλικά

Πηγή Ε.Ρ. 220 V 50 HZ

Ωμική αντίσταση  $R = 600\Omega/600W$

Πηνίο L με 1200 σπείρες

Πυκνωτής  $C = 10\mu F$

Αμπερόμετρο Ε.Ρ. 0÷1Α

2 βολτόμετρα Ε.Ρ. 0÷500V

1 βολτόμετρο Ε.Ρ. 0÷250V

### 4. Πορεία εργασίας

Αφού μελετήσετε το θεωρητικό μέρος της άσκησης πρέπει:

α) να αναγνωρίσετε τα κατάλληλα όργανα

β) να τοποθετήσετε σε κατάλληλη θέση τα όργανα πάνω στον πάγκο εργασίας ώστε να διευκολύνονται οι συνδέσεις και να γίνεται άνετα η ανάγνωση των ενδείξεων

γ) να κατασκευάσετε το κύκλωμα του σχήματος 7.3

δ) να ελέγξετε τη συνδεσμολογία παρουσία του καθηγητή ή βοηθού.

ε) να εφαρμόσετε τάση και να γράψετε τις ενδείξεις των οργάνων.

στ) να αποσυνδέσετε το κύκλωμα και

ζ) να συμπληρώσετε τον πίνακα 7.1

Πίνακας 7.1

$V_0$ VOLT	$V_R$ VOLT	$V_L$ VOLT	$V_C$ VOLT	$I$ A	$\sqrt{V_R^2 + (V_L - V_C)^2}$ VOLT	$Z = \frac{V_0}{I}$ OHM
$\frac{V_L - V_C}{V_R}$	$\phi$					

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

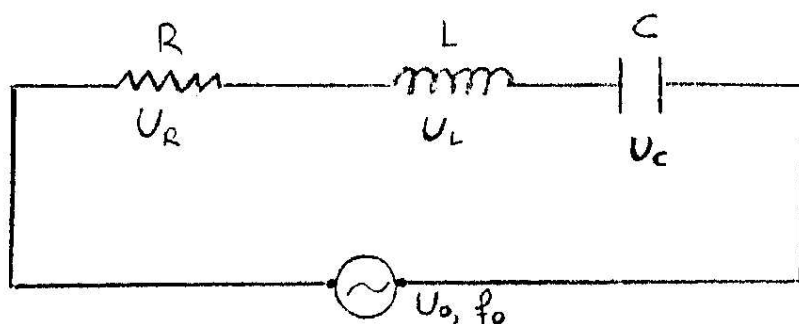
1. Σχολιάστε τα αποτελέσματα του πίνακα 7.1 σε σχέση με τη θεωρία.
2. Από τα αποτελέσματα του πίνακα 7.1 να υπολογίσετε το συντελεστή αυτεπαγωγής  $L$  του πηνίου, τη χωρητικότητα  $C$  του πυκνωτή σε  $\mu H$  και  $\mu F$  αντίστοιχα ως και την ωμική αντίσταση  $R$  σε  $OHM$ .

Α Σ Κ Η Σ Η 8

ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΣ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ ΜΕ R, L, ΚΑΙ C ΣΕ ΣΕΙΡΑ

Θεωρητικό μέρος: Στη προηγούμενη άσκηση είδαμε ότι η ενεργός τιμή της έντασης  $I$  που περνά από το σύνθετο καταναλωτή (περιλαμβάνοντας  $R, L$  και  $C$  σε σειρά), υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση που αποτελεί τη γενική μορφή του νόμου του OHM στο εναλλασσόμενο ρεύμα:

$$I = \frac{U_0}{Z} \text{ σε } A$$



Σχ.8.1

Η δε σύνθετη αντίσταση  $Z$  του καταναλωτή δίνεται από τη σχέση:

$$Z = \sqrt{R^2 + (R_L - R_C)^2} \text{ σε } \Omega$$

Όταν είναι  $R_L > R_C$  ο σύνθετος καταναλωτής παρουσιάζει επαγωγική φόρτιση, ενώ όταν είναι  $R_C > R_L$  ο σύνθετος καταναλωτής παρουσιάζει χωρητική φόρτιση.

Τέλος όταν  $R_L = R_C$  έχουμε το φαινόμενο του συντονισμού.

Από τη σχέση  $R_L = R_C$  έχουμε ότι:

$$\omega L = \frac{1}{\omega \cdot C} \Rightarrow \omega^2 \cdot L \cdot C = 1 \Rightarrow \omega = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}}$$

και επειδή  $\omega = 2\pi f$  θα έχουμε

$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{L \cdot C}}$$

Η κυκλική συχνότητα του ρεύματος για την οποία επιτυγχάνεται στο κύκλωμα συντονισμός λέγεται κυκλική ιδιοσυχνότητα ( $\omega$ ) και η συχνότητα  $\frac{\omega}{2\pi}$  που αντιστοιχεί στη κυκλική ιδιοσυχνότητα  $\omega$  λέγεται ιδιοσυχνότητα του κυκλώματος.

Κατά το συντονισμό κυκλώματος με R, L και C σε σειρά παρατηρούνται τα εξής:

α) Η επαγωγική αντίσταση  $R_L$  γίνεται ίση με τη χωρητική αντίσταση  $R_C$ . Δηλαδή:

$$R_L = R_C$$

β) Η σύνθετη αντίσταση του καταναλωτή γίνεται ίση με την ωμική του αντίσταση R. Δηλαδή:

$$Z = R$$

γ) Το ρεύμα του κυκλώματος παίρνει τη μέγιστη τιμή του και δίνεται από τη σχέση:

$$I = \frac{U_0}{R}$$

ζ) Η διαφορά φάσης  $\varphi$  μεταξύ της τάσης  $V_0$  και της έντασης I ισούται με μηδέν ( $\cos \varphi = \frac{UR}{U_0} = 1$ ) δηλαδή ο σύνθετος καταναλωτής συμπεριφέρεται σαν μία ωμική αντίσταση.

δ) Η τάση  $V_R$  στα άκρα της R παίρνει τη μέγιστη τιμή της και ισούται με την τάση  $V_0$  της πηγής. Δηλαδή:

$$V_R = V_0 = I \cdot R$$

ε) Η τάση  $V_L$  στα άκρα του πηνίου είναι ίση και αντίθετη με την τάση  $V_C$  στα άκρα του πυκνωτή.

στ) Οι τάσεις  $V_L$  και  $V_C$  μπορεί να γίνουν πολύ μεγάλες και μάλιστα πολύ μεγαλύτερες από την εφαρμοζόμενη τάση  $V_0$ .

Γι αυτό πρέπει πριν συνδέσουμε στοιχεία R, L και C σε σειρά, να βεβαιωνόμαστε κάνοντας κατάλληλους υπολογισμούς, ότι δε

θα παρουσιάσουν περίπτωση συντονισμού με τάσεις επικίνδυνες για τις συσκευές και για όσους θα χειριστούν το κύκλωμα.

η) Η ένταση που έχει το ρεύμα στο συντονισμό εξαρτάται από την ωμική αντίσταση R του κυκλώματος.

Στη Ραδιοτεχνία όσο μικρότερο είναι το R τόσο καλύτερης ποιότητας είναι το κύκλωμα.

Σ'αυτές τις περιπτώσεις η R αντιπροσωπεύει κυρίως το ωμικό μέρος του πηνίου.

Όταν λέμε ποιότητα κυκλώματος συντονισμού εννοούμε το συντελεστή ποιότητας ή συντελεστή υπέρτασης:

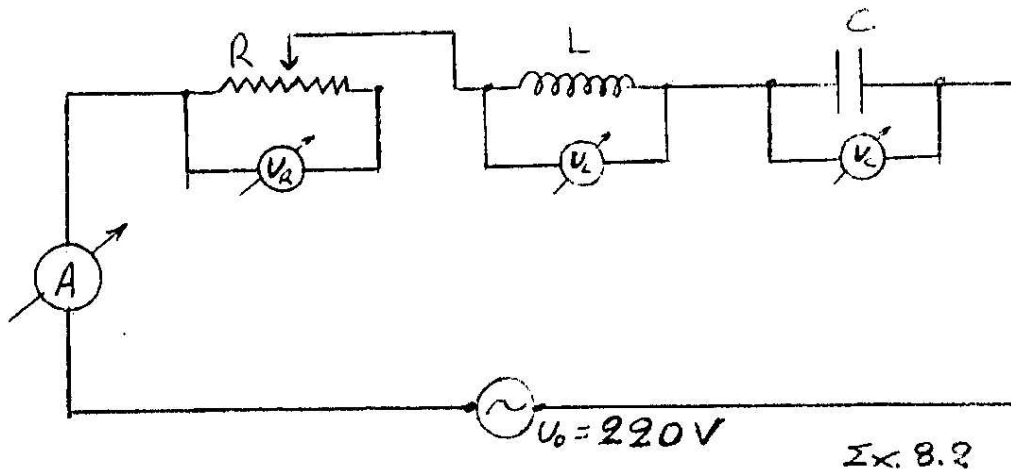
$$Q = \frac{U_L}{U_0} = \frac{U_C}{U_0} = \frac{\omega \cdot L}{R} = \frac{1}{\omega \cdot R \cdot C} = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$$

Πειραματικό (Εργαστηριακό) μέρος:

1. Σκοπός της άσκησης

Σκοπός της άσκησης είναι η πειραματική επιβεβαίωση των φαινομένων που παρατηρούνται στο συντονισμό κυκλώματος με R, L, και C σε σειρά.

2. Σχέδιο έργου:



### 3. Όργανα και υλικά

Πηγή Ε.Ρ. 220 V

Ωμική μεταβλητή αντίσταση  $R=600 \Omega/600W$

Πηνύλο L με 1200 σπείρες

Πυκνωτής  $C=10\mu F$

Αμπερόμετρο Ε.Ρ.  $0 \div I$  A

2 βολτόμετρα Ε.Ρ.  $0 \div 500$  V

1 βολτόμετρο Ε.Ρ.  $0 \div 250$  V

### 4. Πορεία εργασίας

Αφού μελετήσετε το θεωρητικό μέρος της άσκησης πρέπει:

- α) να αναγνωρίσετε τα κατάλληλα όργανα
- β) να τοποθετήσετε σε κατάλληλη θέση τα όργανα πάνω στον πάγκο εργασίας ώστε να διευκολύνονται οι συνδέσεις και να γίνεται άνετα η ανάγνωση των ενδείξεων.
- γ) να κατασκευάσετε το κύκλωμα του σχήματος 8.2
- δ) να ελέγξετε την συνδεσμολογία παρουσία του Καθηγητή ή Βοηθού/
- ε) να εφαρμόσετε τάση και να φέρετε το δρομέα της μεταβλητής αντίστασης R σε τέτοια θέση ώστε  $V_L = V_C$  (Προσοχή κοντά στο συντονισμό, μήπως οι τάσεις στα άκρα του L και C ξεπεράσουν τις κλίμακες των οργάνων)
- στ) να γράψετε τις ενδείξεις των οργάνων
- ζ) να διακόψετε την τροφοδοσία
- η) να αποσυνδέσετε το κύκλωμα και
- θ) να συμπληρώσετε τον πίνακα 8.I



Πίνακας 8.1

$U_0$ (VOLT)	$U_R$ (VOLT)	$U_L$ (VOLT)	$U_C$ (VOLT)	$I$ (A)	$\sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2}$ (VOLT)		$Z = \frac{\sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2}}{I}$ (ΩHM)
$R = \frac{U_R}{I}$ (ΩHM)	$\frac{U_L}{I}$ (ΩHM)	$\frac{U_C}{I}$ (ΩHM)	$\frac{U_R}{U_0}$	$\varphi$	$\frac{U_L}{U_0}$	$\frac{U_C}{U_0}$	X

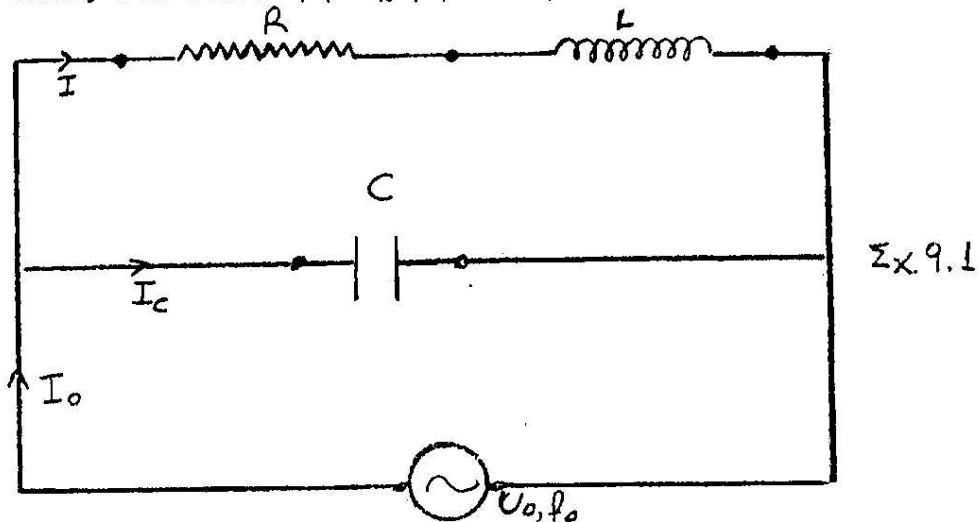
ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. Σχολιάστε τα αποτελέσματα του πίνακα σε σχέση με τη θεωρία.
2. Γιατί τα δύο βολτόμετρα που συνδέονται στα άκρα του L και του C (Σχ.8.2) πρέπει να είναι υψηλής τάσης;
3. Είναι δυνατό, κατά τον συντονισμό οι τάσεις  $V_L$  και  $V_C$  να γίνουν μεγαλύτερες από την εφαρμοζόμενη τάση  $V_0$  και πότε;

A Σ Κ Η Σ Η 9

ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΣ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ ΜΕ R ΚΑΙ L ΠΑΡΑΛΛΗΛΑ ΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΑ ΜΕ C

Θεωρητικό μέρος: Το σχήμα 9.1 αποτελεί ένα σύνθετο καταναλωτή δύο παράλληλων κλάδων. Ο ένας κλάδος περιλαμβάνει ωμική αντίσταση R και πηνίο με αυτεπαγωγή L σε σειρά και ο άλλος ένα πυκνωτή με χωρητικότητα C.



Η ενεργός τιμή της έντασης  $I$  υπολογίζεται από τη σχέση:

$$I = \frac{U_0}{\sqrt{R^2 + R_L^2}} = \frac{U_0}{\sqrt{R^2 + (\omega \cdot L)^2}}$$

Η ενεργός τιμή της έντασης  $I_c$  υπολογίζεται από τη σχέση:

$$I_c = \frac{U_0}{R_c} = \frac{U_0}{\frac{1}{\omega \cdot C}} = \omega \cdot C \cdot U_0$$

Η διαφορά φάσης μεταξύ  $V_0$  και  $I$  υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\cos \varphi = \frac{R}{\sqrt{R^2 + R_L^2}}$$

με την ένταση  $I$  να είναι σε επιπορεία ως προς την τάση  $V_0$

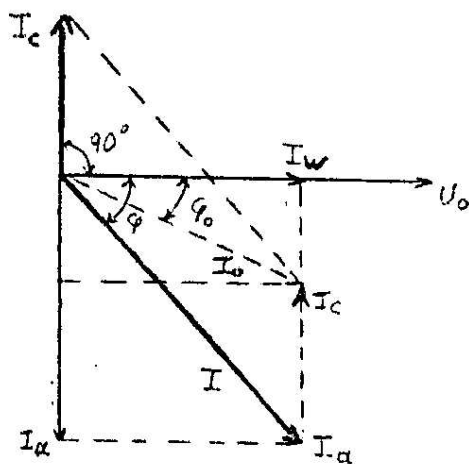
(επαγωγική φόρτιση).

Η διαφορά φάσης μεταξύ  $V_0$  και  $I_c$  είναι ίση με  $90^\circ$  με την ένταση  $I_c$  να προπορεύεται της τάσης  $V_0$ .

Η ολική ένταση  $I_0$  του κυκλώματος προκύπτει από το διάνυσματικό άθροισμα των  $I$  και  $I_c$  του διανυσματικού διαγράμματος του σχήματος 9.2

Για τη σχεδίαση του διαγράμματος αυτού παίρνουμε σαν βάση το διάνυσμα της τάσης  $V_0$  που είναι κοινή και για τους δύο παράλληλους κλάδους. Η διεύθυνση του διανύσματος της τάσης  $V_0$  είναι αυθαίρετη.

Τα διανύσματα  $I$  και  $I_c$  σχεδιάζονται με διαφορά φάσης  $\varphi^\circ$  και  $90^\circ$  αντίστοιχα ως προς την  $V_0$ .



Σχ. 9.2

Όπως φαίνεται και από το σχήμα 9.2, η διαφορά φάσης  $\varphi_0$  της  $I_0$  ως προς την  $V_0$  εξαρτάται από το μέγεθος της άεργης συνιστώσας  $I_a$  της έντασης  $I$  σχετικά με το μέγεθος της έντασης  $I_c$  που απορροφά ο πυκνωτής.

Όταν  $I_a < I_c$ , τότε η  $I_0$  προπορεύεται της  $V_0$  και ο καταναλωτής

φορτίζει χωρητικά το δίκτυο.

Όταν  $I_a > I_c$ , η  $I_0$  είναι σε επιπορεία ως προς την  $V_0$  και ο σύνθετος καταναλωτής φορτίζει επαγωγικά το δίκτυο (σχ.9.2).

Όταν  $I_a = I_c$ , η  $I_0$  είναι σε φάση με την  $V_0$  και ο σύνθετος καταναλωτής συμπεριφέρεται προς το δίκτυο σαν μία ωμική αντίσταση ( $I_0 = I_w$ ). Αυτή είναι η περίπτωση του παράλληλου συντονισμού και ισχύει, κατά προσέγγιση, η ίδια σχέση για την συχνότητα με τον συντονισμό σειράς.

$$f \approx \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot C}}$$

Ιδανική περίπτωση συντονισμού, δηλαδή η  $I$  ίση και αντίθετη με την  $I_c$  και συνεπώς  $I_0 = 0$ , δεν μπορούμε να πετύχουμε γιατί είναι αδύνατο σε ένα κύκλωμα να μηδενιστεί η ωμική του αντίσταση. Μπορεί όμως το ολικό ρεύμα  $I_0$  να πάρει πολύ μικρή τιμή σχετικά με τα ρεύματα  $I$  και  $I_c$  που είναι πολύ μεγάλα (υπερεντάσεις).

Τα χαρακτηριστικά ενός ιδανικού κυκλώματος (LC) παράλληλης τροφοδότησης κατά τον συντονισμό είναι:

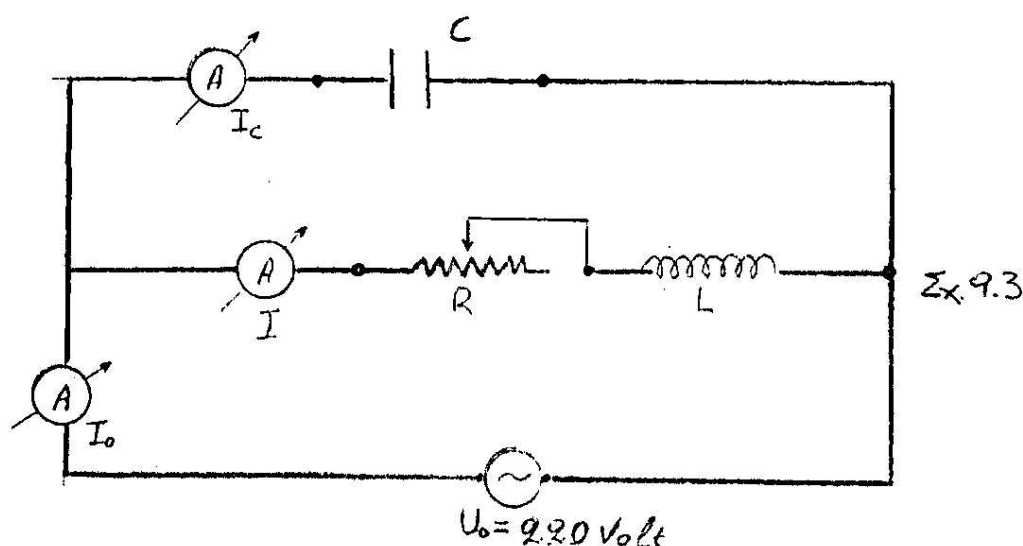
- α) Η ένταση  $I_0$  είναι ελάχιστη.
- β) Οι εντάσεις των ρευμάτων  $I_c$  και  $I_L$  είναι ίσες και μεγαλύτερες από την ένταση  $I_0$ .
- γ) Η τάση  $V_0$  της πηγής και το ρεύμα  $I_0$  είναι σε φάση πράγμα που φανερώνει ότι,
- δ) Η σύνθετη αντίσταση  $Z (= \frac{V_0}{I_0})$  συμπεριφέρεται σαν μία καθαρά ωμική αντίσταση με πολύ μεγάλη τιμή (άπειρη)
- ε) Οι υπερεντάσεις των ρευμάτων  $I_L$  και  $I_c$  είναι τόσο μεγαλύτερης τιμής όσο η ποιότητα του κυμαινόμενου κυκλώματος είναι καλύτερη. Η ποιότητα αυτή εκφράζεται με το συντελεστή  $Q$  ο οποίος δίνεται από τη σχέση:  $Q = \frac{I_L}{I_0} = \frac{I_c}{I_0}$

Πειραματικό (Εργαστηριακό) μέρος:

1. Σκοπός της άσκησης:

Σκοπός της άσκησης είναι η πειραματική επιβεβαίωση των φαινομένων που παρατηρούνται στο συντονισμό κυκλώματος με R και L παράλληλα συνδεδεμένα με C.

2. Σχέδιο έργου:



3. Όργανα και υλικά

Πηγή Ε.Ρ. 220 V

Ωμική μεταβλητή αντίσταση R=600 Ω/600W

Πηνίο L με 1200 σπείρες

Πυκνωτής C=10μF

Αμπερόμετρο Ε.Ρ. 0÷1A

2 αμπερομετρα Ε.Ρ. 0÷5A

4. Πορεία εργασίας

Αφού μελετήσετε το θεωρητικό μέρος της άσκησης πρέπει:

- α) να αναγνωρίσετε τα κατάλληλα όργανα
- β) να τοποθετήσετε σε κατάλληλη θέση τα όργανα πάνω στον πάγκο εργασίας ώστε να διευκολύνονται οι συνδέσεις και να γίνεται άνετα η ανάγνωση των ενδείξεων
- γ) να κατασκευάσετε το κύκλωμα του σχήματος 9.3
- δ) να ελέγξετε τη συνδεσμολογία παρουσία του Καθηγητού ή Βοηθού
- ε) να εφαρμόσετε τάση και να φέρετε τον δρομέα της μεταβλητής αντίστασης R σε τέτοια θέση ώστε  $I \approx I_c$  (προσοχή κοντά στον συντονισμό, μήπως οι εντάσεις στα άκρα του R, L και C ξεπεράσουν τις κλίμακες των οργάνων)
- στ) να γράψετε τις ενδείξεις των οργάνων
- ζ) να διακόψετε την τροφοδοσία
- η) να αποσυνδέσετε το κύκλωμα και
- θ) να συμπληρώσετε τον πίνακα 9.1

Πίνακας 9.1

$I_0$ (A)	I (A)	$I_c$ (A)	$U_0$ (VOLT)	$\frac{U_0}{I_0}$ (ΩΜΜ)	$\frac{U_p}{I}$ (ΩΜΜ)	$\frac{U_0}{I_c}$ (ΩΜΜ)	$\frac{I}{I_0}$	$\frac{I_c}{I_0}$	$\frac{I_0}{I}$	φ

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. Με βάση τα αποτελέσματα του πίνακα 9.1 να γίνει το διανυσμα-

τικό διάγραμμα των  $V_0$ ,  $I_0$ ,  $I$ ,  $I_c$  και να υπολογιστεί η άεργη και η βαττική συνιστώσα της  $I$ .

2. Να αποδειχτεί ότι ο συντελεστής ποιότητας είναι ο ίδιος σε κύκλωμα σειράς ή παράλληλης συνδεσμολογίας.

Α Σ Κ Η Σ Η Ι Ο

ΒΑΤΤΟΜΕΤΡΟ - ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΦΑΙΝΟΜΕΝΗΣ ΙΣΧΥΟΣ, ΤΗΣ ΑΕΡΓΗΣ  
ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΙΣΧΥΟΣ ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ.

Θεωρητικό μέρος: Την ισχύ συνεχούς ρεύματος μπορούμε να τη βρούμε έμμεσα με ταυτόχρονη μέτρηση της τάσης και της έντασης (με βολτόμετρο και αμπερόμετρο αντίστοιχα) από το γνωστό τύπο  $P = V \cdot I$ . Μπορούμε, όμως να τη μετρήσουμε και αμέσως με ένα Βαττόμετρο. Υπάρχουν δύο τύποι βαττομέτρων: τα ηλεκτροδυναμικά βαττόμετρα και τα επαγωγικά.

α) Ηλεκτροδυναμικά βαττόμετρα:

Τα βαττόμετρα αυτού του τύπου είναι τα πιο συνηθισμένα γιατί μπορούν να μετρήσουν την ισχύ και του συνεχούς και του εναλλασσομένου ρεύματος.

Βασικά αποτελούνται από ένα σταθερό πηνίο μέσα στο οποίο είναι τοποθετημένο ένα στρεπτό πηνίο που στηρίζεται σε άξονα. Ο άξονας φέρει επανατατικά ελατήρια και δείκτη.

Το σταθερό πηνίο, είναι από χοντρό σύρμα με λίγες σπείρες, συνδέεται στο κύκλωμα όπως το αμπερόμετρο και ονομάζεται πηνίο έντασης.

Το στρεπτό πηνίο, είναι από λεπτό σύρμα με πολλές σπείρες, συνδέεται στο κύκλωμα όπως το βολτόμετρο και ονομάζεται πηνίο τάσης.

β) Επαγωγικά βαττόμετρα:

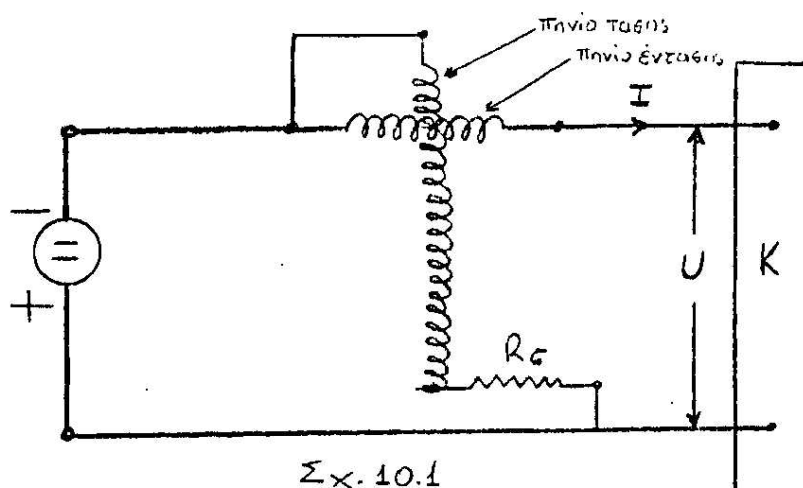
Με τα βαττόμετρα αυτά μπορούμε να μετρήσουμε την ισχύ εναλλασσομένων μόνο ρευμάτων.



Αποτελούνται και αυτά από το πηνίο έντασης (από χοντρό σύρμα) και το πηνίο τάσης (από λεπτό σύρμα) και συνδέονται στο κύκλωμα κατά τον ίδιο τρόπο με τα ηλεκτροδυναμικά. Το ρεύμα, που διαρρέει το πηνίο (ή πηνία) της τάσης, μεταχρονίζεται τεχνητά σχεδόν κατά  $90^\circ$  σχετικά με το ρεύμα του πηνίου (ή πηνίων) έντασης. Έτσι δημιουργείται ένα στρεφόμενο πεδίο. Το πεδίο αυτό προκαλεί περιστροφή του κυλίνδρου. Το μέγεθος της περιστροφής αυτής μας καθορίζει την ισχύ.

Τρόποι σύνδεσης του πηνίου τάσης βαττόμετρου

α) Ο πρώτος τρόπος φαίνεται στο σχήμα 10.1



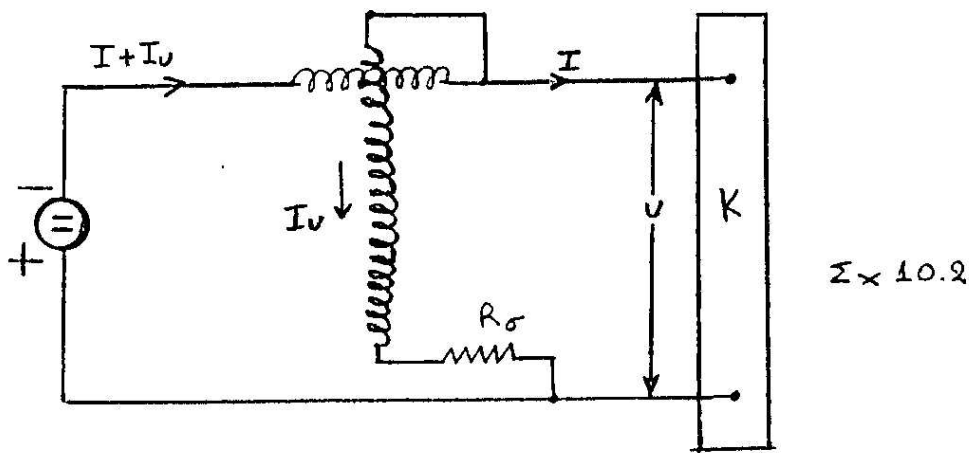
Στη σύνδεση αυτή η ένδειξη του βαττόμετρου περιλαμβάνει και την ισχύ που ξοδεύεται στο πηνίο ρεύματος. Δηλαδή δείχνει ισχύ  $P = V \cdot I + I^2 R_E$  αυξημένη κατά τις απώλειες JOULE στην αντίσταση R του πηνίου έντασης.

Το σφάλμα όμως αυτό είναι αμελητέο, γιατί η εσωτερική κατα-

νάλωση του οργάνου, συγκρινόμενη με την ισχύ που μετράμε είναι πολύ μικρή.

Μπορούμε όμως να διορθώσουμε το παρουσιαζόμενο σφάλμα, αν αφαιρέσουμε από την ολική ισχύ που ξοδεύεται στο πηνίο ρεύματος. Δηλαδή η ισχύς της κατανάλωσης θα είναι  $P = V \cdot I - I^2 R_{\sigma}$

β) Ο δεύτερος τρόπος φαίνεται στο σχήμα 10.2



Στη σύνδεση αυτή η ισχύς που δείχνει το βαττόμετρο είναι

$$P = (I + I_{\nu}) \cdot V = I \cdot V + I_{\nu} V = I \cdot V + \frac{V}{R_{\nu}} V = I \cdot V + \frac{V^2}{R_{\nu}}$$

Δηλαδή δείχνει την ισχύ της κατανάλωσης αυξημένη κατά τις απώλειες JOULE στο πηνίο τάσης και την αντίσταση  $R_{\sigma}$ . ( $R_{\nu} = R_{\sigma} + R_{\Sigma}$  όπου  $R_{\Sigma}$  = αντίσταση πηνίου τάσης).

Συνεπώς η ισχύς της κατανάλωσης θα είναι:

$$P = V \cdot I - \frac{V^2}{R_{\nu}}$$

Αν λοιπόν μαζί με το βαττόμετρο χρησιμοποιήσουμε και ένα άλλο όργανο μετρήσεως της τάσης ή έντασης, βολτόμετρο ή αμπερόμετρο αντίστοιχα, μπορούμε να προσδιορίσουμε τις απώλειες JOULE που πρέπει να αφαιρέσουμε από την ένδειξη του βαττόμετρου.

Η συνδεσμολογία του σχήματος 10.1 πρέπει να γίνεται όταν η ισχύς δίδεται στην κατανάλωση με μεγάλη τάση και μικρή ένταση. Αντίθετα η συνδεσμολογία του σχήματος 10.2 πρέπει να γίνεται, όταν η ισχύς δίδεται με μικρή τάση και μεγάλη ένταση.

Υπενθυμίζεται ότι οι παραπάνω τύποι δεν ισχύουν στο εναλλασσόμενο ρεύμα όταν το ρεύμα βρίσκεται σε φασική απόκλιση της τάσης κατά γωνία  $\varphi$ ,  $0^\circ < \varphi < 90^\circ$  και  $0^\circ > \varphi > -90^\circ$ . Τότε η ισχύς που καταναλώνεται δίνεται από τον τύπο :

$$P = V \cdot I \cos\varphi \quad (\text{P σε WATT, V σε VOLT, I σε AMPERE και } \cos\varphi \text{ από } 0 \div 1.)$$

Το  $\cos\varphi$  ονομάζεται συντελεστής ισχύος και καθορίζει τη διαφορά φάσης μεταξύ της τάσης και της έντασης, καθώς επίσης το μέρος της φαινομένης ισχύος που καταναλώνεται σαν πραγματική ισχύς.

Η πραγματική ισχύς λοιπόν που ονομάζεται και ενεργός είναι :

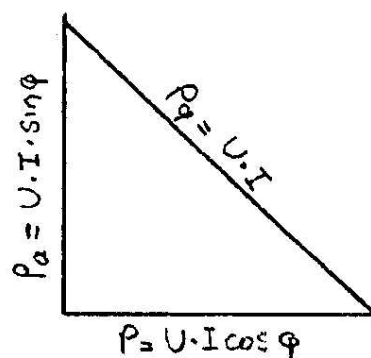
$$\underline{P = V \cdot I \cos\varphi}$$

Το γινόμενο  $V \cdot I \sin\varphi = P_\alpha$  δεν απορροφάται από τη κατανάλωση αλλά επιστρέφει στη πηγή και τη φορτίζει, και ονομάζεται άεργη ισχύς.

Η άεργη ισχύς δείχνει το μέτρο της χωρητικότητας ή της αυτεπαγωγής που υπάρχει στο κύκλωμα και μετράται σε VAR ή KVAR. Την ισχύ αυτή δεν την μετρούν τα βαττόμετρα.

Το γινόμενο  $V \cdot I = P_\varphi$  αποτελεί το μέτρο ολικής φόρτισης μιας μηχανής ονομάζεται φαινομένη ισχύς και μετράται σε VA ή KVA. Στο τρίγωνο των ισχύων (Σχ. 10.3) η φαινομένη ισχύς αποτελεί

-6I-



Σ < 10.3

την υποτείνουσα. Συνεπώς θα ισχύει η σχέση:

$$P_{\phi}^2 = P^2 + P_{\alpha}^2 \Rightarrow P_{\alpha} = \sqrt{P_{\phi}^2 - P^2}$$

Σε ένα μονοφασικό κύκλωμα λοιπόν για να μπορέσουμε να υπολογίσουμε την άεργη ισχύ χρειαζόμαστε ένα βαττόμετρο για τη μέτρηση της πραγματικής ισχύος και ένα αμπερόμετρο - βολτόμετρο για τη μέτρηση της φαινομένης ισχύος.

Από τον τύπο της πραγματικής ισχύος και της φαινομένης έχουμε ότι:

$$\cos \varphi = \frac{P}{P_{\phi}}$$

Συνεπώς για τη μέτρηση του συντελεστή ισχύος χρειαζόμαστε ένα βαττόμετρο, ένα αμπερόμετρο και ένα βολτόμετρο.

### Πειραματικό (Εργαστηριακό) μέρος

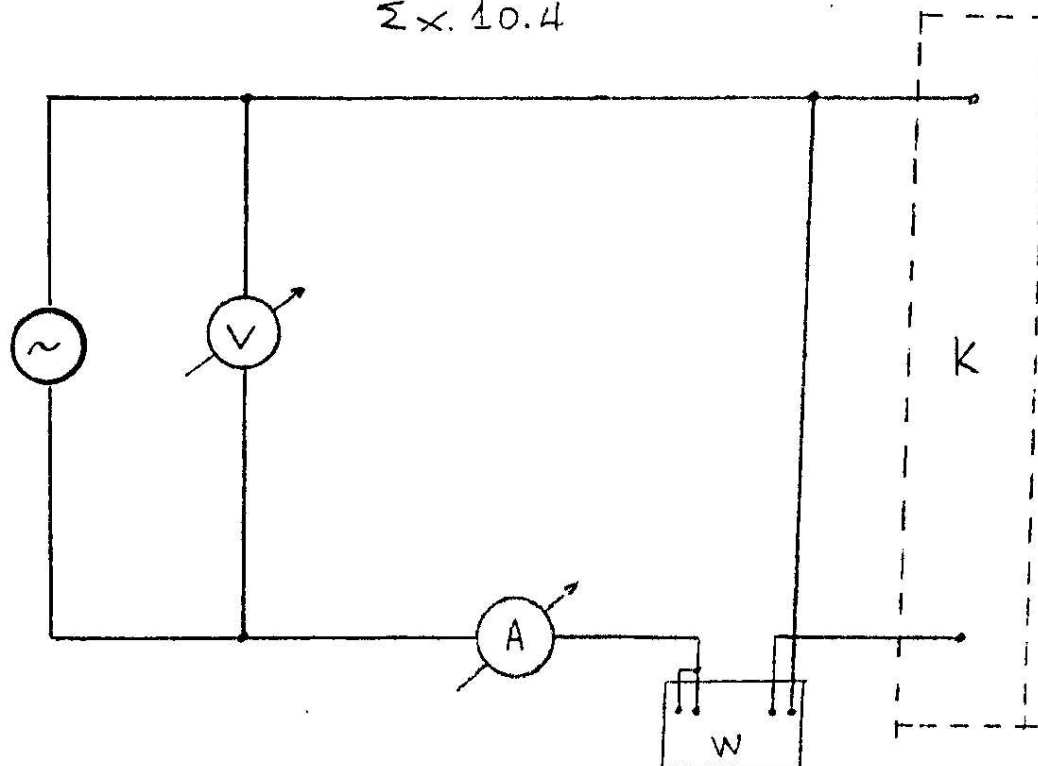
#### 1. Σκοπός της άσκησης

Σκοπός της άσκησης αυτής είναι η απόκτηση ικανότητας

- α) στη σύνδεση βαττόμετρου σε μονοφασική κατανάλωση
- β) στον υπολογισμό της φαινομένης ισχύος, της άεργης ισχύος και του συντελεστή ισχύος, μονοφασικής κατανάλωσης.

2. Σχέδιο έργου

Σ x. 10.4



3. Όργανα και υλικά

Πηγή Ε.Ρ 220 V

Φορτίο K

Μονοφασικό βαττόμετρο

Αμπερόμετρο Ε.Ρ.

Βολτόμετρο Ε.Ρ.

Αγωγοί για τις συνδέσεις

4. Πορεία της εργασίας

Αφού μελετήσετε το θεωρητικό μέρος της άσκησης πρέπει:

α) Να αναγνωρίσετε τα κατάλληλα όργανα

- β) Να τοποθετήσετε σε κατάλληλη θέση τα όργανα πάνω στον πάγκο εργασίας, ώστε να διευκολύνονται οι συνδέσεις και να γίνεται άνετα η ανάγνωση των ενδείξεων.
- γ) Να κατασκευάσετε το κύκλωμα του σχήματος ΙΟ.4
- δ) Να ελέγξετε τη συνδεσμολογία παρουσία του Καθηγητή ή Βοηθού.
- ε) Να εφαρμόσετε τάση και να γράψετε τις ενδείξεις των οργάνων.
- στ) Να αποσυνδέσετε το κύκλωμα και
- ζ) Να συμπληρώσετε τον πίνακα ΙΟ.Ι

Π ί ν α κ α ς ΙΟ.Ι

ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ ΟΡΓΑΝΩΝ		$P_{\varphi} = V \cdot I$ (VA)	$P_{\alpha} = \sqrt{P_{\varphi}^2 - P^2}$ (VAR)	$\cos\varphi = \frac{P}{P_{\varphi}}$	$P = V \cdot I \cos\varphi$ (WATT)
V (VOLT)					
I (A)					
W (WATT)					
<del> </del>					$P_{\alpha} = U \cdot I \sin\varphi$
<del> </del>					

Ε Ρ Ω Τ Η Σ Ε Ι Σ

1. Σχολιάστε τα αποτελέσματα του πίνακα ΙΟ.Ι
2. Γιατί η Δ.Ε.Η. δεν επιτρέπει να έχουν οι καταναλωτές μικρό  $\cos\varphi$ ;
3. Σε ποιούς καταναλωτές η άεργη ισχύς ισούται με την φαινομένη ισχύ και η πραγματική είναι ίση με μηδέν;
4. Σε ποιές περιπτώσεις έχει εφαρμογή η έμμεσος μέθοδος (βολτόμετρο-αμπερόμετρο), για τον καθορισμό της πραγματικής

ισχύος καταναλωτού;

5. Ποιός ο σκοπός της σε σειρά με το πηνίο τάσης αντίστασης

$R_G$  στο βαττόμετρο; (Σχ. 10.1, Σχ. 10.2)

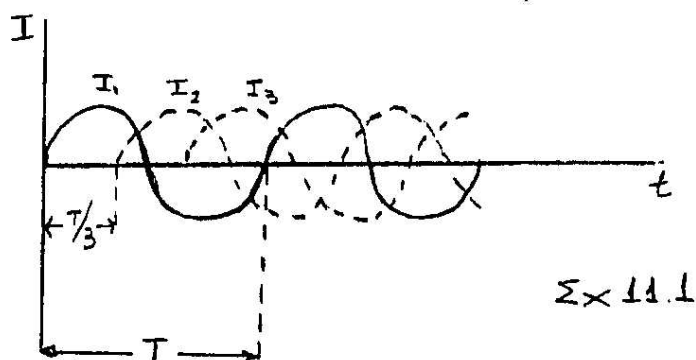
6. Σε ποιούς καταναλωτές η πραγματική ισχύς είναι ίση με

τη φαινομένη και η άεργη είναι μηδέν;

Α Σ Κ Η Σ Η ΙΙ

ΤΡΙΦΑΣΙΚΗ ΤΑΣΗ ΚΑΙ ΡΕΥΜΑ

Θεωρητικό μέρος: Το τριφασικό ρεύμα είναι σύστημα τριών μονοφασικών ρευμάτων, τα οποία έχουν την ίδια συχνότητα και πλάτος αλλά παρουσιάζουν, ανά δύο διαφορά φάσης  $120^\circ$ . Δηλαδή κάθε μονοφασικό ρεύμα παρουσιάζει ως προς το άλλο χρονική καθυστέρηση ίση με  $T/3$  (Σχ.11.1)



Οι εντάσεις λοιπόν των τριών αυτών μονοφασικών ρευμάτων θα δίνονται από τις σχέσεις:

$$I_1 = I_0 \cdot \sin \omega t$$

$$I_2 = I_0 \cdot \sin(\omega t + 120^\circ)$$

$$I_3 = I_0 \cdot \sin(\omega t + 240^\circ) \quad (11.1)$$

Τριφασικά ρεύματα όμως παράγονται από τριφασικές τάσεις, οι οποίες παράγονται από τρεις ηλεκτρεγερτικές δυνάμεις με διαφορά φάσης μεταξύ τους ίση με  $120^\circ$

Δηλαδή:

$$V_1 = V_0 \cdot \sin \omega t$$

$$V_2 = V_0 \cdot \sin(\omega t + 120^\circ)$$

$$V_3 = V_0 \cdot \sin(\omega t + 240^\circ) \quad (11.2)$$



Από τις σχέσεις (II.1) και (II.2) βρίσκουμε ότι σε κάθε στιγμή η τάση και η ένταση του τριφασικού συστήματος είναι ίση με μηδέν.

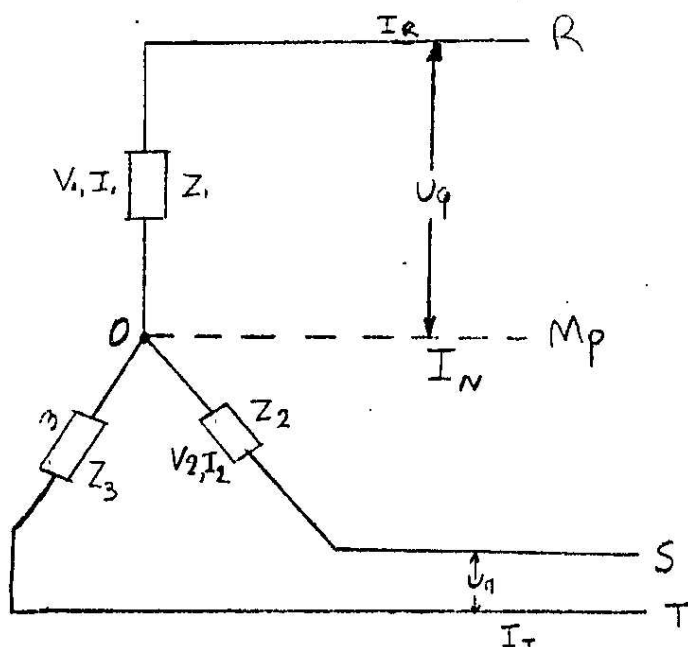
Αν λοιπόν τα ανωτέρω τρία ρεύματα ( $I_1, I_2, I_3$ ) υποχρεωθούν να διέλθουν από ένα αγωγό, τότε η ένταση του ρεύματος που θα διέρχεται από αυτόν θα είναι, σε κάθε χρονική στιγμή, ίση με μηδέν.

Συνδεσμολογίες τριφασικών καταναλωτών:

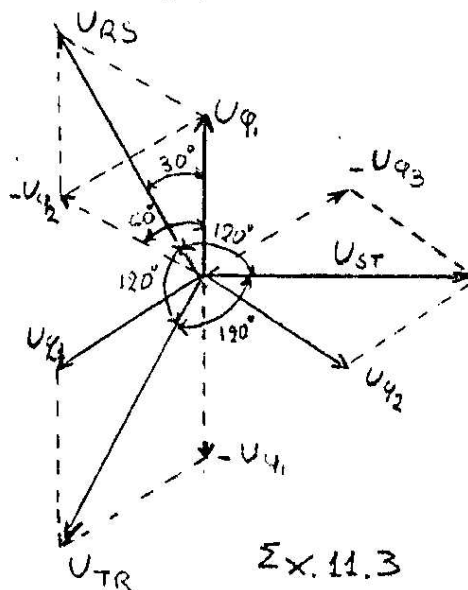
Οι τριφασικοί καταναλωτές δύνανται να συνδεθούν με δύο τρόπους.

I. Σε αστέρα (σύμβολο  $Y$  ή  $\Delta$ )

Στη σύνδεση αυτή ο τριφασικός καταναλωτής συνδέεται με τις τρεις φάσεις (R,S,T) όπως φαίνεται στο σχήμα II.2



Σχ. 11.2



Σχ. 11.3

Ο αγωγός Μρ λέγεται ουδέτερος αγωγός.

Όταν και οι τρεις φάσεις έχουν το ίδιο φορτίο (δηλαδή  $Z_1=Z_2=Z_3$ ), τότε το σύστημα λέγεται συμμετρικό και ο ουδέτερος αγωγός δεν είναι απαραίτητος.

Όταν οι φάσεις δεν έχουν το ίδιο φορτίο, τότε το σύστημα λέγεται ασύμμετρο και για την καλή λειτουργία του χριεάζεται και ο ουδέτερος αγωγός.

Στη περίπτωση συμμετρικού τριφασικού καταναλωτή σε αστέρα που τροφοδοτείται από τριφασικό δίκτυο με 4ή3 αγωγούς, ισχύουν τα ακόλουθα:

α) Η ένταση ρεύματος που περνά από τον ουδέτερο είναι μηδέν:

$$I_N=0$$

β) Οι εντάσεις γραμμής και οι φασικές εντάσεις είναι ίσες μεταξύ τους:

$$I_R=I_S=I_T=I_1=I_2=I_3$$

γ) Οι τάσεις μεταξύ δύο οποιουδήποτε φάσεων λέγονται πολικές τάσεις, είναι ίσες μεταξύ τους και δίνονται από τη σχέση:

$$V_{\pi}=\sqrt{3} V_{\phi} \text{ ή}$$

$$V_{\pi}=1,73 V_{\phi}$$

δ) Οι τάσεις μεταξύ οποιαδήποτε φάσης και του ουδετέρου λέγονται φασικές τάσεις και είναι ίσες μεταξύ τους

$$V_{\phi_1}=V_{\phi_2}=V_{\phi_3}$$

ε) Το διανυσματικό άθροισμα των φασικών τάσεων  $V_{\phi_1}, V_{\phi_2}, V_{\phi_3}$  είναι ίσο με μηδέν.

στ) Το διανυσματικό άθροισμα των φασικών εντάσεων  $I_1, I_2, I_3$

είναι επίσης ίσο με μηδέν.

Στη περίπτωση ασύμμετρου τριφασικού καταναλωτή σε αστέρα που τροφοδοτείται από τριφασικό δίκτυο με 4 αγωγούς, ισχύουν τα ακόλουθα:

α) Η ένταση του ρεύματος που περνά από τον ουδέτερο αγωγό είναι διάφορη του μηδέν:

$$I_N \neq 0$$

β) Κάθε ένταση γραμμής είναι ίση με την αντίστοιχη φασική ένταση:

$$I_R = I_1, I_S = I_2, I_T = I_3$$

γ) Οι φασικές τάσεις είναι ίσες μεταξύ τους (οι διαφορές της πτώσης τάσης στους αγωγούς γραμμής θεωρούνται αμελητέες)

$$V_{\phi_1} = V_{\phi_2} = V_{\phi_3}$$

δ) Οι πολικές τάσεις είναι ίσες μεταξύ τους και δίνονται από τη σχέση:

$$V_p = \sqrt{3} V_{\phi} \quad \text{ή}$$

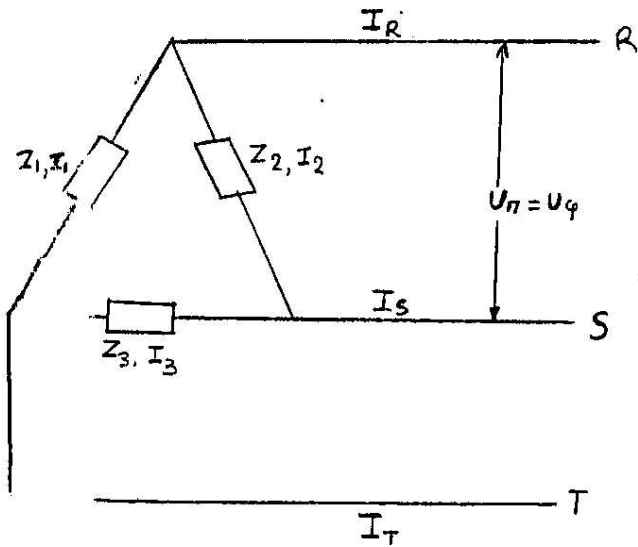
$$V_p = 1,73 V_{\phi}$$

ε) Το διανυσματικό άθροισμα των φασικών τάσεων είναι ίσο με μηδέν.

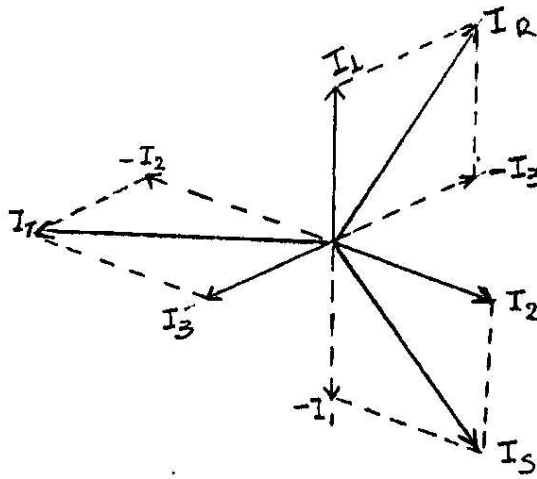
στ) Το διανυσματικό άθροισμα των φασικών εντάσεων είναι ίσο με το αντίθετο διάνυσμα της έντασης  $I_N$

## 2. Σε τρίγωνο (σύμβολο $\Delta$ )

Στη σύνδεση αυτή ο τριφασικός καταναλωτής συνδέεται με τις τρεις φάσεις (R,S,T) όπως φαίνεται στο σχήμα II.4



Σχ. 11.4



Σχ. 11.5

χωρίς να χρησιμοποιηθεί ουδέτερος αγωγός.

Όταν τριφασικός καταναλωτής είναι συμμετρικός ισχύουν τα ακόλουθα:

α) Οι φασικές εντάσεις ( $I_1, I_2, I_3$ ) είναι ίσες μεταξύ τους:

$$I_1 = I_2 = I_3$$

β) Οι εντάσεις γραμμής ( $I_R, I_S, I_T$ ) είναι κι αυτές ίσες μεταξύ τους:

$$I_R = I_S = I_T$$

γ) Μεταξύ των εντάσεων γραμμής και των φασικών εντάσεων ισχύει η σχέση:

$$I_R = I_S = I_T = \sqrt{3} \cdot I_1 = \sqrt{3} \cdot I_2 = \sqrt{3} \cdot I_3 \quad \text{ή}$$

$$I_R = I_S = I_T = 1,73 I_1 = 1,73 I_2 = 1,73 I_3$$

δ) Οι φασικές τάσεις είναι ίσες μεταξύ τους:

$$V_{\phi 1} = V_{\phi 2} = V_{\phi 3}$$

ε) Οι πολικές τάσεις είναι ίσες μεταξύ τους και με τις φασικές:

$$V_{\pi} = V_{\phi}$$

στ) Το διανυσματικό άθροισμα των φασικών εντάσεων είναι ίσο με μηδέν.

ζ) Το διανυσματικό άθροισμα των φασικών τάσεων είναι επίσης ίσο με μηδέν

Όταν ο τριφασικός καταναλωτής είναι ασύμμετρος ισχύουν τα ακόλουθα:

α) Οι φασικές εντάσεις είναι διάφορες μεταξύ τους:

$$I_1 \neq I_2 \neq I_3$$

β) Οι εντάσεις γραμμής είναι επίσης διάφορες μεταξύ τους:

$$I_R \neq I_S \neq I_T$$

γ) Οι φασικές τάσεις είναι ίσες μεταξύ τους:

$$V_{\phi_1} = V_{\phi_2} = V_{\phi_3}$$

δ) Οι πολικές τάσεις είναι επίσης ίσες μεταξύ τους

ε) Οι πολικές τάσεις είναι ίσες με τις φασικές:

$$V_{\pi} = V_{\phi}$$

στ) Το διανυσματικό άθροισμα των φασικών εντάσεων είναι διάφορο του μηδέν.

ζ) Το διανυσματικό άθροισμα των φασικών τάσεων είναι ίσο με μηδέν.

Πειραματικό (Εργαστηριακό) μέρος:

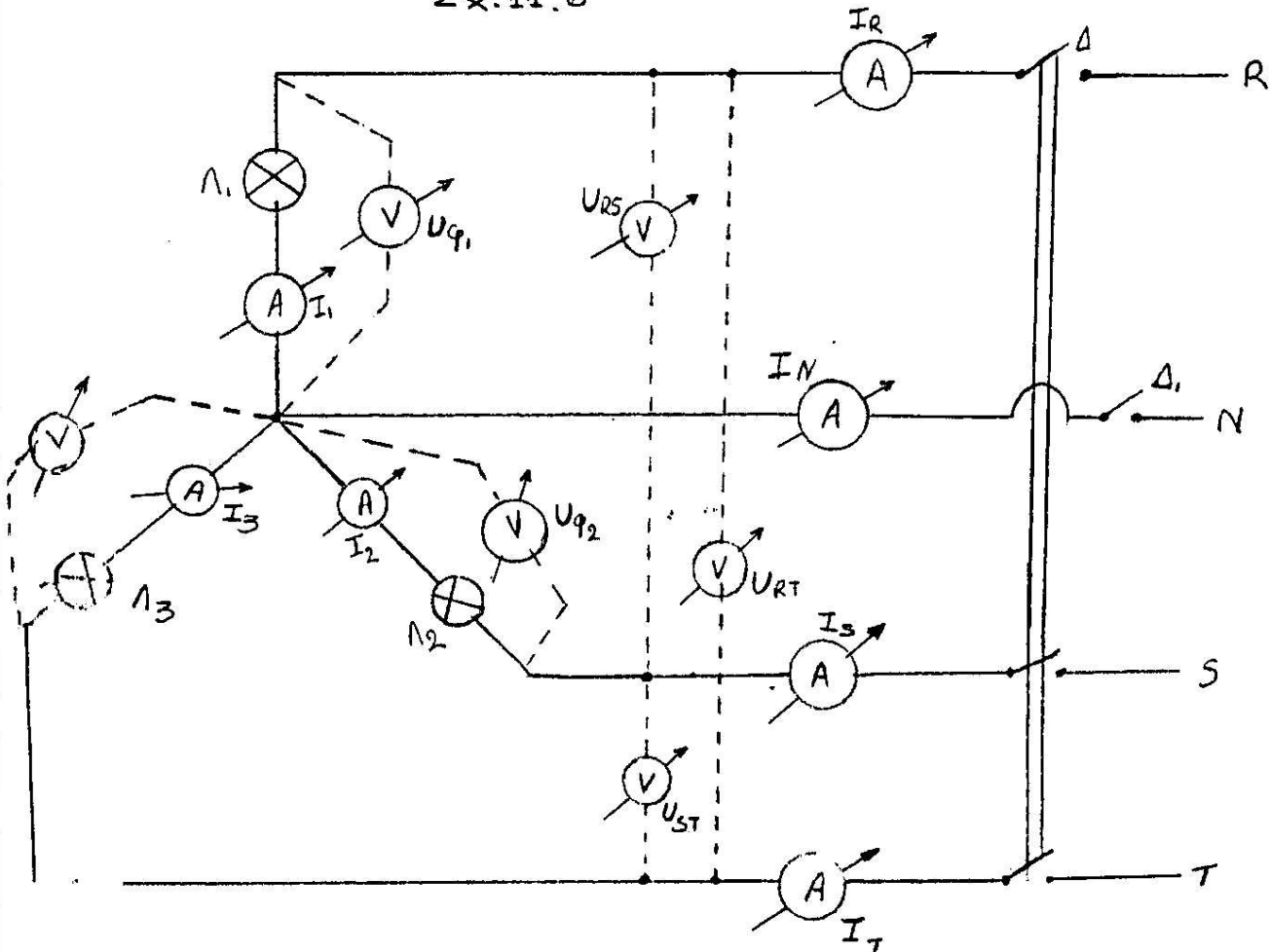
1. Σκοπός της άσκησης:

Σκοπός της άσκησης αυτής είναι η εξικείωση στη σύνδεση τριφασικών καταναλωτών σε αστέρα και τρίγωνο ως και η διάπλιση της συμπεριφοράς του ρεύματος και της τάσης σε τέτοιες συνδέσεις.

2. Σχέδιο έργου

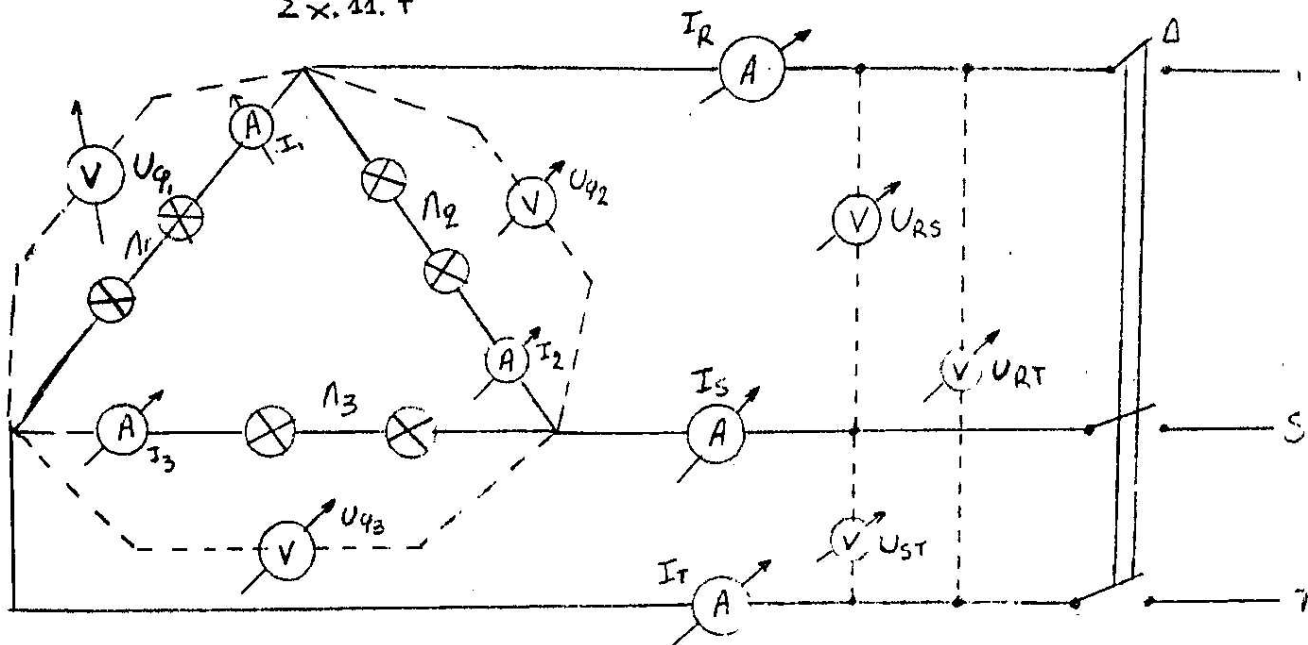
α) Για συμμετρικό ή ασύμμετρο τριφασικό καταναλωτή σε αστέρα

Σχ. 11.6



β) Για συμμετρικό ή ασύμμετρο τριφασικό καταναλωτή σε τρίγωνο

Σχ. 11.7



3. Όργανα και υλικά

α) Για συμμετρικό τριφασικό καταναλωτή σε αστέρα

Τριφασικό δίκτυο 4 αγωγών (R,S,T,N) 220/380 V.

3 Λυχνίες πυρακτώσεως έκαστη 100 W, 220 V

3 Βολτόμετρα A.C 0 ÷ I A

7 Αμπερόμετρα A.C 0 ÷ I A

Τριπολικός διακόπτης Δ

Απλός διακόπτης Δ<sub>1</sub>

Αγωγοί για τις συνδέσεις

β) Για ασύμμετρο τριφασικό καταναλωτή σε αστέρα

Τριφασικό δίκτυο 4 αγωγών (R,S,T,N) 220/380 V

3 Λυχνίες πυρακτώσεως 100W-220V, 150W-220V, 200W-220V

6 Βολτόμετρα Α.Ο 0÷500V

7 Αμπερόμετρα Α.Ο 0÷1Α

Τριπολικός διακόπτης Δ

Απλός διακόπτης Δ<sub>1</sub>

Αγωγοί για τις συνδέσεις

γ) Για συμμετρικό τριφασικό καταναλωτή σε τρίγωνο

Τριφασικό δίκτυο 3 αγωγών (R,S,T) με  $V_{\pi} = 380V$

6 Λυχνίες πυρακτώσεως 200W, 220V

3 Αμπερόμετρα Α.Ο 0÷1Α

3 Αμπερόμετρα Α.Ο 0÷2,5Α

6 Βολτόμετρα Α.Ο 0÷500V

Τριπολικός διακόπτης Δ

Αγωγοί για τις συνδέσεις

δ) Για ασύμμετρο τριφασικό καταναλωτή σε τρίγωνο

Τριφασικό δίκτυο 3 αγωγών (R,S,T) με  $V_{\pi} = 380V$

6 Λυχνίες πυρακτώσεως: ανά 2 εκ 100W-220V, 150W-220V, 200W-220V

3 Αμπερόμετρα Α.Ο 0÷2,5Α

3 Αμπερόμετρα Α.Ο 0÷1Α

6 Βολτόμετρα Α.Ο 0÷500V

Τριπολικός διακόπτης Δ

Αγωγοί για τις συνδέσεις

#### 4. Πορεία εργασίας

Αφού μελετήσετε το θεωρητικό μέρος της άσκησης πρέπει:

α) να αναγνωρίζετε τα κατάλληλα όργανα για τη σύνδεση συμ-



μετρικού τριφασικού καταναλωτή σε αστέρα.

β) να τοποθετήσετε σε κατάλληλη θέση τα όργανα πάνω στον πάγκο εργασίας ώστε να διευκολύνονται οι συνδέσεις και να γίνετε άνετα η ανάγνωση των ενδείξεων.

γ) να κατασκευάσετε το κύκλωμα του σχήματος II.6 με συμμετρικό όμως καταναλωτή.

δ) να ελέγξετε τη συνδεσμολογία παρουσία του Καθηγητή ή Βοηθού.

ε) να εφαρμόσετε τάση κλείνοντας τους διακόπτες Δ, Δ<sub>1</sub>

στ) να γράψετε τις ενδείξεις των οργάνων

ζ) να διακόψετε την τροφοδοσία

η) να αντικαταστήσετε στο Σχ. II.6 τον συμμετρικό καταναλωτή με τον ασύμμετρο που αναφέρεται στην παράγραφο 2.β, τα 3 βολτόμετρα A.C των 0÷250V με 0÷500V και να επαναλάβετε τη παραπάνω διαδικασία

θ) να συμπληρώσετε τον πίνακα II.1

ι) να επαναλάβετε την παραπάνω διαδικασία για το συμμετρικό και ασύμμετρο τριφασικό καταναλωτή του Σχ. II.7 και τέλος

κ) να συμπληρώσετε τον πίνακα II.2

Πίνακας II.1

Συμμετρικός Τριφασικός καταναλωτής σε αστέρα.	$I_1$ (A)	$I_2$ (A)	$I_3$ (A)	$I_R$ (A)	$I_S$ (A)	$I_T$ (A)	$I_N$ (A)	$U_{\phi 1}$ (V)	$U_{\phi 2}$ (V)	$U_{\phi 3}$ (V)	$U_{RS}$ (V)	$U_{RT}$ (V)	$U_{ST}$ (V)	$1,73 \cdot U_{\phi 1}$ (V)	$1,73 \cdot U_{\phi 2}$ (V)	$1,73 \cdot U_{\phi 3}$ (V)
Ασύμμετρος Τριφασικός καταναλωτής σε αστέρα.	$I_1$ (A)	$I_2$ (A)	$I_3$ (A)	$I_R$ (A)	$I_S$ (A)	$I_T$ (A)	$I_N$ (A)	$U_{\phi 1}$ (V)	$U_{\phi 2}$ (V)	$U_{\phi 3}$ (V)	$U_{RS}$ (V)	$U_{RT}$ (V)	$U_{ST}$ (V)	$1,73 \cdot U_{\phi 1}$ (V)	$1,73 \cdot U_{\phi 2}$ (V)	$1,73 \cdot U_{\phi 3}$ (V)

Πίνακας 11.2

Συμμετρικός τριφασικός καταναλωτής σε τρίγωνο	$I_1$ (A)	$I_2$ (A)	$I_3$ (A)	$I_R$ (A)	$I_S$ (A)	$I_T$ (A)	$U_{\phi_1}$ (V)	$U_{\phi_2}$ (V)	$U_{\phi_3}$ (V)	$U_{RS}$ (V)	$U_{RT}$ (V)	$U_{ST}$ (V)	$1,73 \cdot I_1$ (A)	$1,73 \cdot I_2$ (A)	$1,73 \cdot I_3$ (A)	
Ασύμμετρος τριφασικός καταναλωτής σε τρίγωνο	$I_1$ (A)	$I_2$ (A)	$I_3$ (A)	$I_R$ (A)	$I_S$ (A)	$I_T$ (A)	$U_{\phi_1}$ (V)	$U_{\phi_2}$ (V)	$U_{\phi_3}$ (V)	$U_{RS}$ (V)	$U_{RT}$ (V)	$U_{ST}$ (V)	$1,73 \cdot I_1$ (A)	$1,73 \cdot I_2$ (A)	$1,73 \cdot I_3$ (A)	

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. Σχολιάστε τα αποτελέσματα των πινάκων 11.1 και 11.2 σε σχέση με τη θεωρία.

2. Από τις τιμές των  $V_{\phi_1}, V_{\phi_2}, V_{\phi_3}$ , του ασύμμετρου τριφασικού καταναλωτή συνδεδεμένου σε αστέρα του πίνακα 11.1 να κατασκευάσετε σε χιλιοστομετρικό χαρτί το διανυσματικό διάγραμμα των φασικών τάσεων  $V_{\phi_1}, V_{\phi_2}, V_{\phi_3}$ , να βρείτε το διανυσματικό άθροισμα αυτών ως και τα διανύσματα των  $V_{RS}, V_{RT}, V_{ST}$ . Σχολιάστε τα αποτελέσματα με τη θεωρία και με τις αντίστοιχες τιμές του πίνακα 11.1

3. Από τις τιμές των  $I_1, I_2, I_3$  του συμμετρικού τριφασικού καταναλωτή συνδεδεμένου σε τρίγωνο του πίνακα 11.2 να κατασκευάσετε σε χιλιοστομετρικό χαρτί το διανυσματικό διάγραμμα των φασικών εντάσεων  $I_1, I_2, I_3$ , να βρείτε το διανυσματικό άθροισμα αυτών ως και τα διανύσματα των  $I_R, I_S, I_T$ . Σχολιάστε τα αποτελέσματα με τη θεωρία και με τις αντίστοι-

χες τιμές του πίνακα II.2.

4. Γιατί έχουμε οικονομία στη διανομή ηλεκτρικής ενέργειας όταν χρησιμοποιούμε τριφασικά δίκτυα και όχι μονοφασικά.

A Σ Κ Η Σ Η Ι 2

T P I Φ Α Σ Ι Κ Η Ι Σ Χ Υ

Θεωρητικό μέρος: Στη πράξη τα μεν τριφασικά συστήματα διακρίνονται σε τριφασικά συστήματα 4 αγωγών και 3 αγωγών, οι δε τριφασικοί καταναλωτές σε σύμμετρους και ασύμμετρους. Έστω λοιπόν ένας συμμετρικός τριφασικός καταναλωτής, συνδεδεμένος σε αστέρα, που τροφοδοτείται από τριφασικό σύστημα 4 αγωγών (τριων φάσεων και του ουδετέρου). Η πραγματική ισχύ  $P_1$  που απορροφά κάθε φάση του δίνεται από τη σχέση:

$$P_1 = V_{\phi} \cdot I_{\phi} \cdot \cos \varphi \quad (W) \quad (12.1)$$

η δε ολική πραγματική ισχύ  $P$  που απορροφά ο συμμετρικός τριφασικός καταναλωτής δίνεται από τη σχέση:

$$P = 3 P_1 \quad (W) \quad (12.2)$$

Συνεπώς για να μετρήσουμε την πραγματική ισχύ του παραπάνω τριφασικού καταναλωτή, αρκεί να μετρήσουμε με ένα μονοφασικό βαττόμετρο την ισχύ μιας φάσης του καταναλωτή και να τριπλασιάσουμε την ένδειξη του βαττόμετρου.

Από τις παραπάνω σχέσεις (12.1), (12.2) και τις γνωστές σχέσεις που συνδέουν τη φασική τάση με την πολική και την φασική ένταση με την ένταση γραμμής σε μία συμμετρική φόρτιση προκύπτει η παρακάτω σχέση που ισχύει ανεξάρτητα από το αν η σύνδεση των τριών φάσεων του καταναλωτή είναι σε αστέρα ή σε τρίγωνο/:

$$P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos\varphi \text{ (W)}$$

ή  $P = 1,73 \cdot V \cdot I \cdot \cos\varphi \text{ (W)}$

με  $V$  = πολική τάση,  $I$  = ένταση γραμμής

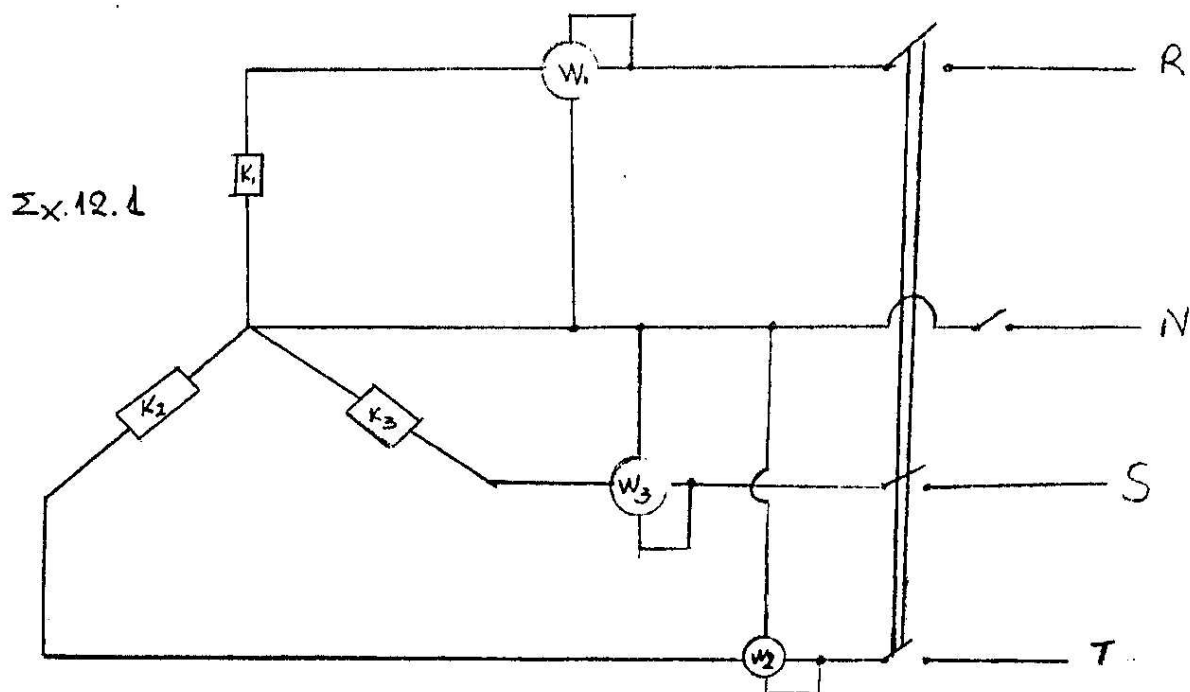
Έστω τώρα ένας ασύμμετρος τριφασικός καταναλωτής, συνδεδεμένος σε αστέρα, που τροφοδοτείται από τριφασικό σύστημα 4 αγωγών.

Η ολική πραγματική ισχύ  $P$  που απορροφά δίνεται από τη σχέση :

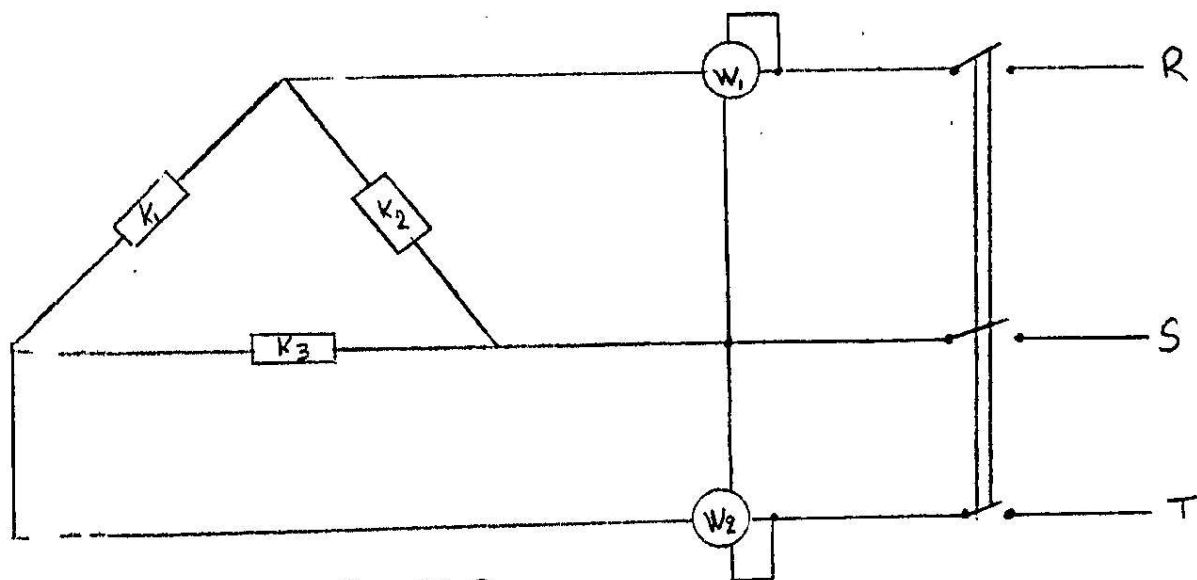
$$P = P_1 + P_2 + P_3 \text{ (W)}$$

$P_1, P_2, P_3$  είναι οι ισχύεις που απορροφούν οι τρεις φάσεις του καταναλωτή.

Συνεπώς για να μετρήσουμε την ολική πραγματική ισχύ που απορροφά ο παραπάνω καταναλωτής, αρκεί να μετρήσουμε με τρία μονοφασικά βαττόμετρα την ισχύ που απορροφά κάθε φάση του καταναλωτή (Σχ. 12.1), και να τις προσθέσουμε. Η μέθοδος αυτή αποτελεί το θεώρημα του BLONDEL (Μπλοντέλ).



Όταν όμως έχουμε ασύμμετρο τριφασικό καταναλωτή συνδεδεμένο σε αστέρα ή τρίγωνο που τροφοδοτείται από τριφασικό σύστημα 3 αγωγών, για τη μέτρηση της ολικής πραγματικής ισχύος αρκεί να χρησιμοποιήσουμε δύο μονοφασικά βαττόμετρα συνδεσμολογημένα όπως φαίνεται στο σχήμα I2.2



Σχ. I2.2

Η συνδεσμολογία αυτή λέγεται διάταξη ARON. Στη περίπτωση αυτή η ολική πραγματική ισχύ που απορροφά ο καταναλωτής δίνεται από τη σχέση:

$$P = P_1 + P_2 \quad (W)$$

$P_1, P_2$  οι ενδείξεις των δύο βαττομέτρων σε WATT. Οι ενδείξεις αυτές δεν είναι απαραίτητα ίσες μεταξύ τους ακόμη και όταν ο τριφασικός καταναλωτής είναι συμμετρικός.

Όταν όμως στη συνδεσμολογία ARON έχουμε επαγωγική φόρτιση

με συντελεστή ισχύος του καταναλωτή  $\cos\varphi = 0,5$  δηλαδή  $\varphi = 60^\circ$ , ένδειξη δείνει μόνο το ένα βαττόμετρο ενώ το άλλο δείχνει μηδέν, δηλαδή:

$$P = P_1$$

Όταν το  $\cos\varphi < 0,5$  δηλαδή  $\varphi > 60^\circ$ , τότε ο δείκτης του βαττόμετρου δείχνει ανάποδα. Για να πάρουμε σωστή ένδειξη αναστρέφουμε τη σύνδεση του πηνίου τάσης στο βαττόμετρο αυτό και τότε η ολική πραγματική ισχύ δίνεται από τη σχέση:

$$P = P_1 - P_2$$

Στη διάταξη ARON (σε συμμετρική φόρτιση) ή διαφορά των ενδείξεων των δύο βαττόμετρων επί τη  $\sqrt{3}$  μας δίνει την άεργη ισχύ, δηλαδή:

$$P_a = \sqrt{3} (P_1 - P_2)$$

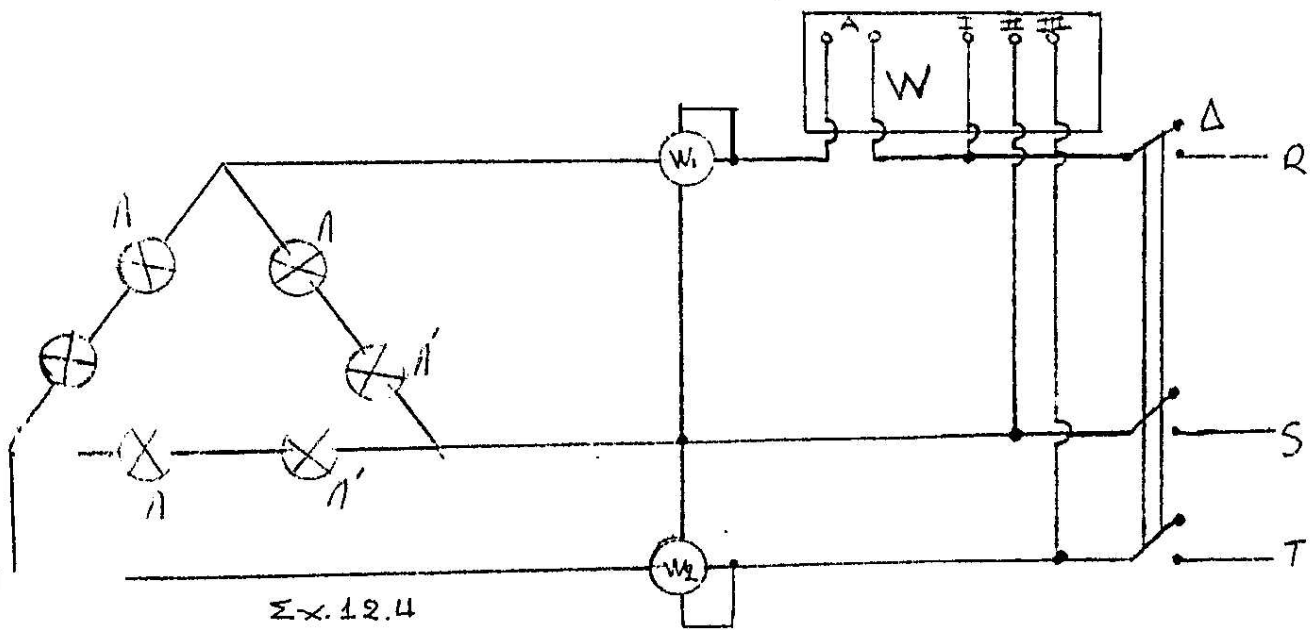
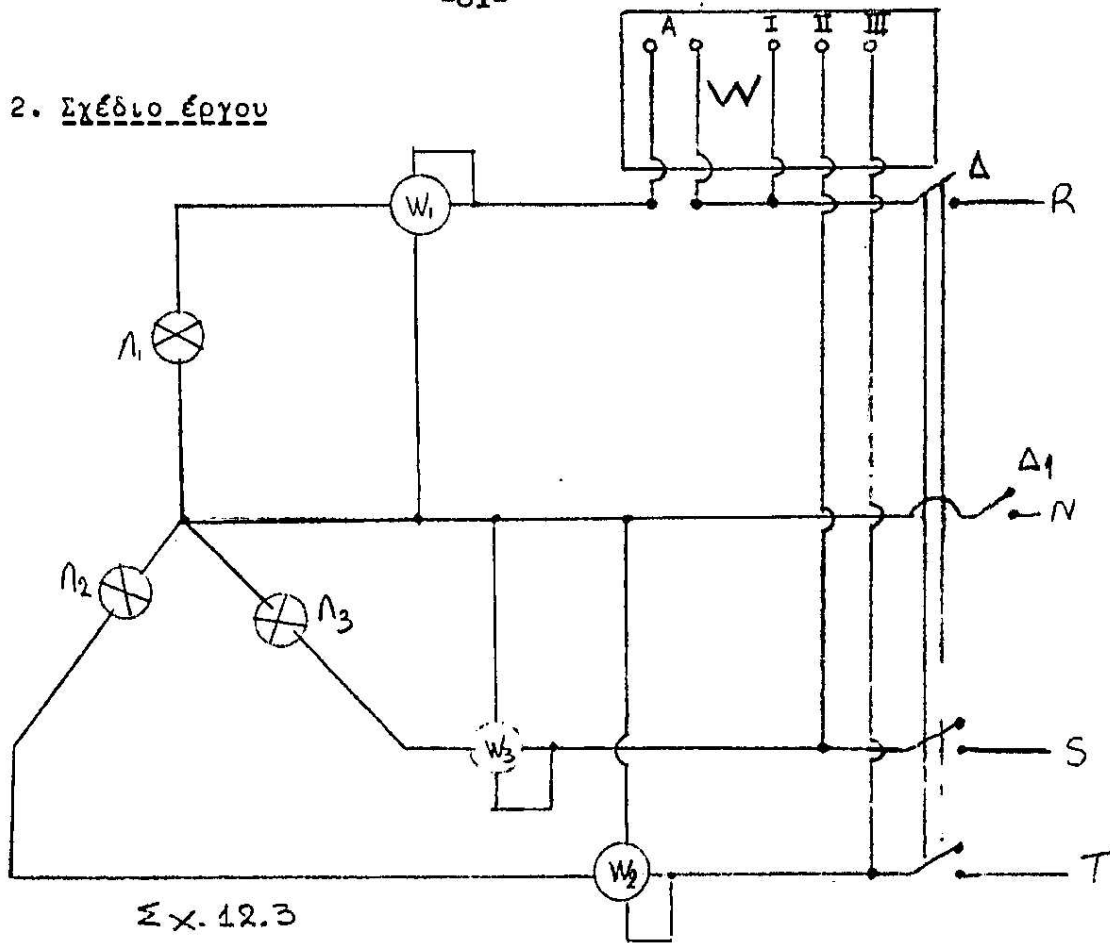
Ο δε λόγος της άεργης ισχύος προς την πραγματική ισχύ μας δίνει την  $\tan\varphi$ . Συνεπώς μπορούμε να υπολογίσουμε και το  $\cos\varphi$ .

### Πειραματικό (Εργαστηριακό) μέρος.

#### I. Σκοπός της άσκησης

Σκοπός της άσκησης αυτής είναι η εξοικείωση στη σύνδεση βαττόμετρων κατά BLONDEL και ARON για τη μέτρηση της ολικής πραγματικής ισχύος που απορροφά ασύμμετρος τριφασικός καταναλωτής συνδεδεμένος σε αστέρα ή τρίγωνο που τροφοδοτείται από τριφασικό σύστημα 4 αγωγών και 3 αγωγών αντίστοιχα.

2. Σχέδιο Έργου





### 3. Όργανα και υλικά

α) Για ασύμμετρο τριφασικό καταναλωτή συνδεδεμένο σε αστέρα, που τροφοδοτείται από τριφασικό σύστημα 4 αγωγών. (Σχ. Ι2.3)

Τριφασικό δίκτυο 4 αγωγών (R,S,T,N) 220/380 V

Λυχνίες πυράκτωσης  $\Lambda_1, \Lambda_2, \Lambda_3$   $\left\{ \begin{array}{l} 200W \\ 150W \end{array} \right\} / 220V$   $\left\{ \begin{array}{l} 200W \\ 150W \end{array} \right\} / 220V$   $\left\{ \begin{array}{l} 150W \\ 150W \end{array} \right\} / 220V$   $\left. \begin{array}{l} \text{ανά δύο συνδεδεμένα} \\ \text{παραλληλως μεταξύ τους.} \end{array} \right\}$

3 Βαττόμετρα 250/500W  
1 Τριφασικό βαττόμετρο  
Τριπολικός διακόπτης Δ

Απλός διακόπτης Δ<sub>1</sub>

Αγωγοί για τις συνδέσεις

β) Για σύμμετρο τριφασικό καταναλωτή συνδεδεμένο σε τρίγωνο που τροφοδοτείται από τριφασικό σύστημα 3 αγωγών (Σχ.Ι2.4)

Τριφασικό δίκτυο 3 αγωγών (R,S,T) με πολιτική τάση 380V

6 λυχνίες πυράκτωσης, ανά δύο 150W, 200W/220V

2 βαττόμετρα 500V/1500W  
1 τριφασικό βαττόμετρο  
Τριπολικός διακόπτης Δ

Αγωγοί για τις συνδέσεις

### 4. Πορεία εργασίας

Αφού μελετήσετε το θεωρητικό μέρος της άσκησης πρέπει:

α) να αναγνωρίσετε τα κατάλληλα όργανα για τη σύνδεση ασύμμετρου τριφασικού καταναλωτή σε αστέρα που τροφοδοτείται

από τριφασικό σύστημα 4 αγωγών (Σχ, Ι2,3)

β) να τοποθετήσετε σε κατάλληλη θέση τα όργανα πάνω στον πάγκο εργασίας ώστε να διευκολύνονται οι συνδέσεις και να γίνεται άνετα η ανάγνωση των ενδείξεων.

γ) να κατασκευάσετε το κύκλωμα του σχήματος Ι2.3

- δ) να ελέγξετε τη συνδεσμολογία παρουσία του Καθηγητή ή βοηθού.
- ε) να εφαρμόσετε τάση κλείνοντας τους διακόπτες  $\Delta, \Delta_4$
- στ) να γράψετε τις ενδείξεις των οργάνων
- ζ) να διακόψετε τη τροφοδοσία
- η) να αποσυνδέσετε το κύκλωμα
- θ) να κάνετε τη παραπάνω διαδικασία για το κύκλωμα του σχήματος I2.4 χρησιμοποιώντας τα όργανα και υλικά της παραγράφου 3.β
- ι) να συμπληρώσετε τον πίνακα I2.1

Θέωρημα BLONDEL	$P_1$ (W)	$P_2$ (W)	$P_3$ (W)	$P_{ολ}$ (W)	$P_{ολTP}$ (W)
Διάταξη ARON	$P_1$ (W)	$P_2$ (W)	$P_{ολ}$ (W)		$P_{ολTP}$ (W)

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

I. Από τα αποτελέσματα της διάταξης ARON (πίνακας I2.1) υπολογίστε α) την άεργη ισχύ και το  $\cos \varphi$ .

β) τη φαινομένη ισχύ.

2. Αποδείξτε ότι η διάταξη ARON μετράει ολική ισχύ, δηλα-

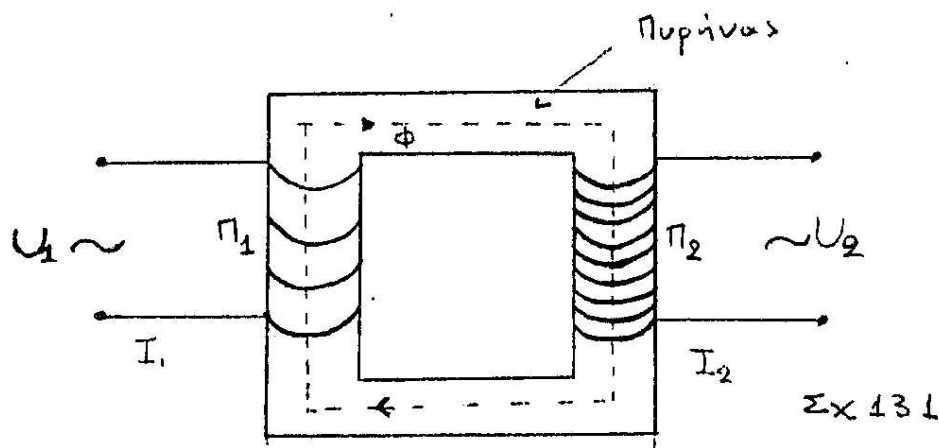
δή  $P_{\text{ολ}} = P_1 + P_2$  (θεωρητικά).

Α Σ Κ Η Σ Η Ι 3

ΣΧΕΣΕΙΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΟΥ

Θεωρητικό μέρος: Είναι γνωστό ότι η μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις είναι συμφέρουσα όταν διαθέτουμε υψηλή τάση. Στο εναλλασσόμενο ρεύμα μπορεί με ειδική συσκευή, που ονομάζεται μετασχηματιστής, να υψωθεί ή να υποβιβασθεί μία τάση, αντίστοιχα όμως θα υποβιβάζεται ή θα αυξάνεται η ένταση του ρεύματος που ο μετασχηματιστής παρέχει, ώστε το γινόμενο  $V \cdot I$  να παραμένει σχεδόν σταθερό.

Ένας απλός μετασχηματιστής αποτελείται από κλειστό πυρήνα μαλακού σιδήρου και από δύο τουλάχιστον πηνία τα οποία περιτυλλίσσονται περί τον πυρήνα και είναι μονωμένα μεταξύ τους. Το πηνίο  $\Pi_1$  λέγεται πρωτεύον αποτελείται από λίγες σπείρες χονδρού σύρματος και συνδέεται με την πηγή της εναλλασσομένης τάσης (Σχ. Ι3.Ι)

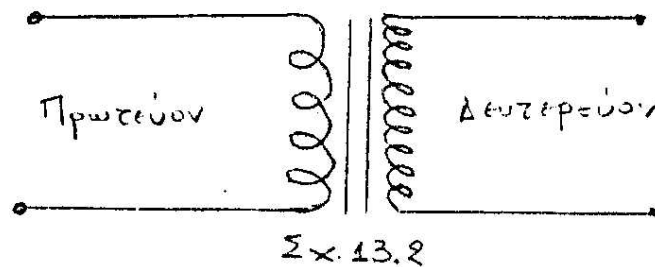


Το πηνίο  $\Pi_2$  λέγεται δευτερεύον (Σχ. 13.1) αποτελείται από πολλές σπείρες λεπτού σύρματος και παρέχει την επιθυμητή τάση για την τροφοδότηση ενός συγκεκριμένου φορτίου.

Ο πυρήνας του μετασχηματιστού αποτελείται από φύλλα σιδήρου μονωμένα μεταξύ τους για να αποφεύγεται η ανάπτυξη ισχυρών ρευμάτων FOUCAULT.

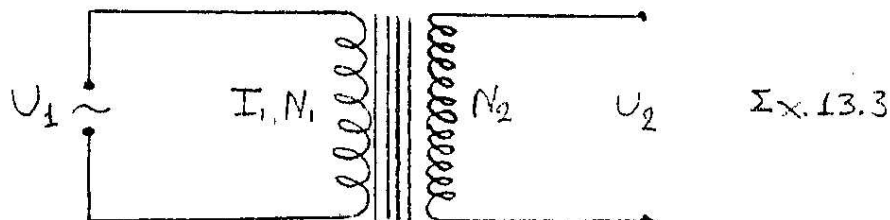
Η λειτουργία των μετασχηματιστών στηρίζεται στο φαινόμενο της επαγωγής.

Η συμβολική παράσταση ενός μετασχηματιστού φαίνεται στο σχήμα 13.2



Λειτουργία μετασχηματιστού σε κενώ:

Ο μετασχηματιστής λειτουργεί σε κενώ, όταν το κύκλωμα του δευτερεύοντος πηνίου είναι ανοικτό (Σχ. 13.3)



Η τάση  $V_1$  που εφαρμόζεται στα άκρα του πρωτεύοντος πηνίου προκαλεί την κυκλοφορία ρεύματος σαυτό. Έτσι εμφανίζεται γύρω από το πρωτεύον ένα εναλλασσόμενο μαγνητικό πεδίο που επιδρά στο δευτερεύον ή στα δευτερεύοντα πηνία στα οποία αναπτύσσεται τάση από επαγωγή.

Η σχέση μεταξύ της τάσης  $V_1$  της εναλλασσομένης πηγής και της τάσης  $V_2$  που επάγεται στο δευτερεύον πηνίο εξαρτάται από το λόγο των σπειρών των δύο πηνίων και δίνεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

Ο λόγος  $\frac{N_1}{N_2}$  λέγεται λόγος μετασχηματισμού και είναι χαρακτηριστικός του μετασχηματιστού.

Εάν  $N_1 > N_2$  τότε και η τάση  $V_1 > V_2$  και ο μετασχηματιστής λέγεται μετασχηματιστής υποβιβασμού της τάσης.

Εάν  $N_2 > N_1$  τότε και η τάση  $V_2 > V_1$  και έχουμε μετασχηματιστή υψώσεως της τάσης.

Περίπτωση  $N_1 = N_2$  σπάνια συναντάται (χρησιμοποιούνται απλώς για να απομονώνουν ένα κύκλωμα)

Στη λειτουργία μετασχηματιστού σε κενώ η ένταση του ρεύματος στο δευτερεύον είναι μηδέν.

Στο πρωτεύον ο νόμος του OHM μας δίνει:

$$I_1 = \frac{U_1}{L_1 \cdot \omega}$$

διότι το πρωτεύον πηνίο έχει σχεδόν μόνο επαγωγική αντίσταση.

Επομένως η διαφορά φάσης  $\varphi_1$  μεταξύ της έντασης και της τάσης είναι  $\varphi_1 \simeq \pi/2$ .

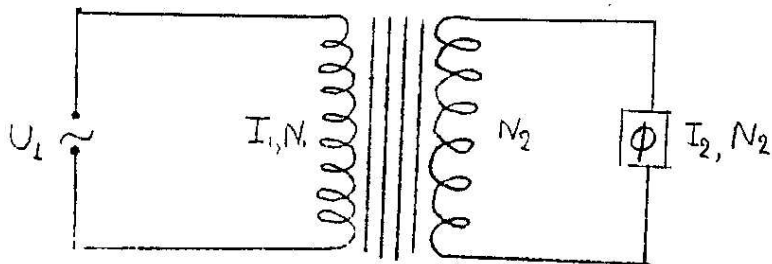
Συνεπώς η ισχύς  $P_1$  που καταναλίσκεται στο πρωτεύον κύκλωμα

είναι ίση με μηδέν, δηλαδή:

$$P_1 = V_1 \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1 \approx 0$$

Λειτουργία μετασχηματιστού με φορτίο:

Ο μετασχηματιστής λειτουργεί με φορτίο, όταν το κύκλωμα του δευτερεύοντος πηνίου είναι συνδεδεμένο με κάποια κατά-  
νάλωση. (Σχ. 13.4)



Σχ. 13.4.

Και στη περίπτωση αυτή ισχύει η σχέση:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

Η δε διαφορά φάσης μεταξύ της έντασης και της τάσης στο πρωτεύον και το δευτερεύον κύκλωμα είναι αντίστοιχα  $\varphi_1$  και  $\varphi_2$ . Συνεπώς η ισχύς στο πρωτεύον και το δευτερεύον κύκλωμα είναι αντίστοιχα:

$$P_1 = U_1 \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1 \quad \text{και} \quad P_2 = U_2 \cdot I_2 \cdot \cos \varphi_2$$

Με μεγάλη προσέγγιση μπορούμε να δεχθούμε ότι στο μετασχη-

ματιστή οι απώλειες ενέργειας είναι πρακτικώς ασήμαντου.  
Οπότε, σύμφωνα με την αρχή διατήρησης της ενέργειας, ισχύει  
η σχέση:

$$P_1 = P_2 \quad \text{ή}$$
$$U_1 \cdot I_1 \cdot \cos\varphi_1 = U_2 \cdot I_2 \cdot \cos\varphi_2$$

Όταν ο μετασχηματιστής λειτουργεί με πλήρες φορτίο έχει  
τη μεγαλύτερη τιμή και οι συντελεστές ισχύος είναι πρακτι-  
κώς ίσοι, δηλαδή  $\cos\varphi_1 = \cos\varphi_2$

Συνεπώς και

$$U_1 \cdot I_1 = U_2 \cdot I_2$$

Επειδή όμως ισχύει και η σχέση  $\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$   
καταλήγουμε στη γενική σχέση για πλήρες φορτίο:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2}$$

Ο συντελεστής απόδοσης του μετασχηματιστού είναι:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}$$

Όσα αναφέρθηκαν ισχύουν για όλα τα είδη των μετασχηματιστών  
ισχύος μονοφασικών και τριφασικών.

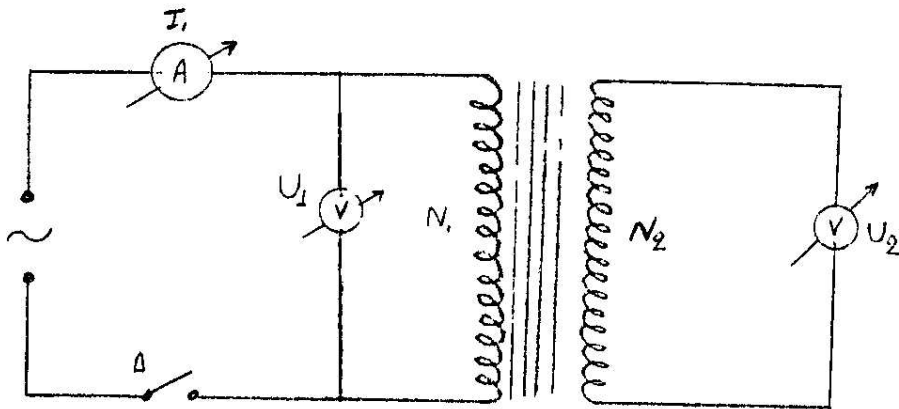
### Πειραματικό (Εργαστηριακό) μέρος:

#### I. Σκοπός της άσκησης:

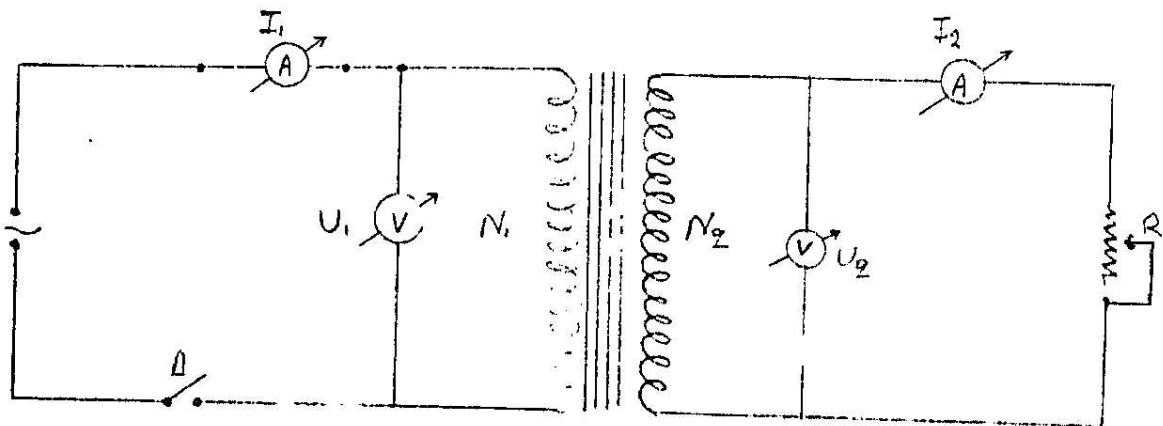
Σκοπός της άσκησης αυτής είναι η διαπίστωση των συνθηκών  
που επικρατούν σε ένα μετασχηματιστή στην σε κενώ και με  
φορτίο λειτουργία του.



2. Σχέδιο έργου



Σχ. 13.5



Σχ. 13.6

13.6

### 3. Όργανα και υλικά

Πηγή A.C 220V, 50HZ

Ωμική αντίσταση ρυθμιζόμενη

2 βολτόμετρα A.C μέχρι

2 αμπερόμετρα A.C μέχρι

μετασχηματιστής 220/110V

διακόπτης Δ

Αγωγοί για τις συνδέσεις

### 4. Ισορροπία εργασίας

Αφού μελετήσετε το θεωρητικό μέρος της άσκησης πρέπει:

α) να αναγνωρίσετε τα κατάλληλα όργανα για τη σύνδεση του κυκλώματος του σχήματος Ι3.5

β) να τοποθετήσετε σε κατάλληλη θέση τα όργανα πάνω στον πάγκο εργασίας ώστε να διευκολύνονται οι συνδέσεις και να γίνεται άνετα η ανάγνωση των ενδείξεων.

γ) να κατασκευάσετε το κύκλωμα του σχήματος Ι3.5

δ) να ελέγξετε τη συνδεσμολογία παρουσία του Καθηγητή ή Βοηθού.

ε) να εφαρμόσετε τάση στο κύκλωμα κλείνοντας το διακόπτη Δ.

στ) να γράψετε τις ενδείξεις των οργάνων

ζ) να διακόψετε την τροφοδοσία.

η) να κατασκευάσετε το κύκλωμα του σχήματος Ι3.6

θ) να ελέγξετε τη συνδεσμολογία παρουσία του Καθηγητή ή Βοηθού

ι) να εφαρμόσετε τάση κλείνοντας το διακόπτη Δ

κ) να γράψετε τις ενδείξεις των οργάνων.

- λ) να διακόψετε την τροφοδοσία
- μ) να αποσυνδέσετε το κύκλωμα και
- ν) τέλος, να συμπληρώσετε τον πίνακα 13.1

Πίνακας 13.1

Σε κενό	$U_1$ (V)	$U_2$ (V)	$N_1$ (σπείρες)	$N_2$ (σπείρες)	$\frac{U_1}{U_2}$	$\frac{N_1}{N_2}$	$I_1$ (A)	X	
Με φορτίο Πηνίκες	$U_1$ (V)	$U_2$ (V)	$I_1$ (A)	$I_2$ (A)	$N_1$ (σπείρες)	$N_2$ (σπείρες)	$\frac{U_1}{U_2}$	$\frac{I_2}{I_1}$	$\frac{N_1}{N_2}$

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. Από τις τιμές του πίνακα 13.1 για κενή λειτουργία μετασχηματιστού υπολογίστε τον συντελεστή αυτεπαγωγής του πρωτεύοντος πηνίου.
2. Εργάζονται οι μετασχηματιστές στο συνεχές ρεύμα και γιατί;
3. Αποδείξτε θεωρητικά τη σχέση  $\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$

18.8

Α Σ Κ Η Σ Η Ι 4

ΠΑΛΜΟΓΡΑΦΟΣ - ΕΙΔΙΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΑΙ

Θεωρητικό μέρος:

Με τα βολτόμετρα και αμπερόμετρα μπορούμε να μετρήσουμε απλώς την τάση ή ένταση συνεχούς ή εναλλασσόμενου ρεύματος όχι όμως να δούμε και τη μορφή της κυματομορφής περιοδικών ρευμάτων.

Ο παλμογράφος συμπληρώνει αυτό το κενό που είναι πολύ σημαντικό στην Ηλεκτρονική, διότι κυμάνσεις κατάλληλου σχήματος έχουν μεγάλη σημασία για τη λειτουργία των υπολογιστών, ραντάρ, τηλεόρασης κ.λ.π.

Η αρχή λειτουργίας του στηρίζεται στις αποκλίσεις που προκαλούνται σε δέσμη ηλεκτρονίων όταν αυτή περνά δια μέσου ηλεκτρικού πεδίου, του οποίου την ένταση και φορά μπορούμε να μεταβάλουμε κατά βούληση.

Το κύριο εξάρτημα κάθε παλμογράφου είναι ο σωλήνας BRAUN, ο οποίος ουσιαστικά είναι ένας καθοδικός σωλήνας που στο ένα άκρο του φέρει ηλεκτρονικό τηλεβόλο και στο άλλο οθόνη καλυμμένη με υλικό που φθορίζει όταν πάνω του πέσουν ηλεκτρόνια.

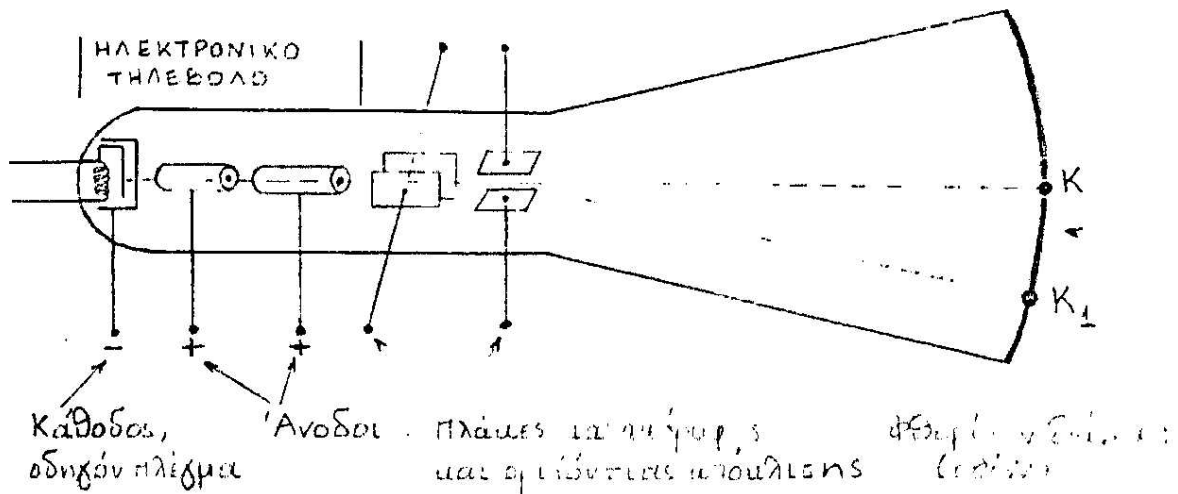
Έτσι στο σημείο της οθόνης που προσπίπτει η δέσμη ηλεκτρονίων εμφανίζεται ένα φωτεινό στίγμα.

Όπως φαίνεται στο σχήμα Ι4.Ι μετά το ηλεκτρονικό τηλεβόλο

υπάρχουν και δύο ζεύγη μεταλλικών πλακών κατακόρυφης και οριζόντιας απόκλισης. Σε αυτές εφαρμόζονται οι διάφορες τάσεις των ηλεκτρικών κυκλωμάτων που πρόκειται να ελεγχθούν με τον παλμογράφο.

Αν η τάση που εφαρμόσουμε σένα ζεύγος πλακών είναι συνεχής τότε η κηλίδα θα αποκλίνει στη θέση  $K_1$ .

Αν όμως η τάση που εφαρμόσουμε είναι εναλλασσόμενη θα παρατηρήσουμε στην οθόνη συνεχή ευθεία γραμμή.

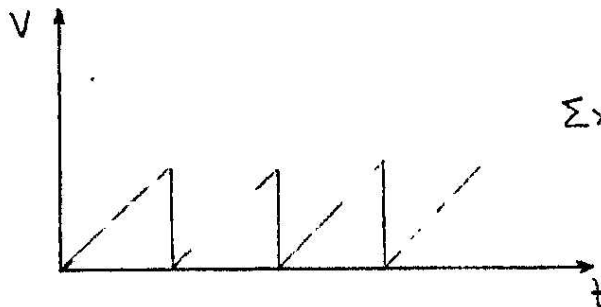


Σχ. 14.1

Οι κυματομορφές που εμφανίζονται στην οθόνη του παλμογράφου π.χ η ημιτονική καμπύλη του εναλλασσόμενου ρεύματος για να εμφανιστεί πρέπει να δράσουν ταυτόχρονα δύο τάσεις. Η μία τάση είναι η ίδια η ημιτονική και εφαρμόζεται στις πλάκες κατακόρυφης απόκλισης. Η άλλη είναι μία βοηθητική τάση που παράγεται μέσα στον παλμογράφο και έχει πριονωτή

μορφή ( Σχ.14.2 )

Εφαρμόζεται στις πλάκες οριζόντιας απόκλισης για να αναγκάσει το στίγμα να κινείται οριζόντια και ισοταχώς στην οθόνη, (σάρωση) ώστε να μπορεί να αναπτυχθεί και η τροχιά της τάσης που έχει εφαρμοσθεί στις πλάκες κατακόρυφης απόκλισης.



Για να μετρήσουμε με τον παλμογράφο μία τάση, ή να βρούμε τη συχνότητα ενός περιοδικά μεταβαλλόμενου σήματος πρέπει:

α) για τη μέτρηση τάσης να γνωρίζουμε πόσα βόλτ αντιστοιχούν ανά εκατοστόμετρο κατά την κατακόρυφη μετακίνηση του σήματος

β) για τη μέτρηση συχνότητας πόσο χρόνο χρειάζεται το στίγμα για να μετακινηθεί κατά ένα εκατοστόμετρο οριζόντια.

Αυτά τα δύο μεγέθη είναι σημειωμένα σε κάθε παλμογράφο στο βαθμολογημένο διαφανές κάλυμμα της οθόνης. Αν δεν υπάρχουν πρέπει να γίνει βαθμονόμηση του παλμογράφου κατά τον κατακόρυφο σε VOLTS και κατά τον οριζόντιο σε δευτερόλεπτα ή κλάσματα του δευτερολέπτου.

Κατά την βαθμονόμηση πρέπει να δίδεται προσοχή στο ότι συνήθως η τάση εξόδου της γεννήτριας αφορά την ενεργό τιμή ενώ ο παλμογράφος δίδει την τιμή κορυφής.

Βαθμονόμηση κατά τον κατακόρυφο άξονα

Μέτρηση συνεχούς και εναλλασσομένης τάσης

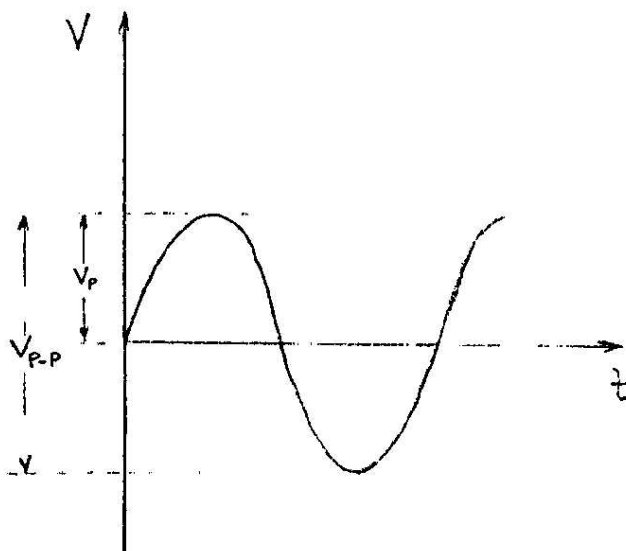
Αυτή γίνεται ως εξής: α) Εφαρμόζουμε στην είσοδο του ενισχυτή κατακόρυφης απόκλισης (VERTICAL INPUT) μία γνωστή εναλλασσόμενη τάση μικρού μεγέθους (ή από την ειδική έξοδο του ίδιου του παλμογράφου ή από την έξοδο μιας γεννήτριας σημάτων ή από ένα μετασχηματιστή) με τη βοήθεια του κουμπιού

που ρυθμίζει την απολαβή του ενισχυτή αυτού ρυθμίζουμε ώστε το γνωστό σήμα να αντιστοιχεί σε ορισμένο αριθμό υποδιαίρέσεων του κατακόρυφου άξονα, της οθόνης .

Έτσι με βάση τις υποδιαίρέσεις που αντιστοιχούν στη γνωστή τάση μπορούμε να μετρήσουμε οποιαδήποτε άλλη τάση.

Με αυτό τον τρόπο υπολογίζουμε την τιμή της τάσης από κορυφή σε κορυφή (PEAK - TO - PEAK).

Εάν η τάση που μετρούμε είναι ημιτονοειδής η ενεργός τιμή της τάσης δίδεται από τους τύπους :



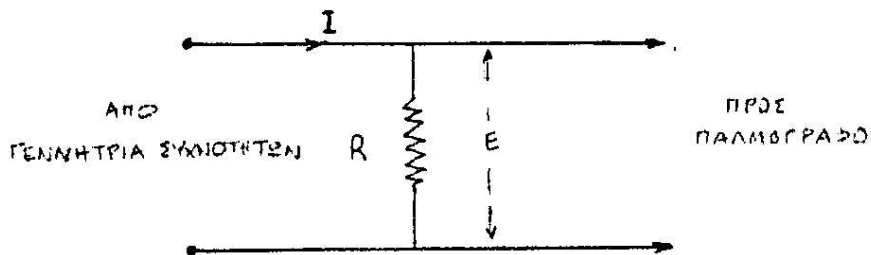
$$V_{EV} \text{ (ή } V_{RMS}) = \frac{V_p}{\sqrt{2}}$$

$$V_{EV} \text{ (ή } V_{RMS}) = \frac{V_{P-P}}{2\sqrt{2}}$$

Για τη μέτρηση συνεχούς τάσης ακολουθούμε την ίδια διαδικασία βαθμονόμησης της οθόνης του παλμογράφου και η μέτρηση συνεχούς τάσης ανάγεται στη μέτρηση της από κλίσης της κηλίδας από την αρχική της θέση όταν εφαρμόσουμε την τάση που θέλουμε να μετρήσουμε στα πλακίδια κατακόρυφης απόκλισης.

### Μέτρηση συνεχούς και εναλλασσόμενου ρεύματος

Η μέτρηση ρεύματος γίνεται έμμεσα με τη μέτρηση της τάσης στα άκρα γνωστής αντίστασης R σύμφωνα με την παρακάτω συνδεσμολογία.



Σχ. 14.3

### Μέτρηση αντίστασης

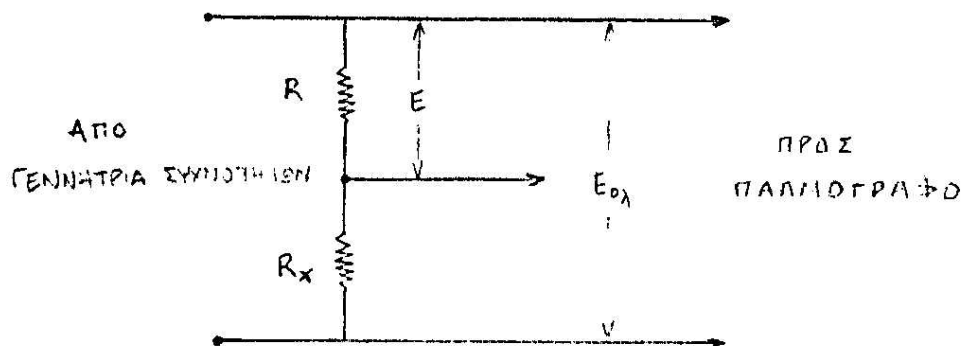
Η μέτρηση αντίστασης γίνεται πάλι έμμεσα, με μέτρηση της τάσης E στα άκρα γνωστής αντίστασης R και υπολογισμού του ρεύματος  $I_{ε\upsilon} = \frac{E_{ε\upsilon}}{R}$  (1) σύμφωνα με το παρακάτω κύκλωμα και μέτρηση της ολικής τάσης  $E_{ολ}$  στα άκρα των δύο αντιστάσεων R και  $R_x$ , οπότε :

$$I_{ε\upsilon} = \frac{E_{ολε\upsilon}}{R + R_x} \quad (2)$$

Από τις σχέσεις (1), (2) υπολογίζουμε την τιμή της άγνωστης



αντιστάσης  $R_x$ .



Σχ. 14.4

Βαθμονόμηση κατά τον οριζόντιο άξονα

Μέτρηση συχνότητας

Βαθμονόμηση κατά τον οριζόντιο άξονα σημαίνει να βαθμονομήσουμε την οθόνη του παλμογράφου κατά τον άξονα αυτόν σε χρονικές μονάδες. Αυτό γίνεται αν ρυθμίσουμε το κουμπί οριζόντιας απολαβής έτσι ώστε η περίοδος  $T$  ενός σήματος γνωστής συχνότητας να περιλαμβάνεται σε ορισμένο αριθμό υποδιαίρεσεων. Αφού λοιπόν είναι γνωστός ο αριθμός των υποδιαίρεσεων που αντιστοιχούν σε χρόνο ίσο με τη γνωστή περίοδο  $T$  βρίσκεται και ο χρόνος που αντιστοιχεί σε κάθε υποδιαίρεση και ο οποίος θα αποτελεί μέτρο σύγκρισης για τις συχνότητες που θέλουμε να μετρήσουμε.

Η συχνότητα ενός σήματος μπορεί να βρεθεί και με τα σχήματα LISSAJOUS, που εμφανίζονται στην οθόνη του παλμογράφου όταν συγκρίνουμε την άγνωστη συχνότητα με κάποια άλλη γνωστή και τα οποία είναι σταθερά στην οθόνη μόνο αν οι συγκρινόμενες συχνότητες έχουν λόγο ακέραιο αριθμό.

### Πειραματικό ( Εργαστηριακό ) μέρος

#### 1. Σκοπός της άσκησης

Σκοπός της άσκησης είναι η εξοικείωση των σπουδαστών με τον παλμογράφο και με τη μέτρηση ηλεκτρικών μεγεθών με αυτόν.

#### 2. Όργανα και υλικά

I Πολύμετρο

II Μετασχηματιστή

I Παλμογράφος

I Γεννήτρια συχνοτήτων

I Αντίσταση γνωστής τιμής και I άγνωστης τιμής

Αγωγοί για τις συνδέσεις

#### 3. Πορεία εργασίας

Αφού μελετήσετε το θεωρητικό μέρος της άσκησης πρέπει :

α) να αναγνωρίσετε τα κατάλληλα όργανα και να τα τοποθετήσετε σε τέτοια θέση πάνω στον πάγκο εργασίας ώστε να διευκο-

λύνονται οι συνδέσεις και να γίνεται άνετα η ανάγνωση των ενδείξεων.

β) να βαθμονομήσετε τον παλμογράφο σε τάση κατά τον κατακόρυφο άξονα χρησιμοποιώντας μία γνωστή συχνότητα, έστω 30HZ από την γεννήτρια συχνοτήτων και ρυθμίζοντας την τάση εξόδου της ( FINE ) στα 1,4 VOLT ( με τη βοήθεια πολύμετρου)

γ) να ρυθμίσετε τη γεννήτρια συχνοτήτων στα 50HZ και το κουμπί που ρυθμίζει την τάση εξόδου της γεννήτριας ( FINE ) στη θέση μεγίστου (τέρμα δεξιά)

δ) να συνδέσετε την έξοδο της γεννήτριας συχνοτήτων με την είσοδο κατακόρυφης απόκλισης του παλμογράφου και να σχεδιάσετε σε χιλιοστομετρικό χαρτί (MILLIMETRE) το σήμα ημιτονοειδούς μορφής που βλέπετε στην οθόνη του παλμογράφου

ε) να υπολογίσετε την τιμή της τάσης από κορυφή σε κορυφή ως και την ενεργό τιμή αυτής.

στ) να επαναλάβετε τις εργασίες γ, δ, και ε για συχνότητα 100HZ.

ζ) να χρησιμοποιήσετε μία γνωστή αντίσταση 330Ω και να υπολογίσετε την ενεργό ένταση που περνά από αυτή σύμφωνα με το σχήμα 14.3

-101-

η) να κατασκευάσετε το κύκλωμα I4.4 και να υπολογίσετε την άγνωστη αντίσταση  $R_x$ .

θ) να θαθμονομήσετε τον παλμογράφο σε χρονικές μονάδες κατά τον οριζόντιο άξονα χρησιμοποιώντας μία γνωστή συχνότητα έστω 100HZ από την γεννήτρια συχνοτήτων

ι) και τέλος να μετρήσετε την συχνότητα του οικιακού ρεύματος (από τον μετασχηματιστή).

Α Σ Κ Η Σ Η 15

Α Ν Ο Ρ Θ Ω Τ Η Σ

Θεωρητικό μέρος:

Ως γνωστόν σήμερα η ηλεκτρική ενέργεια παρέχεται υπό μορφή εναλλασσόμενης τάσης. Όμως οι ραδιοφωνική δέκτες, οι δέκτες τηλεόρασης και γενικά όλες οι ηλεκτρονικές συσκευές χρειάζονται για την λειτουργία τους συνεχείς τάσεις. Οι συνεχείς αυτές τάσεις εξασφαλίζονται από την τάση του δικτύου (220V εναλλασσόμενο) με ανόρθωση.

Το κύριο εξάρτημα για την ανόρθωση της εναλλασσόμενης τάσης είναι ο ανορθωτής πυριτίου ή γερμανίου ή σεληνίου. Ο ανορθωτής παρουσιάζει το φαινόμενο της μονόπλευρου αγωγιμότητας. Δηλαδή επιτρέπει στα ηλεκτρόνια να κυκλοφορούν μέσα από αυτόν μόνο σε μία κατεύθυνση, από την κάθοδο προς την άνοδο και μάλιστα μόνον όταν η άνοδος γίνεται θετική σε σχέση με τη κάθοδο.

Παλιότερα η ανόρθωση γινόταν με δίοδο λυχνία, η οποία παρουσιάζει σοβαρά μειονεκτήματα σε σχέση με τους ανορθωτές πυριτίου ή γερμανίου (παρέχουν ισχυρότατα ρεύματα, αντέχουν σε υψηλές τάσεις, έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής, μικρό κόστος κ.λ.π) Ο ανορθωτής παριστάνεται με το εξής σύμβολο:

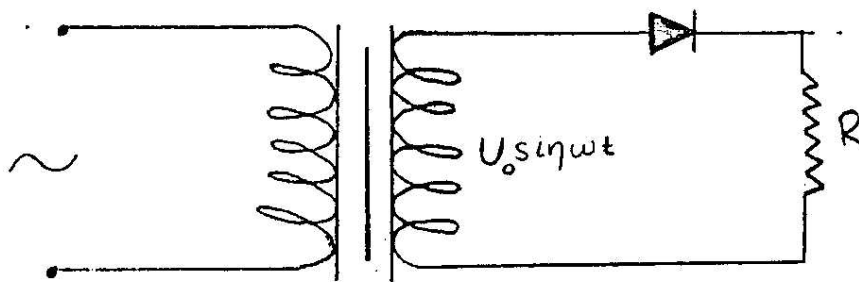


Βασικά κυκλώματα ανόρθωσης εναλλασσόμενης τάσης

Ανάλογα του αν το εξωτερικό κύκλωμα παρουσιάζει ωμική ή χωρητική αντίσταση φορτίου έχουμε ιδιαίτερη συμπεριφορά του ανορθωτή.

A) Κύκλωμα ημιανόρθωσης με αντίσταση

Η ανόρθωση αυτή γίνεται με την παρεμβολή στο αντίστοιχο κύκλωμα ενός ανορθωτού.



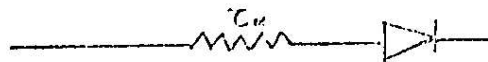
Σχ. 15.1

Ο ανορθωτής άγει μόνον όταν η θετική ημιπερίοδος εφαρμόζεται στον ακροδέκτη του βέλους.

Βέβαια όταν ο ανορθωτής άγει παρουσιάζει και μία εσωτερική αντίσταση. Επειδή όμως είναι πολύ μικρή σε σχέση με την R, μπορούμε να την θεωρήσουμε αμελητέα.

Γενικά η εσωτερική αντίσταση ενός ανορθωτή πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μικρή, για να απομένει στην έξοδο του κυκλώματος (στα άκρα της R) η μεγαλύτερη δυνατή τάση.

Το ισοδύναμο σχήμα ενός ανορθωτού παριστάνεται ως εξής:



Η μέση τιμή του συνεχούς ρεύματος και της συνεχούς τάσης στα άκρα της R, κατά την διάρκεια μιας περιόδου δίδονται αντίστοιχα από τις σχέσεις  $I_{dc} = \frac{I_o}{\pi}$   $\omega$   $U_{dc} = \frac{U_o}{\pi}$  (θεωρώντας αμελητέες την εσωτερική αντίσταση του ανορθωτή και της πηγής). Η ενεργός τιμή του καυμορεύματος που διέρχεται από τον ανορθωτή είναι:  $I_{RMS} = \frac{I_o}{2}$

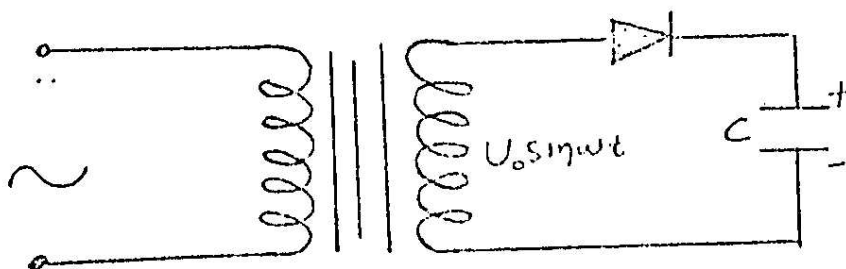
Η ισχύς του συνεχούς που καταναλώνεται στο φορτίο R είναι :

$P_{dc} = \frac{1}{\pi^2} \frac{V_o^2}{R}$  και η ισχύς εναλλασσομένου στην είσοδο της διατάξεως είναι:  $P_{ac} = \frac{V_o^2}{4R}$

Ο συντελεστής ανόρθωσης ή απόδοσης  $\eta\% = \frac{P_{dc}}{P_{ac}} \cdot 100$

### B) Κύκλωμα ημιανόρθωσης με πυκνωτή

Στο σχήμα 15.2 φαίνεται το κύκλωμα αυτής της ημιανόρθωσης.



Σχ. 15.2

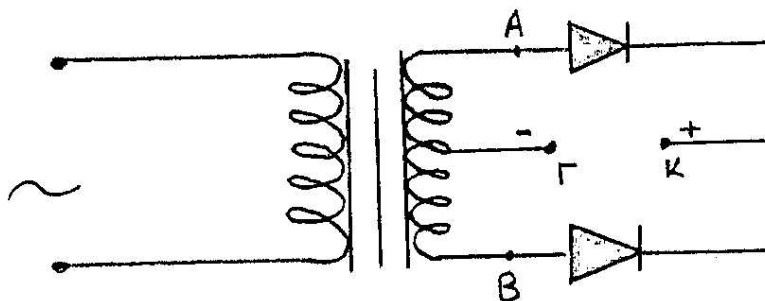
Κατά τη θετική εναλλαγή της τάσης ο ανορθωτής άγει και το ρεύμα του φορτίζει τον πυκνωτή C με την κολικότητα που φαίνεται στο σχήμα 15.2

Κατά την αρνητική ημιπερίοδο ο ανορθωτής δεν είναι αγώγιμος και το κύκλωμα διακόπτεται.

Συνεπώς, ο πυκνωτής συγκρατεί στους οπλισμούς του φορτίο που πήρε, αφού δεν έχει τρόπο να εκφορτιστεί. Έχει δηλαδή στους οπλισμούς του συνεχή τάση.

### Γ) Διπλή ή πλήρης ανόρθωση

Στο σχήμα 15.3 παριστάνεται κύκλωμα διπλής ανόρθωσης.



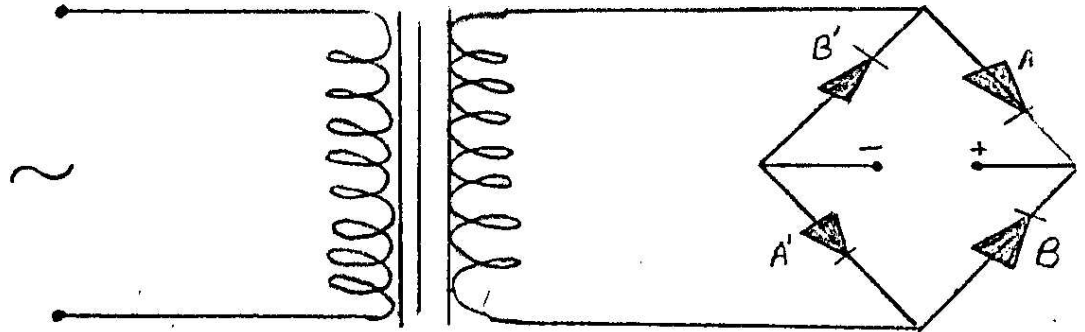
Σχ. 15.3

Υπάρχουν δύο ανορθωτές οι οποίοι άγουν εναλλάξ, δηλαδή όταν ο ένας ανορθωτής είναι αγώγιμος, ο άλλος δεν είναι και αντίστροφα. Στην διπλή ανόρθωση μπορούμε, όπως και στην ημιανόρθωση, να χρησιμοποιήσουμε σαν φορτίο αντίσταση ή πυκνωτή ή και τα δύο.

Διπλή ή πλήρη ανόρθωση μπορούμε να πετύχουμε και με γέφυρα ανορθωτών.

Η διάταξη αυτή επιτυγχάνεται με συνδεσμολογία τεσσάρων ανορθωτών όπως φαίνεται στο σχήμα 15.4





Σχ. 15.4

Στη γέφυρα ανορθωτών κατά την μια ημιπερίοδο άγουν οι ανορθω-  
τές A, A' και κατά την άλλη οι B, B'.

Στην περίπτωση της διπλής ανόρθωσης ισχύουν οι εξής σχέσεις:

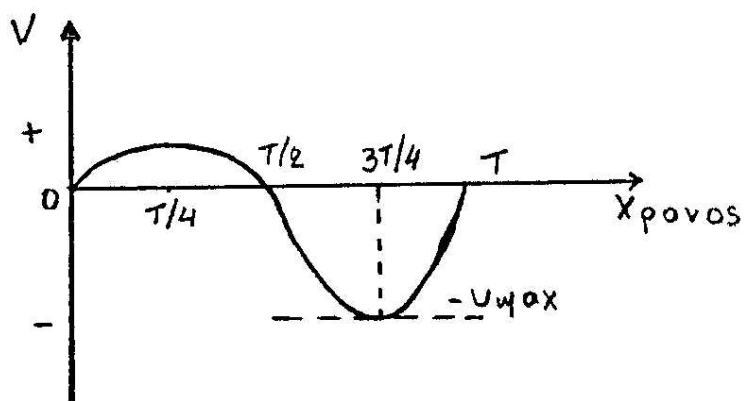
$$I_{dc} = \frac{2}{\pi} I_o \quad V_{dc} = \frac{2}{\pi} V_o \quad P_{dc} = I_{dc}^2 \cdot R$$

$$I_{RMS} = \frac{I_o}{\sqrt{2}} \quad P_{ac} = \frac{V_o^2}{2} \quad \eta\% = \frac{P_{dc}}{P_{ac}} \cdot 100$$

Η μέγιστη ανάστροφη τάση

Κατά τις αρνητικές ημιπεριόδους της τάσης  $U_{RMS}$  του δευτε-  
ρεύοντος του μετασχηματιστή, στις οποίες ο ανορθωτής δεν  
άγει, όλη η τάση του δευτερεύοντος επικρατεί μεταξύ ανόδου-  
καθόδου με αρνητική την άνοδο σε σχέση με την κάθοδο και  
μάλιστα σε μέγιστη τιμή (σε ορισμένες χρονικές στιγμές) η  
οποία δίδεται από τον τύπο  $U_{max} = \sqrt{2} U_{RMS}$  και λέγεται

μέγιστη ανάστροφη (ή αρνητική) τάση (Σχ.15.5)



Σχ. 15.5

Οι κατασκευαστές καθορίζουν πάντα το ποσοστό αντοχής του ανορθωτή σε ανάστροφη τάση.

Γιαυτό πρέπει πάντα να προσέχουμε ώστε να χρησιμοποιούμε κατάλληλους ανορθωτές.

### Πειραματικό (Εργαστηριακό) μέρος

#### I. Σκοπός της άσκησης

Σκοπός της άσκησης είναι η κατανόηση της λειτουργίας του ανορθωτή και της συμπεριφοράς του όταν συνδεθεί με εξωτερικό κύκλωμα που παρουσιάζει ωμική ή χωρητική αντίσταση.

2. Όργανα και υλικά

I Μετασχηματιστή

I Παλμογράφο

I Ανορθωτή σεληνίου

I Ανορθωτική διάταξη πυριτίου

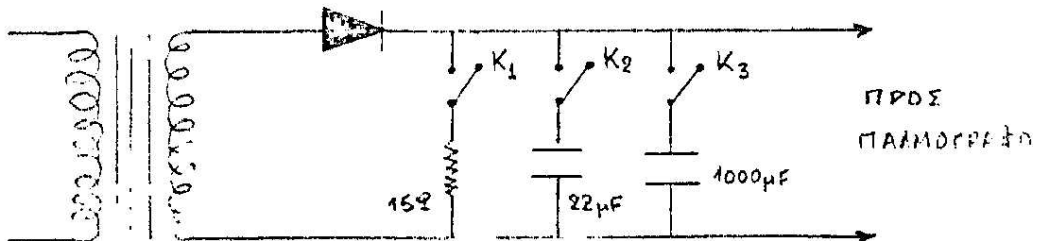
I Ανορθωτική γέφυρα σεληνίου

2 Αντιστάσεις (  $R_1=15\Omega$  ,  $R_2=1000\Omega$  )

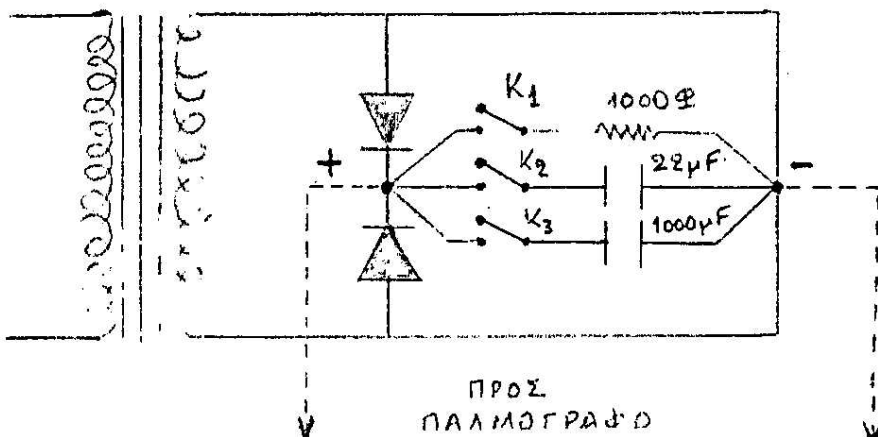
2 Πυκνωτές (  $22\mu F/50V$  -  $1000\mu F/50V$  )

Αγωγοί για τις συνδέσεις

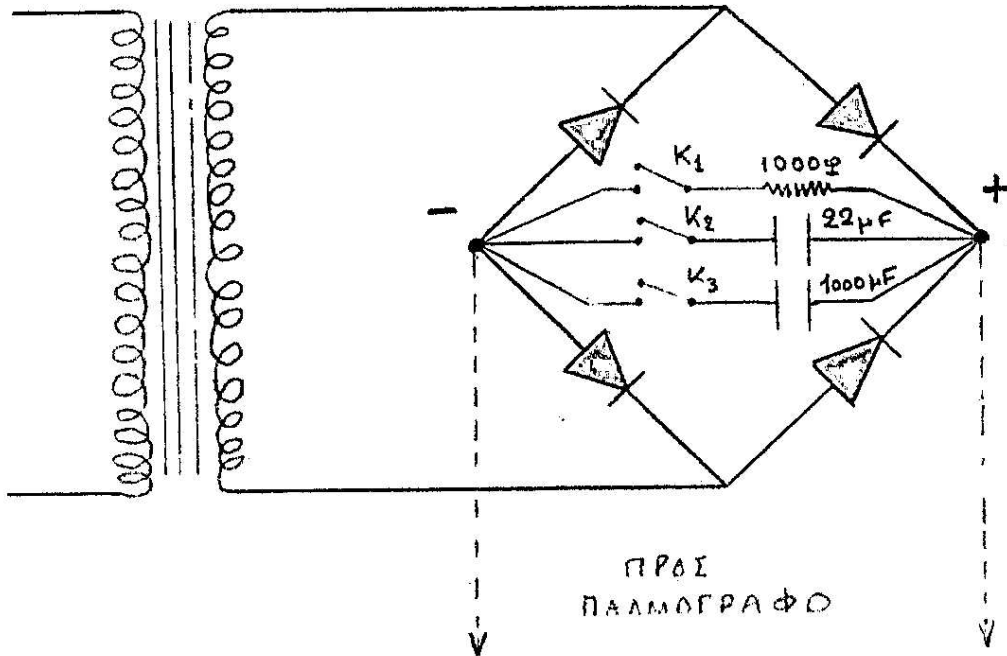
3. Σχέδιο έργου



Σχ. 15.6



Σχ. 15.7



Σκ. 15.8

#### 4. Πορεία εργασίας

Αφού μελετήσετε το θεωρητικό μέρος της άσκησης πρέπει:

α) να αναγνωρίσετε τα κατάλληλα όργανα και να τα τοποθετήσετε σε κατάλληλη θέση πάνω στον πάγκο εργασίας, ώστε να διευκολύνονται οι συνδέσεις και να γίνεται άνετα η ανάγνωση των ενδείξεων των οργάνων.

β) να συνδέσετε τα άκρα του Μετασχηματιστή στην είσοδο κατακόρυφης απόκλισης του παλμογράφου και να σχεδιάσετε την μορφή του σήματος που βλέπετε στην οθόνη του παλμογράφου.

γ) να κατασκευάσετε το κύκλωμα του σχήματος 15.6 και έχοντας κλειστό τον διακόπτη  $K_1$  να σχεδιάσετε την μορφή του σήματος

που βλέπετε στην οθόνη του παλμογράφου.

Συγχρόνως υπολογίστε την μέγιστη ανάστροφη τάση.

δ) να ανοίξετε τον διακόπτη  $K_1$  και έχοντας κλειστό τον διακόπτη  $K_2$  να σχεδιάσετε την μορφή του σήματος που βλέπετε στην οθόνη και να υπολογίσετε την μέγιστη ανάστροφη τάση.

ε) να ανοίξετε τον διακόπτη  $K_2$  και έχοντας κλειστό τον διακόπτη  $K_3$  να σχεδιάσετε την μορφή του σήματος που βλέπετε στην οθόνη και να υπολογίσετε την μέγιστη ανάστροφη τάση.

στ) να αφήσετε κλειστό τον διακόπτη  $K_3$ , να κλείσετε τον διακόπτη  $K_1$  και να σχεδιάσετε την μορφή του σήματος που βλέπετε στην οθόνη.

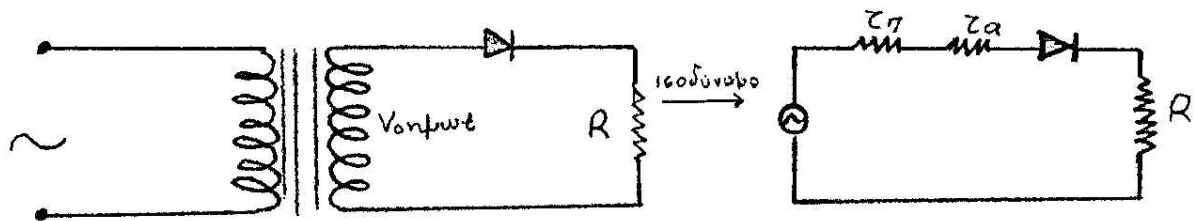
ζ) να κατασκευάσετε το κύκλωμα του σχήματος 15.7 ή 15.8 και να επαναλάβετε τις διαδικασίες γ', δ', ε' και στ'.

η) και τέλος να σχολιάσετε όλες τις κυματομορφές που έχετε σχεδιάσει.

#### ΑΣΚΗΣΗ

Για το κύκλωμα του σχήματος 15.9 αποδείξτε ότι ισχύουν οι σχέσεις:

$$\bar{I}_{dc} = \frac{I_0 R}{\pi(R_2 + R)} \quad , \quad V_{dc} = \frac{V_0 R}{\pi(R_2 + R)}$$



Σχ. 15.9

$Z_n$ : εσωτερικὴ ἀντίστασις πηνίου

$Z_a$ : εσωτερικὴ ἀντίστασις ἀνορθωτή

$R$ : ἀντίστασις φορτίου.

$$R_E = Z_n + Z_a$$

## ΑΣΚΗΣΗ 16

### ΜΕΤΡΗΣΗ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΧΩΡΗΤΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΠΥΚΝΩΤΗ ΜΕ ΒΟΛΤΟΜΕΤΡΟ- ΑΜΠΕΡΟΜΕΤΡΟ - ΣΥΧΝΟΜΕΤΡΟ, ΜΕ ΓΕΦΥΡΑ ΚΑΙ ΜΕ ΚΑΠΑΣΙΤΟΜΕΤΡΟ.

#### Θεωρητικό μέρος

##### 1. Γενικά.

Ένας πυκνωτής, στην απλούστερη μορφή, αποτελείται από δυο μεταλλικές πλάκες σε μικρή μεταξύ τους απόσταση, που χωρίζονται από μονωτικό υλικό. Οι μεταλλικές πλάκες λέγονται οπλισμοί, το δε μονωτικό υλικό λέγεται διηλεκτρικό.

Τα μονωτικά υλικά, που χρησιμοποιούνται σαν διηλεκτρικά είναι: χαρτί, μίκα, διάφορα κεραμικά και συνθετικά υλικά, αέρας, λάδι και σε μερικές περιπτώσεις ένα λεπτό μονωτικό στρώμα οξειδίου του μετάλλου, που χρησιμοποιείται σαν οπλισμός.

Κάθε πυκνωτής χαρακτηρίζεται από τη χωρητικότητά του, δηλαδή την ικανότητα να συγκρατεί στους οπλισμούς του ηλεκτρικά φορτία.

Το μέγεθος της χωρητικότητας καθορίζεται από τις διαστάσεις των οπλισμών, από τη μεταξύ τους απόσταση και από το είδος του διηλεκτρικού του πυκνωτή.

Για πυκνωτή με δυο επίπεδους οπλισμούς, η χωρητικότητα δίνεται από τη σχέση:

$$C = 0,884 \frac{KS}{L} \quad \text{σε pF}$$

Όπου  $K$  μια σταθερή που εξαρτάται από το υλικό του διηλεκτρικού (διηλεκτρική σταθερή). Για τον αέρα δεχόμαστε ότι  $K=1$ .

$S$  είναι η επιφάνεια ενός οπλισμού σε τετραγωνικά εκατοστά ( $cm^2$ ).

$L$  είναι η απόσταση μεταξύ των οπλισμών σε χιλιοστά (mm).

Ο αριθμός 0,884 είναι ένας συντελεστής εξαρτώμενος από τις μονάδες ώστε η τιμή της χωρητικότητας να βρίσκεται σε pF.

Μονάδα χωρητικότητας είναι το **Farad**. Ένα (1) Farad (F) είναι χωρητικότητα τόσο μεγάλη ώστε δεν συναντάται στην πράξη. Στις εφαρμογές χρησιμοποιούνται τα υποπολλαπλάσια του τα οποία είναι:

το ένα (1) μικροφαράντ  $1 \mu F = 10^{-6} F$ .

το ένα (1) πικοφαράντ  $1 pF = 10^{-12} F$ .

και το ένα (1) νανοφαράντ  $1 nF = 10^{-9} F$ .

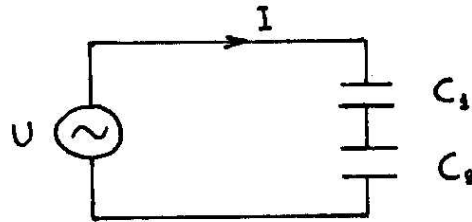
Μπορούμε λοιπόν να πούμε ότι, όταν στα άκρα ενός πυκνωτή εφαρμόζεται τάση, τότε στους οπλισμούς του συγκεντρώνονται ηλεκτρικά φορτία ( $Q$ ) που είναι ανάλογα με την σταθερά αναλογίας  $C$  (χωρητικότητα) και με την τάση που εφαρμόζεται. Δηλαδή τα ηλεκτρικά φορτία στους οπλισμούς του πυκνωτή είναι:

$$Q = C \cdot U$$

Οι πυκνωτές όταν συνδέονται μεταξύ τους σε σειρά (σχ.1) παρουσιάζουν ισοδύναμη χωρητικότητα η οποία δίνεται από την σχέση:

$$C_{ολ} = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}}$$

$$\text{ή} \quad \frac{1}{C_{ολ}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$$



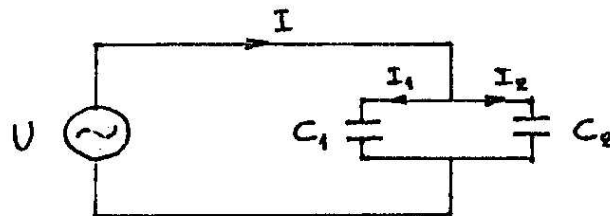
Σχ. 1

Για δυο πυκνωτές θα είναι:

$$C_{ολ} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$$

Όταν συνδέονται παράλληλα (σχ.2) παρουσιάζουν ισοδύναμη χωρητικότητα η οποία δίνεται από την σχέση:

$$C_{ολ} = C_1 + C_2 + \dots + C_n$$



Σχ. 2

Ένας πυκνωτής, όταν συνδεθεί σε κύκλωμα που τροφοδοτείται με συνεχές ρεύμα, προκαλεί διακοπή του κυκλώματος, επειδή παρεμβάλλεται το μονωτικό του. Στο εναλλασσόμενο ρεύμα δεν προκαλεί διακοπή του κυκλώματος, γιατί η τάση της πηγής που τροφοδοτεί το κύκλωμα εναλλάσσεται και επομένως ο πυκνωτής υπόκειται σε συνεχείς φορτίσεις και εκφορτίσεις και συνεπώς το όλο κύκλωμα διαρρέεται συνεχώς από τα ρεύματα αυτά, στα οποία όμως



προβάλλεται εκ μέρους του πυκνωτή μια αντίσταση που εξαρτάται από την συχνότητα των ρευμάτων. Η αντίσταση αυτή του πυκνωτή στο εναλλασσόμενο ρεύμα λέγεται χωρητική αντίσταση, συμβολίζεται με  $X_C$  και μετρείται σε OHM ( $\Omega$ ).

Η χωρητική αντίσταση που προβάλλει ένας πυκνωτής χωρητικότητας  $C$  σε εναλλασσόμενο ρεύμα συχνότητας  $f$ , δίνεται από την σχέση:

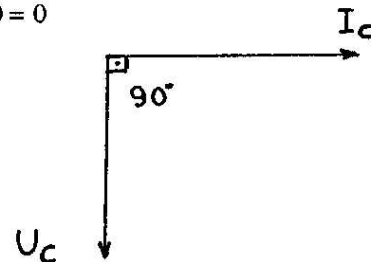
$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}$$

Ο πυκνωτής είναι άεργος καταναλωτής, διότι τιθέμενος στο εναλλασσόμενο ρεύμα φέρει το άνυσμα της έντασης σε προπορεία  $90^\circ$  ως προς το άνυσμα της τάσης (σχ.3). Άρα η πραγματική ισχύς που θα καταναλώνει ένας πυκνωτής θα είναι:

$$P = U_C I_C \cos 90^\circ = U_C I_C \cdot 0 = 0$$

και η ενέργεια:

$$A = P t = 0 t = 0$$



Σχ.3

Δεσμεύει όμως και αποδεσμεύει (φόρτιση-εκφόρτιση) άεργο ισχύ, η οποία δίνεται από την σχέση:

$$P_d = U_C I_C \sin 90^\circ = U_C I_C \cdot 1 = U_C I_C$$

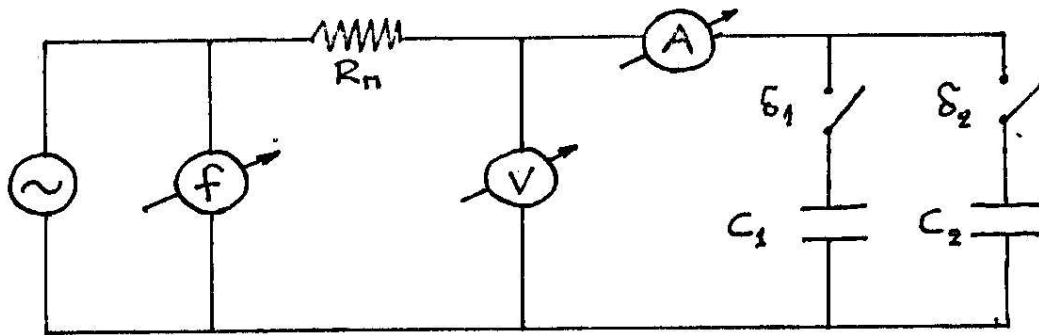
## 2. Μέτρηση χωρητικών αντιστάσεων και χωρητικότητων.

Επειδή ο πυκνωτής στο συνεχές ρεύμα παρουσιάζει διακοπή, η χωρητική του αντίσταση δεν μπορεί να μετρηθεί με τα συνήθη ωμόμετρα. Υπάρχουν όμως διάφοροι μέθοδοι έμμεσης μέτρησης της χωρητικής αντίστασης και χωρητικότητας πυκνωτή.

Στην άσκηση αυτή θα εξετάσουμε δυο μεθόδους.

### 2.1. Με βολτόμετρο - αμπερόμετρο - συχνόμετρο.

Η μέτρηση της χωρητικής αντίστασης και χωρητικότητας πυκνωτή μπορεί να γίνει πολύ εύκολα με εναλλασσόμενο ρεύμα και με την βοήθεια βολτόμετρου, αμπερόμετρου, συχνόμετρου χρησιμοποιώντας το παρακάτω κύκλωμα (σχ.4) και σχέσεις:



Σχ. 4

Ισχύει:

$$X_c = \frac{U}{I}$$

$$\frac{1}{\omega C} = \frac{U}{I} \Rightarrow C = \frac{I}{\omega U} = \frac{I}{2\pi f U}$$

Θεωρούμε ότι το σφάλμα ένδειξης του βολτομέτρου ( λόγω παρεμβολής του αμπερομέτρου ) δεν επηρεάζει την ακρίβεια της μέτρησης.

Η σύνδεση της  $R_x$  σκοπό έχει να προστατεύσει το αμπερόμετρο σε περίπτωση διάσπασης της μόνωσης του πυκνωτή.

## 2.2. Με γέφυρα.

Θα περιγραφούν εδώ δυο τύποι γεφυρών ίδιας διάταξης με την γέφυρα **WHEATSTONE**.

Στο σχ.5 φαίνεται ένας τύπος γέφυρας που και στις τέσσερις πλευρές φέρει πυκνωτές, αντί όμως γαλβανόμετρου όπως η γέφυρα wheatstone έχει ακουστικό Α.

Η γέφυρα τροφοδοτείται με εναλλασσόμενο ρεύμα και επιδιώκεται με μεταβολή της χωρητικότητας  $C_3$  ο μηδενισμός του ρεύματος  $I_A$ , ή αλλιώς η εξαφάνιση του βόμβου στο ακουστικό. Όπως και στη γέφυρα wheatstone, η συνθήκη ισορροπίας θα είναι:

$$I_1 \cdot X_{C_x} = I_2 \cdot X_{C_2} \quad (1)$$

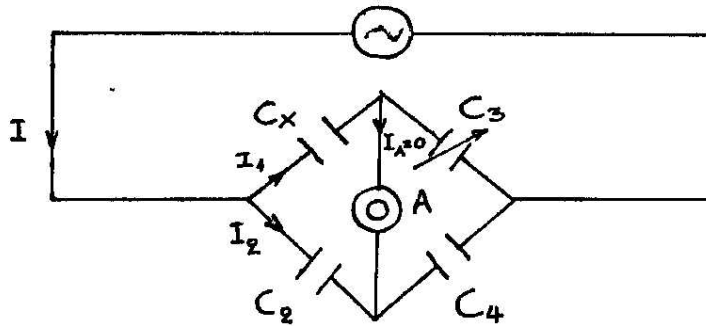
$$I_1 \cdot X_{C_3} = I_2 \cdot X_{C_4} \quad (2)$$

Με διαίρεση κατά μέλη των σχέσεων (1) και (2) θα έχουμε:

$$\frac{X_{C_x}}{X_{C_3}} = \frac{X_{C_2}}{X_{C_4}} \quad (3)$$

και 
$$X_{C_x} = X_{C_3} \frac{X_{C_2}}{X_{C_4}} \quad (4)$$

Οι χωρητικές αντιστάσεις  $X_{C_2}$ ,  $X_{C_3}$  και  $X_{C_4}$  είναι γνωστές, οπότε βρίσκεται από την σχέση (4) και η άγνωστη χωρητική αντίσταση  $X_{C_x}$ .



Σχ. 5

Η σχέση (3) μπορεί να γραφεί και ως εξής:

$$\frac{\frac{1}{\omega C_x}}{\frac{1}{\omega C_3}} = \frac{\frac{1}{\omega C_2}}{\frac{1}{\omega C_4}} \quad (5)$$

άρα 
$$\frac{C_3}{C_x} = \frac{C_4}{C_2} \quad (6)$$

και 
$$C_x = C_3 \frac{C_2}{C_4} \quad (7)$$

Οι χωρητικότητες  $C_2$ ,  $C_3$  και  $C_4$  είναι γνωστές, οπότε βρίσκεται από την σχέση (7) και η άγνωστη χωρητικότητα  $C_x$ .

Στο σχήμα 6 φαίνεται ένας άλλος τύπος γέφυρας. Σ' αυτόν οι δυο πλευρές φέρουν πυκνωτές και οι άλλες δυο ωμικές αντιστάσεις. Υπάρχει και εδώ το ακουστικό A και η πηγή εναλλασσόμενης τάσης. Με την ρυθμιζόμενη αντίσταση  $R_2$  επιδιώκεται ο μηδενισμός του ρεύματος  $I_A$  ή η εξαφάνιση του βόμβου στο ακουστικό A.

Κατ' αναλογία η συνθήκη ισορροπίας θα είναι:

$$I_1 \cdot X_{C_x} = I_2 \cdot R_2 \quad (8)$$

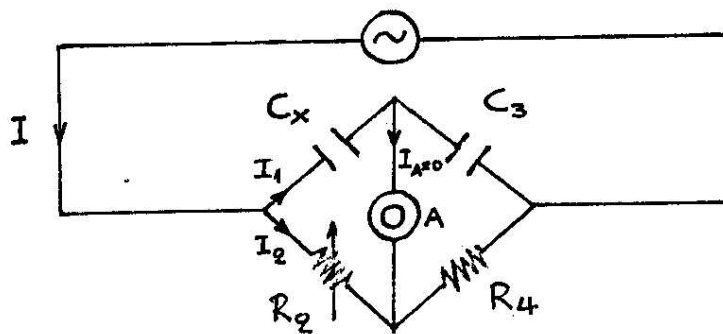
$$I_1 \cdot X_{C_3} = I_2 \cdot R_4 \quad (9)$$

Με διαίρεση κατά μέλη των σχέσεων (8) και (9) θα έχουμε:

$$\frac{X_{C_x}}{X_{C_3}} = \frac{R_2}{R_4} \quad (10)$$

και 
$$X_{C_x} = X_{C_3} \cdot \frac{R_2}{R_4} \quad (11)$$

Η χωρητική αντίσταση  $X_{C_3}$  και οι ωμικές αντιστάσεις  $R_2, R_4$  είναι γνωστές, οπότε βρίσκεται από την σχέση (11) και η άγνωστη χωρητική αντίσταση  $X_{C_x}$ .



Σχ. 6

Η σχέση (10) μπορεί να γραφεί και ως εξής:

$$\frac{1}{\omega \cdot C_x} = \frac{R_2}{\frac{1}{\omega \cdot C_3}} \quad (12)$$

άρα 
$$\frac{C_3}{C_x} = \frac{R_2}{R_4} \quad (13)$$

και 
$$C_x = C_3 \cdot \frac{R_4}{R_2} \quad (14)$$

Η χωρητικότητα  $C_3$  και οι ωμικές αντιστάσεις  $R_2, R_4$  είναι γνωστές, οπότε από την σχέση (14) βρίσκουμε και την άγνωστη χωρητικότητα  $C_x$ .

Γενικά μπορούμε να πούμε ότι οι γέφυρες αποτελούνται από ένα κύκλωμα με τέσσερις κλάδους σε σχήμα τετραπλεύρου. Στον ένα διαγώνιο κλάδο εφαρμόζεται ηλεκτρική τάση, ενώ στον άλλο διαγώνιο κλάδο δημιουργείται

διαφορά δυναμικού, που μπορεί να μηδενιστεί με κατάλληλη ρύθμιση ενός στοιχείου ή των στοιχείων δυο πλευρικών κλάδων.

Όταν στη γέφυρα επιτευχθεί ο μηδενισμός της διαφοράς δυναμικού ή του ρεύματος ή του βόμβου στον διαγώνιο κλάδο, τότε λέμε ότι η γέφυρα ισορροπεί.

### 3. Τύποι πυκνωτών

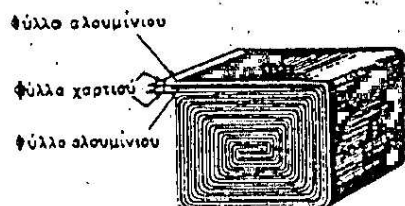
Ανάλογα με τις απαιτήσεις ως προς την χωρητικότητα, την αντίσταση του διηλεκτρικού, την αντοχή του σε διάσπαση από εφαρμοζόμενες τάσεις κλπ κατασκευάζονται διάφοροι τύποι πυκνωτών. Οι σπουδαιότεροι είναι οι εξής:

#### 3.1. Πυκνωτές χαρτιού

Αυτοί έχουν για οπλισμούς δυο ταινίες από μεταλλικά φύλλα, π.χ από αλουμίνιο (σχ.7). Οι ταινίες αλουμινίου τυλίγονται μαζί με αρκετές λεπτές ταινίες χαρτιού εμποτισμένου με παραφίνη, που χρησιμεύει για διηλεκτρικό. Το τύλιγμα συμπιέζεται συνήθως σε μορφή κύβου και τοποθετείται σε μεταλλικό δοχείο, που γεμίζεται με μονωτική μάζα προς αποφυγή απορρόφησης υγρασίας από το μονωτικό χαρτί.

Είναι φτηνής κατασκευής και κατάλληλοι μόνο για χαμηλές συχνότητες.

Όταν διασπασθεί το διηλεκτρικό τους καταστρέφονται, γιατί βραχυκυκλώνονται οι οπλισμοί.

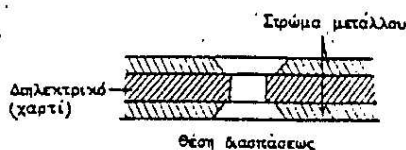


Σχ. 7  
Πυκνωτής χαρτιού

#### 3.2. Πυκνωτές μετάλλου - χαρτιού

Αποτελούνται από μια λουρίδα μονωτικού χαρτιού που στις δυο επιφάνειές του υπάρχει λεπτό στρώμα μετάλλου (σχ.8). Η λουρίδα τυλίγεται και διαμορφώνεται σε κύβο.

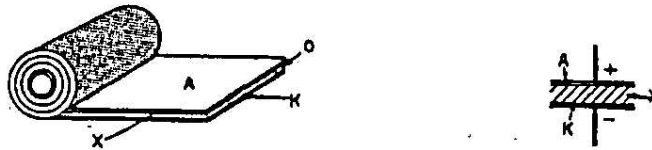
Ιδιαίτερο γνώρισμα αυτών των πυκνωτών είναι ότι μετά από διάσπαση του μονωτικού των δεν βραχυκυκλώνονται.



Σχ. 8  
Πυκνωτής μετάλλου - χαρτιού

### 3.3. Ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές

Χρησιμοποιούνται σε συνεχές ρεύμα. Ο θετικός οπλισμός του πυκνωτή (άνοδος) αποτελείται από ένα φύλλο αλουμινίου **A**. Ο αρνητικός οπλισμός (κάθοδος) είναι ο ηλεκτρολύτης (ένα υγρό διάλυμα βόρακα ή υπεροξειδίου του νατρίου). Με τον ηλεκτρολύτη διαποτίζεται ένα ειδικό απορροφητικό χαρτί **X**, που τοποθετείται ανάμεσα στην άνοδο και σε ένα μεταλλικό φύλλο **K**, που με αυτό συνδέεται ο αρνητικός πόλος της πηγής (σχ. 9).



Σχ. 9

Ηλεκτρολυτικός πυκνωτής

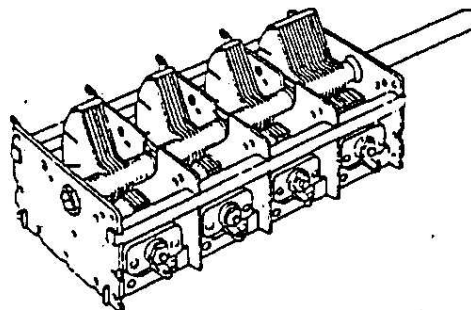
Τα τρία φύλλα τυλίγονται μαζί και ο ρολός τοποθετείται σε μεταλλικό δοχείο, που συνδέεται με την κάθοδο. Έτσι το περίβλημα του πυκνωτή παίρνει αρνητικό δυναμικό.

### 3.4. Μεταβλητοί πυκνωτές

Αυτοί αποτελούνται από ένα συγκρότημα πλακών αλουμινίου τοποθετημένες η μια δίπλα στην άλλη και ένα στρεφόμενο περί άξονα συγκρότημα πλακών αλουμινίου, που κινούνται ανάμεσα στις πλάκες του σταθερού συγκροτήματος (σχ.10).

Σχ. 10

Μεταβλητός πυκνωτής



Η χωρητικότητα του πυκνωτή μεταβάλλεται ανάλογα με το μέγεθος της επιφάνειας των οπλισμών, που βρίσκονται κάθε φορά ο ένας απέναντι στον άλλο.

Χρησιμοποιούνται όταν απαιτούνται συχνά μεταβολές της χωρητικότητας.

## ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

### Πειραματικό (εργαστηριακό) μέρος

#### 1. Σκοπός της άσκησης

Σκοπός της άσκησης είναι η απόκτηση ικανότητας στον τρόπο μέτρησης της χωρητικής αντίστασης και χωρητικότητας πυκνωτή:

- α) Χρησιμοποιώντας βολτόμετρο, αμπερόμετρο, συχνόμετρο.
- β) Χρησιμοποιώντας γέφυρα.
- γ) Χρησιμοποιώντας καπασιτόμετρο.

Ακόμη η εξοικείωση των σπουδαστών με τα παραπάνω όργανα και την γέφυρα τόσο ως προς τον τρόπο σύνδεσής τους όσο και ως προς τον τρόπο ανάγνωσης των ενδείξεών τους.

#### 2. Όργανα και υλικά

Ρυθμιζόμενη πηγή εναλλασσόμενου ρεύματος.

Ταλαντωτής ακουστικών συχνοτήτων.

Συχνόμετρο.

Βολτόμετρο εναλλασσομένου ρεύματος.

Αμπερόμετρο εναλλασσομένου ρεύματος.

Ωμική αντίσταση προστασίας.

Πυκνωτές άγνωστης χωρητικότητας.

Τρεις πυκνωτές γνωστής χωρητικότητας από τους οποίους ο ένας θα είναι μεταβλητής χωρητικότητας.

Δυο ωμικές αντιστάσεις γνωστής τιμής αλλά μεταβλητές.

Ακουστικά ή γαλβανόμετρο.

Καπασιτόμετρο.

Καλώδια για τις συνδέσεις.

#### 3. Σχέδιο έργου

α) Για την μέτρηση της χωρητικής αντίστασης και χωρητικότητας πυκνωτή με βολτόμετρο, αμπερόμετρο, συχνόμετρο να γίνει το κύκλωμα του σχήματος 4.

β) Για την μέτρηση της χωρητικής αντίστασης και χωρητικότητας πυκνωτή με γέφυρα να γίνει ένα από τα κυκλώματα των σχημάτων 5 ή 6.

#### 4. Πορεία εργασίας

Αφού μελετήσετε το θεωρητικό μέρος της άσκησης πρέπει:

- α) Να αναγνωρίσετε τα κατάλληλα όργανα.
- β) Να τοποθετήσετε σε κατάλληλη θέση τα όργανα πάνω στον πάγκο εργασίας, ώστε να διευκολύνονται οι συνδέσεις και να γίνεται άνετα η ανάγνωση των ενδείξεων των οργάνων.
- γ) Να συνδέσετε το κύκλωμα όπως στο σχήμα 4 χωρίς να εφαρμόσετε τάση.

- δ) Να ελέγξετε την συνδεσμολογία παρουσία του Καθηγητή.
- ε) Να εφαρμόσετε τάση στο κύκλωμα.
- στ) Να διαβάσετε και να γράψετε τις ενδείξεις των οργάνων:
- 1) Με κλειστό τον διακόπτη  $\delta_1$ .
  - 2) Με κλειστό τον διακόπτη  $\delta_2$ .
  - 3) Με  $\delta_1$  και  $\delta_2$  κλειστούς.
- ζ) Να χρησιμοποιήσετε τους τύπους του θεωρητικού μέρους και να βρείτε την χωρητική αντίσταση και χωρητικότητα των πυκνωτών  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_{\alpha\beta}$  (παράλληλα) και  $C_{\alpha\beta}$  (σε σειρά).
- η) Να διακόψετε την τροφοδοσία του κυκλώματος και να αποσυνδέσετε τα όργανα.
- θ) Να επαναλάβετε τα βήματα α) και β) για την μέτρηση της χωρητικής αντίστασης και χωρητικότητας πυκνωτή με γέφυρα.
- ι) Να συνδέσετε ένα από τα κυκλώματα των σχημάτων 5 ή 6, ανάλογα με την γέφυρα που υπάρχει στο εργαστήριο, χωρίς να εφαρμόσετε τάση.
- κ) Να ελέγξετε την συνδεσμολογία παρουσία του Καθηγητή.
- λ) Να τροφοδοτήσετε την γέφυρα από πηγή εναλλασσόμενου ρεύματος ή από ταλαντωτή ακουστικών συχνοτήτων ανάλογα με τους πυκνωτές που διαθέτει το εργαστήριο.
- μ) Να ρυθμίσετε τα μεταβλητά στοιχεία της γέφυρας μέχρις ότου στα ακουστικά δεν ακούγεται βόμβος ή η ένδειξη του γαλβανόμετρου είναι μηδέν.
- ν) Να σημειώσετε τις γνωστές τιμές των στοιχείων.
- ξ) Να χρησιμοποιήσετε τις κατάλληλες σχέσεις από το θεωρητικό μέρος και να βρείτε την χωρητική αντίσταση και χωρητικότητα του άγνωστου πυκνωτή.
- ο) Να τροφοδοτήσετε την γέφυρα με δυο άλλες συχνότητες (εάν η τροφοδοσία γίνεται με ταλαντωτή ακουστικών συχνοτήτων).
- π) Να επαναλάβετε, διαδοχικά, για τις δυο νέες συχνότητες τα βήματα μ), ν), ξ).
- ρ) Να διακόψετε την τροφοδοσία του κυκλώματος και να αποσυνδέσετε την γέφυρα.
- σ) Να χρησιμοποιήσετε το καπασιτόμετρο για να μετρήσετε την χωρητικότητα των πυκνωτών  $C_1$ ,  $C_2$  και να υπολογίσετε την χωρητική τους αντίσταση.
- τ) Τέλος να συμπληρώσετε και να σχολιάσετε τον πίνακα.

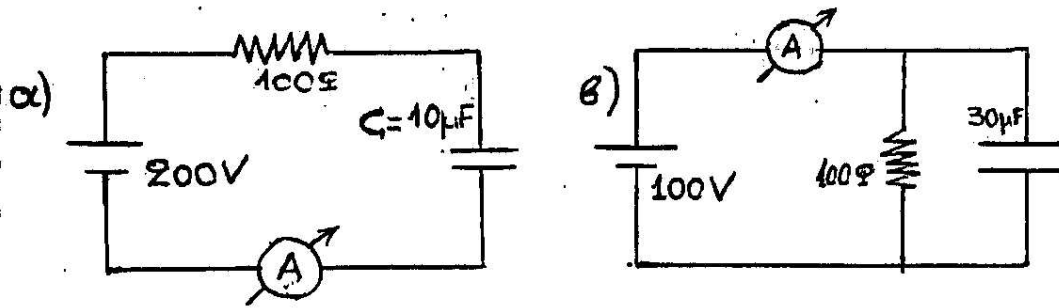


ΠΙΝΑΚΑΣ

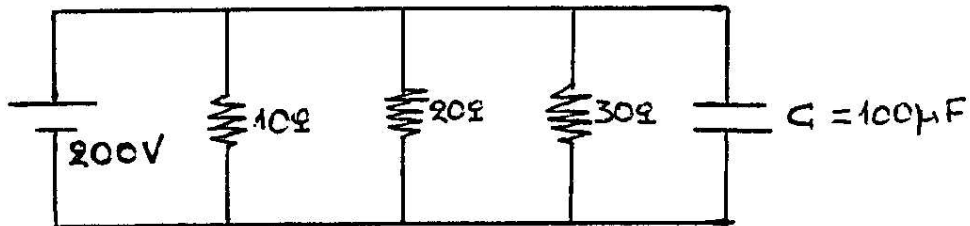
ΜΕ ΒΟΛΤΟΜΕΤΡΟ_ΑΜΠΕΡΟΜΕΤΡΟ_ΣΥΧΝΟΜΕΤΡΟ						ΜΕ ΚΑΠΑΣΙΤΟΜΕΤΡΟ	
$f$ (Hz)	$U$ (volts)	$I_1$ (A)	$X_{C_1}$ ( $\Omega$ )	$C_1$ ( $\mu F$ )	ΘΕΩΡΙΑ	$X_{C_2}$ ( $\Omega$ )	$C_2$ ( $\mu F$ )
		$I_2$ (A)	$X_{C_2}$ ( $\Omega$ )	$C_2$ ( $\mu F$ )		$X_{C_2}$ ( $\Omega$ )	$C_2$ ( $\mu F$ )
		$I_{ολη}$ (A)	$X_{C_{ολη}}$ ( $\Omega$ )	$C_{ολη}$ ( $\mu F$ )	$C_1 + C_2$ ( $\mu F$ )		
		$I_{ολ.ε}$ (A)	$X_{C_{ολ.ε}}$ ( $\Omega$ )	$C_{ολ.ε}$ ( $\mu F$ )	$\frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$		

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. Μπορεί το απλό ωμόμετρο να χρησιμοποιηθεί για την μέτρηση της χωρητικής αντίστασης και χωρητικότητας πυκνωτή και γιατί;
2. Ο πυκνωτής είναι ενεργός ή άεργος καταναλωτής και γιατί;
3. Ο ίδιος πυκνωτής παρουσιάζει μικρότερη χωρητική αντίσταση και χωρητικότητα στο ευρωπαϊκό δίκτυο (50 Hz) ή στο αμερικάνικο (60 Hz) και γιατί;
4. Στα παρακάτω δυο κυκλώματα να ευρεθεί το ρεύμα που δείχνουν τα αμπερόμετρα.



5. Στο παρακάτω κύκλωμα να βρεθεί η τάση στα άκρα του πυκνωτή.



### ΑΣΚΗΣΗ 17

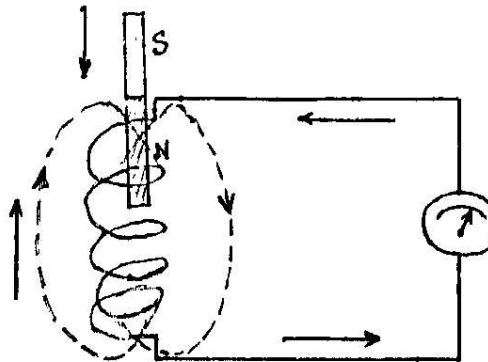
## ΜΕΤΡΗΣΗ ΑΥΤΕΠΑΓΩΓΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΑΥΤΕΠΑΓΩΓΗΣ ΠΗΝΙΟΥ ΜΕ ΒΟΛΤΟΜΕΤΡΟ - ΑΜΠΕΡΟΜΕΤΡΟ - ΣΥΧΝΟΜΕΤΡΟ ΚΑΙ ΜΕ ΕΠΑΓΩΓΙΚΗ ΓΕΦΥΡΑ

### Θεωρητικό μέρος

#### 1. Γενικά

Όταν ένα πηνίο κινείται κατά μήκος ενός μαγνήτη ή ο μαγνήτης κινείται μέσα σ' ένα πηνίο (σχ.1), τότε δημιουργείται εναλλασσόμενο ρεύμα στο πηνίο. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται επαγωγή και το ρεύμα που δημιουργήθηκε στο πηνίο επαγωγικό.

Σχ. 1



Όταν ένας αγωγός διαρέεται από ρεύμα, τότε γύρω απ' αυτόν δημιουργείται μαγνητικό πεδίο. Εάν το ρεύμα που διαρρέει τον αγωγό είναι μεταβαλλόμενο τότε και το πεδίο είναι μεταβαλλόμενο.

Σύμφωνα όμως με τον ορισμό της επαγωγής, δημιουργείται στον αγωγό επαγωγική ηλεκτρεγερτική δύναμη (ΗΕΔ), που οφείλεται στην παρουσία του αγωγού μέσα στο μαγνητικό πεδίο που δημιούργησε ο ίδιος αγωγός. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται αυτεπαγωγή και το ρεύμα αυτεπαγωγικό. Η διεύθυνσή του καθορίζεται από τον νόμο του Lenz, που λέει ότι το επαγωγικό ρεύμα είναι αντίθετο προς την αιτία που το δημιούργησε.

Η αυτεπαγωγική ηλεκτρεγερτική δύναμη (ΗΕΔ) δίνεται από τη σχέση:

$$E_a = -L \frac{\Delta I}{\Delta t} \quad (1)$$

όπου:  $E_a$  η ηλεκτρεγερτική δύναμη από αυτεπαγωγή σε Volts (V),  
 $\Delta I$  η μεταβολή της έντασης σε Ampere (A),

Δt η μεταβολή του χρόνου σε δευτερόλεπτα (sec),

**L ο συντελεστής αυτεπαγωγής** του αγωγού ή του πηνίου σε **Henry (H)**.

Ο συντελεστής αυτεπαγωγής δίνεται από τη σχέση:

$$L = \frac{1,25 \cdot N^2 \cdot S}{10^3 \cdot l} \quad \text{σε Henry} \quad (2)$$

όπου: N ο αριθμός των σπειρών του πηνίου

S η διατομή του πηνίου σε  $cm^2$  και

l το μήκος του πηνίου σε  $cm$ .

### 1.1 Αυτεπαγωγική αντίσταση

Όταν το πηνίο τροφοδοτείται από συνεχή τάση, τότε παρουσιάζει μόνο ωμική αντίσταση  $R_L$ , η οποία δίνεται από τον νόμο του Ohm.

Όταν το πηνίο τροφοδοτείται από εναλλασσόμενη τάση, τότε δημιουργείται αυτεπαγωγική αντίσταση  $X_L$  η οποία μετρείται σε **Ohm**. Η τιμή της αυτεπαγωγικής αντίστασης εξαρτάται από την συχνότητα (f) του ρεύματος, που κυκλοφορεί στο κύκλωμα και από τα κατασκευαστικά στοιχεία του πηνίου, δηλαδή τον αριθμό σπειρών N, το μήκος l και τη διάμετρο d.

Η αυτεπαγωγική αντίσταση δίνεται από τη σχέση:

$$X_L = L \cdot \omega = L \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \quad \text{σε Ohm} \quad (3)$$

ή

$$X_L = \frac{V_L}{I_L} \quad (4)$$

όπου:  $V_L$  η διαφορά δυναμικού στα άκρα του πηνίου και

$I_L$  το ρεύμα που διαρρέει το πηνίο.

Πρέπει όμως η ωμική αντίσταση του πηνίου να είναι πολύ μικρή σε σχέση με την αυτεπαγωγική του αντίσταση.

Εάν η ωμική αντίσταση είναι μεγάλη, τότε η σύνθετη αντίσταση (Z) του πηνίου θα είναι:

$$Z^2 = R_L^2 + X_L^2 \quad (5)$$

ή

$$Z = \sqrt{R_L^2 + X_L^2} \quad (6)$$

Είναι γνωστό ότι:

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L \quad (7)$$

Άρα η σχέση (6) γίνεται:

$$Z = \sqrt{R_L^2 + (2 \cdot \pi \cdot f \cdot L)^2} \quad (8)$$

και μετά από πράξεις: 
$$L = \frac{\sqrt{Z^2 - R_L^2}}{2 \cdot \pi \cdot f} \quad (9)$$

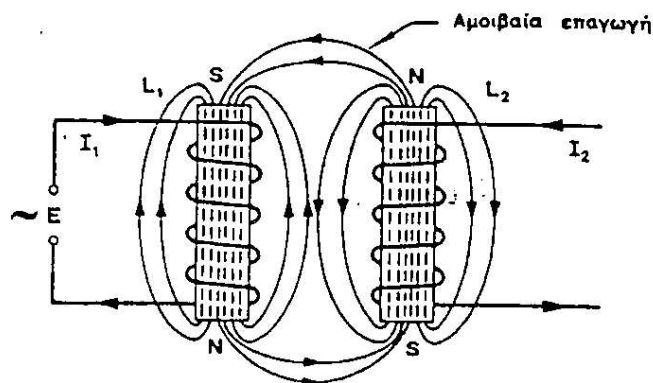
Η σύνθετη αντίσταση ( $Z$ ) και η ωμική αντίσταση ( $R_L$ ) του πηνίου δίνονται από τις σχέσεις (10) και (11) αντίστοιχα:

$$Z = \frac{V_L}{I_L} \quad (10)$$

$$R_L = \frac{V'_L}{I_L} \quad (11)$$

### 1.2. Αμοιβαία επαγωγή

Στο σχήμα 2 φαίνεται η δημιουργία μεταβαλλόμενου μαγνητικού πεδίου στο πηνίο  $L_1$ , λόγω της τάσης τροφοδοσίας  $E$ , και από το οποίο ένα μέρος των μαγνητικών του γραμμών, περνάει μέσα από τις σπείρες του γειτονικού πηνίου  $L_2$ , στο οποίο δημιουργούν μία ΗΕΔ από επαγωγή. Αυτή, που είναι αντίθετος προς την  $E$ , θα παράγει ρεύμα  $I_2$ , που επίσης θα είναι αντίθετο προς το ρεύμα  $I_1$  του πηνίου  $L_1$ .



Σχ. 2

Το ρεύμα  $I_2$  δημιουργεί στο πηνίο  $L_2$  ένα μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο, από το οποίο ένα μέρος των μαγνητικών του γραμμών περνούν από το πηνίο  $L_1$  και παράγουν ΗΕΔ από επαγωγή. Αυτό το φαινόμενο, δηλαδή η αλληλοεπίδραση των δυο πηνίων, ονομάζεται **αμοιβαία επαγωγή**, συμβολίζεται με το γράμμα **M** και μετριέται σε μονάδες **Henry**.

Το μέγεθος της αμοιβαίας επαγωγής που συναντάμε σ' ένα κύκλωμα, εξαρτάται από τους συντελεστές αυτεπαγωγής  $L_1$  και  $L_2$  των πηνίων, από την μεταξύ τους απόσταση και θέση και από την μαγνητική διαπερατότητα  $\mu$  του μέσου που υπάρχει μεταξύ τους.

Αν τα πηνία είναι κοντά το ένα στο άλλο, έτσι ώστε όλη η μαγνητική ροή  $\Phi$  του ενός να περνάει μέσα από το άλλο, τότε έχουν ισχυρή σύζευξη. Αν όμως ένα μικρό μόνο μέρος της ροής είναι κοινό, τότε έχουν χαλαρή σύζευξη.

Στην πρώτη περίπτωση, η μεταξύ τους σύζευξη λέγεται ενιαία και η μεταξύ τους αμοιβαία επαγωγή  $M$  δίνεται από τη σχέση:

$$M = \sqrt{L_1 \cdot L_2}$$

Στην δεύτερη περίπτωση, που έχουν σύζευξη μικρότερη από την ενιαία, το μέγεθος της σύζευξης εκφράζεται από ένα συντελεστή σύζευξης  $K$ , που είναι ο λόγος της αμοιβαίας επαγωγής που υπάρχει στο κύκλωμα προς τη μέγιστη δυνατή που θα μπορούσε να επιτευχθεί, δηλαδή όταν η σύζευξη θα ήταν ενιαία ( $K=1$ ). Σ' αυτή την περίπτωση, η αμοιβαία επαγωγή που υπάρχει στο κύκλωμα δίνεται από την σχέση:

$$M = K \cdot \sqrt{L_1 \cdot L_2}$$

όπου  $K$  είναι ο συντελεστής σύζευξης και είναι μικρότερος από την μονάδα.

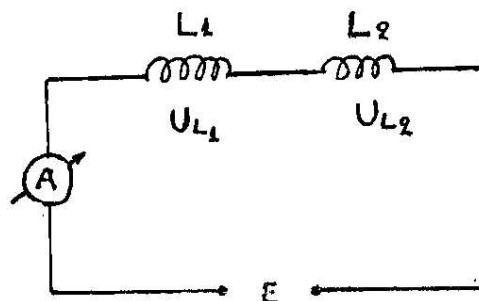
## 2. Σύνδεση πηνίων σε σειρά

Στη σύνδεση πηνίων σε σειρά, εφ' όσον δεν υπάρχει σύζευξη μεταξύ τους, η ολική αυτεπαγωγή ( $L_{ολ}$ ) θα δίνεται από την σχέση:

$$L_{ολ} = L_1 + L_2 + L_3 + \dots + L_n$$

Αν έχουμε δύο πηνία  $L_1$  και  $L_2$  σε σειρά (σχ. 3) και έτσι τοποθετημένα ώστε η ροή  $\Phi$  του ενός να περνάει μέσα από το άλλο, τότε η ολική αυτεπαγωγή δίνεται από τη σχέση:

$$L_{ολ} = L_1 + L_2 \pm 2M$$



Σχ. 3

Τα σημεία  $\pm$  έχουν την έννοια ότι τα πηνία μπορεί να είναι κατά τέτοιο τρόπο τοποθετημένα, ώστε οι επαγόμενες τάσεις να προστίθενται ή να είναι αντίθετες, με αποτέλεσμα να αυξάνουν ή να ελαττώνουν την ολική αυτεπαγωγή.

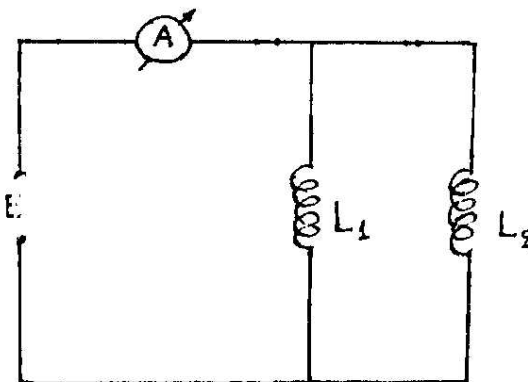
### 3. Παράλληλη σύνδεση πηνίων

Στην παράλληλη σύνδεση των πηνίων, χωρίς επαγωγική σύζευξη, η ολική αυτεπαγωγή ( $L_{ολ}$ ) δίνεται από τη σχέση:

$$\frac{1}{L_{ολ}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} + \dots + \frac{1}{L_n}$$

Όταν τα πηνία που συνδέονται παράλληλα είναι δύο, η ολική αυτεπαγωγή δίνεται από τη σχέση:

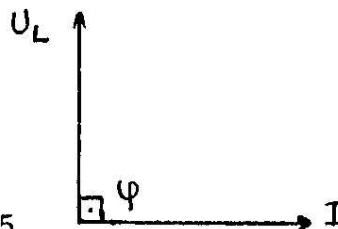
$$L_{ολ} = \frac{L_1 \cdot L_2}{L_1 + L_2}$$



Σχ. 4

Στο σχήμα 4 δείχνεται ο τρόπος σύνδεσης δύο πηνίων παράλληλα, σε τρόπο ώστε το ένα να μην επιδρά στο άλλο επαγωγικά. Οι ιδιότητες της συνδεσμολογίας αυτής είναι οι ίδιες με την σύνδεση αντιστάσεων παράλληλα. Η ύπαρξη αυτεπαγωγής σε κύκλωμα προκαλεί χρονική καθυστέρηση στην ανάπτυξη της έντασης  $I$ , η οποία κυμαίνεται από  $0+90^\circ$  (σχ.5). Αυτή η καθυστέρηση ονομάζεται διαφορά φάσης. Το μέγεθος της γωνίας φάσης  $\varphi$  εξαρτάται:

- από τη συχνότητα  $f$
- από την αυτεπαγωγή  $L$  και
- από την ωμική αντίσταση  $R$  του κυκλώματος.

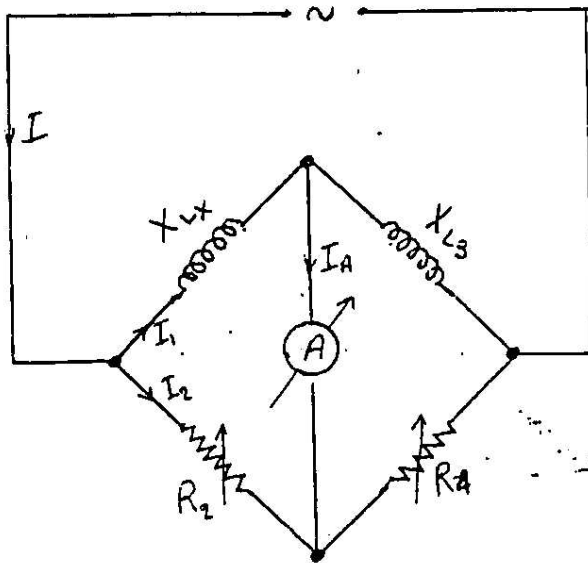


Σχ. 5

Όταν το πηνίο είναι ιδανικό ( $R=0$ ), η διαφορά φάσης  $\varphi$  παίρνει τη μέγιστη τιμή της ( $\varphi = 90^\circ$ ).

#### 4. Επαγωγική γέφυρα

Η επαγωγική γέφυρα είναι ίδια με την γέφυρα Wheatstone με τη διαφορά ότι στη θέση δύο ωμικών αντιστάσεων έχουμε δύο πηνία (σχ.6).



Σχ. 6

Η τάση που δίνουμε στο κύκλωμά μας είναι εναλλασσόμενη. Στην γέφυρα έχουμε την άγνωστη επαγωγική αντίσταση  $X_{Lx}$ , την γνωστή επαγωγική αντίσταση  $X_{Ly}$ , και τις δυο ωμικές ρυθμιζόμενες αντιστάσεις  $R_2$  και  $R_4$ . Ρυθμίζοντας τις  $R_2$  και  $R_4$  μηδενίζουμε το ρεύμα  $I_A$  και έχουμε την συνθήκη ισοροπίας:

$$I_1 \cdot X_{Lx} = I_2 \cdot R_2 \quad (1)$$

$$I_3 \cdot X_{Ly} = I_4 \cdot R_4 \quad (2)$$

Διαιρώντας κατά μέλη τις σχέσεις (1) και (2) και αντικαθιστώντας όπου:

$$X_{Lx} = L_x \cdot 2 \cdot \pi \cdot \omega$$

και

$$X_{Ly} = L_y \cdot 2 \cdot \pi \cdot \omega$$

καταλήγουμε στη σχέση:



$$L_x = \frac{L_3 \cdot R_2}{R_4}$$

όπου  $L_3, R_2, R_4$  είναι γνωστά.

## ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

### Πειραματικό (Εργαστηριακό) μέρος

#### 1. Σκοπός της άσκησης

Σκοπός της άσκησης είναι η απόκτηση ικανότητας:

α) στον τρόπο συνδεσμολογίας πηνίων για παράλληλη και σειρά λειτουργία,

β) στις μεθόδους υπολογισμού της αυτεπαγωγικής αντίστασης και του συντελεστή αυτεπαγωγής πηνίου με βολτόμετρο - αμπερόμετρο - συχνόμετρο και με γέφυρα,

γ) στην πειραματική επαλήθευση των τύπων της θεωρίας για παράλληλη και σειρά σύνδεση πηνίων.

#### 2. Όργανα και υλικά

Ρυθμιζόμενη πηγή 0 ÷ 220 Volts A.C και D.C

Ωμική αντίσταση προστασίας

Δυο πηνία διαφορετικής αυτεπαγωγής

Δυο αμπερόμετρα A.C και D.C μέχρι 5A

Ένα βολτόμετρο A.C και D.C μέχρι 220 Volts

Ένα συχνόμετρο

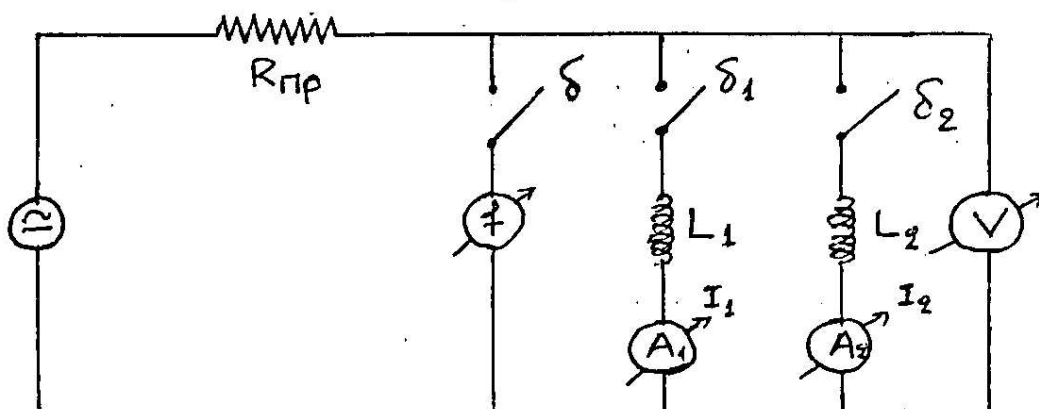
Δυο διακόπτες

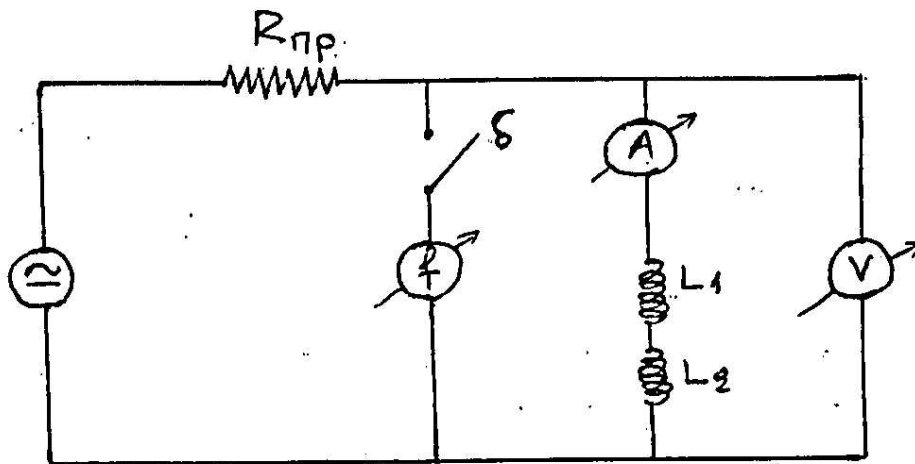
Επαγωγική γέφυρα

Καλώδια για τις συνδέσεις

#### 3. Σχέδιο έργου

Σ x. 7





Σχ. 8

#### 4. Πορεία εργασίας

Αφού μελετήσετε το θεωρητικό μέρος της άσκησης πρέπει:

- α) Να αναγνωρίσετε τα κατάλληλα όργανα.
- β) Να τα τοποθετήσετε σε κατάλληλη θέση πάνω στον πάγκο εργασίας ώστε να διευκολύνονται οι συνδέσεις και να γίνεται άνετα η ανάγνωση των ενδείξεών τους.
- γ) Να κατασκευάσετε το κύκλωμα του σχήματος 7.
- δ) Να ελέγξετε την συνδεσμολογία παρουσία του καθηγητή.
- ε) Να εφαρμόσετε τάση και να γράψετε τις ενδείξεις των οργάνων έχοντας κλείσει τον διακόπτη  $\delta_1$ .
- στ) Να γράψετε τις καινούργιες ενδείξεις έχοντας ανοίξει τον διακόπτη  $\delta_1$  και κλείσει τον  $\delta_2$ .
- ζ) Να γράψετε πάλι τις ενδείξεις όλων των οργάνων έχοντας τώρα κλείσει και τους δύο διακόπτες.
- η) Να αποσυνδέσετε το κύκλωμα 7 και να συνδέσετε το κύκλωμα 8.
- θ) Να ελέγξετε την συνδεσμολογία παρουσία του καθηγητή και να εφαρμόσετε τάση.
- ι) Να γράψετε τις ενδείξεις των οργάνων και να αποσυνδέσετε το κύκλωμα.
- κ) Να κατασκευάσετε το κύκλωμα του σχήματος 6.
- λ) Να ρυθμίσετε τις αντιστάσεις  $R_2$  και  $R_4$  μέχρις ότου να μη διέρχεται ρεύμα από τον μεσαίο κλάδο.
- μ) Να γράψετε τις τιμές τους.
- ν) Να αποσυνδέσετε την επαγωγική γέφυρα (σχ. 6) και
- ξ) τέλος να συμπληρώσετε τον πίνακα της άσκησης.

ΠΙΝΑΚΑΣ

A.C						ΘΕΩΡΙΑ	D.C		
$\phi$ (Hz)	U (V)	I <sub>1</sub> (A)	Z <sub>L<sub>1</sub></sub> (Ω)	X <sub>L<sub>1</sub></sub> (Ω)	L <sub>1</sub> (H)		U' (V)	I' <sub>1</sub> (A)	R <sub>1</sub> (Ω)
		I <sub>2</sub> (A)	Z <sub>L<sub>2</sub></sub> (Ω)	X <sub>L<sub>2</sub></sub> (Ω)	L <sub>2</sub> (H)		I' <sub>2</sub> (A)	R <sub>2</sub> (Ω)	
		I <sub>ολ.π</sub> (A)	Z <sub>L<sub>ολ.π</sub></sub> (Ω)	X <sub>L<sub>ολ.π</sub></sub> (Ω)	L <sub>ολ.π</sub> (H)	$\frac{L_1 \cdot L_2}{L_1 + L_2}$	I' <sub>ολ.π</sub> (A)	R <sub>ολ.π</sub> (Ω)	
		I <sub>ολ.σ</sub> (A)	Z <sub>L<sub>ολ.σ</sub></sub> (Ω)	X <sub>L<sub>ολ.σ</sub></sub> (Ω)	L <sub>ολ.σ</sub> (H)	L <sub>1</sub> + L <sub>2</sub> (H)	I' <sub>ολ.σ</sub> (A)	R <sub>ολ.σ</sub> (Ω)	

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. Από τις τιμές του πίνακα υπολογίστε τη διαφορά φάσης φ για κάθε πηνίο. Τι συμπέρασμα βγάζετε;
2. Ποιά είναι η συμπεριφορά του πηνίου στο συνεχές ρεύμα και ποιά στο εναλλασσόμενο;
3. Πώς μπορούμε να μεταβάλλουμε την αυτεπαγωγική αντίσταση ενός πηνίου χωρίς να μεταβάλλουμε τα χαρακτηριστικά του;
4. Σχολιάστε τα αποτελέσματα του πίνακα.

**ΑΣΚΗΣΗ 18**  
**ΑΜΕΣΗ ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΙΣΧΥΟΣ ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΟΥ**  
**ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΗ - ΒΕΛΤΙΩΣΗ**

**Θεωρητικό μέρος**

**1. Γενικά**

Γνωρίζουμε ότι η **φαινομένη ισχύς** δίνεται από τον τύπο  $P_S = V \cdot I$  και η **πραγματική ισχύς** από τον τύπο  $P = V \cdot I \cdot \cos\varphi$ . Δηλαδή η πραγματική ισχύς προκύπτει από το γινόμενο της φαινομένης επί τον παράγοντα  $\cos\varphi$ . Για τον λόγο αυτό το  $\cos\varphi$  ονομάζεται **συντελεστής ισχύος**.

**Διαγράμματα V, I**

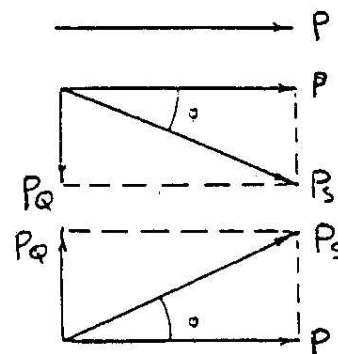
	Ωμικός καταναλωτής	Συμπεριφορά
		$\varphi = 0^\circ$
		$\varphi = +90^\circ$ $X_L = \omega \cdot L \left( \ln \Omega, \frac{1}{s}, H \right)$
		$\varphi = -90^\circ$ $X_C = \frac{1}{\omega \cdot C} \left( \ln \Omega, \frac{1}{s}, F \right)$

**Διαγράμματα  $P, P_S, P_Q$**

**ωμικός**

**επαγωγικός**

**χωρητικός**



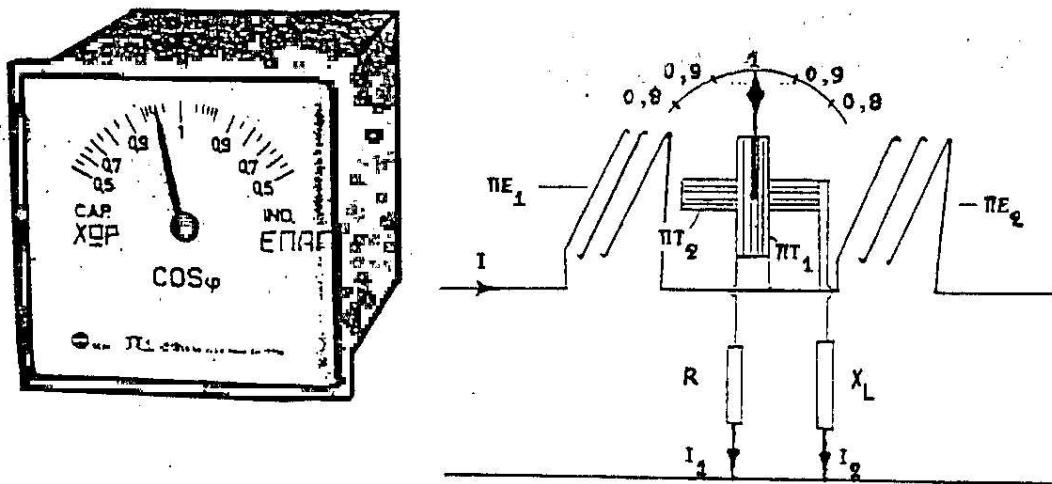
Από τα διαγράμματα παρατηρούμε ότι:

$$\cos\varphi = \frac{P}{P_s} = \frac{P}{V \cdot I} \quad \text{όπου} \quad 0 < \cos\varphi < 1$$

Για  $\varphi=0^\circ \Leftrightarrow \cos\varphi=1$  έχουμε μόνο ενεργό ισχύ.  
 Για  $\varphi=90^\circ \Leftrightarrow \cos\varphi=0$  έχουμε μόνο άεργο ισχύ.

**2. Άμεση μέτρηση του συντελεστή ισχύος μονοφασικού καταναλωτή.**

Για την άμεση μέτρηση του συντελεστή ισχύος ( $\cos\varphi$ ) μονοφασικών καταναλωτών χρησιμοποιούμε κατάλληλο όργανο διασταυρωμένων πηνίων το οποίο ονομάζεται συννημίμετρο.



Σχ. 1

	ΩΜΙΚΟΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΗΣ ( $\text{συμφ}=1$ )	ΚΑΘΑΡΑ ΕΠΑΓΓΡΕΓΙΚΟΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΗΣ $\text{συμφ}=0$	ΚΑΘΑΡΑ ΚΩΦΗΤΙΚΟΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΗΣ $\text{συμφ}=0$
Τάση δικτύου U			
Ρεύμα I καταναλωτή ή πηνίων ΠΕ <sub>1</sub> και ΠΕ <sub>2</sub>			
Ρεύμα I <sub>1</sub> ή πηνίου ΠΤ <sub>1</sub>			
Ρεύμα I <sub>2</sub> ή πηνίου ΠΤ <sub>2</sub>			

Σχ. 2

Από το σχήμα 1 του οργάνου βλέπουμε ότι, αυτό αποτελείται από δυο πηνία ( $ΠΕ_1$  και  $ΠΕ_2$ ) συνδεδεμένα μεταξύ τους και ως προς τον καταναλωτή σε σειρά. Τα πηνία αυτά φέρουν λίγες σπείρες και δέχονται όλο το ρεύμα του καταναλωτή. Γι' αυτό το λόγο τα όργανα μέτρησης του συντελεστή ισχύος ( $\cos\varphi$ ), έχουν όριο μέτρησης ως προς την ένταση του ρεύματος του καταναλωτή. Μέσα στο μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται από τα δυο πηνία, τοποθετούνται τα δυο διασταυρωμένα πηνία  $ΠΤ_1$  και  $ΠΤ_2$ . Τα πηνία αυτά είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους μηχανικά σε γωνία  $90^\circ$  και περιστρέφονται πάνω σ' ένα άξονα μαζί με την βελόνα του οργάνου. Αυτά αποτελούνται από πολλές σπείρες και συνδέονται παράλληλα (μέσω οργάνου) προς το κύκλωμα που θέλουμε να μετρήσουμε το συντελεστή ισχύος. Το πηνίο  $ΠΤ_1$  μέσω ωμικής αντίστασης  $R$  και το πηνίο  $ΠΤ_2$  μέσω αυτεπαγωγικής αντίστασης  $X_L$ . Οι τιμές των  $R$  και  $L$  εκλέγονται έτσι ώστε με την ονομαστική συχνότητα του δικτύου να ισχύει:

$$I_1 = I_2$$

δηλαδή

$$R = X_L = \omega \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot f$$

## 2.1. Λειτουργία οργάνου

### 2.1.1. Ωμικός καταναλωτής

Το ρεύμα  $I$ , που περνάει από τα πηνία  $ΠΕ_1$  και  $ΠΕ_2$  (εντάσεως), είναι σε φάση με την τάση του κυκλώματος. Το ρεύμα  $I_1$ , που περνάει από το πηνίο  $ΠΤ_1$  και την αντίσταση  $R$ , είναι σε φάση με το ρεύμα  $I$ . Το ρεύμα  $I_2$ , που περνάει από το πηνίο  $ΠΤ_2$  και την αυτεπαγωγική αντίσταση  $X_L$ , βρίσκεται σε διαφορά φάσης  $90^\circ$  με το ρεύμα  $I$  λόγω της αυτεπαγωγής.

Σε κάποια χρονική στιγμή  $\frac{T}{4}$  (σχ.2) το ρεύμα  $I$  που δημιουργεί το κύριο μαγνητικό πεδίο ( $ΠΕ_1$  και  $ΠΕ_2$ ) και το ρεύμα  $I_1$  ( $ΠΤ_1$ ) που δημιουργεί ένα άλλο μαγνητικό πεδίο, έχουν την ίδια τιμή, ενώ το ρεύμα  $I_2$  ( $ΠΤ_2$ ) έχει μηδενική τιμή. Άρα τα μαγνητικά πεδία των πηνίων  $ΠΕ_1, ΠΕ_2$  και  $ΠΤ_1$  τείνουν να γίνουν παράλληλα, επειδή βρίσκονται σε φάση. Οπότε ο δείκτης του οργάνου θα δείχνει την μονάδα (1.0), δηλαδή  $\cos\varphi=1.0$  λόγω της ωμικής κατανάλωσης.

### 2.1.2. Αυτεπαγωγική κατανάλωση

Σ' αυτή την περίπτωση το ρεύμα  $I$  ( $ΠΕ_1, ΠΕ_2$ ) θα υστερεί της τάσης του κυκλώματος κατά  $90^\circ$ . Το ρεύμα  $I_1$  θα προπορεύεται του ρεύματος  $I$  κατά  $90^\circ$ , ενώ το  $I_2$  θα είναι σε φάση με το  $I$ . Άρα τα μαγνητικά πεδία των  $ΠΕ_1, ΠΕ_2$  και  $ΠΤ_2$  τείνουν να γίνουν παράλληλα επειδή βρίσκονται σε φάση, οπότε ο δείκτης του οργάνου θα δείχνει το μηδέν (0.0). Δηλαδή  $\cos\varphi=0$  λόγω της αυτεπαγωγής.

Αν ο καταναλωτής δεν είναι καθαρά επαγωγικός ή ωμικός, τότε ο δείκτης του οργάνου θα δείχνει μεταξύ του μηδενός και του ένα.

Αν το φορτίο είναι χωρητικό, τότε ο δείκτης του οργάνου θα δείχνει αντίθετα από το αν ήταν αυτεπαγωγικό.

Δηλαδή το είδος του καταναλωτή (επαγωγικός ή χωρητικός) καθορίζει τη φορά απόκλισης του οργάνου. Το δε μέγεθος της φασικής απόκλισης την ένδειξη.

Μεταβολές της τάσης δεν επηρεάζουν την ένδειξη του οργάνου, ενώ μεταβολές στην συχνότητα προκαλούν σφάλματα, διότι τα ρεύματα  $I_1$  και  $I_2$  δεν θα είναι πλέον ίσα.

### **3. Βελτίωση $\cos\phi$**

Οι περισσότεροι καταναλωτές εμφανίζουν επαγωγική συμπεριφορά λόγω των κινητήρων, μετασχηματιστών και άλλων με αποτέλεσμα να απορροφούν από το δίκτυο εκτός από την πραγματική τους ισχύ και άεργο ισχύ για την δημιουργία των μαγνητικών τους πεδίων. Κατ' αυτόν τον τρόπο στο δίκτυο δημιουργείται μία πρόσθετη επιβάρυνση που είναι τόσο μεγάλη όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά φάσης. Η Δ.Ε.Η επιβάλλει στους καταναλωτές της, έναν ελάχιστο συντελεστή ισχύος  $\cos\phi=0,85$ .

Για τον περιορισμό της άεργης ισχύος που δεσμεύεται από τους καταναλωτές, χρησιμοποιούνται πυκνωτές, παράλληλα συνδεδεμένοι με τον καταναλωτή, γιατί η συμπεριφορά τους είναι αντίθετη μ' αυτήν των επαγωγικών.

#### **3.1. Παρατηρήσεις**

α. Μετά την αντιστάθμιση έχουμε μείωση της άεργης ισχύος, ενώ η πραγματική ισχύς παραμένει αμετάβλητη. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση του απορροφούμενου ρεύματος από το δίκτυο και συνεπώς οι απώλειες μειώνονται.

β. Η μείωση της άεργης ισχύος επιτρέπει τη μεταφορά μεγαλύτερου ποσού πραγματικής ισχύος για την ίδια διατομή αγωγών.

γ. Αφού η πραγματική ισχύς του καταναλωτή παραμένει σταθερή πριν και μετά την αντιστάθμιση, το κόστος λειτουργίας του καταναλωτή δεν αλλάζει.

#### **3.2. Υπολογισμοί βελτίωσης $\cos\phi$ σε μονοφασικό δίκτυο**

##### **3.2.1. Με την χρήση ειδικών πινάκων**

Ο πίνακας 1 μας δίνει έναν συντελεστή  $K$ , ο οποίος αντιστοιχεί στην υπάρχουσα τιμή του  $\cos\phi$  (πρώτη στήλη) και σε μια τιμή του  $\cos\phi$  που επιθυμούμε (επιλογή από τις πέντε δεξιές στήλες).

Η απορροφούμενη ισχύς  $P$  (σε Watt ή KW) πολλαπλασιασμένη με τον συντελεστή  $K$ , μας δίνει την άεργη ισχύ  $P_q$  ή  $P_a$  (σε VAR ή KVAR) των απαιτούμενων πυκνωτών για την βελτίωση του  $\cos\phi$ . Δηλαδή:

$$P_q = K \cdot P$$

ΠΙΝΑΚΑΣ Ι ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ Κ ΓΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥΣ ΒΕΛΤΙΩΣΕΩΣ ΤΟΥ  
συνφ

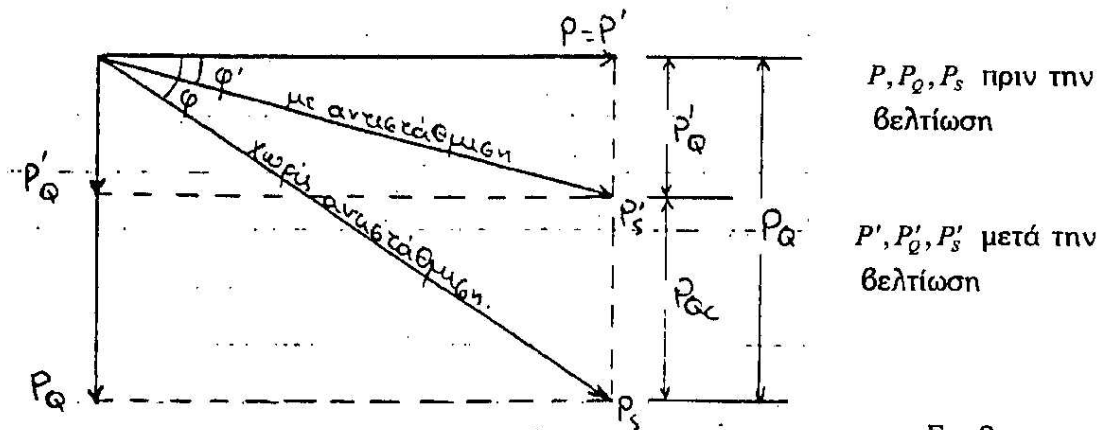
Υπάρχουσα τιμή συνφ	Σ υ ν τ ε λ ε σ τ ε ς Κ				
	Επιθυμητή τιμή του συνφ				
	0,95	0,90	0,85	0,80	
0,20	4.899	4.570	4.415	4.279	4.149
0,21	4.656	4.327	4.161	4.036	3.906
0,22	4.433	4.104	3.949	3.813	3.683
0,23	4.231	3.902	3.747	3.611	3.481
0,24	4.045	3.716	3.561	3.425	3.295
0,25	3.873	3.544	3.389	3.253	3.123
0,26	3.714	3.385	3.229	3.094	2.964
0,27	3.566	3.228	3.082	2.946	2.816
0,28	3.429	3.100	2.944	2.809	2.679
0,29	3.300	2.971	2.816	2.680	2.550
0,30	3.180	2.851	2.696	2.560	2.420
0,31	3.067	2.739	2.583	2.447	2.317
0,32	2.961	2.632	2.475	2.341	2.211
0,33	2.861	2.532	2.376	2.241	2.111
0,34	2.766	2.437	2.282	2.145	2.016
0,35	2.676	2.347	2.192	2.056	1.926
0,36	2.592	2.263	2.107	1.972	1.842
0,37	2.511	2.182	2.027	1.891	1.761
0,38	2.434	2.105	1.950	1.814	1.684
0,39	2.351	2.032	1.877	1.741	1.611
0,40	2.291	1.963	1.807	1.671	1.541
0,41	2.225	1.896	1.740	1.605	1.475
0,42	2.161	1.832	1.676	1.541	1.410
0,43	2.100	1.771	1.615	1.480	1.349
0,44	2.041	1.712	1.557	1.421	1.291
0,45	1.985	1.656	1.501	1.365	1.235
0,46	1.930	1.602	1.445	1.310	1.180
0,47	1.877	1.548	1.392	1.257	1.128
0,48	1.828	1.499	1.343	1.208	1.077
0,49	1.779	1.450	1.295	1.159	1.029
0,50	1.732	1.403	1.243	1.112	0.982
0,51	1.687	1.358	1.202	1.067	0.936
0,52	1.643	1.314	1.158	1.023	0.892
0,53	1.600	1.271	1.110	0.980	0.850
0,54	1.559	1.230	1.074	0.939	0.808
0,55	1.518	1.189	1.034	0.898	0.768
0,56	1.479	1.150	0.995	0.859	0.729
0,57	1.442	1.113	0.957	0.822	0.691
0,58	1.405	1.076	0.920	0.789	0.654
0,59	1.368	1.040	0.884	0.748	0.618

### 3.2.2 Με τη χρήση διαγραμμάτων

Από το παρακάτω διάγραμμα (σχ.3) που αναφέρεται στην προ και μετά τη βελτίωση του  $\cos\phi$  κατάσταση, παρατηρούμε ότι η άεργος ισχύς η οποία θα δοθεί στο δίκτυο από τον πυκνωτή αντιστάθμισης πρέπει να είναι:

$$P_{\phi c} = P_{\phi} - P'_{\phi} = P \cdot \tan\phi - P \cdot \tan\phi' = P(\tan\phi - \tan\phi') = P \cdot K$$





Σχ. 3

Η απαιτούμενη χωρητικότητα βρίσκεται ως εξής:

$$P_{Qc} = V \cdot I = \frac{V^2}{X_C} = \frac{V^2}{\frac{1}{\omega \cdot C}} = V^2 \cdot \omega \cdot C \Rightarrow C = \frac{P_{Qc}}{V^2 \cdot \omega} = \frac{P_{Qc}}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot V^2}$$

όπου:  $P_{Qc}$  σε VAR,  $f$  σε Hz,  $V$  σε Volts και  $C$  σε Farad.

### Παράδειγμα

Ζητείται να διορθωθεί ο συντελεστής ισχύος ενός λαμπτήρα 60 Watt ο οποίος λειτουργεί σε δίκτυο 220 Volts, 50 Hz, από την τιμή 0,40 στην τιμή 0,90 με την βοήθεια πυκνωτών.

### Λύση

Από τον πίνακα I βρίσκουμε, για την υπάρχουσα τιμή του  $\cos\phi=0,40$  και την ζητούμενη του  $\cos\phi=0,90$  (κατακόρυφη στήλη), τον συντελεστή  $K=1,807$ . Άρα:

$$P_{Qc} = P \cdot K = 60 \cdot 1,807 = 108,42 \text{ VAR}$$

Συνεπώς 
$$C = \frac{P_{Qc}}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot V^2} = \frac{108,42}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 220^2} = 7,18 \cdot 10^{-6} \text{ F} = 7,18 \mu\text{F}$$

## ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

### Πειραματικό (Εργαστηριακό) μέρος

#### 1. Σκοπός της άσκησης

Σκοπός της άσκησης είναι η απόκτηση ικανότητας:

- α) στον τρόπο σύνδεσης μονοφασικού συνημιτόμετρου για την μέτρηση του συντελεστή ισχύος μονοφασικού καταναλωτή και  
 β) στον τρόπο βελτίωσης του συντελεστή ισχύος.

## 2. Όργανα και υλικά

Ρυθμιζόμενη πηγή εναλλασσόμενης τάσης 0÷220 Volts.

Μονοφασικοί επαγωγικοί καταναλωτές.

Δεκαδικά κιβώτια πυκνωτών.

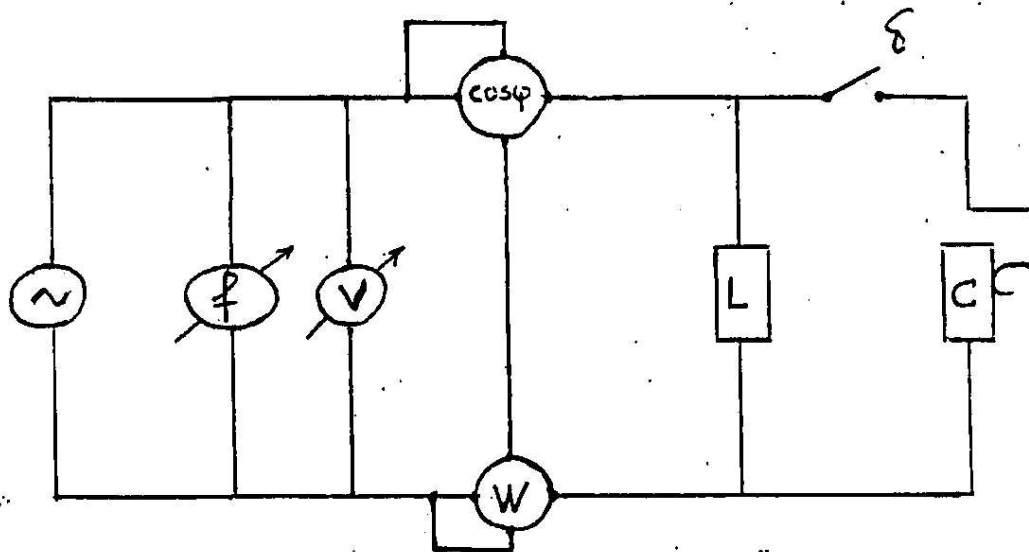
Συχνόμετρο.

Μονοφασικό συνημιτόμετρο.

Βολτόμετρο και βαττόμετρο εναλλασσόμενου ρεύματος.

Καλώδια για τις συνδέσεις.

## 3. Σχέδιο έργου



Σχ. 4

## 4. Πορεία εργασίας

Αφού μελετήσετε το θεωρητικό μέρος της άσκησης πρέπει:

- Να αναγνωρίσετε τα κατάλληλα όργανα.
- Να τα τοποθετήσετε σε κατάλληλη θέση πάνω στον πάγκο εργασίας, ώστε να διευκολύνονται οι συνδέσεις και να γίνεται άνετα η ανάγνωση των ενδείξεών τους.
- Να κατασκευάσετε το κύκλωμα του σχήματος 4.
- Να ελέγξετε την συνδεσμολογία παρουσία του καθηγητή.

- ε) Να εφαρμόσετε τάση και να γράψετε την ένδειξη του συνημιτόμετρου και του βατόμετρου, έχοντας ανοικτό τον διακόπτη δ.
- στ) Να επαναλάβετε τα στάδια γ, δ, και ε για άλλα δυο πηνία.
- ζ) Να κλείσετε τον διακόπτη δ και ρυθμίζοντας την χωρητικότητα C, να προσπαθήσετε να επιτύχετε βελτίωση του συντελεστή ισχύος στο 0,90 για όλα τα πηνία.
- η) Να γράψετε τις χωρητικότητες βελτίωσης του συντελεστή ισχύος και τις ενδείξεις του βατόμετρου για όλα τα πηνία.
- θ) Να αποσυνδέσετε το κύκλωμα και να συμπληρώσετε τον παρακάτω πίνακα.

### ΠΙΝΑΚΑΣ

$\alpha$	$f$ (Hz)	$U$ (volts)	$P$ (watt)	$\cos\varphi$	$P'$ (watt)	$\cos\varphi'$	$C$ ( $\mu F$ )
1.							
2.							
3.							

### ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

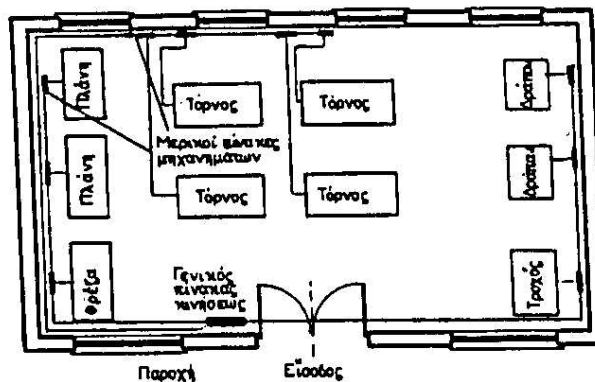
1. Ποιά τα πλεονεκτήματα από τη διόρθωση του συντελεστή ισχύος επαγωγικού καταναλωτή;
2. Από τι εξαρτάται ο συντελεστής ισχύος ενός καταναλωτή;
3. Ποιά τιμή του συντελεστή ισχύος δέχεται η Δ.Ε.Η; Πώς μπορούμε να πετύχουμε αυτή σε περίπτωση καταναλωτή μικρού  $\cos\varphi$ ;
4. Τυχόν μεταβολές της συχνότητας επιδρούν στην λειτουργία του μονοφασικού συνημιτόμετρου και γιατί.
5. Από τις τιμές του πίνακα να υπολογίσετε θεωρητικά την χωρητικότητα βελτίωσης του  $\cos\varphi$  για κάθε πηνίο.

**ΑΣΚΗΣΗ 19****ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΚΑΙ ΒΙΟΤΕΧΝΙΚΕΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΚΑΛΩΔΙΩΣΕΙΣ  
ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΕΣΩΤΕΡΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ  
ΚΙΝΗΣΗΣ.**

Οι βιομηχανικές ή βιοτεχνικές εσωτερικές ηλεκτρικές εγκαταστάσεις περιλαμβάνουν εκτός από την εγκατάσταση φωτισμού που απαιτεί ειδικό επιφανειακό φορτίο  $15 \text{ έως } 20 \text{ W/m}^2$  και εγκατάσταση κίνησης και θέρμανσης. Η σχεδίαση της εγκατάστασης κίνησης γίνεται όπως και της εγκατάστασης φωτισμού. Οι γραμμές των κυκλωμάτων διακλάδωσης, που τροφοδοτούν τα διάφορα μηχανήματα, αναχωρούν από τον πίνακα διανομής. Κάθε μηχανήμα έχει κοντά του ιδιαίτερο μερικό πίνακα, όπου βρίσκονται τα όργανα προστασίας και ελέγχου του κινητήρα του και από όπου αναχωρούν και οι υπόλοιπες αναγκαίες γραμμές τροφοδοτήσεως του μηχανήματος.

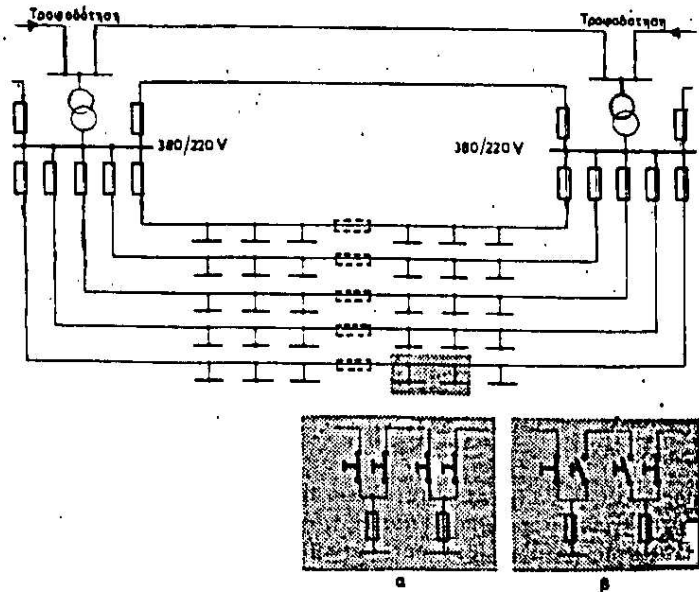
Οι γραμμές κίνησης έχουν, συνήθως, τέσσερις αγωγούς (τρεις αγωγούς φάσης και ένα αγωγό προστασίας). Όταν υπάρχουν και μονοφασικοί κινητήρες ή άλλα μονοφασικά φορτία απαιτείται και ουδέτερος αγωγός. Από τους μερικούς πίνακες μέχρι τα μηχανήματα αναχωρούν γραμμές με πλήθος αγωγών, που είναι ανάλογο με τον τρόπο ελέγχου του κινητήρα (π.χ 6 αγωγοί φάσεως και ένας αγωγός προστασίας σε περίπτωση που στο μερικό πίνακα υπάρχει εκκινητής αστέρα - τριγώνου).

Στο σχήμα 1 φαίνεται εγκατάσταση κίνησης Μηχανουργείου χωρίς να σημειώνεται το πλήθος των αγωγών στις γραμμές, που αναχωρούν από τους μερικούς πίνακες.



Σχ. 1 Ε.Η.Ε κίνησης Μηχανουργείου

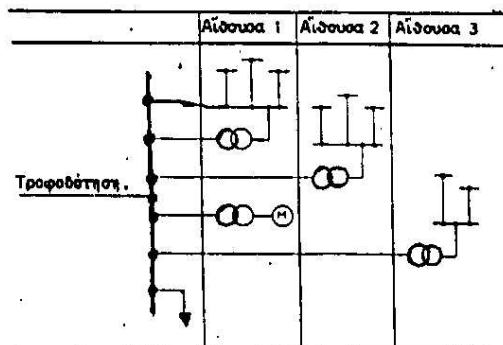
Εάν επιθυμείται η εξασφάλιση της συνέχειας εξυπηρέτησης, η τροφοδότηση με ηλεκτρική ενέργεια των βιομηχανιών ή βιοτεχνιών γίνεται με δυο ανεξάρτητες παροχτεύσεις με κλειστές γραμμές (βρόχους). Συνήθως, όμως, στις βιοτεχνίες, λόγω του μικρού τους μεγέθους, χρησιμοποιείται ακτινική τροφοδότηση. Το σχήμα 2 δείχνει παράδειγμα τροφοδότησης με κλειστές γραμμές με παροχτεύσεις υψηλής τάσης.



Σχ. 2

Η χρησιμοποίηση κλειστών γραμμών εκτός από το πλεονέκτημα της συνέχειας εξυπηρέτησης, έχει και το πλεονέκτημα να ελαττώνουν την πτώση τάσης και την κατανομή των φορτίων στους δυο μετασχηματιστές.

Αν τμήμα της κλειστής γραμμής, μεταξύ δυο πινάκων διανομής, υποστεί βλάβη, απομονώνεται με το άνοιγμα δυο διακοπών, όπως φαίνεται στο σχήμα 2, και οι πίνακες συνεχίζουν να τροφοδοτούνται.

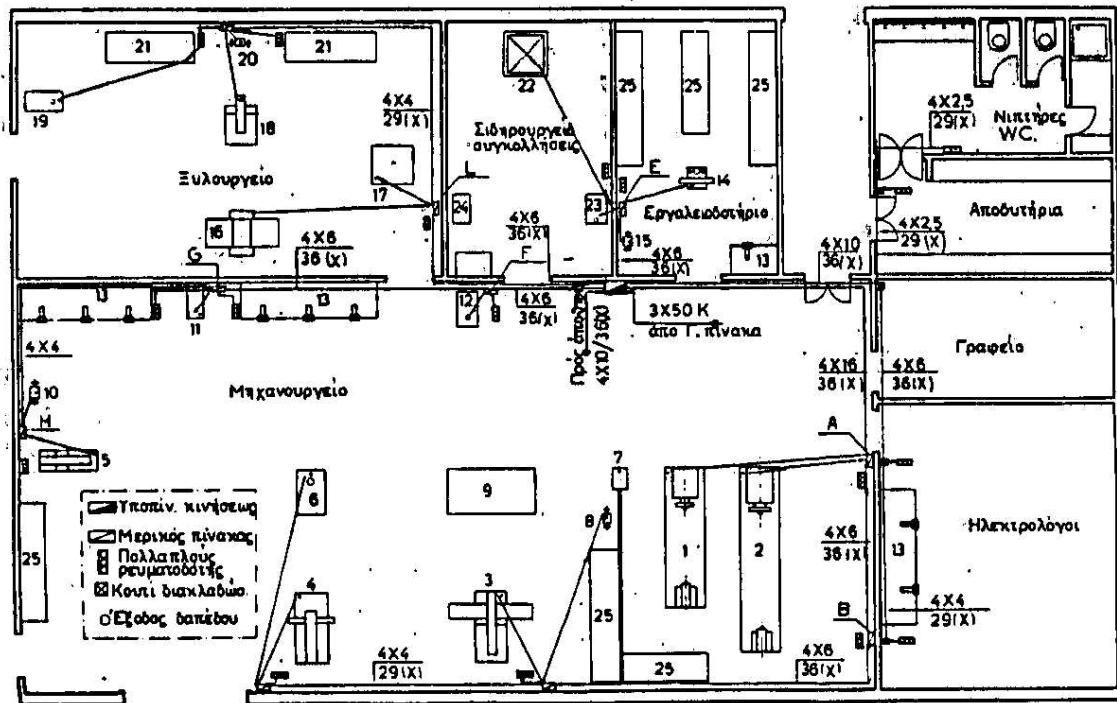


Σχ. 3

Οι γραμμές των κυκλωμάτων στις βιομηχανικές ή βιοτεχνικές εγκαταστάσεις γίνονται συνήδως με μονωμένους αγωγούς μέσα σε χαλυβδοσωλήνες ή με ανθυγρά καλώδια και είναι συχνά ορατές.

Για την τροφοδότηση των διαφόρων μηχανημάτων χρησιμοποιούνται συνήδως γραμμές χωνευτές μέσα στο δάπεδο και για τα κινητά και φορητά μηχανήματα προβλέπονται πολλαπλοί ρευματοδότες βιομηχανικού τύπου.

Τα σχήματα 4 και 5 δείχνουν σχέδια εγκαταστάσεων κίνησης.

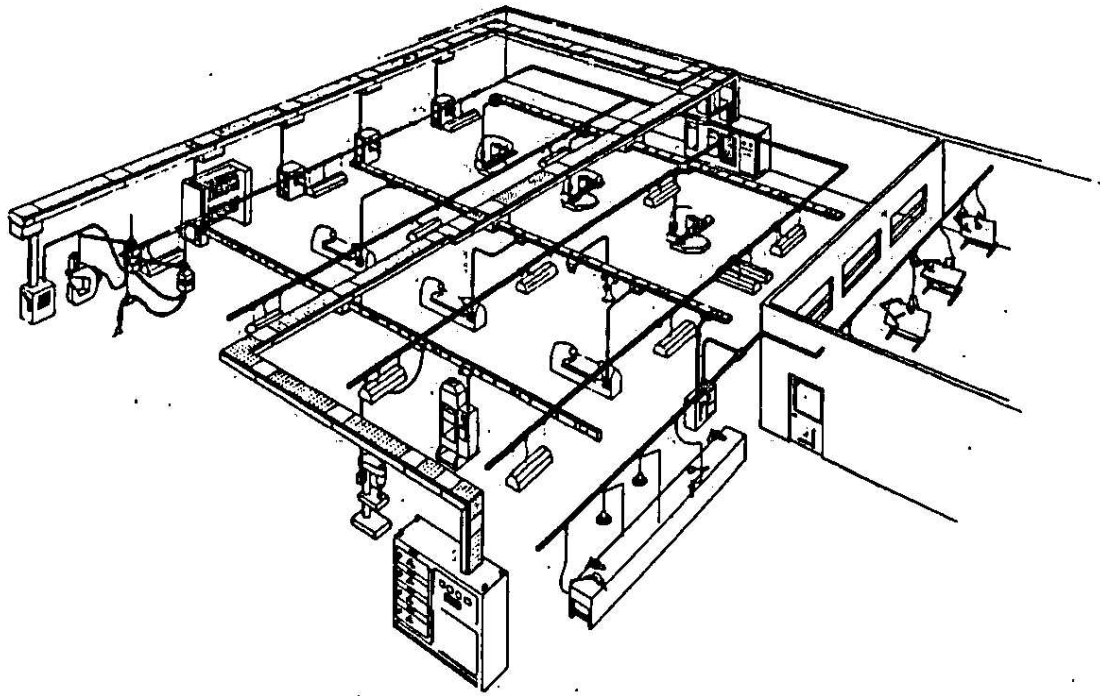


Σχ. 4

Οι γραμμές προς τα διάφορα μηχανήματα αποτελούνται από τετραπολικά καλώδια (3 φάσεις και ένας αγωγός προστασίας) μέσα σε χαλυβδοσωλήνες διαμέτρου 29 mm χωνευτούς μέσα στο δάπεδο. Επάνω στους μερικούς πίνακες τοποθετούνται ασφάλειες προστασίας των κινητήρων και ενδεχομένως τα όργανα διακοπής.

Α/Α ΚΑΤ.	ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	ΙΣΧΥΣ (kW)	ΚΑΛΩΔΙΟ
1	ΤΟΡΝΟΣ 1,5 m	5,15	4 x 2,5 mm <sup>2</sup>
2	ΤΟΡΝΟΣ 2,5 m	5,90	"
3	ΦΡΑΙΖΑ	6,00	"
4	ΛΕΙΑΝΤΙΚΗ ΜΗΧΑΝΗ	2,20	"
5	ΠΡΙΟΝΙ ΜΕΤΑΛΛΩΝ	0,74	"
6	ΔΡΑΠΑΝΟ ΩΣ $\phi$ 40 mm	1,28	"
7	ΧΕΙΡΟΚΙΝΗΤΗ ΠΡΕΣΣΑ	-	"
8	ΛΕΙΑΝΤΙΚΗ ΜΗΧΑΝΗ	0,74	"
9	ΠΑΓΚΟΣ ΧΑΡΑΞΕΩΣ	-	"
10	ΛΕΙΑΝΤΙΚΗ ΜΗΧΑΝΗ	1,10	"
11	ΔΡΑΠΑΝΟ ΩΣ $\phi$ 13 mm	0,25	"
12	ΔΡΑΠΑΝΟ ΩΣ $\phi$ 25 mm	0,92	"
13	ΠΑΓΚΟΣ ΜΕ ΜΕΓΓΕΝΗ	-	"
14	ΤΡΟΧΙΣΤΙΚΗ ΜΗΧΑΝΗ	0,60	"
15	ΛΕΙΑΝΤΙΚΗ ΜΗΧΑΝΗ	0,37	"
16	ΠΛΑΝΗ ΞΥΛΟΥ	3,70	"
17	ΦΡΑΙΖΑ ΞΥΛΟΥ	2,20	"
18	ΤΑΙΝΙΟΠΡΙΟΝΟ ΞΥΛΟΥ	2,20	"
19	ΔΡΑΠΑΝΟ ΩΣ $\phi$ 30 mm	0,92	"
20	ΛΕΙΑΝΤΙΚΗ ΜΗΧΑΝΗ	0,74	"
21	ΞΥΛΟΥΡΓΙΚΟΣ ΠΑΓΚΟΣ	-	"
22	ΚΑΜΙΝΕΥΤΗΡΙΟ ΜΕ ΑΝΑΡΡΟΦΗΤΙΚΗ ΧΩΑΝΗ	0,51	"
23	ΗΛΕΚΤΡΟΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ	8,00	4 x 4 mm <sup>2</sup>
24	ΑΥΤΟΓΕΝΗΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ	-	"
25	ΡΑΦΙΑ	-	"
26	ΡΕΥΜΑΤΟΔΟΤΕΣ	10	4 x 2,5 mm <sup>2</sup>





Σχ. 6



Β Ι Β Λ Ι Ο Γ Ρ Α Φ Ι Α

- ΑΛΒΕΟΠΟΥΛΟΥ.Κ.Δ. Γενική Φυσική, Ηλεκτρισμός 4η έκδοση,  
Αθήνα 1973.
- ΓΙΑΝΝΟΠΟΥΛΟΥ.Ι. Ηλεκτροτεχνία, Αθήνα .
- ΑΝΤΩΝΙΟΥ. Α. Ηλεκτροτεχνία, Αθήνα 1983.
- ΑΔΡΙΤΣΑΚΗ. Α. Εργαστηριακές ασκήσεις Φυσικής ΙΙ, Αθήνα 1981.
- ΚΑΡΓΑ. Κ.Β. Εργαστηριακές ασκήσεις Φυσικής ΙΙ, Σέρρες 1981.
- ΟΙΚΟΝΟΜΟΥ. Ν.Α.-ΒΑΛΑΣΙΑΔΗ Ο.Β. Μεθοδολογία μετρήσεων και  
εφαρμογών , Θεσσαλονίκη 1980.
- ΟΙΚΟΝΟΜΟΥ.Ν.-ΣΠΥΡΙΔΕΛΗ Ι. Εργαστηριακές ασκήσεις φυσικής,  
τεύχος Β', Θεσσαλονίκη 1980.
- ΔΙΟΝΥΣΙΟΥ. Σ.-ΚΟΥΙΜΤΖΗ. Εργαστηριακές ασκήσεις ηλεκτρισμού,  
Θεσσαλονίκη 1980.
- ΔΗΜΟΠΟΥΛΟΥ. Φ.Ι. Ηλεκτρικές μετρήσεις, Αθήνα.
- ΑΝΤΩΝΟΠΟΥΛΟΥ.Σ.-ΔΗΜΟΠΟΥΛΟΥ.Σ. Εργαστηριακά θέματα ηλεκτρικών  
μετρήσεων, Αθήνα 1976.
- ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΙΔΗΣ/.Δ.-ΚΕΦΑΛΟΥΡΟΣ.Κ.-ΜΟΙΡΙΣΚΛΑΒΟΣ.Α.  
Ηλεκτρικές μετρήσεις, Θεσσαλονίκη 1982.
- ΒΑΣΙΛΑΚΟΠΟΥΛΟΥ/ ΣΠ.Ν. Εφαρμοσμένη ηλεκτρολογία, Ηλεκτρικά  
όργανα μέτρησης.
- ΒΑΣΙΛΑΚΟΠΟΥΛΟΥ. ΣΠ.Ν. Εργαστήριο ειδικότητας, Ηλεκτρολογικού  
τμήματος.
- ΚΟΝΤΟΡΑΒΔΗ.Σ. Ηλεκτρολογικό εργαστήριο Αθήνα 1980.
- ΚΟΝΤΟΡΑΒΔΗ.Σ. Ηλεκτρονικό εργαστήρι , Αθήνα 1980.