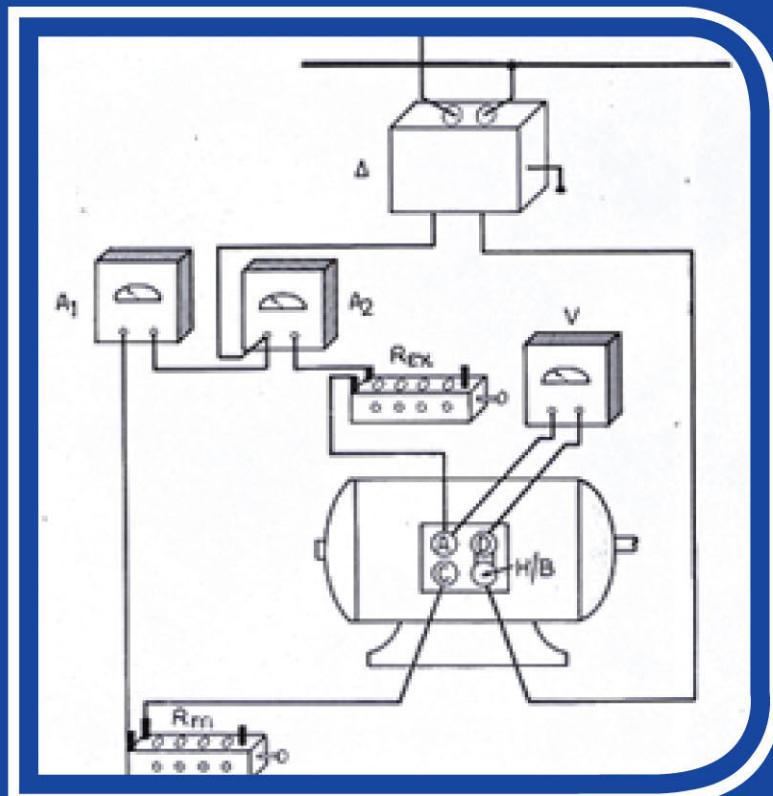




# ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ II

**Αντωνίου Παπαϊωάννου**  
ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΟΥ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΟΥ Ε.Μ.Π.  
**Νικολάου Χαραλαμπάκη**  
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΥ





1954

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ  
ΧΡΥΣΟΥΝ ΜΕΤΑΛΛΙΟΝ ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ

Ο Ευγένιος Ευγενίδης, ο ιδρυτής και χορηγός του «Ιδρύματος Ευγενίδου», πολύ νωρίς προέβλεψε και σχημάτισε την πεποίθηση ότι η άρτια κατάρτιση των τεχνικών μας, σε συνδυασμό με την εθνική αγωγή, θα ήταν αναγκαίος και αποφασιστικός παράγων για την πρόοδο του Έθνους μας.

Την πεποίθησή του αυτή ο Ευγενίδης εκδήλωσε με τη γενναιόφρονα πράξη ευεργεσίας, να κληροδοτήσει σεβαστό ποσό για τη σύσταση Ιδρύματος, που θα είχε ως σκοπό να συμβάλλει στην τεχνική εκπαίδευση των νέων της Ελλάδας.

Έτσι, το Φεβρουάριο του 1956 συστήθηκε το «Ίδρυμα Ευγενίδου», του οποίου τη διοίκηση ανέλαβε η αδελφή του Μαρ. Σίμου, σύμφωνα με την επιθυμία του διαθέτη. Το έργο του Ιδρύματος συνεχίζει από το 1981 ο κ. Νικόλαος Βερνίκος - Ευγενίδης.

Από το 1956 έως σήμερα η συμβολή του Ιδρύματος στην τεχνική εκπαίδευση πραγματοποιείται με διάφορες δραστηριότητες. Όμως απ' αυτές η σημαντικότερη, που κρίθηκε από την αρχή ως πρώτης ανάγκης, είναι η έκδοση βιβλίων για τους μαθητές των Τεχνικών και Επαγγελματικών Σχολών και Λυκείων.

Μέχρι σήμερα, με τη συνεργασία με τα Υπουργεία Εθνικής Παιδείας και Θρησκευμάτων και Εμπορικής Ναυτιλίας, εκδόθηκαν εκατοντάδες τόμοι βιβλίων, που έχουν διατεθεί σε πολλά εκατομμύρια αντίτυπα. Τα βιβλία αυτά κάλυπταν ή καλύπτουν ανάγκες των Κατωτέρων και Μέσων Τεχνικών Σχολών του Υπ. Παιδείας, των Σχολών του Οργανισμού Απασχολήσεως Εργατικού Δυναμικού (ΟΑΕΔ), των Τεχνικών και Επαγγελματικών Λυκείων, των Τεχνικών Επαγγελματικών Σχολών και των Δημοσίων Σχολών Εμπορικού Ναυτικού.

Μοναδική φροντίδα του Ιδρύματος σ' αυτή την εκδοτική του προσπάθεια ήταν και είναι η συγγραφή και έκδοση βιβλίων ποιότητας, από άποψη όχι μόνον επιστημονική, παιδαγωγική και γλωσσική, αλλά και ως προς την εμφάνιση, ώστε το βιβλίο να αγαπηθεί από τους μαθητές.

Για την επιστημονική και παιδαγωγική αρτιότητα των βιβλίων τα κείμενα υποβάλλονται σε πολλές επεξεργασίες και βελτιώνονται πριν από κάθε νέα έκδοση συμπληρωμένα καταλλήλως.

Ιδιαίτερη σημασία απέδωσε το Ίδρυμα από την αρχή στη γλωσσική διατύπωση των βιβλίων, γιατί πιστεύει ότι και τα τεχνικά βιβλία, όταν είναι γραμμένα σε γλώσσα σωστή και ομοιόμορφη αλλά και κατάλληλη

για τη στάθμη των μαθητών, μπορούν να συμβάλλουν στη γλωσσική κατάρτιση των μαθητών.

Έτσι, με απόφαση που ίσχυσε ήδη από το 1956, όλα τα βιβλία της Βιβλιοθήκης του Τεχνίτη, δηλαδή τα βιβλία για τις τάσεις Κατώτερες Τεχνικές Σχολές, όπως αργότερα και για τις Σχολές του ΟΑΕΔ, ήταν γραμμένα σε γλώσσα δημοτική, με βάση τη γραμματική του Τριανταφυλλίδη, ενώ όλα τα άλλα βιβλία ήταν γραμμένα στην απλή καθαρεύουσα. Σήμερα ακολουθείται η γραμματική που διδάσκεται στα σχολεία της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης. Η γλωσσική επεξεργασία των βιβλίων ανατίθεται σε φιλολόγους του Ιδρύματος και έτσι εξασφαλίζεται η ενιαία σύνταξη και ορολογία κάθε κατηγορίας βιβλίων.

Η ποιότητα του χαρτιού, το είδος των τυπογραφικών στοιχείων, τα σωστά σχήματα, η καλαίσθητη σελιδοποίηση, το εξώφυλλο και το μέγεθος του βιβλίου, περιλαμβάνονται και αυτά στις φροντίδες του Ιδρύματος και συμβάλλουν στη σωστή «λειτουργικότητα» των βιβλίων.

Το Ίδρυμα θεώρησε ότι είναι υποχρέωσή του, σύμφωνα με το πνεύμα του ιδρυτή του, να θέση στη διάθεση του Κράτους όλη αυτή την πείρα του των 20 ετών, αναλαμβάνοντας το 1978 και την έκδοση των βιβλίων για τις νέες Τεχνικές Επαγγελματικές Σχολές και τα Τεχνικά και Επαγγελματικά Λύκεια, σύμφωνα πάντοτε με τα εγκεκριμένα Αναλυτικά Προγράμματα του Π.Ι. και του ΥΠΕΠΘ.

#### ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΕΚΔΟΣΕΩΝ ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ

Μιχαήλ Αγγελόπουλος, ομ. καθηγητής ΕΜΠ, Πρόεδρος,  
Αλέξανδρος Σταυρόπουλος, ομ. Καθηγητής Πανεπιστημίου Πειραιώς, Αντιπρόεδρος,  
Ιωάννης Τεγόπουλος, καθηγητής ΕΜΠ.  
Σταμάτης Παλαιοκρασάς, Ηλεκτρολόγος Μηχανικός, Σύμβουλος Παιδαγωγικού Ινστιτούτου.  
Χρήστος Σιγάλας, Δ/ντης Σπ. Δευτ. Εκπαιδεύσεως ΥΠΕΠΘ.  
Σύμβουλος εκδόσεων του Ιδρύματος Κ.Α. Μανάφης, καθηγ. Φιλ. Σχολής Πλαν/μίου Αθηνών.  
Γραμματέας της Επιτροπής, Γεώργιος Ανδρεάκος.

#### Διατελέσαντα μέλη ή σύμβουλοι της Επιτροπής

Γεώργιος Κακριδής (1955-1959) Καθηγητής ΕΜΠ, Άγγελος Καλογεράς (1957-1970) Καθηγητής ΕΜΠ, Δημήτριος Νιάνιας (1957-1965) Καθηγητής ΕΜΠ, Μιχαήλ Σπετσέρος (1956-1959), Νικόλαος Βασιώτης (1960-1967), Θεόδωρος Κουζέλης (1968-1976) Μηχ. Ηλ. ΕΜΠ, Παναγώτης Χατζηιωάννου (1977-1982) Μηχ. Ηλ. ΕΜΠ, Αλέξανδρος Ι. Παππάς (1955-1983) Καθηγητής ΕΜΠ, Χρυσόστομος Καβουνίδης (1955-1984) Μηχ. Ηλ. ΕΜΠ, Γεώργιος Ρούσσος (1970-1987) Χημ.-Μηχ. ΕΜΠ, Δρ. Θεοδόσιος Παπαθεοδοσίου (1982-1984) Δ/ντης Σπουδών Δευτεροβάθμιας Εκπαιδεύσεως ΥΠΕΠΘ, Ηγάπτος Χατζηευστρατόπου (1985-1988) Μηχανολόγος, Δ/ντης Σπουδών Δευτεροβάθμιας Εκπαιδεύσεως ΥΠΕΠΘ, Γεώργιος Σταματίου (1988-1990) Ηλεκτρολόγος ΕΜΠ, Δ/ντης Σπουδών Δευτεροβάθμιας Εκπαιδεύσεως ΥΠΕΠΘ, Σωτ. Γκλαβάς (1989-1993) Φιλόλογος, Δ/ντης Σπουδών Δευτεροβάθμιας Εκπαιδεύσεως ΥΠΕΠΘ, Εμ. Τρανούδης (1993-1996) Δ/ντης Σπ. Δευτ. Εκπαιδεύσεως ΥΠΕΠΘ.





# ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ II

ΑΝΤΩΝΙΟΥ ΠΑΠΑΪΩΑΝΝΟΥ  
ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΟΥ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΟΥ Ε.Μ.Π.  
ΓΕΝΙΚΟΥ ΕΠΙΘΕΩΡΗΤΟΥ Μ.Τ.Ε.Ε.

ΝΙΚΟΛΑΟΥ ΧΑΡΑΛΑΜΠΑΚΗ  
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΥ  
ΔΙΕΥΘΥΝΤΟΥ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΣΧΟΛΗΣ

ΑΘΗΝΑ  
1998





## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το « Ηλεκτρολογικό Εργαστήριο» απευθύνεται στους μαθητές της Γ' τάξεως των Τεχνικών Λυκείων Ειδικότητας Ηλεκτρολόγου.

Στον τόμο αυτό περιέχονται θέματα-ασκήσεις, που αναφέρονται σε ηλεκτρικές μετρήσεις εναλλασσόμενου ρεύματος, σε ελέγχους και μετρήσεις στις ηλεκτρικές μηχανές συνεχούς και εναλλασσόμενου ρεύματος (στρεφόμενες και στατές) και σε ασκήσεις από το μάθημα των εσωτερικών ηλεκτρικών εγκαταστάσεων. Το κείμενο ακολουθεί τη σειρά με την οποία θα πρέπει να πραγματοποιηθούν οι εργαστηριακές ασκήσεις, έτσι ώστε οι μαθητές να έχουν διδαχθεί στα αντίστοιχα μαθήματα, κατά το δυνατόν, τις βασικές θεωρητικές γνώσεις που χρειάζονται για το σκοπό αυτό. Παρ' όλα αυτά θεωρήσαμε σκόπιμο να συμπεριλάβομε σε κάθε κεφάλαιο του βιβλίου όλες εκείνες τις γνώσεις και οδηγίες, συνοπτικά, που είναι απαραίτητες για την επιτυχή άσκηση των μαθητών στο Εργαστήριο. Τα κείμενα αυτά έχουν στοιχειοθετηθεί με μικρότερα στοιχεία, ώστε να είναι εμφανής ο χαρακτήρας της επαναλήψεως. Βέβαια η σειρά του κειμένου δεν είναι απόλυτα δεδομένη. Μπορεί ανάλογα με τις συνθήκες λειτουργίας του εργαστηρίου στο Σχολείο και άλλους παράγοντες που θα εκτιμήσουν οι εργαστηριακοί εκπαιδευτές, να αλλάξει η σειρά διαδοχής των κεφαλαίων στο κείμενο, π.χ. οι ασκήσεις που αναφέρονται στα βασικά κυκλώματα των εσωτερικών ηλεκτρικών εγκαταστάσεων, μπορούν να πραγματοποιηθούν μετά τις μετρήσεις στο εναλλασσόμενο ρεύμα.

Το βιβλίο διαιρείται σε πέντε μέρη και στην Εισαγωγή. Στην εισαγωγή θεωρήσαμε αναγκαίο να επαναλάβομε ορισμένες χρήσιμες πληροφορίες και οδηγίες από το βιβλίο Ηλεκτρολογικό Εργαστήριο που διδάχθηκαν οι μαθητές στη Β' τάξη και που αποτελούν τη βάση της χωρίς κίνδυνο και με επιτυχία πραγματοποιήσεως των ασκήσεων.

Το Α' Μέρος περιλαμβάνει τα κεφάλαια-ασκήσεις των μηχανών συνεχούς ρεύματος.

Το Β' Μέρος τις μετρήσεις εναλλασσόμενου ρεύματος.

Το Γ' Μέρος τα κεφάλαια-ασκήσεις των μηχανών εναλλασσόμενου ρεύματος (στρεφόμενες).

Το Δ' μέρος τα κεφάλαια-ασκήσεις από τους μετασχηματιστές ισχύος και τους ανορθωτές (στάτες μηχανής).

*Το Ε' μέρος περιλαμβάνει τα κεφάλαια-ασκήσεις από τις εσωτερικές ηλεκτρικές εγκαταστάσεις.*

*Κατά τη συγγραφή του τόμου αυτού λάβαμε υπόψη ότι οι μαθητές έχουν διδαχθεί στο Β' έτος σπουδών τους το « Ηλεκτρολογικό Έργαστήριο Α' » ή οπωσδήποτε τις βασικές μετρήσεις συνεχούς ρεύματος.*

*Παραδίνοντας το βιβλίο αυτό στην κρίση των καθηγητών ηλεκτρολόγων των Τεχνικών Λυκείων και Σχολών και των μαθητών, ευχαριστούμε θερμά την Επιτροπή Εκδόσεων του Ιδρύματος Ευγενίδου για την ευκαιρία που μας έδωσε, ακόμη μια φορά, να συμβάλλομε με την εργασία μας αυτή στην όλη προσπάθεια που καταβάλλεται για την ανάπτυξη της Τεχνικής και Επαγγελματικής Εκπαίδευσεως.*

*Οι Συγγραφείς*

**Α' ΕΚΔΟΣΗ 1980**



## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### ΧΡΗΣΙΜΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΣΤΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ

#### 0.1 Γενικά. Ένα σχέδιο οργανώσεως του μαθητικού προσωπικού.

Ο σκοπός που επιδιώκουν οι εργαστηριακές ασκήσεις επιτυγχάνεται με τη σωστή εκτέλεσή τους. Αυτό δύναται προϋποθέτει τάξη και καλή οργάνωση του εργαστηρίου, τήρηση με σχολαστικότητα του κανονισμού λειτουργίας του, μελέτη του θεωρητικού μέρους κάθε ασκήσεως, ορθή και προσεκτική χρήση των οργάνων και συσκευών μετρήσεως.

Ο συντονισμός, η καθοδήγηση των μαθητών και η επίβλεψη στην ώρα της ασκήσεως τους, από μέρους των καθηγητών, στο χώρο του εργαστηρίου επιτυγχάνεται με τη διανομή κάθε τάξεως σε ομάδες μαθητών.

Με τον τρόπο αυτό παρακολουθείται καλύτερα και η εφαρμογή των μέτρων προλήψεως ατυχημάτων και περιορίζονται στο ελάχιστο οι βλάβες και φθορές του εργαστηριακού εξοπλισμού και ενισχύεται το πνεύμα της συλλογικής εργασίας.

Σε κάθε ομάδα μαθητών τοποθετείται, ως επόπτης εργασίας ένας μαθητής, μέλος της ομάδας.

Όλοι οι μαθητές κάθε ομάδας θα τοποθετηθούν διαδοχικά ως επόπτες μία ή περισσότερες φορές μέσα στο σχολικό έτος σύμφωνα με το πρόγραμμα που θα έχει καταρτίσει ο προϊστάμενος καθηγητής του εργαστηρίου. Έτσι και η ανάπτυξη πνεύματος υπευθυνότητας ενισχύεται και η πειθαρχημένη εργασία μέσα στην ομάδα επιτυγχάνεται.

Βασικές αρμοδιότητες του επόπτη εργασίας είναι:

α) Παραλαμβάνει από τον υπεύθυνο της αποθήκης του εργαστηρίου τα όργανα, συσκευές, εργαλεία και το υλικό που θα χρησιμοποιήσει η ομάδα του στη συγκεκριμένη άσκηση ή ασκήσεις. Η παραλαβή γίνεται με χρεωστικό σημείωμα.

β) Καθορίζει, με τη βοήθεια του υπεύθυνου καθηγητή, τα καθήκοντα κάθε μέλους της ομάδας για την άσκηση.

γ) Επιβλέπει την ομάδα του στην προετοιμασία της ασκήσεως (συνδεσμολογία κλπ.).

δ) Ειδοποιεί τον υπεύθυνο καθηγητή για τον έλεγχο της συνδεσμολογίας της ασκήσεως.

ε) Μετά την έγκριση (δ) εφαρμόζει «τάση» στο κύκλωμα.

στ) Αναφέρει στον υπεύθυνο καθηγητή περίπτωση κακής λειτουργίας οργάνων ή συσκευών και ανωμαλίες στις μετρήσεις.

ζ) Μετά την εκτέλεση των μετρήσεων αποσυνδέει το κύκλωμα από την πηγή ηλεκτρικού ρεύματος και αναφέρει σχετικά στον υπεύθυνο καθηγητή.

η) Επιβλέπει στη συντήρηση και τον καθαρισμό των οργάνων, συσκευών κλπ., που χρησιμοποίησε η ομάδα του.

θ) Επιστρέφει ότι παράλαβε στην αρχή στον υπεύθυνο της αποθήκης σημειώνοντας στο χρεωστικό σημείωμα ενδεχόμενες βλάβες οργάνων κλπ. και φθορές υλικού.

## 0.2 Συμπεριφορά των μαθητών στο Εργαστήριο.

Η συμπεριφορά των μαθητών μέσα στο εργαστήριο πρέπει να είναι πολύ προσεκτική. Δεν πρέπει να ξεχνάει οποιοσδήποτε κινείται στο χώρο του ηλεκτρολογικού εργαστηρίου ότι **το ηλεκτρικό ρεύμα δεν προειδοποιεί**.

Προσοχή λοιπόν, γιατί η αμέλεια και η απροσεξία συνεπάγεται πιθανό κίνδυνο ηλεκτροπληξίας στους ασκούμενους μαθητές και βλάβες ή φθορές ασυνήθιστες στον εργαστηριακό εξοπλισμό.

Παρακάτω δίνομε μερικές συμβουλές για τους μαθητές, που μπορούν να χρησιμέψουν ως οδηγός στη σύνταξη ενός κανονισμού ηλεκτρολογικού εργαστηρίου:

α) Να μπαίνεις στο Εργαστήριο φρόνιμα, με τάξη και χωρίς καθυστέρηση.

β) Να εργάζεσαι στην προκαθορισμένη θέση και να μην ενοχλείς τους συμμαθητές σου.

γ) Να χρησιμοποιείς πάντοτε το κατάλληλο εργαλείο για κάθε εργασία. Οι πρόχειρες λύσεις δημιουργούν προβλήματα ασφάλειας και δεν εξασφαλίζουν έγκαιρη και σωστή εργασία.

δ) Να διατηρείς τα όργανα, τις συσκευές και τα εργαλεία σε καλή κατάσταση, σαν να ήταν δικά σου.

ε) Μη μιλάς ποτέ στο χειριστή οποιουδήποτε οργάνου ή μηχανής.

στ) Μην ενεργείς ριψοκίνδυνα.

ζ) Η ασφαλής εργασία προϋποθέτει καλό αερισμό και επαρκή φωτισμό. Αν εξαρτάται από σένα φρόντισε να τα εξασφαλίσεις.

η) Μην παίζεις με την ασφάλεια των άλλων. Μην κάνεις φάρσες και αστεία, είναι επικίνδυνο.

θ) Το μέρος που εργάζεσαι πρέπει, όταν τελειώσεις την εργασία σου, να το αφήνεις στην κατάσταση που το βρήκες όταν άρχισες. **Καθαριότητα και τάξη**.

ι) Προτού αρχίσεις μία μέτρηση ενημέρωσε τον επόπτη της ομάδας σου.

ια) Μη σπαταλάς υλικά και χρόνο και τα δύο κοστίζουν πολύ.

ιβ) Φρόντισε πάντα η δουλειά σου να είναι σωστή.

ιγ) Η απροσεξία δεν δίκαιολογείται. Αν δεν είσαι σίγουρος για κάτι ζήτησε τη βοήθεια των συμμαθητών σου στην ομάδα και του καθηγητή σου.

ιδ) Προτού φύγεις από το Εργαστήριο στο τέλος κάθε περιόδου αξιολόγησε τον εαυτό σου, ως προς την τήρηση του κανονισμού λειτουργίας του Εργαστηρίου.

## 0.3 Προετοιμασία – Εκτέλεση ασκήσεως.

α) Πριν από οποιαδήποτε συνδεσμολογία σχεδιάζεται το ηλεκτρικό κύκλωμα της ασκήσεως και σημειώνονται τα όργανα, οι συσκευές, τα δοκίμια και τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν.

β) Πραγματοποιείται η συνδεσμολογία της ασκήσεως έτσι, ώστε τα όργανα και οι συσκευές να τοποθετηθούν επάνω στον πάγκο εργασίας σε τέτοιες θέσεις που και ο χειρισμός τους να είναι εύκολος και η ανάγνωση των ενδείξεών τους δνετη από κάθε μαθητή της ομάδας.

γ) Ελέγχεται η δυνατότητα των οργάνων για τη συγκεκριμένη άσκηση και εκλέγεται η κατάλληλη κλίμακα.

δ) Ειδοποιείται από τον επόπτη της ομάδας ο υπεύθυνος καθηγητής για τον έλεγχο της συνδεσμολογίας.

ε) Εφ' όσον δοθεί η έγκριση του καθηγητή ο επόπτης της ομάδας εφαρμόζει **τάση** στο κύκλωμα και ελέγχεται η απόκλιση των δεικτών των οργάνων μήπως υπερβαίνουν τα όρια της κλίμακας. Αν συμβεί κάτι τέτοιο διακόπτεται αμέσως η τάση.

στ) Μετά τον έλεγχο της συνδεσμολογίας και των οργάνων, εκτελούνται οι μετρήσεις με προσοχή και καταγράφονται τα αποτελέσματα. Κάθε μέτρηση εκτελείται εκ περιτροπής από όλους τους μαθητές της ομάδας.

ζ) Μετά την εκτέλεση των μετρήσεων αποσυνδέεται η πηγή. Ειδοποίεται γι' αυτό ο καθηγητής.

Γίνονται υπολογισμοί κλπ. και υποβάλλονται στον καθηγητή για έγκριση και θεώρηση. Αν κάτι δεν πήγε καλά, οι μετρήσεις επαναλαμβάνονται.

Τελικά η εργασία στο εργαστήριο τελειώνει με μια σύντομη περιγραφή κάθε ασκήσεως στο τετράδιο, που θα έχει καθορισθεί από τον κανονισμό του εργαστηρίου. Μια τέτοια περιγραφή μπορεί να περιλαμβάνει για κάθε άσκηση:

- Τα πλήρη στοιχεία (κατασκευαστής, αρ. μητρώου κλπ.) των οργάνων, μηχανών και συσκευών που θα χρησιμοποιηθούν.
  - Τα στοιχεία των αντικειμένων δοκιμής.
  - Τη συνδεσμολογία της ασκήσεως.
  - Τον τρόπο διεξαγωγής της ασκήσεως και τα αποτελέσματα.
  - Παρατηρήσεις, κρίσεις και σχόλια για την άσκηση.
-

## ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ

### ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ (Σ.Ρ.)

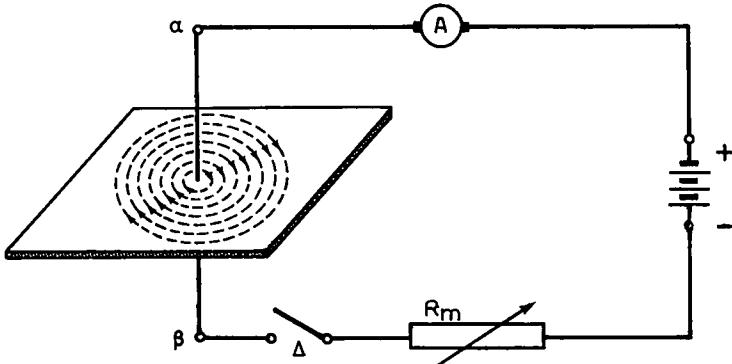
#### ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

##### ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΚΥΚΛΩΜΑ Η.Λ. ΜΗΧΑΝΗΣ – ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΙ ΠΟΛΟΙ – ΔΙΕΓΕΡΣΗ

###### 1.1 Γενικά.

Σε κάθε ευθύγραμμο αγωγό **αβ**, όταν από αυτόν περάσει ηλεκτρικό ρεύμα, σχηματίζεται γύρω του μαγνητικό πεδίο, που η μορφή του φαίνεται στο σχήμα 1.1α. Όταν τον ευθύγραμμο αγωγό τον λυγίσουμε πάνω σε ένα κυλινδρικό τύμπανο, τότε σχηματίζεται ένα σωληνοειδές ή πηνίο. Αν το πηνίο τροφοδοτηθεί με ηλεκτρικό ρεύμα, τότε στο εσωτερικό του δημιουργείται μαγνητικό πεδίο, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.1β. Το πηνίο συμπεριφέρεται σαν μόνιμος μαγνήτης κατά τη διάρκεια που αυτό είναι ρευματοφόρο. Τα χαρακτηριστικά του μαγνητικού πεδίου του μεταβάλλονται όταν:

α) Στο χώρο που αναπτύσσεται (το μαγν. πεδίο) τοποθετήσουμε ένα κορμάτι από κατάλληλο σιδηρομαγνητικό υλικό.



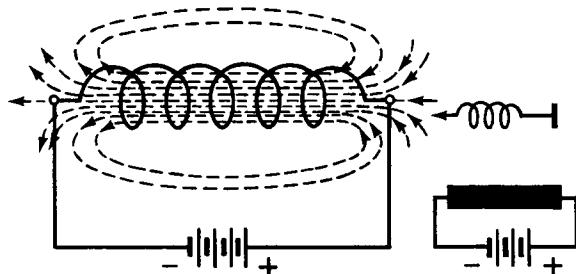
Σχ. 1.1α.

β) Ρυθμίζομε (αυξάνομε ή μειώνομε) την ένταση του ρεύματος που διέρχεται από αυτό.

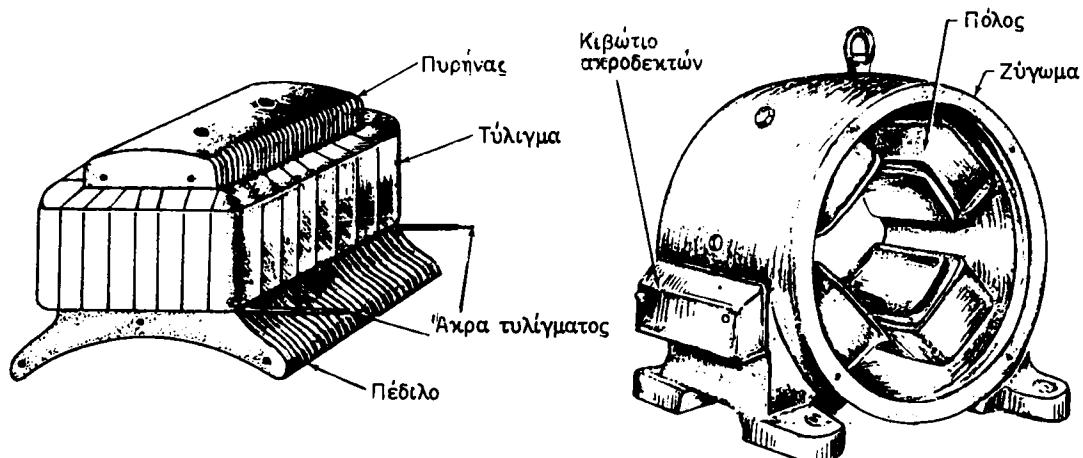
Η πολικότητα του μαγνητικού πεδίου του πηνίου εξαρτάται από τη φορά του ρεύματος που το διαρρέει και η έντασή του από τα αμπερελίγματα. Τα αμπερελίγματα ( $AW_m$ ) ενός πηνίου είναι το γινόμενο της εντάσεως του ρεύματος ( $I_m$ ) που διέρχεται από αυτό επί τον αριθμό των ελιγμάτων του πηνίου ( $W_m$ ):

$$\text{Αμπερελίγματα: } AW_m = I_m \cdot W_m$$

Απαραίτητη προϋπόθεση για να λειτουργήσει μια ηλεκτρική μηχανή είναι να αναπτύσσεται στο



Σχ. 1.1β.



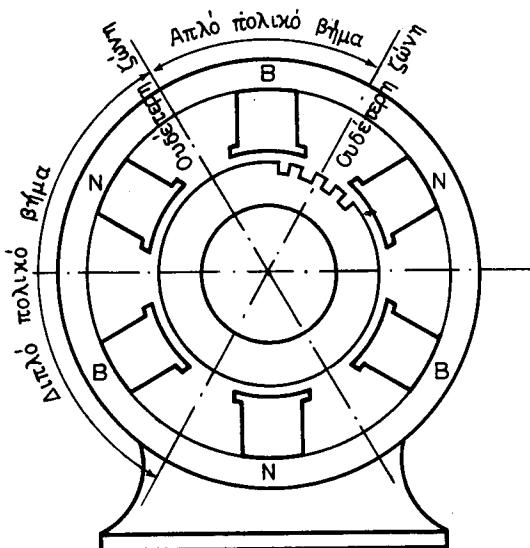
Σχ. 1.1γ.

χώρο που περιστρέφεται το επαγγειακό της τύλιγμα ένα μαγνητικό πεδίο που καλείται **διέγερση** της μηχανής. Οι μηχανές Σ.Ρ. κατασκευάζονται κατά κανόνα με περισσότερους από ένα ζευγάρι μαγνητικούς πόλους. Κάθε μαγνητικός πόλος έχει το πηνίο διεγέρσεώς του. Τα πηνία των μαγνητικών πόλων αποτελούν το **τύλιγμα διεγέρσεως** της μηχανής. Το τμήμα του μαγνητικού πόλου που περιέλιστεται από το πηνίο διεγέρσεως καλείται **πυρήνας** του. Το μέρος του πυρήνα, που είναι διαμορφωμένο σε κυλινδρική επιφάνεια και βρίσκεται απέναντι από το επαγγειακό τύμπανο της μηχανής, καλείται **πέδιλο** του πόλου, ενώ ο κορμός της μηχανής που ενώνει μηχανικά και μαγνητικά τους πόλους καλείται **ζύγωμα** της μηχανής (σχ. 1.1γ).

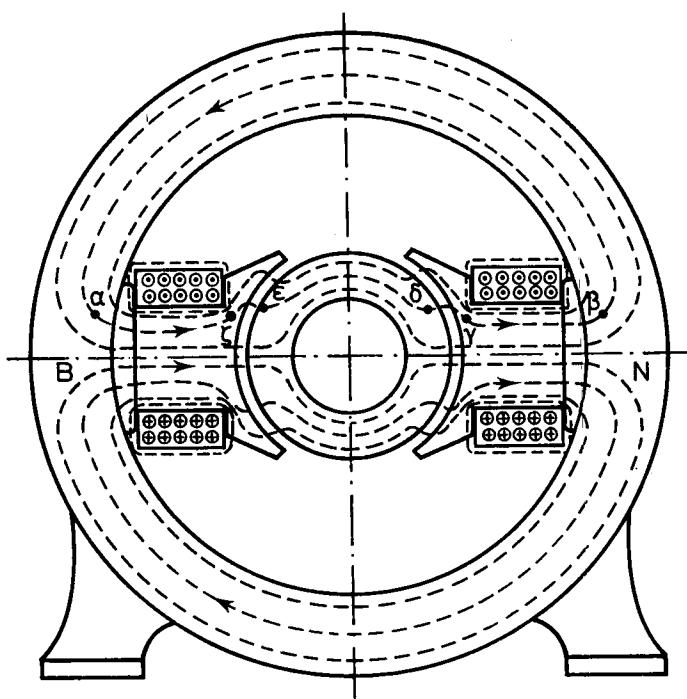
Η νοητή γραμμή που χωρίζει δύο διαδοχικούς πόλους καλείται **ουδέτερη ζώνη**. Το διάστημα μεταξύ ουδετέρων ζωνών καλείται **απλό πολικό βήμα** της μηχανής και δύο συνεχόμενα απλά πολικά βήματα αποτελούν **ένα διπλό πολικό βήμα** (σχ. 1.1β).

Στο σχήμα 1.1ε διακρίνεται η διαδρομή των μαγνητικών δυναμικών γραμμών (μαγνητικό κύκλωμα) μέσα από τη μάζα του επαγγειακού τυμπάνου, στα διάκενα μεταξύ του τυμπάνου και των πεδίλων των πόλων, από τους πυρήνες και το ζύγωμα. Η μαγνητική ροή ( $\Phi$ ) σε κάθε πόλο αυξάνει, όταν αυξάνουν τα αμπερελίγματα  $AW_m$  του κάθε πόλου. Η καρπύλη που παριστά τη συνάρτηση  $\Phi = F(AW_m)$  καλείται **μαγνητική χαρακτηριστική της μηχανής**.

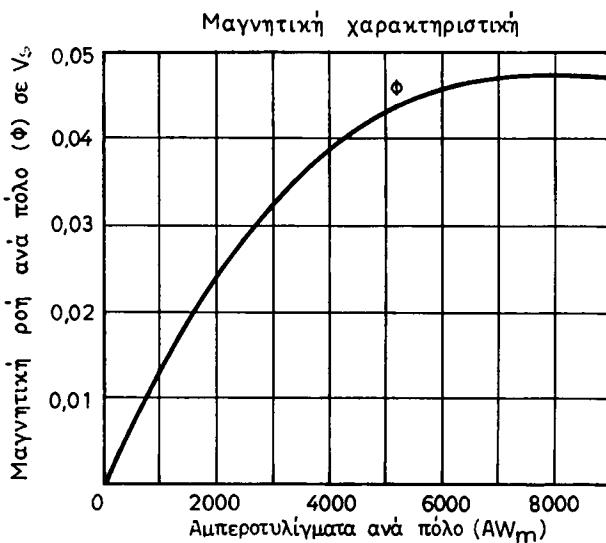
Η μαγνητική ροή είναι σχεδόν ανάλογη με τα αμπερελίγματα του πόλου (σχ. 1.1στ) μέχρι μια ορισμένη τιμή. Μετά από την τιμή αυτή έχομε μικρές μεταβολές της ροής σε μεγάλες μεταβολές της τιμής των αμπερελίγμάτων, επειδή η μαγνήτιση του υλικού έχει φθάσει **στο μαγνητικό κύρο**.



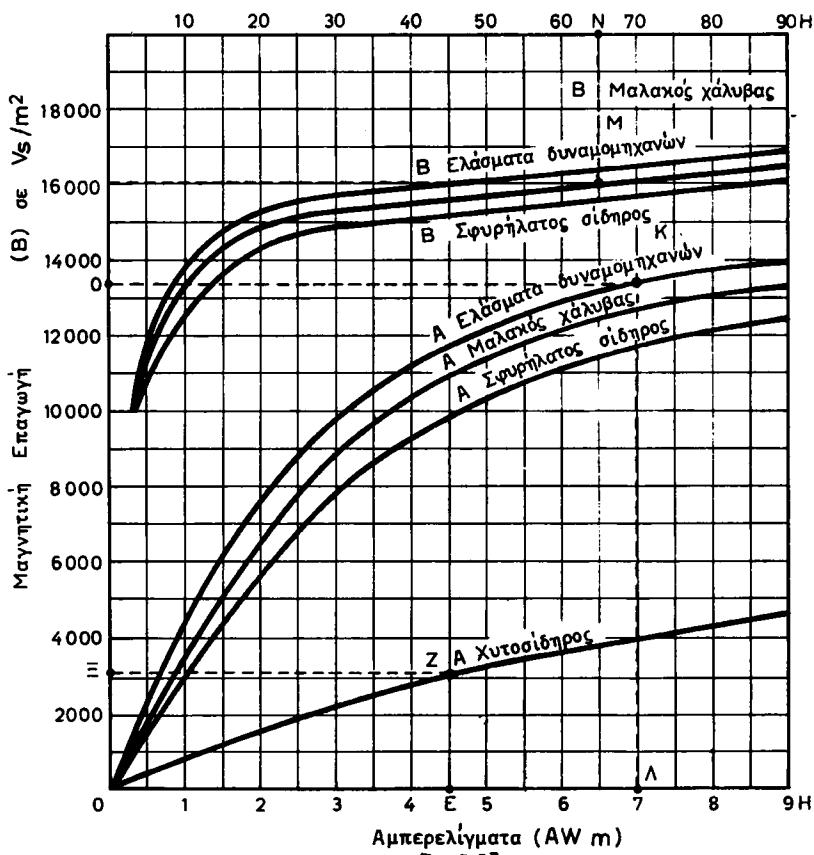
**Σχ. 1.1δ.**  
Ουδέτερες ζώνες – Πολικά βήματα  
ηλεκτρικής μηχανής.



**Σχ. 1.1ε.**  
Μαγνητικό κύκλωμα διπολικής ηλεκτρικής μηχανής.



Σχ. 1.1στ.



Σχ. 1.1ζ

Σμήνος χαρακτηριστικών καρμπουλών μαγνητίσεως.

Η μαγνητική χαρακτηριστική της μηχανής έχει ουσιαστική σημασία τόσο για τη μελέτη των ιδιότητών λειτουργίας, όσο και για την κατασκευή της. Για να προσδιορίσουμε τη μαγνητική χαρακτηριστική πρέπει να διαλέξουμε την τιμή της μαγνητικής επαγωγής από τις καμπύλες  $B = F(AW_m)$  του σχήματος 1.1ζ, που αντιστοιχούν στα σιδηρομαγνητικά υλικά του στάτη (ζύγωμα, πυρήνες και πέδιλα πόλων), του πυρήνα του τυμπάνου και για τα διάκενα του αέρα τη μαγνητική επαγωγή από τη σχέση  $B = \mu H_\delta$ . Σύμφωνα με τη σχέση  $\Phi = B \cdot S$  και με το νόμο του διαρεύματος έχουμε τα ζεύγη των τιμών  $\Phi - AW_m$  της μαγνητικής χαρακτηριστικής.

Για να περάσει μέσα από το τύλιγμα του επαγωγικού τυμπάνου, ορισμένη μαγνητική ροή ( $\Phi$ ). Ώστε να αναπυχθεί κάτω από ορισμένες συνθήκες ΗΕΔ Ε σύμφωνα με τη γνωστή σχέση, από τη θεωρία των ηλεκτρικών μηχανών:

$$E = \frac{p \cdot s \cdot w}{a \cdot 60} \cdot \Phi \cdot \eta$$

απαιτούνται από κάθε πόλο αμπερελιγμάτων  $AW_m$ . Ο υπολογισμός των αμπερελιγμάτων  $AW_m$  εξαρτάται από τις μαγνητεγερτικές δυνάμεις που απαιτούνται για να περάσουν οι μαγνητικές δυναμικές γραμμές (σχ. 1.1ε):

- Από τό ζύγωμα (μέση μαγνητική δυναμική γραμμή α-β και ζ-α).
- Από τον πυρήνα (μέση μαγνητική δυναμική γραμμή β-γ).
- Από τον ατμοσφαιρικό αέρα του διακένου μεταξύ επιφάνειας του πεδίλου μαγνητικού πόλου και επιφάνειας επαγωγικού τυμπάνου (μέση μαγνητική δυναμική γραμμή γ-δ και ε-ζ) και δια του επαγωγικού τυμπάνου (μέση μαγνητική δυναμική γραμμή δ-ε).

Αυτά ισχύουν με την προϋπόθεση ότι η μαγνητική επαγωγή είναι **σταθερή** σε ολόκληρο το μήκος της μέσης μαγνητικής δυναμικής γραμμής του καθενός από τα παραπάνω τμήματα του μαγνητικού κυκλώματος.

## 1.2 Ασκήσεις.

1. a) Πραγματοποιήστε τη συνδεσμολογία του αγωγού με την πηγή Σ.Ρ. (σχ. 1.1α) έτσι, ώστε το ρεύμα να έχει φορά από το πάνω άκρο του αγωγού (α) προς τα κάτω (β). Ρυθμίστε την τιμή του ρεύματος διά του αγωγού (π.χ. 20 ÷ 50 A) αναταράζοντας ελαφρά το χαρτόνι με τα ρινίσματα του σιδήρου ώσπου αυτά να τακτοποιηθούν σε κλειστές γραμμές. Οι γραμμές αυτές παριστάνουν το μαγνητικό φάσμα.  
β) Πλησιάστε στο ρευματοφόρο αγωγό μαγνητική πυξίδα. Διαπιστώστε την ύπαρξη του μαγνητικού πεδίου και τη φορά του. Στη συνέχεια να αλλάξετε τη φορά του ρεύματος στον αγωγό, από κάτω προς τα πάνω και να διαπιστώσετε με την πυξίδα την αλλαγή της φοράς του μαγνητικού πεδίου.  
γ) Σχεδιάστε στο τετράδιο σας το κύκλωμα της ασκήσεως. Σημειώστε τα στοιχεία των οργάνων και συσκευών που χρησιμοποιήσατε και περιγράψτε συνοπτικά τους χειρισμούς που πραγματοποιήσατε, τις παρατηρήσεις και τα συμπεράσματά σας.
2. a) Τροφοδοτήστε το πηνίο που σας δοθεί με Σ.Ρ. και στη συνέχεια με τη μαγνητική πυξίδα προσδιορίστε τους πόλους του πηνίου. Αλλάξτε τη φορά του ηλεκτρικού ρεύματος στο πηνίο και παρατηρήστε με τη μαγνητική πυξίδα την αλλαγή των πόλων.  
Επαληθεύστε την πολικότητα, που παρατηρήσατε με τη μαγνητική πυξίδα στο πηνίο, με τον κανόνα του δεξιόστροφου κοχλία (σχ. 1.1β).  
β) Στην προηγούμενη περίπτωση να ρυθμίσετε (να αυξήσετε ή να μειώσετε) την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος έτσι, ώστε να αντιληφθείτε ότι η ελ-

κτική δύναμη, που ασκείται στους πόλους του πινίου, είναι ανάλογη με το ρεύμα που το διαρρέει.

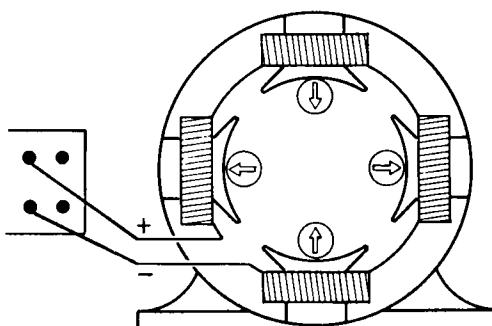
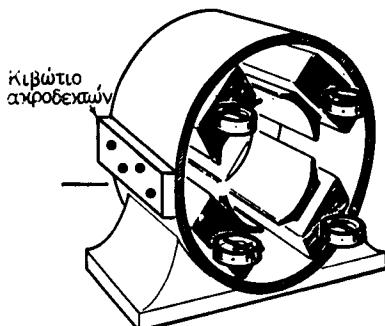
γ) Στο παραπάνω πινίο να τοποθετήσετε διαδοχικά 2 πυρήνες με πολύ διαφορετικούς συντελεστές μαγνητικής διαπερατότητας και να παρατηρήσετε την επίδραση που ασκεί ο πυρήνας στη μαγνήτισή του.

δ) Σχεδιάστε στο τετράδιό σας το κύκλωμα της ασκήσεως. Περιγράψτε συνοπτικά τους χειρισμούς που πραγματοποιήσατε, τις παρατηρήσεις και τα συμπεράσματά σας.

**3. a)** Αναγνωρίστε τα τυλίγματα των πόλων της ηλεκτρικής μηχανής Σ.Ρ. που θα σας δοθεί.

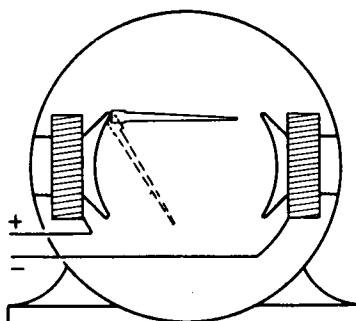
Να τοποθετήσετε στο κιβώτιο ακροδεκτών όπως στο σχήμα 1.2α, τα άκρα του τυλίγματος διεγέρσεως, αφού προηγουμένως τα έχετε συνδέσει σε σειρά και με τέτοιο τρόπο, ώστε να σχηματίζονται διαδοχικά ετερώνυμοι μαγνητικοί πόλοι. Για την εργασία αυτή να χρησιμοποιήστε τον κανόνα του δεξιόστροφου κοχλία.

β) Να τροφοδοτήσετε το τύλιγμα διεγέρσεως με Σ.Ρ. και με τη βοήθεια μιας μικρής μαγνητικής πυξίδας να πραγματοποιήσετε έλεγχο για τη διαδοχή των ετερωνύμων μαγνητικών πόλων, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.2β.



Σχ. 1.2α.

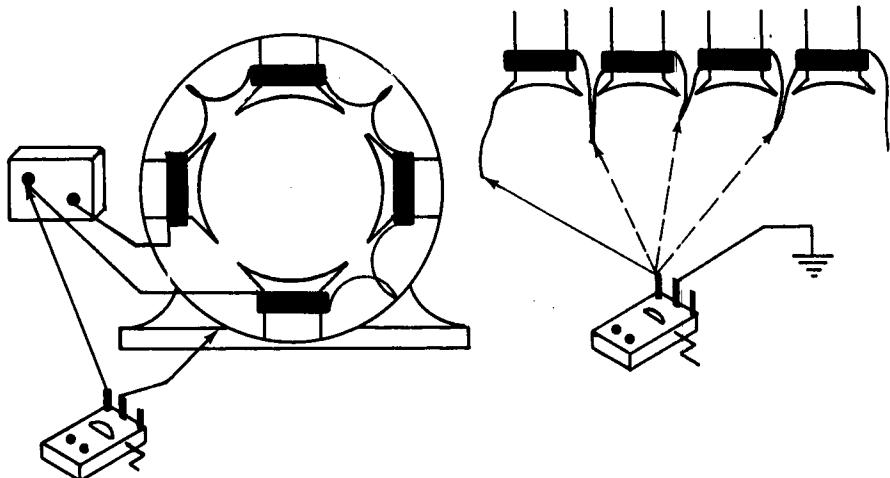
Σχ. 1.2β.



Σχ. 1.2γ.

γ) Επαναλάβετε τον έλεγχο των μαγνητικών πόλων με τη μέθοδο της καρφίδας, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.2γ.

- δ) Σχεδιάστε στο τετράδιό σας το ισοδύναμο κύκλωμα της ασκήσεως. Αναφέρετε τις παρατηρήσεις και τα συμπεράσματά σας από την άσκηση.
- 4.** Με κατάλληλο ωμόμετρο ελέγξτε τη μόνωση του τυλίγματος διεγέρσεως της μηχανής συνεχούς ρεύματος που θα σας δοθεί, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.2δ.



Σχ. 1.2δ.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

### ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ Σ.Ρ. – ΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ ΞΕΝΗΣ ΔΙΕΓΕΡΣΕΩΣ

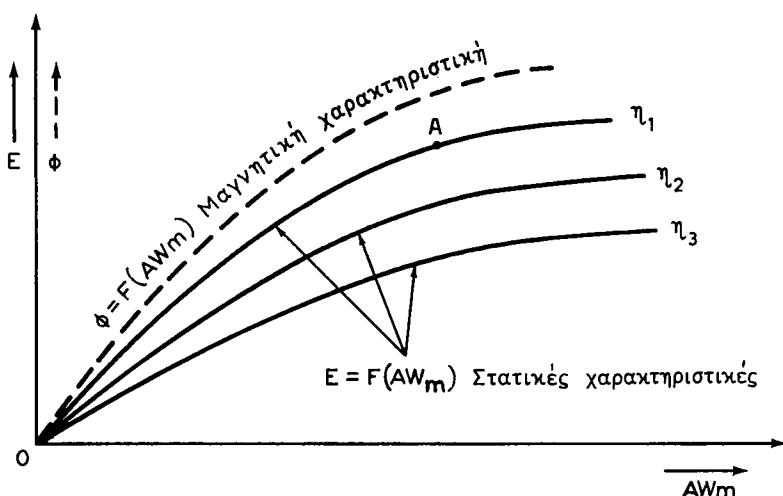
#### 2.1 Λειτουργία χωρίς φορτίο.

Όταν γνωρίζομε τη μαγνητική χαρακτηριστική μιας γεννήτριας, μπορούμε να καθορίσουμε για κάθε τιμή της εντάσεως του ηλεκτρικού ρεύματος διεγέρσεως, δηλαδή από τα αμπερελιγμάτα κάθε πόλου, την ΗΕΔ Ε σύμφωνα με τη σχέση:

$$E = \frac{p \cdot s \cdot w}{a \cdot 60} \cdot \Phi \cdot n$$

(για ορισμένο αριθμό στροφών ανά λεπτό και σε λειτουργία της γεννήτριας χωρίς φορτίο). Η ΗΕΔ Ε καλείται στατική ΗΕΔ. Η συνάρτηση  $E = F(AW_m)$  καλείται **στατική χαρακτηριστική της γεννήτριας**.

Στο σχήμα 2.1 φαίνονται οι στατικές χαρακτηριστικές γεννήτριας, που λειτουργεί με διάφορους αριθμούς στροφών  $n_1$ ,  $n_2$ ,  $n_3$ , ...



Σχ. 2.1.

Είναι δυνατό να έχομε τόσες στατικές χαρακτηριστικές, όσες είναι οι πιθανές στροφές της μηχανής ανά λεπτό, αντίθετα η **μαγνητική χαρακτηριστική είναι μία και μόνη για κάθε μηχανή**.

Από τη μαγνητική χαρακτηριστική των γεννητριών προκύπτει ότι σε κάθε τιμή αμπερελιγμάτων  $AW_m$  αντιστοιχεί ορισμένη τιμή μαγνητικής ροής  $\Phi$  και από τη σχέση υπολογισμού της ΗΕΔ συμπεραίνεται ότι για μια τιμή αμπερελιγμάτων η ΗΕΔ είναι ανάλογη με τον αριθμό στροφών που λειτουργεί η γεννήτρια.

Η σημασία της στατικής χαρακτηριστικής τής γεννήτριας έχει την ίδια ουσιαστική σημασία που έχει και η μαγνητική χαρακτηριστική, όπως γνωρίζαμε στο πρώτο κεφάλαιο.

Από τη στατική χαρακτηριστική η, φαίνεται ότι η λειτουργία της γεννήτριας με κανονικό αριθμό στροφών πρέπει να καθορισθεί λίγο δεξιότερα από το σημείο Α (σχ. 2.1), που αρχίζει το γόνατο της καμπύλης. Λειτουργία με τις πιο πάνω συνθήκες κάτω από το γόνατο φανερώνει ότι η γεννήτρια είναι αντιοκονομική, δηλαδή έχει κατασκευασθεί με μεγαλύτερες διαστάσεις (περίσσιο μαγνητικό υλικό), ενώ λειτουργία πολύ πιο δεξιά από το σημείο Α, φανερώνει ότι η γεννήτρια λειτουργεί με ισχυρό μαγνητικό κόρο, πράγμα που σημαίνει ότι έχει σημαντικές απώλειες και επί πλέον απαιτείται αυξημένο τύλιγμα.

## 2.2 Λειτουργία με φορτίο.

Όταν μια γεννήτρια λειτουργεί χωρίς φορτίο, δηλαδή με ανοικτό το εξωτερικό της κύκλωμα, τότε αυτή αναπτύσσει σε ορισμένες στροφές ανά λεπτό μια ΗΕΔ, που προέρχεται από όλα τα διαθέσιμα αμπερελίγματα των πόλων της και αυτή είναι η **στατική ΗΕΔ** Ε.

Στην περίπτωση που το εξωτερικό κύκλωμα της γεννήτριας είναι κλειστό και λειτουργεί με ορισμένο ηλεκτρικό ρεύμα φορτίσεως, τα διαθέσιμα αμπερελίγματα κάθε πόλου μειώνονται από τα αντίθετα αμπερελίγματα του τυμπάνου, που δημιουργούνται στο τύλιγμά του από το ρεύμα φορτίσεως

$$I_a = \frac{I_\phi}{2a} \text{ που το διαρρέει.}$$

Η ΗΕΔ της γεννήτριας τότε πέφτει σε μικρότερη τιμή, που την ονομάζομε **δυναμική ΗΕΔ**  $E_\phi$  ή ΗΕΔ με φορτίο.

Η συνάρτηση  $E_\phi = F(AW_m)$  που προκύπτει για λειτουργία της γεννήτριας με φορτίο καλείται **δυναμική χαρακτηριστική**. Η τιμή της δυναμικής ΗΕΔ είναι  $E_\phi = E - U_a$ , όπου  $U_a$  η πτώση της τάσεως που οφείλεται στα αντίθετα αμπερελίγματα του τυμπάνου. Κάτω από αυτές τις συνθήκες λειτουργίας της γεννήτριας, αν συνδέσουμε στους πόλους της ένα βολτόμετρο, την τάση που θα μετρήσουμε την ονομάζομε **πολική τάση** και ισούται με τη δυναμική ΗΕΔ  $E_\phi$  μειωμένη κατά την αρική πτώση τάσεως ( $RI_\phi$ ) μέσα στο τύλιγμα του τυμπάνου. Το R είναι η ισοδύναμη αντίσταση του τυμπάνου και το  $I_\phi$  το συνολικό ρεύμα φορτίσεως. Σε αυτή προσθέτομε ακόμα και μια αρική πτώση τάσεως κατά τη διάβαση του ρεύματος από την επιφάνεια επαφής μεταξύ των ψηκτρών και του συλλέκτη.

Επομένως πολική τάση:

$$U = E_\phi - RI_\phi$$

ή

$$U = E - (U_a + RI_\phi).$$

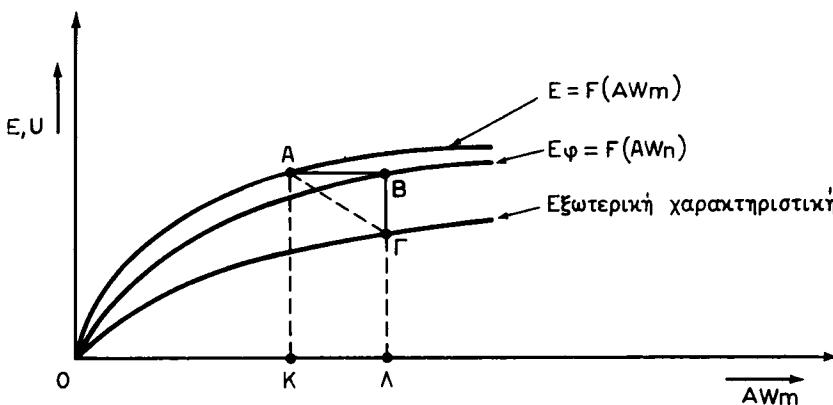
Από τα παραπάνω φαίνεται ότι η πολική τάση μιας γεννήτριας μεταβάλλεται με το ηλεκτρικό ρεύμα φορτίσεως, γιατί τα αντίθετα αμπερελίγματα του τυμπάνου και η αρική πτώση τάσεως μέσα σ' αυτό είναι ανάλογα με το ρεύμα φορτίσεως  $I_\phi$ .

## 2.3 Εξωτερική χαρακτηριστική.

Η στατική χαρακτηριστική της γεννήτριας με τον κανονικό αριθμό στροφών της αποτελεί τη βάση για να προχωρήσουμε στη μελέτη της εξωτερικής χαρακτηριστικής, π.χ. όταν στους πόλους της γεννήτριας διαθέτουμε (OK) αμπερελίγματα (σχ. 2.3), έχουμε μία στατική ΗΕΔ (KA) σε λειτουργία χωρίς φορτίο. Όταν συνδέσουμε τη γεννήτρια με φορτίο, που αντιστοιχεί σε ρεύμα  $I_\phi$ , τότε το τύλιγμα του τυμπάνου αντιδρά με τα αντίθετα αμπερελίγματα του (AB) (σχ. 2.3). Για να έχουμε μια δυναμική ΗΕΔ  $E_\phi$  ίση με την προηγούμενη στατική ΗΕΔ E, πρέπει να διαθέτουμε στους πόλους της γεννήτριας περισσότερα αμπερελίγματα (OL) από τα (OK). Από το σημείο A της στατικής χαρακτηριστικής βρίσκομε αντίστοιχα το σημείο B της δυναμικής χαρακτηριστικής (σχ. 2.3).

Το σημείο της χαρακτηριστικής αυτής προκύπτει με μετατόπιση του σημείου της στατικής χαρακτηριστικής προς τα δεξιά ανάλογα προς το ρεύμα φορτίσεως  $I_\phi$ .

Για να προσδιορίσουμε την πολική τάση της γεννήτριας πρέπει να αφαιρέσουμε από τη δυναμική ΗΕΔ (ΛΒ) την πτώση τάσεως, που αναπτύσσεται μέσα στο τύλιγμα του τυμπάνου ( $RI_\phi$ ). Η τάση αυτή αντιστοιχεί στο διάγραμμα του σχήματος 2.3 με το ευθύγραμμο τμήμα (ΒΓ). Τα διάφορα σημεία



Σχ. 2.3.

Για προκύπτουν με διαδοχικές φορτίσεις της γεννήτριας, καθορίζουν την **εξωτερική χαρακτηριστική** της. Η χαρακτηριστική αυτή βρίσκεται πάντοτε κάτω από τη δυναμική χαρακτηριστική.

Τα σημεία  $A$ ,  $B$  και  $\Gamma$  σχηματίζουν στο διάγραμμα των χαρακτηριστικών ένα ορθογώνιο τρίγωνο  $AB\Gamma$  που το καλούμε **χαρακτηριστικό τρίγωνο** της γεννήτριας. Η μία κάθετη πλευρά του  $AB$  είναι παράλληλη προς τον άξονα των αμπερελιγμάτων παριστάνει (με κλίμακα σχεδιάσεως) τα αντίθετα αμπερελιγμάτα του τυλίγματος του τυμπάνου και το μήκος της είναι ανάλογο με το ρεύμα φορτίσεως. Το ίδιο συμβαίνει και με την άλλη κάθετη πλευρά  $B\Gamma$  που παριστάνει την εσωτερική πτώση τάσεως και αυτή είναι ανάλογη με το ρεύμα φορτίσεως.

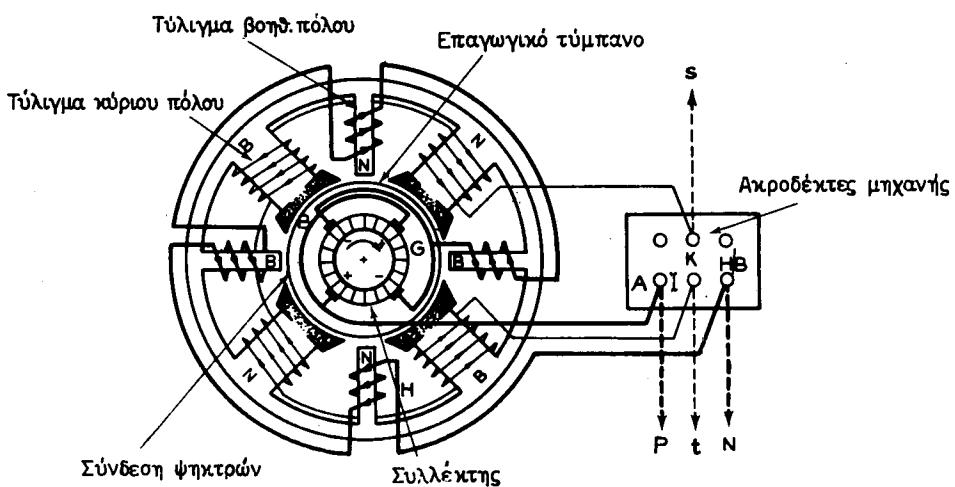
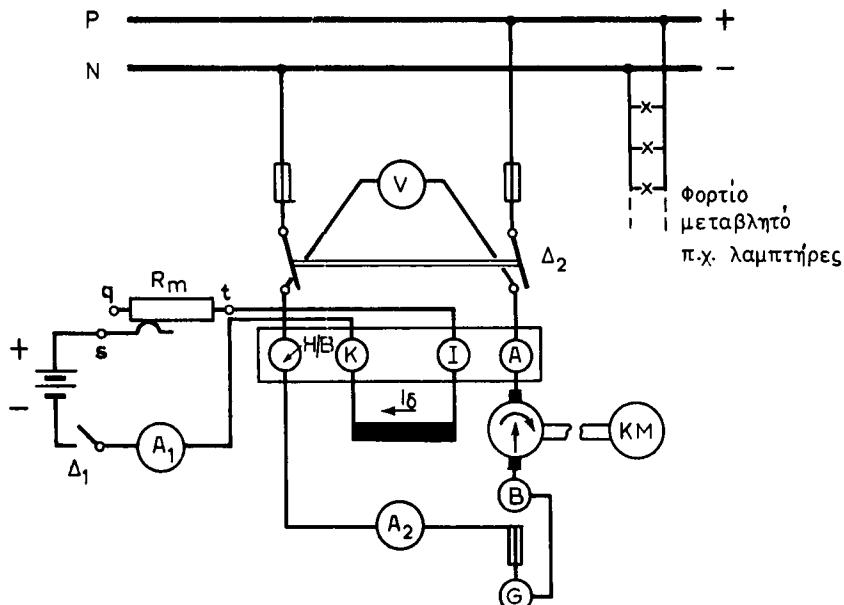
Το χαρακτηριστικό τρίγωνο  $AB\Gamma$  σε μία ορισμένη γεννήτρια μένει πάντοτε όμοιο προς **εαυτό**, η μορφή του τριγώνου είναι πάντοτε η ίδια, ενώ το μέγεθός του καθορίζεται κάθε φορά από την τιμή του ρεύματος φορτίσεως  $I_\Phi$ .

Η κορυφή  $A$  του χαρακτηριστικού τριγώνου βρίσκεται πάντοτε επάνω στη στατική χαρακτηριστική, η κορυφή  $B$  επάνω στη δυναμική χαρακτηριστική και η κορυφή  $\Gamma$  επάνω στην εξωτερική χαρακτηριστική της γεννήτριας.

## 2.4 Γεννήτριες με ξένη διέγερση.

Κατασκευαστικά οι γεννήτριες με ξένη διέγερση είναι ίδιες με τα άλλα είδη των γεννητριών. Διαφέρουν όμως στον τρόπο της διεγέρσεώς τους. Για να λειτουργήσει η γεννήτρια αυτή χρειαζόμαστε μια πηγή Σ.Ρ., που είναι είτε συστοιχία από συσσωρευτές, είτε ακόμα και μια μικρή αυτοδιεγειρόμενη γεννήτρια. Από την πηγή του Σ.Ρ. τροφοδοτείται το τύλιγμα της διεγέρσεως ανεξάρτητα από το τύλιγμα του επαγγύμοιού της. Το ρεύμα της διεγέρσεως ρυθμίζεται με ροοστάτη ( $R_m$ ) που συνδέομε στροφές κύκλωμα αυτό. Στο σχήμα 2.4α φαίνεται η συνδεσμολογία των κυκλωμάτων της γεννήτριας αυτής.

Σε κάθε γεννήτρια, σύμφωνα με όσα αναφέραμε στα προηγούμενα, μας ενδιαφέρει να γνωρίζομε τελικά όχι την εξωτερική χαρακτηριστική της, αλλά τη χαρακτηριστική που δίνει την πολική τάση για κάθε ηλεκτρικό ρεύμα φορτίσεως  $U = F(I_\Phi)$ . Αυτή τη χαρακτηριστική την ονομάζουμε **χαρακτηριστική φορτίσεως** και χαράσσεται κατά τον ακόλουθο τρόπο: Πέρνομε ως δεδομένα, τη στατική χαρακτηριστική με σταθερές στροφές  $n$ , και σταθερά αμπερελιγμάτα ( $AW_m = OK$ ) στους πόλους, (σχήμα 2.4β). Ακόμα πέρνομε ως γνωστό το χαρακτηριστικό τρίγωνο  $AB\Gamma$  που αντιστοιχεί σε ρεύμα φορτίσεως  $I_1$ , του οποίου, όπως έχομε αναφέρει στην προηγούμενη παράγραφο, η κορυφή του  $A$  βρίσκεται επάνω στη στατική χαρακτηριστική και η πλευρά του  $B\Gamma$  αποτελεί τμήμα της κατακόρυφης που περνά από το σημείο  $K$  του άξονα των αμπερελιγμάτων. Το τρίγωνο δηλαδή χαράσσεται μεταξύ της στατικής χαρακτηριστικής και της κατακόρυφης από το σημείο  $K$ . Στο σχήμα 2.4β το  $(K\Gamma)$  παριστάνει την τάση  $U_1$  που αντιστοιχεί σε ρεύμα φορτίσεως  $I_1$ . Όταν το ρεύμα φορτίσεως γίνει  $2 I_1$ , τότε έχομε το τρίγωνο  $A'B'\Gamma'$  όπου  $(A'B') = 2 (AB)$ . Χαράσσομε το  $A'B'\Gamma'$  κατά τον ίδιο τρόπο με το  $AB\Gamma$ . Από αυτό προκύπτει ότι σε ρεύμα  $2 I_1$  αντιστοιχεί τάση  $U_2 = (K\Gamma')$ . Κατ' αυτό τον τρόπο χαράσσεται ση-



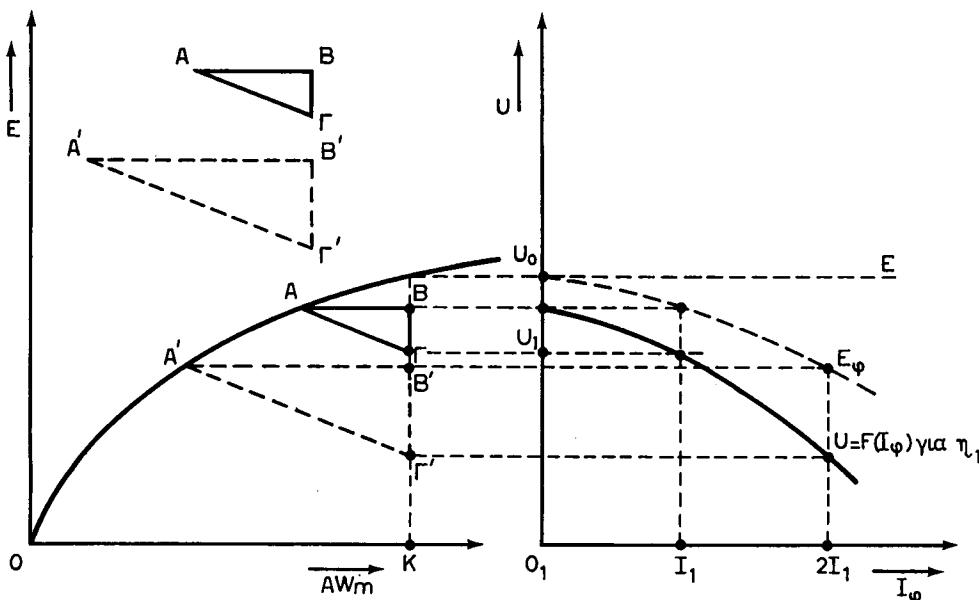
Σχ. 2.4a.

Συνδεσμολογία γεννήτριας με ξένη διέγερση.

K-I = Διέγερση, BG-H = Βοηθητικοί πόλοι, KM = Κινητήρια μηχανή.

μειο προς σημείο στο δεξιό σύστημα των ορθογωνίων αξόνων του σχήματος 2.4β η ζητούμενη χαρακτηριστική φορτίσεως  $U = F(I_{\phi})$  με σταθερό ρεύμα διεγέρσεως και σταθερές στροφές  $n_1$ .

Από τη χαρακτηριστική φορτίσεως μιας γεννήτριας ξένης διεγέρσεως φαίνεται ότι όσο το ηλεκτρικό ρεύμα της φορτίσεως αυξάνει, τόσο μειώνεται η πολική τάση. Από αυτό συμπεραίνεται ότι η ισχύς αυτής της γεννήτριας δεν μεταβάλλεται απότομα με τις μεταβολές της φορτίσεως. Το χαρακτηριστικό αυτό αποτελεί στοιχείο ευνοϊκό για την κινητήρια μηχανή της γεννήτριας (KM), γιατί έτσι προλαβίνει να προσαρμόζεται στις μεταβολές του φορτίου. Δηλαδή επιτυγχάνεται **ευσταθής λειτουργία**.

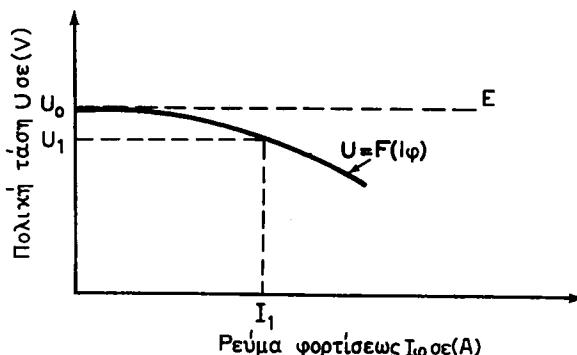


Σχ. 2.4β.

Η διαφορά των τάσεων  $U_0 - U_1$ , που παρουσιάζεται κατά τη λειτουργία της γεννήτριας με ρεύμα φορτίσεως  $I_1$ , (σχ. 2.4γ) ονομάζεται **πτώση τάσεως** της γεννήτριας. Η  $U_0$  είναι η πολική τάση χωρίς φορτίο και ισούται με την ΗΕΔ  $E$ . Η  $U_1$  είναι η πολική τάση που αντιστοιχεί σε φορτίο  $I_1$ . Η πτώση τάσεως συνηθέστερα εκφράζεται σε εκατοσταία ποσοστά της ΗΕΔ, δηλαδή:

$$\epsilon = \frac{U_0 - U_1}{U_1} \cdot 100\%$$

Όταν η γεννήτρια λειτουργεί με τις κανονικές της στροφές και το κανονικό της ηλεκτρικό ρεύμα διεγέρσεως, η πτώση τάσεως ανέρχεται σε  $5 \div 10\%$  για κανονική φόρτιση.



Σχ. 2.4γ.

Το ποσοστό παρουσιάζεται μεγαλύτερο στις γεννήτριες που λειτουργούν με μετάθεση των ψητρών και μικρότερο σε εκείνες που λειτουργούν με τις ψήκτρες στην ουδέτερη ζώνη και έχουν μαγνητικούς πόλους αντισταθμίσεως.

Στην πράξη η χρησιμοποίηση των γεννήτριών με ξένη διέγερση είναι περιορισμένη, γιατί απαιτείται ξεχωριστή πηγή για την τροφοδότηση της διεγέρσεως. Γι' αυτό προτιμούνται οι αυτοδιεγειρόμενες γεννήτριες, όπως θα αναφέρομε στα επόμενα κεφάλαια.

Ιδιαίτερη όμως εφαρμογή έχει η γεννήτρια με ξένη διέγερση ως διεγέρτρια σε μεγάλες σύγχρονες μηχανές, γιατί παρουσιάζει σταθερή τάση με τη φόρτιση, συγκρινόμενη με άλλα είδη γεννήτριων, και στον κινητήρα ξένης διεγέρσεως στη ζεύξη Ward-Leonard, που θα αναφέρομε στο αντίστοιχο κεφάλαιο των κινητήρων Σ.Ρ.

## 2.5 Ασκήσεις.

**1. α)** Στο κιβώτιο ακροδεκτών μιας γεννήτριας, που θα σας δοθεί στο Εργαστήριο, αναγνωρίστε τα άκρα των τυλιγμάτων της διεγέρσεως, των βοηθητικών πόλων και του επαγώγιμου. Χρησιμοποιήστε για την εργασία αυτή ένα ωμόμετρο ή ένα ενδεικτικό λαμπτήρα (δοκιμαστικό).

**β)** Παρατηρήστε το σύστημα της ρυθμιστικής αντιστάσεως που θα χρησιμοποιήσετε στη διέγερση. Ξεχωρίστε τη μεσαία λήψη από τα άκρα της.

**γ)** Σημειώστε τα απαραίτητα στοιχεία από τον πίνακα της γεννήτριας και με βάση αυτά ελέγξτε την καταλληλότητα των οργάνων, που σας έχουν διατεθεί από το Εργαστήριο, για να τα συνδεσμολογήσετε σε αυτή.

**δ)** Πραγματοποιήστε τη συνδεσμολογία των κυκλωμάτων της γεννήτριας δημιουργώντας το σχήμα 2.4a. (Προσοχή στη συνδεσμολογία των οργάνων).

**ε)** Θέστε σε κίνηση την κινητήρια μηχανή και ρυθμίστε τις στροφές της στον ονομαστικό αριθμό στροφών της γεννήτριας. Κάνετε τον έλεγχο των στροφών με στροφόμετρο.

**στ)** Κλείστε το διακόπτη  $\Delta_1$ , της διεγέρσεως. (Προσοχή ο διακόπτης  $\Delta_2$  παραμένει ανοικτός).

Πριν ακόμη τροφοδοτήσετε το κύκλωμα της διεγέρσεως με ρεύμα φροντίστε η ρυθμιστική αντίσταση  $R_m$  της διεγέρσεως να βρίσκεται δόλη μέσα στο κύκλωμα. Αυξομειώνοντας την αντίσταση της διεγέρσεως παρατηρήστε στο αμπερόμετρο  $A_1$  τη ρύθμιση του ηλεκτρικού ρεύματος διεγέρσεως. Παρατηρήστε στο βολτόμετρο ότι η αναπτυσσόμενη τάση είναι ανάλογη με το ηλεκτρικό ρεύμα της διεγέρσεως.

**ζ)** Σχεδιάστε στο τετράδιό σας τη συνδεσμολογία της γεννήτριας και το ισοδύναμο κύκλωμα της ασκήσεως. Αναφέρετε τις παρατηρήσεις και τα συμπεράσματά σας από τους χειρισμούς που πραγματοποιήσατε.

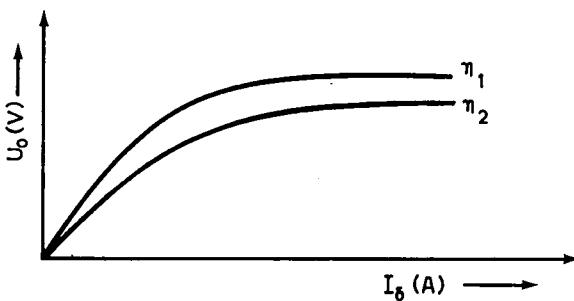
**2. α)** Χαράξτε τις στατικές χαρακτηριστικές για στροφές  $n_1$  και  $n_2$  της γεννήτριας της ασκήσεως 1. Για την εργασία αυτή ρυθμίστε τις στροφές της κινητήριας μηχανής στον ονομαστικό αριθμό. Μετρήστε αυτές με ένα στροφόμετρο και σημειώστε τον αριθμό τους στον πίνακα των αποτελεσμάτων 2.5.1 στη στήλη  $n_1$ . Ο διακόπτης  $\Delta_2$  του φορτίου (σχ. 2.4a) παραμένει ανοικτός. Αυξομειώστε την αντίσταση διεγέρσεως όπως στην προηγούμενη άσκηση. Σε κάθε μεταβολή της αντιστάσεως σημειώστε στον πίνακα των αποτελεσμάτων τις ενδείξεις του βολτομέτρου  $V$  και του αμπερόμετρου  $A_1$ . Να επαναληφθούν οι μετρήσεις με στροφές  $n_2$  κατά  $10 \div 20\%$  λιγότερες από τον ονομαστικό αριθμό στροφών της γεννήτριας.

**ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ 2.5.1**

$n_1 = \dots \dots \dots$ στρ/μιν	$n_2 = \dots \dots \dots$ στρ/μιν		
$E = U$ σε (V)	$I_\phi$ σε (A)	$E = U_0$ σε (V)	$I_\phi$ σε (A)
..	..	..	..
..	..	..	..
..	..	..	..

Από τον πίνακα των αποτελεσμάτων σημειώστε σε σύστημα αξόνων ( $U_0$ ,  $I_\phi$ ) τις συντεταγμένες των μετρήσεων. Οι καμπύλες που σχηματίζονται από τη συνένωση των σημείων αυτών (σχ. 2.5) είναι οι στατικές χαρακτηριστικές για στροφές  $n_1$  και  $n_2$ .

β) Στο τετράδιό σας περιγράψτε συνοπτικά την όλη εργασία σας με τα αποτελέσματα και τις παρατηρήσεις σας.



Σχ. 2.5.

3. a) Χαράξτε τη χαρακτηριστική φορτίσεως  $U = F(I_\phi)$  της γεννήτριας των ασκήσεων 1 και 2 με στροφές ίσες με το ονομαστικό αριθμό και ρεύμα διεγέρσεως ίσο με το ονομαστικό. Για την εργασία αυτή να θέσετε σε λειτουργία τη γεννήτρια και φροντίστε οι τιμές των στροφών και το ρεύμα της διεγέρσεως να παραμένουν σταθερές σε ολόκληρη τη διάρκεια των μετρήσεων. Στον πίνακα των αποτελεσμάτων 2.5.2 σημειώστε με ανοικτό το διακόπτη  $\Delta_2$  του φορτίου την ένδειξη του βολτόμετρου. Η τιμή αυτή αντιστοιχεί σχεδόν στη στατική ΗΕΔ  $E$ . Κλείστε το διακόπτη  $\Delta_2$  και στη συνέχεια ρυθμίστε το φορτίο έτσι, ώστε προοδευτικά να φθάσετε στην ονομαστική του τιμή. Σε κάθε ρύθμιση του φορτίου, σημειώστε τις ενδείξεις του βολτόμετρου  $V$  και αμπερόμετρου  $A_2$  (σχ. 2.2a) στον πίνακα των αποτελεσμάτων 2.5.2.

Από τις μετρήσεις που έχουν καταχωρισθεί στον πίνακα αποτελεσμάτων 2.5.2 σημειώστε σε σύστημα αξόνων τις συντεταγμένες των μετρήσεων ( $U$ ,  $I_\phi$ ). Συνδέστε τα σημεία αυτά μεταξύ τους. Η καμπύλη που σχηματίζεται είναι η χαρακτηριστική φορτίσεώς της:  $U = F(I_\phi)$  (2.4γ).

β) Στο τετράδιό σας περιγράψτε συνοπτικά την όλη εργασία σας. Χαράξτε τη

**ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ 2.5.2**

$I_\delta = \dots$	(A)
$U_0 = \dots$	V
$n = \dots$	στρ./min
$U$ (V)	$I_\phi$ (A)
.....	.....
.....	.....
.....	.....

χαρακτηριστική φοργίσεως (με κατάλληλη κλίμακα) και επαληθεύστε τα αποτελέσματα των μετρήσεων.

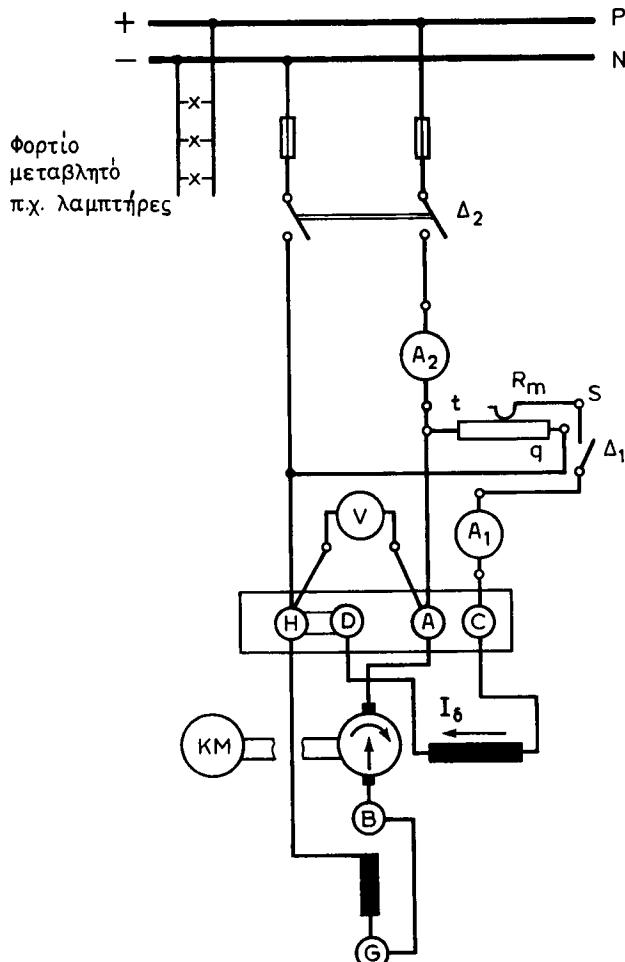
---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

### ΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ ΜΕ ΠΑΡΑΛΛΗΛΗ ΔΙΕΓΕΡΣΗ

#### 3.1 Γενικά.

Όπως μας είναι γνωστό μια γεννήτρια Σ.Ρ. αποτελείται από το **στάτη** (ή επαγωγέα) με τους μαγνητικούς πόλους, το **δρομέα** (ή επαγώγιμο) με το τύλιγμα του τυμπάνου και το **σύστημα παροχής** του ρεύματος (συλλέκτης και ψήκτρες). Στο σχήμα 3.1 έχουμε το διάγραμμα δύο φαίνεται η συνδεσμολο-



**Σχ. 3.1.**  
Συνδεσμολογία γεννήτριας με παράλληλη διέγερση.

για της γεννήτριας με παράλληλη διέγερση. Τα πηνία του τυλίγματος της διεγέρσεως είναι συνδεμένα μεταξύ τους σε σειρά και σε σειρά με αυτά είναι και ο ροοστάτης της διεγέρσεως (t-q-s).

Το σύνολο αυτών συνδέεται παράλληλα στα άκρα του επαγγελματικού τυμπάνου της γεννήτριας,

### 3.2 Χαρακτηριστική ευθεία – Κρίσιμος αριθμός στροφών.

Η γεννήτρια αυτή είναι μία μηχανή αυτοδιεγειρόμενη. Η αυτοδιέγερσή της πετυχαίνεται από τον «παραμένοντα μαγνητισμό» που φέρνει το σιδηρομαγνητικό υλικό των πυρήνων των πόλων ακόμη και όταν έχει διακοπεί η παροχή ηλεκτρικού ρεύματος στο τύλιγμα διεγέρσεως.

Η μαγνητική ροή του «παραμένοντος μαγνητισμού» είναι  $1 \div 2\%$  της κανονικής μαγνητικής ροής.

Η εκκίνηση της γεννήτριας γίνεται με την εξής διαδικασία:

Θέτομε σε λειτουργία την κινητήρια μηχανή. Ρυθμίζομε τις στροφές ώστε να ξεπεράσουν **τον κρίσιμο αριθμό στροφών** της γεννήτριας (οι διακόπτες του φορτίου  $\Delta_2$  και της διεγέρσεως  $\Delta_1$  είναι ανοικτοί). Κατόπιν κλείνομε το διακόπτη της διεγέρσεως  $\Delta_1$  (σχ. 3.1). Από τη μικρή ΗΕΔ. που αναπύσσεται στο τύλιγμα του επαγγύιμου, λόγω του μαγνητικού πεδίου του παραμένοντος μαγνητισμού των πόλων της γεννήτριας, το τύλιγμα της διεγέρσεως τροφοδοτείται με μικρό ηλεκτρικό ρεύμα  $I_\delta$ . Η φορά του ηλεκτρικού ρεύματος  $I_\delta$  πρέπει να είναι τέτοια, ώστε το μαγνητικό πεδίο που σχηματίζει αυτό να έχει την ίδια φορά με το μαγνητικό πεδίο του παραμένοντος μαγνητισμού, για να προστεθούν τα δύο μαγνητικά πεδία και να προκληθεί αύξηση της ΗΕΔ. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται ώστου η ΗΕΔ να φθάσει σε μια ορισμένη τιμή E. Η τελική τιμή E εξαρτάται από τις στροφές της γεννήτριας και από τη συνολική αντίσταση του κυκλώματος της διεγέρσεως ( $R_\delta + R_m$ ).

Όταν η γεννήτρια λειτουργεί χωρίς φορτίο, το επαγγελματικό της τύλιγμα διαρρέεται μόνο από το ρεύμα διεγέρσεως της  $I_\delta$  και είναι:

$$I_\delta = \frac{U}{R_m + R_\delta}$$

όπου  $R_\delta$  η αντίσταση του τυλίγματος της διεγέρσεως και  $R_m$  η αντίσταση του ροοστάτη της διεγέρσεως.

Το ρεύμα αυτό είναι περίπου  $1 \div 3\%$  του ρεύματος της κανονικής φορτίσεως της μηχανής και σε σπάνιες περιπτώσεις φθάνει το 5%.

Το χαρακτηριστικό τρίγωνο (ΑΒΓ) που αντιστοιχεί σε αυτό το ηλεκτρικό ρεύμα πρέπει να αποτελεί πρακτικά σημειο, δηλαδή το Γ να συμπίπτει με το Α. Επομένως για λειτουργία χωρίς φορτίο θα έχουμε  $U \cong E$ , οπότε:

$$I_\delta = \frac{E}{R_\delta + R_m}$$

Με το ρεύμα αυτό της διεγέρσεως τα αμπερελίγματα κάθε πόλου θα είναι:

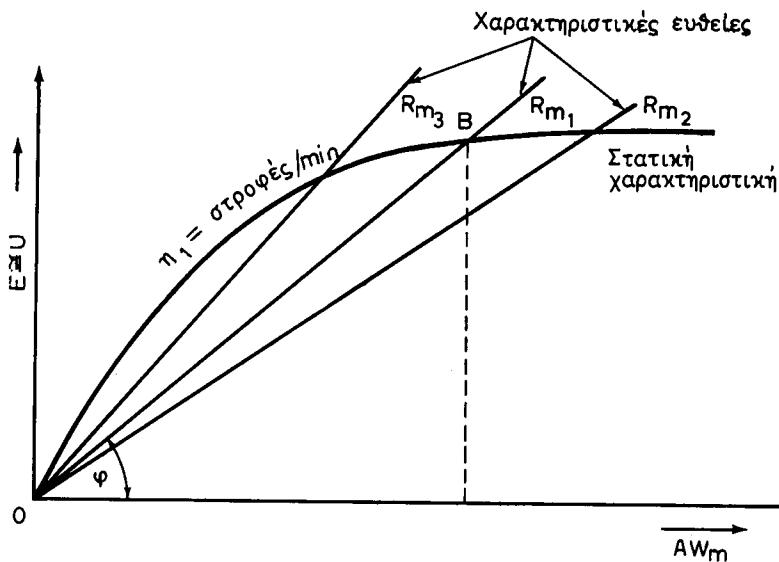
$$AW_m = I_\delta \cdot W_m = \left( \frac{W_m}{R_m + R_\delta} \right) \cdot E \quad \text{ή} \quad AW_m = K'E \quad \text{ή} \quad AW_m = K'U$$

$$\text{όπου } K' = \frac{W_m}{R_m + R_\delta}$$

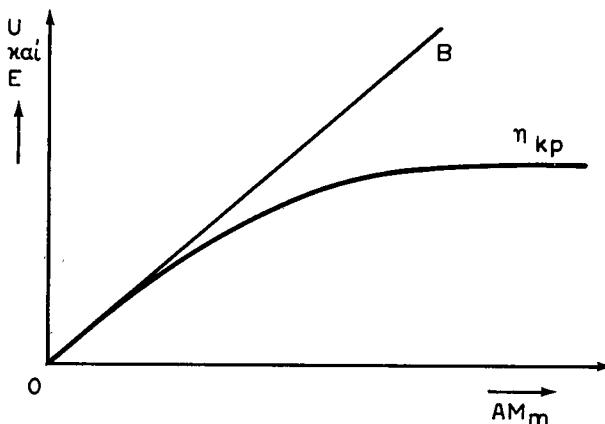
Η πολική τάση όπως φαίνεται είναι ευθέως ανάλογη προς τα αμπερελίγματα κάθε πόλου και η συνάρτηση  $U = F(AW_m)$  παριστάνεται με ευθεία OB (σχ. 3.2a) που καλείται **χαρακτηριστική ευθεία** της γεννήτριας. Η ευθεία αυτή σχηματίζει με τον άξονα  $AW_m$  γωνία  $\phi$  τέτοια, ώστε:

$$\epsilon\phi \phi = \frac{R_m + R_\delta}{W_m}$$

Η κλίση της χαρακτηριστικής ευθείας OB είναι καθορισμένη από τα κατασκευαστικά στοιχεία της



Σχ. 3.2α.



Σχ. 3.2β.

γεννήτριας, δηλαδή από τις τιμές της  $R_\delta$  και  $W_m$  (σπείρες του τυλίγματος) και μπορεί να μεταβληθεί η θέση της μόνο με την τιμή που θα πάρει η  $R_m$  (π.χ.  $R_{m_1}, R_{m_2}, R_{m_3}, \dots$ ). Η στατική χαρακτηριστική  $E = F(AW_m)$  πρέπει βέβαια να βρίσκεται επάνω από τη χαρακτηριστική ευθεία OB γιατί  $E > U$ . Στις περιπτώσεις που  $E = U$  το σημείο B της χαρακτηριστικής ευθείας είναι και σημείο της στατικής χαρακτηριστικής. Επειδή όμως η θέση της στατικής χαρακτηριστικής εξαρτάται από τις στροφές η ανά λεπτό, πρέπει οι στροφές να είναι αρκετές ώστε, όταν η γεννήτρια αυτοδιεγέρεται, να αναπτυχθεί στατική ΗΕΔ μεγαλύτερη από την απαιτούμενη πολική τάση.

Στις περιπτώσεις που οι στροφές είναι τόσες, ώστε η στατική χαρακτηριστική να εφάπτεται στη χαρακτηριστική ευθεία (προφανώς στο σημείο 0) (σχ. 3.2β), τότε η γεννήτρια βρίσκεται στο κρίσιμο σημείο της αυτοδιεγέρσεώς της και ο αριθμός αυτός των στροφών καλείται, όπως αναφέραμε, **κρίσιμος αριθμός**. Η γεννήτρια δεν αυτοδιεγέρεται για κάθε αριθμό στροφών μικρότερο από τον κρίσιμο. Ο κρίσιμος αριθμός μεταβάλλεται ανάλογα με την τιμή της αντιστάσεως του ροοστάτη  $R_m$  και παίρνει την ελάχιστη τιμή, όταν η  $R_m$  έχει μηδενισθεί. Επομένως η γεννήτρια αυτοδιεγέρεται

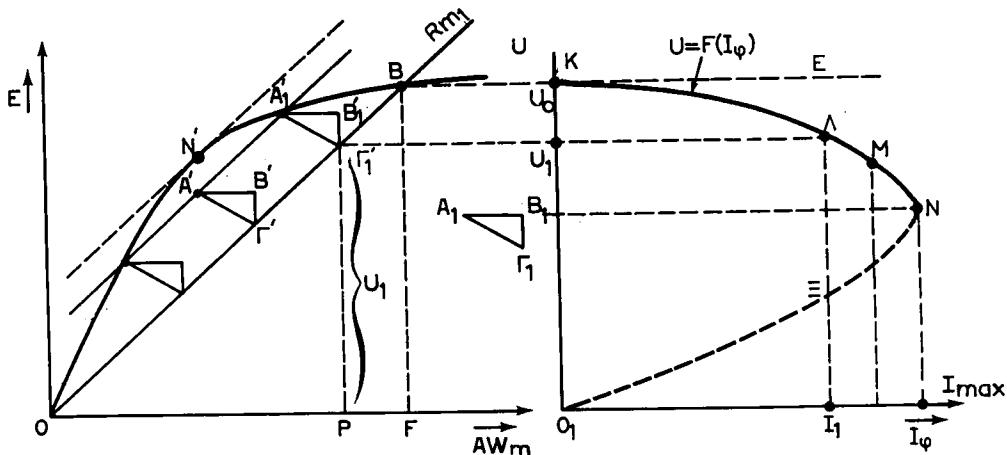
ευκολότερα με μηδενική αντίσταση  $R_m$  και με λιγότερες στροφές. Ακόμη η αυτοδιέγερση διευκολύνεται όταν το εξωτερικό κύκλωμα είναι ανοικτό (διακόπτης  $\Delta_2$  ανοικτός) γιατί η διέγερση βρίσκεται κάτω από μεγαλύτερη τάση κατά τη λειτουργία χωρίς φορτίο ( $E \cong U$ ). Το συμπέρασμα από τα παραπάνω είναι ότι η γεννήτρια παράλληλης διεγέρσεως πρέπει να ξεκινήσει με βραχυκυκλωμένη τη ρυθμιστική της αντίσταση  $R_m$  και με ανοικτό το εξωτερικό της κύκλωμα.

### 3.3 Χαρακτηριστικά φορτίσεως $U = F(I_\phi)$ .

Η χαρακτηριστική αυτή προσδιορίζεται με τη βοήθεια της στατικής χαρακτηριστικής και του χαρακτηριστικού τριγώνου με σταθερές στροφές και σταθερή αντίσταση  $R_m$ , του κυκλώματος της διεγέρσεως.

Έστω ότι η γεννήτρια λειτουργεί με π, στροφές και η αντίσταση του ροοστάτη της διεγέρσεως έχει τιμή  $R_m$ . Με τα δεδομένα αυτά χαράσσουμε τη στατική χαρακτηριστική και τη χαρακτηριστική ευθεία  $OB$  (σχ. 3.3).

Έστω οτι η γεννήτρια φορτίζεται με ηλεκτρικό ρεύμα  $I_1$ , που αντιστοιχεί σε χαρακτηριστικό τρίγωνο  $A'_1B'_1\Gamma_1$ . Το τρίγωνο αυτό το τοποθετούμε σε μια τυχαία θέση  $A'B'\Gamma'$  μεταξύ της στατικής χαρακτηριστικής και της χαρακτηριστικής ευθείας  $OB$ . Από το σημείο  $A'$  φέρομε την παράλληλη  $A'A$ , προς τη χαρακτηριστική ευθεία  $OB$  και κατασκευάζουμε το χαρακτηριστικό τρίγωνο στην πραγματική του θέση  $A'_1B'_1\Gamma_1$ . Από τη θέση αυτή βρίσκομε την πολική τάση  $U_1$ , που αντιστοιχεί στο ρεύμα φορτίσεως  $I_1$ . Τις τιμές  $I_1$ ,  $U_1$  τις μεταφέρομε στο σύστημα των ορθογωνίων αξόνων  $(I_\phi, U)$  (σχ. 3.3) και προσδιορίζουμε ένα σημείο της χαρακτηριστικής φορτίσεως  $\Lambda$ . Με τον ίδιο τρόπο προσδιορίζομε και άλλα σημεία και ετοι χαράσσουμε τη χαρακτηριστική φορτίσεως  $U = F(I_\phi)$ , σημείο προς σημείο.



Σχ. 3.3.

Παρατηρούμε από το σχήμα 3.3 ότι η γεννήτρια με παράλληλη διέγερση δεν μπορεί να δώσει ρεύμα φορτίσεως μεγαλύτερο από ένα  $I_{max}$  που αντιστοιχεί στο ακραίο σημείο  $N$  της χαρακτηριστικής φορτίσεως. Στο σχήμα 3.3 το μέγιστο ρεύμα αντιστοιχεί σε ένα σημείο  $N'$  από όπου περνά, η παράλληλη προς τη χαρακτηριστική ευθεία  $OB$  και εφαπτομένη της στατικής χαρακτηριστικής.

Από τη χαρακτηριστική φορτίσεως φαίνεται ότι η γεννήτρια του τύπου αυτού στο τμήμα  $KM$  (το  $M$  πιο πάνω από το  $N$  στην καρμπύλη) λειτουργεί με ευστάθεια. Η πολική τάση πέφεται με την αύξηση του ρεύματος φορτίσεως πιο απότομα από ότι στη γεννήτρια με ξένη διέγερση. Επίσης η πτώση της πολικής τάσεως είναι πιο απότομη όσο η γεννήτρια λειτουργεί με μικρότερο αριθμό στροφών. Στις κανονικές μεταβολές της φορτίσεως της γεννήτριας η πτώση της πολικής τάσεως κυμαίνεται από 6% μέχρι 12%. Οι διακυμάνσεις αυτές είναι δυνατό να ρυθμίζονται με τη ρυθμιστική αντίσταση της διέγέρσεως. Οι γεννήτριες παράλληλης διεγέρσεως θεωρούνται αρκετά σταθερής πολικής πολικής τάσεως και για το λόγο αυτό βρίσκονται σε γενική χρήση.

### 3.4 Ασκήσεις.

1. α) Αναγνωρίστε στο κιβώτιο ακροδεκτών της γεννήτριας, που θα σας δοθεί στο Εργαστήριο, με τη βοήθεια ωμόμετρου ή με ένα ενδεικτικό λαμπτήρα (δοκιμαστικό), τους ακροδέκτες του τυλίγματος διεγέρσεως, του επαγώγιμου, των βοηθητικών πόλων και του ροοστάτη διεγέρσεως  $R_m$ .

Στη συνέχεια συνδεσμολογήστε τα τυλίγματα και τα δρύγανα στο κιβώτιο ακροδεκτών της γεννήτριας όπως στο σχήμα 3.1.

β) Θέστε σε κίνηση την κινητήρια μηχανή (KM) και ρυθμίστε τις στροφές της στον ονομαστικό αριθμό στροφών της γεννήτριας. Κλείστε το διακόπτη  $\Delta_1$  (το φορτίο παραμένει εκτός κυκλώματος, διακόπτης  $\Delta_2$  ανοικτός).

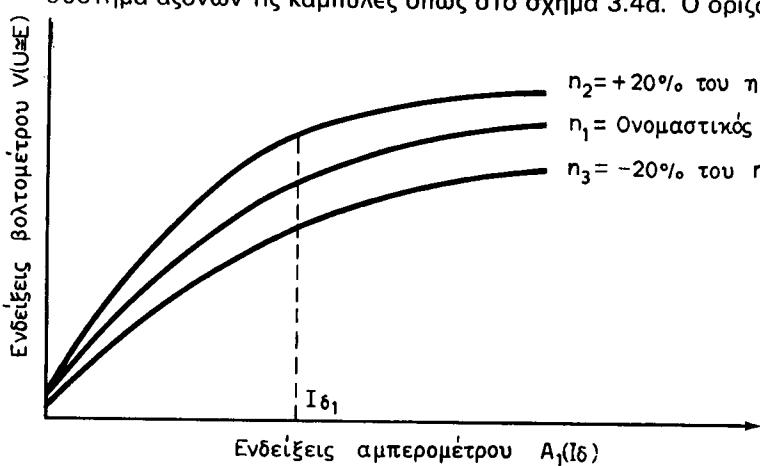
Αυξομειώστε τη ρυθμιστική αντίσταση της διεγέρσεως  $R_m$ . Για κάθε θέση της ρυθμιστικής αντιστάσεως σημειώστε στον πίνακα των αποτελεσμάτων 3.4.1 τις ενδείξεις του βολτόμετρου  $V$  και αμπερόμετρου  $A_1$  (στήλες  $I_6$  και  $E$  αντίστοιχα).

γ) Επαναλάβετε την παραπάνω εργασία αλλάζοντας τις στροφές κατά  $\pm 20\%$  από τον ονομαστικό αριθμό και σημειώστε τις ενδείξεις των οργάνων στον πίνακα αποτελεσμάτων 3.4.1. (Η ένδειξη του βολτόμετρου αντιστοιχεί με την ΗΕΔ  $E$ , όταν το δρύγανο έχει μεγάλη αντίσταση).

**ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ 3.4.1**

$n_1 =$ στρ/μιν		$n_2 =$ στρ/μιν		$n_3 =$ στρ/μιν	
$I_6$	$E$	$I_6$	$E$	$I_6$	$E$
.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....

δ) Από τις τιμές του πίνακα των αποτελεσμάτων 3.4.1 χαράξτε σε ορθογώνιο σύστημα αξόνων τις καμπύλες όπως στο σχήμα 3.4a. Ο οριζόντιος αξόνας δί-



**Σχ. 3.4a.**

νει τις τιμές του ηλεκτρικού ρεύματος διεγέρσεως  $I_d$  ανάλογα με τα αμπερελίγματα και ο κατακόρυφος τις τιμές της πολικής τάσεως  $U$  περίπου ίσης με τη στατική ΗΕΔ Ε.

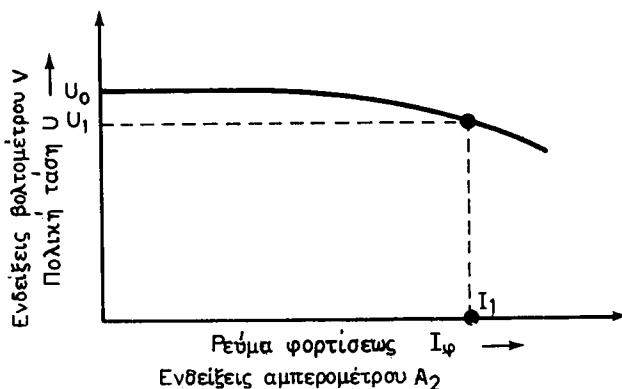
ε) Στο τετράδιό σας περιγράψτε συνοπτικά την όλη εργασία σας. Χαράξτε τις καμπύλες του σχήματος 3.4α (με κατάλληλη κλίμακα) και σημειώστε τις παρατηρήσεις και τα συμπεράσματά σας.

2. α) Θέστε σε λειτουργία τη γεννήτρια της ασκήσεως 1 με στροφές  $n_1$ , και το ρεύμα της διεγέρσεως  $I_d$ . Κλείστε το διακόπτη του φορτίου  $\Delta_2$  (το φορτίο τοποθετείται μέσα στο κύκλωμα). Αυξομειώστε το φορτίο με τη βοήθεια ρυθμιστικής αντιστάσεως  $R_\phi$ , ώστε οι ενδείξεις του αμπερομέτρου  $A_2$  να μεταβάλλονται κάθε φορά κατά 20% από το ονομαστικό ρεύμα φορτίσεως ( $I_\phi$ ) της γεννήτριας. Σημειώστε τις ενδείξεις του αμπερομέτρου  $A_2$  και βολτομέτρου  $V$  στον πίνακα των αποτελεσμάτων 3.4.2.

#### ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ 3.4.2

$n_1 = \dots \text{σταθ.}$ $I_{d_1} = \dots \text{σταθ.}$	
$I$ (A)	$u$ (v)
$I_0 = 0$	.....
$I_1 = 0,2 I_\phi$	.....
$I_2 = 0,4 I_\phi$	.....
$I_3 = 0,6 I_\phi$	.....
$I_4 = 0,8 I_\phi$	.....
$I_5 = I_\phi$	.....

- β) Από τις τιμές του πίνακα αποτελεσμάτων 3.4.2 χαράξτε σε ορθογώνιο σύστημα αξόνων (ο οριζόντιος άξονας δίνει τις τιμές του ρεύματος φορτίσεως  $I_\phi$  και ο κατακόρυφος τις τιμές της πολικής τάσεως  $U$ ) τη χαρακτηριστική φορτίσεως της γεννήτριας (σχ. 3.4β).

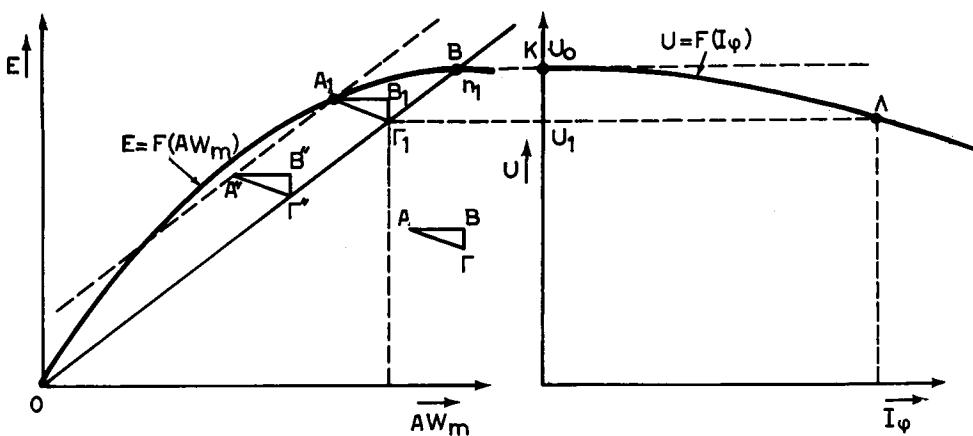


Σχ. 3.4β.

- γ) Από την προηγούμενη χαρακτηριστική υπολογίστε τη μεταβολή της πολικής τάσεως επί % σε κανονική φόρτιση.

δ) Σε συνδυασμό δύο συστημάτων ορθογωνίων αξόνων, όπως στο σχήμα 3.4γ χαράξτε τη χαρακτηριστική φορτίσεως  $U = F(I_\phi)$ , τη στατική χαρακτηριστική  $E = F(AW_m)$  για στροφές  $n_1$ , τη χαρακτηριστική ευθεία  $OB$  για αντίσταση διεγέρσεως  $R_m$ , και το χαρακτηριστικό τρίγωνο  $A_1B_1\Gamma_1$ , για το φορτίο  $I_\phi$  (ονομαστικό ηλεκτρικό ρεύμα φορτίσεως).

ε) Περιγράψτε συνοπτικά στο τετράδιό σας την όλη πορεία των μετρήσεων που πραγματοποιήσατε. Σχεδιάστε τις καμπύλες του σχήματος 3.4γ (με κατάλληλη κλίμακα) και προσδιορίστε το μέγιστο ρεύμα φορτίσεως της γεννήτριας σας.



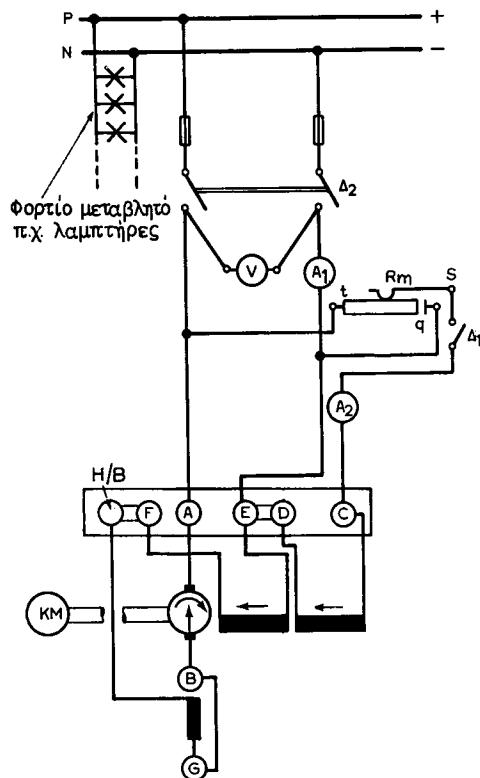
Σχ. 3.4γ.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

### ΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ ΜΕ ΣΥΝΘΕΤΗ ΔΙΕΓΕΡΣΗ

#### 4.1 Γενικά.

Η γεννήτρια με σύνθετη διέγερση έχει δύο τυλίγματα γύρω. από τους πυρήνες των μαγνητικών πόλων, το παράλληλο τύλιγμα και το τύλιγμα σειράς. Τα τυλίγματα αυτά ξεχωρίζουν και κατασκευαστικά μεταξύ τους. Το παράλληλο τύλιγμα κατασκευάζεται με λεπτότερες σύρμα και περισσότερες σπειρές, ενώ το τύλιγμα σειράς κατασκευάζεται από χονδρότερο σύρμα με πολύ λιγότερες σπειρές. Η συνδεσμολογία της γεννήτριας με σύνθετη διέγερση φαίνεται στο σχήμα 4.1.



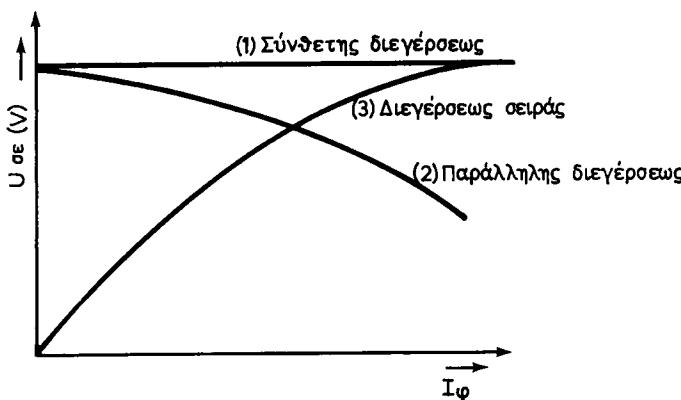
**Σχ. 4.1.**

Συνδεσμολογία γεννήτριας με σύνθετη διέγερση.

KM = Κινητήρια μηχανή. E-F = Τύλιγμα σειράς. H/B-G = Βοηθητικοί πόλοι. C-D = Παράλληλο τύλιγμα.

#### 4.2 Χαρακτηριστική φορτίσεως $U = F(I_\phi)$ .

Κατά τη λειτουργία χωρίς φορτίο η γεννήτρια συμπεριφέρεται ακριβώς όπως οι γεννήτριες με παράλληλη διέγερση. Η χαρακτηριστική φορτίσεως (1) της γεννήτριας με σύνθετη διέγερση (σχ. 4.2) είναι αποτέλεσμα των χαρακτηριστικών φορτίσεως δύο γεννήτριών. Κατά ένα μέρος της αντιστοιχεί με τη χαρακτηριστική γεννήτριας με παράλληλη διέγερση και κατά το άλλο με γεννήτρια διεγέρσεως σειράς. Στο σχήμα αυτό φαίνεται η καμπύλη (2) που αντιστοιχεί στο μέρος της παράλληλης διέγερσεως και κατέρχεται με τη φόρτιση, ενώ η καμπύλη (3), που αντιστοιχεί στο μέρος της διεγέρσεως σειράς, ανέρχεται με τη φόρτιση. Έτσι η καμπύλη (1), που είναι χαρακτηριστική φορτίσεως της γεννήτριας σύνθετης διεγέρσεως, εξαρτάται από το ποσοστό της διεγέρσεως του παράλληλου τυλίγματος και του τυλίγματος σειράς. Η χαρακτηριστική αυτή μπορεί να είναι οριζόντια ευθεία, γιατί, καθώς το ρεύμα φορτίσεως αυξάνει, η πολική τάση τείνει να «κλίσει» εξ αιτίας της παράλληλης διέγερσεως, αλλά επανέρχεται προς τα πάνω χάρη στη δράση της διεγέρσεως σειράς.



Σχ. 4.2.

Όταν το τύλιγμα σειράς είναι ενισχυμένο, τότε μπορεί με την αύξηση της φορτίσεως να έχουμε και μέχρι 10% αύξηση της πολικής τάσεως με φορτίο, σε σχέση με την τάση που έχουμε χωρίς φορτίο.

Οι γεννήτριες αυτές είναι κατάλληλες να χρησιμοποιηθούν για να τραφοδοτήσουν καταναλώσεις που απαιτούν σταθερή τάση, π.χ. για φωτισμό.

#### 4.3 Ασκήσεις.

1. a) Αναγνωρίστε στο κιβώτιο ακροδεκτών της γεννήτριας, που θα σας δοθεί στο Εργαστήριο, με τη βοήθεια ωμόμετρου ή ενός ενδεικτικού λαμπτήρα (δοκιμαστικό) τους ακροδέκτες:

- Του παράλληλου τυλίγματος (παρουσιάζει μεγάλη αντίσταση).
- Του τυλίγματος σειράς (παρουσιάζει πολύ μικρή αντίσταση).
- Των βοηθητικών πόλων (η αντίστασή του είναι περίπου ίση με του τυλίγματος σειράς).
- Του επαγώγιμου.
- Του ροοστάτη διεγέρσεως.

Συνδεσμολογήστε τα τυλίγματα και τα όργανα όπως στο σχήμα 4.1.

β) Θέστε σε κίνηση την κινητήρια μηχανή. Ρυθμίστε τις στροφές της στον ονομαστικό αριθμό στροφών ( $n_1$ ) της γεννήτριας. Κλείστε το διακόπτη  $\Delta_1$  της διεγέρσεως και κρατήστε ανοικτό το διακόπτη  $\Delta_2$ . Ρυθμίστε το ροοστάτη της

διεγέρσεως ώσπου το βολτόμετρο να δείξει την ονομαστική τάση της γεννήτριας.

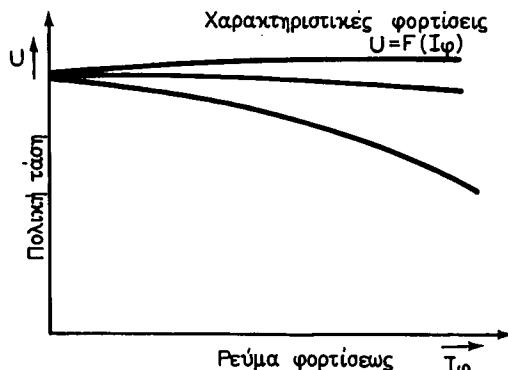
Μετά από αυτή τη ρύθμιση της τάσεως χωρίς φορτίο κλείστε το διακόπτη  $\Delta_2$ . Αυξομειώστε το φορτίο με τη βοήθεια ρυθμιστικής αντιστάσεως  $R_\phi$ , ώστε οι ενδείξεις του αμπερόμετρου  $A_2$  να μεταβάλλονται κάθε φορά κατά 20% από το ονομαστικό ρεύμα  $I_\phi$  της γεννήτριας. Δηλαδή αν το ονομαστικό ρεύμα είναι  $I_\phi$  οι ενδείξεις του αμπερόμετρου να γίνουν  $0,2I_\phi$ ,  $0,4I_\phi$ ,  $0,6I_\phi$ ,  $0,8I_\phi$  και  $I_\phi$ . Σημειώστε τις ενδείξεις του αμπερόμετρου  $A_1$ , και του βολτόμετρου στον πίνακα αποτελεσμάτων 4.3.1 στη σήλη 1. Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων θα κρατάτε το ρεύμα διεγέρσεως  $I_\delta$  σταθερό ρυθμίζοντας την αντίσταση διεγέρσεως  $R_m$ . Επίσης και οι στροφές η της γεννήτριας θα παραμένουν σταθερές.

#### ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ 4.3.1

$n = \text{σταθ.}$		$I_\delta = \dots \text{σταθ.}$			
1		2		3	
$I(A)$	$U(V)$	$I(A)$	$U(V)$	$I(A)$	$U(V)$
$I_0 = 0$					
$I_1 = 0,2I_\phi$					
$I_2 = 0,4I_\phi$					
$I_3 = 0,6I_\phi$					
$I_4 = 0,8I_\phi$					
$I_5 = I_\phi$					

γ) Επαναλάβετε τις ίδιες μετρήσεις βραχυκλώνοντας τους ακροδέκτες F-E αντί για τους E-D. Σημειώστε τις ενδείξεις των οργάνων στον πίνακα αποτελεσμάτων 4.3.1, στη σήλη 2. Παρατηρήστε ότι οι ενδείξεις των οργάνων στην περίπτωση αυτή δεν παρουσιάζουν ουσιώδεις διαφορές από εκείνες της περιπτώσεως (β).

δ) Βραχυκυκλώστε το τύλιγμα σειράς (ενώνοντας τα σημεία E και F) στη γεννήτρια. Θέστε τη γεννήτρια σε λειτουργία (γεννήτρια παράλληλης διεγέρ-



Σχ. 4.3.

σεως). Τροφοδοτήστε το φορτίο όπως κάνατε στην περίπτωση (β). Σημειώστε τις ενδείξεις των οργάνων στον πίνακα των αποτελεσμάτων 4.3.1 στη στήλη 3.

ε) Από τις τιμές του πίνακα των αποτελεσμάτων 4.3.1 χαράξτε σε ορθογώνιο σύστημα αξόνων (σχ. 4.3) τις χαρακτηριστικές φορτίσεως της γεννήτριας για τις περιπτώσεις β,γ και δ. Συγκρίνετε τις χαρακτηριστικές μεταξύ τους και διατυπώστε τις σχετικές παρατηρήσεις και τα συμπεράσματά σας στο τετράδιό σας.

2. Από το διάγραμμα των χαρακτηριστικών της ασκήσεως 1 υπολογίστε σε κάθε περίπτωση τις μεταβολές της πολικής τάσεως σε ποσοστό τοις % για κανονική φόρτιση.

---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ

### ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΠΑΡΑΛΛΗΛΗΣ ΔΙΕΓΕΡΣΕΩΣ

#### **5.1 Γενικά.**

Αν στο τύλιγμα του επαγγειακού τυμπάνου μιας γεννήτριας Σ.Ρ. διαβιβάσσομε ηλεκτρικό ρεύμα (με τη βοήθεια ψηκτρών-συλλέκτη), θα έχουμε αντιστροφή της λειτουργίας της. Δηλαδή μετατροπή ηλεκτρικού έργου σε μηχανικό (κινητήριο).

Στην περίπτωση αυτή λέμε ότι η μηχανή λειτουργεί ως κινητήρας.

Χαρακτηριστικά στοιχεία της λειτουργίας των κινητήρων Σ.Ρ. είναι:

#### **α) Κινητήρια ροπή.**

Ασκείται στο επαγγειακό τύμπανο του κινητήρα και είναι:

$$T = \frac{p \cdot s \cdot w}{2\alpha \cdot \pi} \cdot \Phi \cdot I_T \quad (\text{σε Nm})$$

$$\text{ή} \quad T = 0,102 \frac{p \cdot s \cdot w}{2\alpha \cdot \pi} \cdot \Phi \cdot I_T \quad (\text{σε kp m})$$

όπου: p ο αριθμός ζευγών των μαγνητικών πόλων του κινητήρα.

s ο αριθμός στοιχείων του τυλίγματος.

w ο αριθμός αγωγών κάθε στοιχείου του τυλίγματος.

α ο αριθμός ζευγών των παράλληλων κλάδων.

π 3,14.

Φ η μαγνητική ροή (σε V . s) κάθε πόλου

και  $I_T$  η ένταση ηλεκτρικού ρεύματος ή η ένταση φορτίσεως  $I_\Phi$  από το τύμπανο σε (A)  
 $1 \text{ N} \simeq 0,102 \text{ kp}$

#### **β) Μηχανική ισχύς.**

Τη δίνει ο κινητήρας στον άξονά του (με μορφή μηχανικής ενέργειας) η **ωφέλιμη ισχύς κινήσεως** ( $N_{\omega\Phi}$ ).

#### **γ) Ηλεκτρική ισχύς.**

Την απορροφά ο κινητήρας με τη μορφή της ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο παροχής ηλεκτρικού ρεύματος ( $N_{\eta\lambda}$ ).

Είναι πάντοτε:

$$N_{\eta\lambda} = N_{\omega\Phi} + N_{\text{απ}}$$

οπου:  $N_{\text{απ}}$  η ισχύς απωλειών (μηχανικές + ηλεκτρικές + μαγνητικές).

**δ) Βαθμός αποδόσεως** του κινητήρα είναι:

$$\eta = \frac{N_{\omega\Phi}}{N_{n\lambda}} = \frac{N_{\omega\Phi}}{U \cdot I_\phi} \quad \text{ή} \quad \eta \% = \frac{N_{\omega\Phi}}{U \cdot I_\phi} \cdot 100$$

Στους κινητήρες Σ.Ρ. είναι:  $\eta = (60-95)\%$ .

**ε) Αντηλεκτρεγερτική δύναμη (Α.Η.Ε.Δ.).**

Είναι:

$$E_a = K \cdot \Phi \cdot n \quad (\text{σε V})$$

$$\text{όπου: } K = \frac{p \cdot s \cdot w}{a \cdot 60}$$

και  $n$  η ταχύτητα περιστροφής του τυμπάνου του κινητήρα (σε στρ/min).

**στ) Στροφές του κινητήρα ή ταχύτητα περιστροφής.**

Είναι:

$$n = \frac{E_a}{K \cdot \Phi} = \frac{U - R_T \cdot I_T}{K \cdot \Phi}$$

όπου:  $U$  η ηλεκτρική τάση της πηγής ή του δικτύου που τροφοδοτεί τον κινητήρα (σε V).

$R_T$  η αρική αντίσταση (σε  $\Omega$ ) του τυλίγματος του επαγγειακού τυμπάνου και των ψηκτρών (*Ισοδύναμη αντίσταση* του κινητήρα).

$I_T$  η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος (σε A) μέσα από το τύλιγμα του επαγγειακού τυμπάνου.

Από την παραπάνω σχέση των στροφών συμπεραίνεται ότι:

- Για να καλύψει ο κινητήρας Σ.Ρ. μεγαλύτερη πολική τάση θα πρέπει να περιστρέφεται με μεγαλύτερη ταχύτητα.
- Οι στροφές του κινητήρα Σ.Ρ. «πέφτουν» με την αύξηση του ρεύματος φορτίσεως του  $I_T$ .
- Οι στροφές του κινητήρα Σ.Ρ. «πέφτουν» και με την αύξηση της μαγνητικής ροής  $\Phi$ , δηλαδή με την αύξηση του ηλεκτρικού ρεύματος διεγέρσεως.

**δ) Ενταση ηλεκτρικού ρεύματος  $I_T$ .**

Την απορροφά το επαγγειακό τύμπανο του κινητήρα Σ.Ρ. και είναι:

$$I_T = \frac{U - E_a}{R_T}$$

Όταν αυξάνεται η ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα «πέφτει» το ηλεκτρικό ρεύμα φορτίσεως του (επειδή αυξάνει η  $E_a$ ) και αντίστροφα.

**η) Εκκίνηση των κινητήρων Σ.Ρ.**

Στην εκκίνηση του κινητήρα είναι  $E_a = 0$  και τότε:

$$I_{TEK} = I_{EK} = \frac{U}{R_T}$$

**Ηλεκτρικό ρεύμα εκκίνησεως.**

Το ηλεκτρικό ρεύμα  $I_{EK}$  γίνεται 10 μέχρι και 20 φορές μεγαλύτερο από το ηλεκτρικό ρεύμα της κανονικής φορτίσεως του κινητήρα και είναι επικίνδυνο για το τύλιγμα του επαγγειακού τυμπάνου, αν δεν λειτουργήσουν τα μέσα προστασίας του κινητήρα (π.χ. αυτόματος διακόπτης, ασφάλειες κλπ). Γι' αυτό σε σειρά με το τύλιγμα του επαγγειακού τυμπάνου, στους κινητήρες Σ.Ρ., υπάρχει πάντοτε μια ρυθμιστική προστατευτική αντίσταση  $R_{EK}$ , ο **εκκινητής**.

Η παρεμβολή του εκκινητή ( $R_{EK}$ ) περιορίζει το ηλεκτρικό ρεύμα εκκίνησεως σε επιθυμητές τιμές και είναι:

$$I_{EK} = \frac{U}{R_T + R_{EK}}$$

Συνήθως είναι  $I_{ek} \simeq (1,25 \div 1,5) I_T$  ( $I_T$  = ονομαστική τιμή εντάσεως του ηλεκτρικού ρεύματος φορτίσεως).

Πραγματικά, στην εκκίνηση ο κινητήρας χρειάζεται μεγάλο ρεύμα εκκινήσεως το οποίο δύναται να πρέπει να είναι επικίνδυνο για το τύλιγμα του επαγγελματικού τυμπάνου. Το ρεύμα αυτό χρειάζεται στην εκκίνηση, γιατί η ροπή στρέψεως πρέπει να είναι μεγάλη προκειμένου να εξουδετερώσει εκτός από την ανθιστάμενη ροπή των στρεφομένων μαζών και τη ροπή αδράνειας των επιταχυνόμενων μαζών του κινητήρα.

### θ) Η φορά περιστροφής σε κάθε κινητήρα Σ.Ρ.

Αυτή είναι **ανεξάρτητη** από την πολικότητα της ηλεκτρικής γραμμής τροφοδοτήσεως του. Δηλαδή, αν αντιστρέψουμε την πολικότητα της γραμμής τροφοδοτήσεως του ηλεκτρικού κινητήρα, η φορά περιστροφής του παραμένει η ίδια, γιατί στην περίπτωση αυτή έχουμε ταυτόχρονη αντιστροφή της φοράς του ηλεκτρικού ρεύματος διεγέρσεως και του ηλεκτρικού ρεύματος επαγγελματικού τυμπάνου.

Η φορά περιστροφής του κινητήρα Σ.Ρ. αντιστρέφεται **μόνο** με την αντιστροφή της φοράς του ηλεκτρικού ρεύματος διεγέρσεως ή **μόνο** με την αντιστροφή της φοράς του ηλεκτρικού ρεύματος του επαγγελματικού τυμπάνου.

### 5.2 Κινητήρες παράλληλης διεγέρσεως.

Όπως αναφέραμε στην προηγούμενη παράγραφο, αν μια γεννήτρια Σ.Ρ. με παράλληλη διεγέρση τροφοδοτηθεί με συνεχές ηλεκτρικό ρεύμα, αντιστρέφεται η λειτουργία της και γίνεται κινητήρας παράλληλης διεγέρσεως.

Στο σχήμα 5.2α φαίνεται η συνδεσμολογία ενός κινητήρα Σ.Ρ. παράλληλης διεγέρσεως με όλα τα όργανα ελέγχου και προστασίας. Η μελέτη της λειτουργίας του κινητήρα Σ.Ρ. παράλληλης διεγέρσεως αναφέρεται βασικά στις ακόλουθες χαρακτηριστικές του:

$$\text{α) } n = F(AW_m) \quad \text{ή} \quad n = F(I_\delta)$$

— Χαρακτηριστική στροφών σε συνάρτηση με τα αιμπερελίγματα ή με το ηλεκτρικό ρεύμα διεγέρσεως με **σταθερή τάση τροφοδοτήσεως** του κινητήρα και **σταθερό φορτίο**.

$$\text{β) } n = F(I_\phi)$$

— Χαρακτηριστική στροφών σε συνάρτηση με το ρεύμα φορτίσεως με **σταθερή τάση τροφοδοτήσεως** του κινητήρα και **σταθερά αιμπεριλίγματα** διεγέρσεως.

$$\text{γ) } T = F(I_\phi)$$

— Χαρακτηριστική της ροπής σε συνάρτηση με το ρεύμα φορτίσεως με **σταθερή τάση τροφοδοτήσεως** του κινητήρα και **σταθερή διέγερση**.

#### 5.2.1 Χάραξη χαρακτηριστικής $n = F(AW_m)$ ή $n = F(I_\delta)$ .

Μετά τη διαδικασία της εκκινήσεως του κινητήρα παράλληλης διεγέρσεως ο εκκινητής (αντίσταση  $R_{ek}$ ) τίθεται εκτός κυκλώματος. Στο τύλιγμα του επαγγελματικού τυμπάνου (και των βοήθητικών πόλων) εφαρμόζεται η σταθερή τάση  $U$  του δικτύου τροφοδοτήσεως του κινητήρα. Το τύλιγμα διεγέρσεως διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα:

$$I_\delta = \frac{U}{R_\delta + R_m}$$

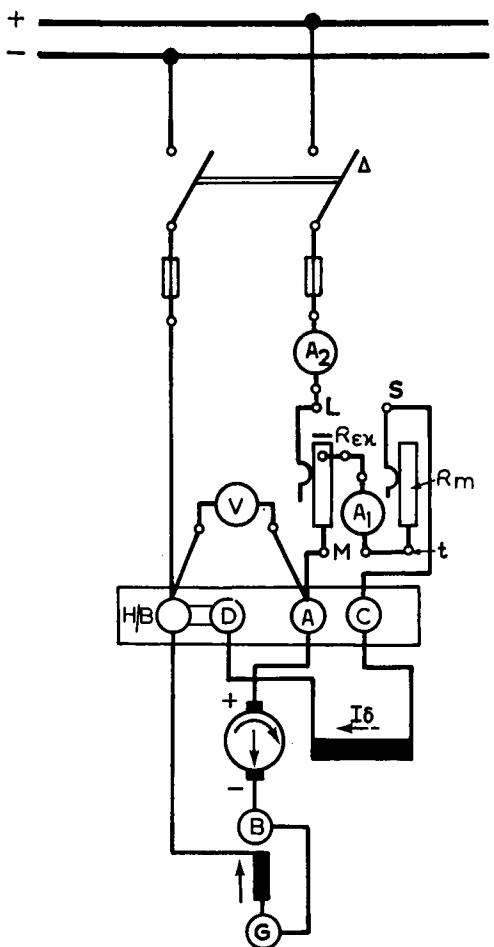
όπου:  $R_\delta$  η αντίσταση του τυλίγματος διεγέρσεως

$R_m$  μέρος από τη ρυθμιστική αντίσταση (s-t), που συνδέεται σε σειρά με το τύλιγμα διεγέρσεως.

Αν δεχθούμε ότι  $U \cong K \cdot \Phi \cdot n$ , δηλαδή  $n = \frac{U}{K\Phi}$  τότε, με τη βοήθεια της στατικής χαρακτηρι-

στικής του κινητήρα παράλληλης διεγέρσεως και κατάλληλες μετρήσεις στο εργαστήριο, μπορούμε να χαράξουμε την καμπύλη  $n = F(AW_m)$  ή  $n = F(I_\delta)$  ως εξής:

Σε ορθογώνιο σύστημα αξόνων παίρνομε στον κατακόρυφο άξονα (που έχει δύο κλίμακες, μια των στροφών  $n$  και μια της τάσεως  $U$ ) τμήμα  $(OP) = U$  και στο οριζόντιο τμήμα  $(OE) = AW_m$ , που



Σχ. 5.2α.

**Συνδεσμολογία κινητήρα παράλληλης διεγέρσεως.**

$L-M = R_{f_k}$ ,  $S-t = R_m$  ρυθμιστική αντίσταση διεγέρσεως.

C-D παράλληλο τύλιγμα διεγέρσεως, G-H/B = τύλιγμα βοηθητικών πόλων.

αντιστοιχεί σε ηλεκτρικό ρεύμα διεγέρσεως  $I_{δ_0}$ . Εδώ το  $I_{δ_0}$  καθορίζεται με τη ρυθμιστική αντίσταση  $R_m$  (σχ. 5.2a).

Από το σημείο Β με συντεταγμένες (ΟΕ,ΟΡ) περνάει η στατική χαρακτηριστική για στροφές η<sub>0</sub> του κινητήρα.

Με τη ρυθμιστική αντίσταση  $R_m$  (σχ. 5.2α) μειώνομε το ηλεκτρικό ρεύμα διεγέρσεως σε  $\zeta_1$ , στο οποίο αντιστοιχουν αμπερέλιγμα  $AW_{m_1} = (\Omega E_1)$ . Από το σημείο  $E_1$  φέρνουμε την κατακόρυφο  $E_1 B_1$ , που τέμνει την  $E = F(AW_m)$  στο σημείο  $\Gamma$ . Τό  $B_1$  έχει συντεταγμένες  $(AW_{m_1}, U)$  επομένως είναι σημείο της  $E_1 = F(AW_m)$  για  $n_1$  στροφές του κινητήρα (σχ. 5.2β).

Στη συνέχεια, και στην κλίμακα του άξονα των στροφών, δεχόμαστε  $(OZ) = n_0$  και προσδιορίζομε τα σημεία  $\Delta$ ,  $\Delta_1$ ,  $Z_1$ ,  $\Theta$ ,  $\Theta_1$ ,  $H$  (σχ. 5.2β).

Με τη βοήθεια των βασικών γεωμετρικών ιδιοτήτων (αναλογίες, δύο ομοια τρίγωνα κλπ) έχουμε:

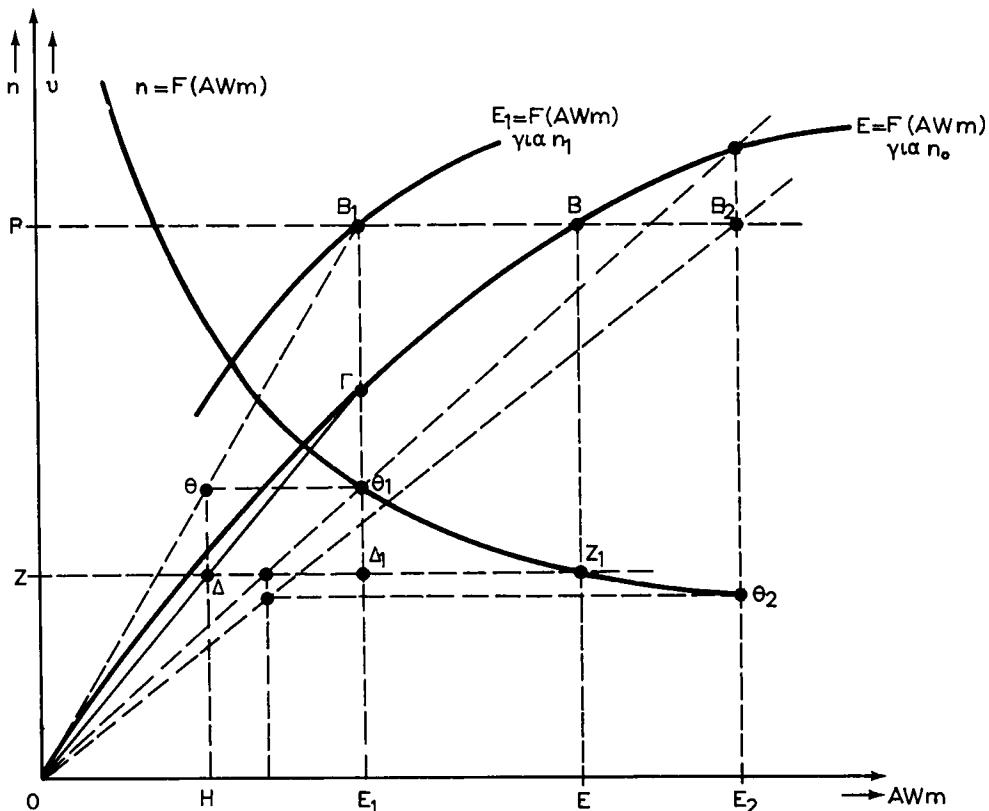
$$\frac{n_1}{n_0} = \frac{E_1 B_1}{E_1 \Gamma} = \frac{H\Theta}{H\Delta} = \frac{E_1 \Theta_1}{E_1 \Delta_1}$$

Επειδή:

$$(E, \Delta_1) = (OZ) = n_0 \quad \text{θα είναι} \quad n_1 = (E, \Theta_1)$$

Για λιγότερες στροφές του κινητήρα  $n_2$  και περισσότερα αμπερελίγματα (μεγαλύτερο ηλεκτρικό ρεύμα διεγέρσεως)  $(OE_2) = AW_m$ , προσδιορίζομε το σημείο  $\Theta_2$ .

Τα σημεία  $Z_1$ ,  $\Theta_1$  και  $\Theta_2$  είναι σημεία της χαρακτηριστικής καμπύλης  $n = F(AW_m)$  (υπερβολή). Με τον ίδιο τρόπο μπορούμε να συνεχίσουμε τη χάραξη αυτής της χαρακτηριστικής.



**Σχ. 5.2β.**  
Χάραξη χαρακτηριστικής  $n = F(AW_m)$ .

Από τη μορφή και τη θέση της καμπύλης  $n = F(AW_m)$  στο διάγραμμα του σχήματος 5.2β και έχοντας υπόψη τη σχέση  $n = \frac{U}{K \cdot \Phi}$  συμπεραίνομε ότι όταν  $AW_m = 0$ , δηλαδή σε διακοπή και μηδενι-

σμό της διεγέρσεως, ο αριθμός των στροφών του κινητήρα γίνεται θεωρητικά άπειρος ( $n \rightarrow \infty$ ).

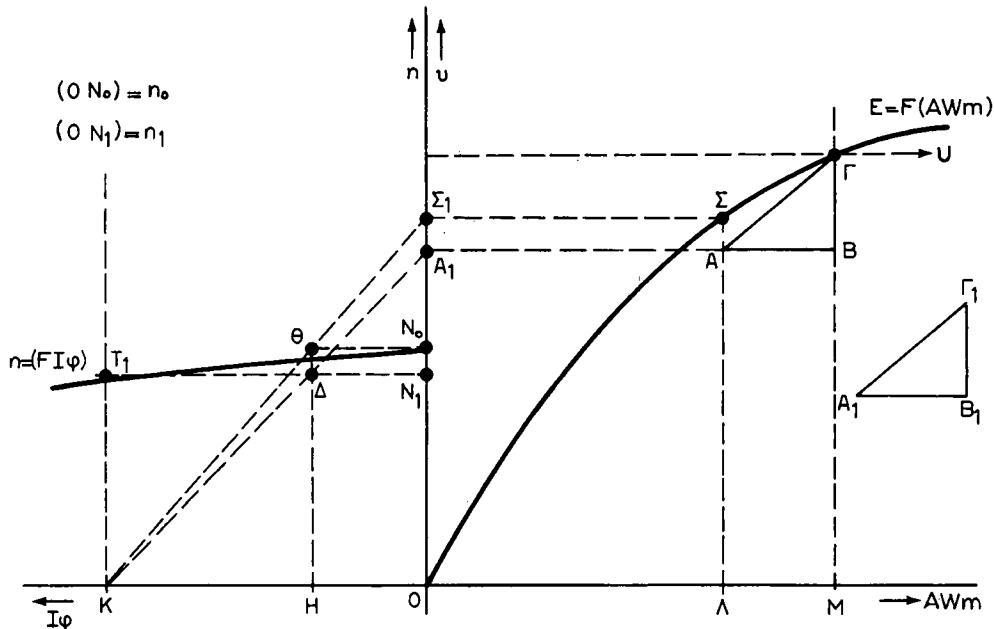
Αυτό βέβαια συμβαίνει όταν  $\Phi = 0$ . Όταν όμως κατά τη διακοπή της διεγέρσεως, υπάρχει μαγνητική ροή ( $1 \div 2\%$  από την κανονική ροή) από παραμένοντα μαγνητισμό, ο αριθμός στροφών του κινητήρα παράλληλης διεγέρσεως γίνεται, θεωρητικά, 50 μέχρι 100 φορές μεγαλύτερος από τον κανονικό αριθμό στροφών. Τελικά ο αριθμός στροφών του κινητήρα, για  $AW_m = 0$ , δεν ξεπερνάει το εικοσαπλάσιο από τον κανονικό αριθμό στροφών. Και αυτό λόγω διαφόρων μηχανικών απωλειών. Οι στροφές αυτές οπωσδήποτε είναι υπερβολικές και γι' αυτό **Θεωρείται πολύ επικίνδυνη η διακοπή της διεγέρσεως του κινητήρα παράλληλης διεγέρσεως και μάλιστα κατά τη λειτουργία του χωρίς φορτίο**.

### 5.2.2 Χάραξη χαρακτηριστικής $n = F(I_\phi)$ .

Και εδώ χρησιμοποιούμε τη στατική χαρακτηριστική  $E = F(AW_m)$  του κινητήρα για  $n_0$  στροφές.

Με την αντίσταση  $R_m$  ρυθμίζουμε τη διέγερση του κινητήρα παράλληλης διεγέρσεως σε μια σταθερή τιμή  $AW_m$ , ώστε ο αριθμός των στροφών του να είναι ο κανονικός.

Τα αμπερελίγματα αυτά μεταφέρομε σε ορθογώνιο σύστημα αξόνων, δπως στο σχήμα 5.2γ, και είναι:  $(OM) \parallel AW_m$ ,



**Σχ. 5.2γ.**  
Χάραξη χαρακτηριστικής  $n = F(I_\phi)$ .

Η κατακόρυφος  $M\Gamma$  παριστάνει την αντίστοιχη στατική τάση, που συμπίπτει με την εφαρμοζόμενη πολική τάση  $U$  στον κινητήρα κατά τη λειτουργία του χωρίς φορτίο.

Φορτίζομε τον κινητήρα με ένταση ηλεκτρικού ρεύματος  $I_1$ , και κατασκευάζομε το χαρακτηριστικό τρίγυρνο  $A, B, \Gamma_1$ . Τοποθετούμε στο διάγραμμα του σχήματος 5.2γ το τρίγυρνο  $A, B, \Gamma$ , στην πραγματική του θέση  $AB\Gamma$  (στους κινητήρες η υποτείνουσα των τριγώνων  $AG$  βρίσκεται πάνω από την κάθετη πλευρά  $AB$ , ενώ στις γεννήτριες κάτω από την πλευρά).

Πάντοτε, όπως και στις γεννήτριες, η κορυφή  $A$  του χαρακτηριστικού τριγώνου βρίσκεται πάνω στη στατική χαρακτηριστική, η κορυφή  $B$  στη δυναμική χαρακτηριστική και η  $\Gamma$  αντιστοιχεί στην πολική τάση του κινητήρα.

Αν  $n_1$  είναι ο αριθμός στροφών του κινητήρα, που αντιστοιχεί στη φόρτιση  $I_1 = (OK)$ , στο διάγραμμα του σχήματος 5.2γ έχουμε:

$$\frac{\Lambda A}{\Lambda \Sigma} = \frac{OA_1}{O\Sigma_1} = \frac{H\Theta}{H\Delta} = \frac{n_0}{n_1}$$

Επειδή:

$$(H\Theta) = n_0 \quad \text{θα είναι} \quad n_1 = (H\Delta)$$

Επομένως με γνωστά τα  $I_1 = (OK)$  και  $n_1 = (H\Delta)$  προσδιορίζουμε ένα σημείο  $T_1$  της χαρακτηριστικής  $n = F(I_\phi)$ .

κής  $n = F(I_\phi)$ . Με τον ίδιο τρόπο συμπληρώνομε τη χάραξη της καμπύλης αυτής σημείο προς σημείο.

Από τη μορφή και τη θέση της χαρακτηριστικής  $n = F(I_\phi)$  στο διάγραμμα του σχήματος 5.2γ βλέπουμε ότι έχουμε το μεγαλύτερο αριθμό στροφών στη λειτουργία του κινητήρα χωρίς φορτίο ( $I_0$ ). Πραγματικά, όταν  $I_\phi \cong 0$ , δεν έχουμε ωμική πτώση τάσεως μέσα στον κινητήρα και επομένως με την Α.Η.Ε.Δ. Εφ' όπει ο κινητήρας να ισορροπήσει σχεδόν ολόκληρη την πολική τάση τροφοδοτήσεως  $U$ . Στη συνέχεια βλέπουμε ότι όταν το ηλεκτρικό ρεύμα φορτίου αυξάνει, οι στροφές του κινητήρα «πέφτουν». Οπωσδήποτε η πτώση των στροφών σε μεταβαλλόμενες φορτίσεις δεν είναι απότομη. Αυτό αποτελεί χαρακτηριστική ιδιότητα των κινητήρων παράλληλης διεγέρσεως. Έτσι οι κινητήρες αυτοί χρησιμοποιούνται όπου θέλουμε να έχουμε σταθερότητα στροφών σε μεταβαλλόμενο φορτίο, όπως στις εργαλειομηχανές, σε υφαντουργικά μηχανήματα κλπ.

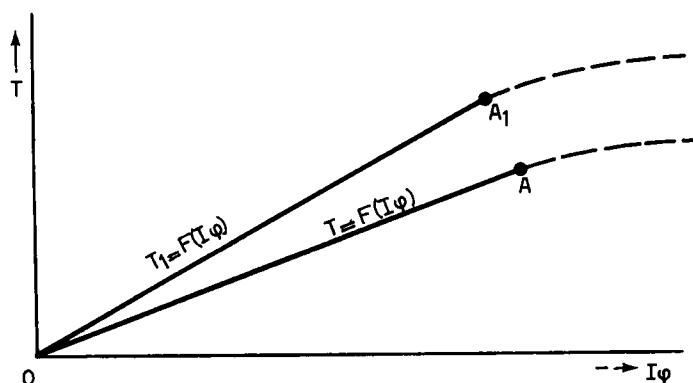
### 5.2.3 Χάραξη χαρακτηριστικής $T = F(I_\phi)$ .

Θεωρούμε ότι η πολική τάση τροφοδοτήσεως του κινητήρα  $U$  παραμένει σταθερή. Το κύκλωμα της διεγέρσεως με τη ρυθμιστική αντίσταση  $R_m$  σε μια σταθερή θέση και με σταθερή πολική τάση, διαρρέεται από ένα σταθερό ηλεκτρικό ρεύμα  $I_\delta$ . Επομένως η μαγνητική ροή  $\Phi$  παραμένει σταθερή και σε μεταβαλλόμενο φορτίο του κινητήρα. Σύμφωνα με τη σχέση:  $T = K \cdot \Phi \cdot I_\phi$ ,

όπου:  $K = \frac{p \cdot s \cdot w}{2\pi t}$  = σταθερό (βλέπε και παράγρ. 5.1α), η ροπή του κινητήρα είναι ευθέως ανάλογη με το ηλεκτρικό ρεύμα φορτίσεως  $I_\phi$ . Η χαρακτηριστική  $T = F(I_\phi)$  είναι μια ευθεία (σχ. 5.2δ).

Σε πολύ μεγάλες φορτίσεις του κινητήρα, λόγω της έντονης αντιδράσεως του επαγγεικού τυμπάνου, η ροπή  $T$  δεν αυξάνει με τον ίδιο τρόπο. Έτσι από ένα σημείο π.χ.  $A$  και μετά η ευθεία αρχίζει να κάμπτεται (σχ. 5.2δ).

Όταν αυξήσουμε τη διέγερση, δηλαδή όταν μειώσουμε την αρχική τιμή της αντιστάσεως  $R_m$ , η μαγνητική ροή των πόλων γίνεται  $\Phi_1 > \Phi$  και σύμφωνα με τις σχέσεις  $T_1 = K \cdot \Phi_1 \cdot I_\phi$  θα έχουμε  $T_1 > T$  και η αντίστοιχη χαρακτηριστική  $T_1 = F(I_\phi)$  θα παρουσιάζει μεγαλύτερη κλίση (σχ. 5.2δ).



Σχ. 5.2δ.  
Χαρακτηριστική  $T = F(I_\phi)$ .

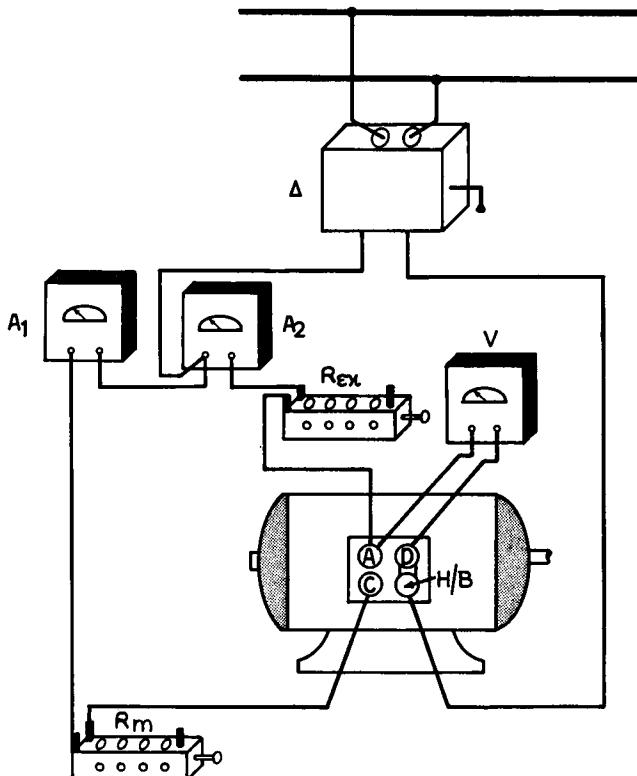
Από τα παραπάνω συμπεραίνομε ότι κατά την εκκίνηση του κινητήρα παράλληλης διεγέρσεως, που χρειαζόμαστε μεγάλη ροπή  $T$ , θα πρέπει η ρυθμιστική αντίσταση  $R_m$  να είναι βραχυκυκλωμένη, δηλαδή:  $R_m \cong 0$  και  $I_\delta = \text{max}$ .

### 5.3 Ασκήσεις.

1. Αναγνωρίστε στο κιβώτιο ακροδεκτών του κινητήρα, που σας έχει δοθεί στο

εργαστήριο με τη βοήθεια αμόμετρου ή ενός ενδεικτικού λαμπτήρα (δοκιμαστικό) τους ακροδέκτες του τυλίγματος της διεγέρσεως (παρουσιάζει μεγάλη αντίσταση), του τυλίγματος του επαγωγικού τυμπάνου (παρουσιάζει πολύ μικρή αντίσταση) και του τυλίγματος των βοηθητικών πόλων (παρουσιάζει πολύ μικρή αντίσταση).

**α)** Με τα δργανα ελέγχου και τις συσκευές προστασίας που θα σας δοθούν κάνετε τη συνδεσμολογία, όπως στο σχήμα 5.3.



Σχ. 5.3.

Συγκρίνετε η συνδεσμολογία αυτή με τη συνδεσμολογία του σχήματος 5.2α.

**β)** Ελέγξτε τις αντιστάσεις  $R_m$  και  $R_{\epsilon k}$ . Παρατηρήστε ότι η αντίσταση του εκκινητή είναι μικρότερη από την αντίσταση  $R_m$ , ενώ η ισχύς του είναι μεγαλύτερη από την ισχύ της  $R_m$ .

**γ)** Πριν εκκινήστε τον κινητήρα διαπιστώστε ότι η αντίσταση  $R_m$  βρίσκεται «εκτός κυκλώματος» ενώ η  $R_{\epsilon k}$  είναι ολόκληρη «εντός κυκλώματος».

Κλείστε το διακόπτη  $\Delta$ . Σημειώστε την ένδειξη του αμπερόμετρου  $A_2$  (ηλεκτρικό ρεύμα εκκινήσεως) και αμέσως μεταβάλλετε την αντίσταση  $R_{\epsilon k}$  σταδιακά μέχρι να μηδενισθεί και ο κινητήρας να φθάσει την κανονική ταχύτητα περιστροφής του (στροφές ανά λεπτό). Με ένα στροφόμετρο μετρήστε αυτές τις στροφές.

Στη συνέχεια με τη βοήθεια της αντιστάσεως  $R_m$  ρυθμίστε τις στροφές του κινητήρα μέχρι τον ονομαστικό αριθμό  $n_0$  χωρίς φορτίο.

**δ)** Σχεδιάστε τη συνδεσμολογία του σχήματος 5.3 στο τετράδιο σας. Σημειώστε σε αυτό τα στοιχεία του κινητήρα, των οργάνων και συσκευών που χρησιμοποιήσατε. Περιγράψτε συνοπτικά τους χειρισμούς, που πραγματοποιήσατε, σημειώνοντας τα αποτελέσματα των μετρήσεων, τις παρατηρήσεις και τα συμπεράσματά σας.

**2.** Αφού επαναλάβετε την εργασία και τους χειρισμούς της παραγράφου γ της ασκήσεως 1, σταθεροποιήστε τη λειτουργία του κινητήρα και διατηρήστε την τάση τροφοδοτήσεως του κινητήρα  $U$  σταθερή.

**α)** Στη συνέχεια πραγματοποιήστε τις ακόλουθες μετρήσεις:

Αξιομειώστε την αντίσταση  $R_m$  σε έξι διαδοχικές θέσεις μέχρι να τεθεί όλη στο κύκλωμα της διεγέρσεως (μέσα στο κύκλωμα). Σε κάθε μια από τις θέσεις της  $R_m$  θα μετράτε τις στροφές στον άξονα του κινητήρα με ένα στροφόμετρο και το ηλεκτρικό ρεύμα διεγέρσεως  $I_\delta$  με το αμπερόμετρο  $A_1$ . Τις τιμές των μετρήσεων αυτών σημειώστε σε ένα δικό σας πίνακα αποτελεσμάτων.

**β)** Με τα αποτελέσματα των μετρήσεων σας χαράξτε τη χαρακτηριστική  $n = F(I_\delta)$  του κινητήρα.

**γ)** Περιγράψτε συνοπτικά στο τετράδιό σας την όλη εργασία της ασκήσεως. Σχεδιάστε σε αυτό (με κατάλληλη κλίμακα) τη χαρακτηριστική  $n = F(I_\delta)$  και συγκρίνετε την με την αντίστοιχη καμπύλη του σχήματος 5.2β.

**3.** Συνδέστε στον άξονα του κινητήρα μια γεννήτρια (θα σας διθούν και τα δύο), που θα την χρησιμοποιήσετε ως φορτίο του κινητήρα.

**α)** Επαναλάβετε τη διαδικασία και τους χειρισμούς της παραγράφου γ της ασκήσεως 1.

**β)** Σταθεροποιήστε τη λειτουργία του κινητήρα στον κανονικό αριθμό στροφών του.

**γ)** Συνδέστε τη γεννήτρια με το ηλεκτρικό φορτίο, που θα σας δώσουν στο εργαστήριο (π.χ. λαμπτήρες) και πραγματοποιήστε σταδιακά μεταβολές αυτού του φορτίου. Με τον τρόπο αυτό μεταβάλλεται σταδιακά και η φόρτιση του κινητήρα. Οι μεταβολές αυτές, που θα σας δείχνει το αμπερόμετρο  $A_2$ , πρέπει να είναι:

$$0,2 I_\phi, 0,4 I_\phi, 0,6 I_\phi, 0,8 I_\phi, 1 I_\phi \text{ και } 1,2 I_\phi$$

όπου  $I_\phi$  το ηλεκτρικό ρεύμα του κανονικού φορτίου του κινητήρα (στοιχείο που γράφεται στην πινακίδα του κινητήρα).

Σε κάθε μέτρησή σας φροντίστε η ένδειξη στο αμπερόμετρο  $A_1$ , και η τάση στο βολτόμετρο να παραμένουν σταθερές.

Για κάθε φόρτιση του κινητήρα μετρήστε τις στροφές του στον άξονα με ένα στροφόμετρο. Σημειώστε τις τιμές των μετρήσεών σας σε πίνακα αποτελεσμάτων, που θα φτιάξετε μόνοι σας (βλέπε και Κεφάλαιο 4).

**δ)** Με τα αποτελέσματα των μετρήσεων της παραγράφου (γ) χαράξτε τη χαρακτηριστική  $n = F(I_\phi)$  και συγκρίνετε την με εκείνη του σχήματος 5.2γ.

**ε)** Την όλη εργασία της ασκήσεως περιγράψτε συνοπτικά στο τετράδιό σας.

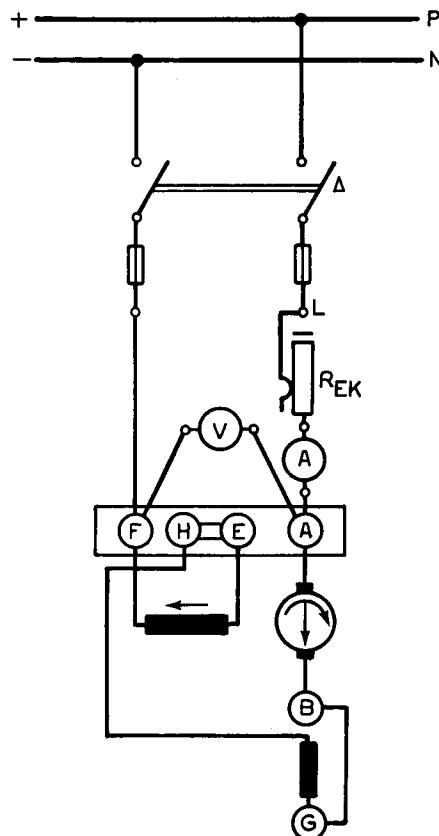
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ

### ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΜΕ ΔΙΕΓΕΡΣΗ ΣΕΙΡΑΣ

#### 6.1 Γενικά.

Ο κινητήρας με διέγερση σειράς έχει ευρεία εφαρμογή λόγω των ιδιαιτέρων χαρακτηριστικών, που παρουσιάζει κατά τη λειτουργία του. Η γεννήτρια Σ.Ρ. σειράς αντίθετα, έχει πάρα πολύ περιορισμένη εφαρμογή.

Στο σχήμα 6.1α φαίνεται η συνδεσμολογία ενός κινητήρα σειράς με όλα τα όργανα ελέγχου και προστασίας.



Σχ. 6.1α.

Συνδεσμολογία κινητήρα σειράς  $L-R = R_{ek}$ .  
Ε-Φ τύλιγμα διεγέρσεως σειράς,  $G-H/B =$  τύλιγμα βοηθητικών πόλων.

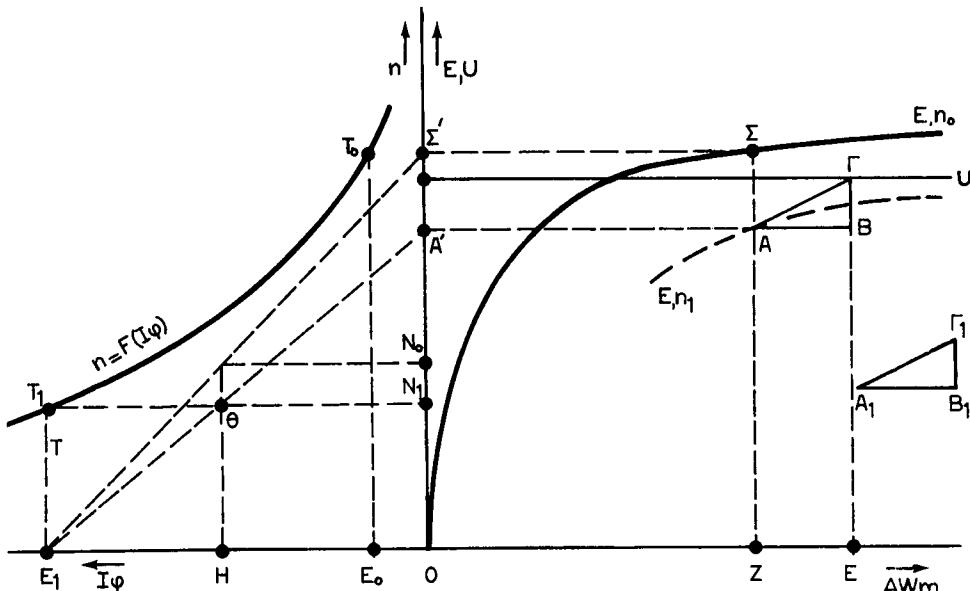
Η μελέτη της λειτουργίας του κινητήρα Σ.Ρ. με διέγερση σειράς αναφέρεται βασικά στις ακόλουθες χαρακτηριστικές του:

- α)  $n = F(I_\phi)$ . Χαρακτηριστική των στροφών σε συνάρτηση με το ηλεκτρικό ρεύμα φορτίσεως του κινητήρα και με σταθερή την τάση τροφοδοτήσεως.
- β)  $T = F(I_\phi)$ . Χαρακτηριστική της ροπής του κινητήρα σε συνάρτηση με το ηλεκτρικό ρεύμα φορτίσεως του και με σταθερή τάση τροφοδοτήσεως.

### 6.1.1 Χάραξη χαρακτηριστικής $n = F(I_\phi)$ .

Σε ορθογώνιο σύστημα αξόνων, όπως στο σχήμα 6.1β, δεχόμαστε ότι η  $E = F(AW_m)$  είναι η στατική χαρακτηριστική του κινητήρα σειράς για στροφές  $n_0$ . Η σταθερή τάση τροφοδοτήσεως του κινητήρα  $U$  παριστάνεται στο ίδιο σχήμα με ευθεία οριζόντια γραμμή.

Στην περίπτωση του κινητήρα σειράς το ηλεκτρικό ρεύμα διεγέρσεως  $I_g$  είναι το ίδιο με το ηλεκτρικό ρεύμα του επαγγειακού τυμπάνου  $I_1$ , ή φορτίσεως  $I_\phi$ . Έτσι σε ηλεκτρικό ρεύμα φορτίσεως  $I_1$ , έχουμε αμπερελίγματα διεγέρσεως (OE) και χαρακτηριστικό τρίγωνο  $A_1B_1\Gamma_1$ , (σχ. 6.1β).



**Σχ. 6.1β.**  
Χαρακτηριστική  $n = F(I_\phi)$ .

Φέρομε τήν κατακόρυφο  $E\Gamma$  και τοποθετούμε το χαρακτηριστικό τρίγωνο  $A_1B_1\Gamma_1$ , στην πραγματική του θέση  $AB\Gamma$ .

Γνωρίζομε ότι με το ηλεκτρικό ρεύμα φορτίσεως  $I_1$ , αναπτύσσονται στο επαγγειακό τύμπανο του κινητήρα αντίθετα αμπερελίγματα  $EZ$  (αυτό θα το δούμε και στις μετρήσεις μας) και επομένως τα πραγματικά αμπερελίγματα που διαθέτουμε στην περίπτωσή μας θα είναι:  $(OE) - (EZ) = (OZ)$ . Με αυτά τα αμπερελίγματα αναπτύσσεται στατική  $H.E.D.$ ,  $(ZA)$ . Επειδή όμως το σημείο  $A$  πρέπει να βρίσκεται πάντοτε πάνω στη στατική χαρακτηριστική του κινητήρα θα πρέπει, στη φόρτιση  $I_1$  ο κινητήρας να έχει ταχύτητα περιστροφής  $n_1$ , που αντιστοιχεί στη στατική χαρακτηριστική που διέρχεται από το σημείο  $A$ .

Από τη σχέση  $E = K\Phi$ , η φαίνεται ότι η  $H.E.D.$ , που αναπτύσσεται κάτω από μια μαγνητική ροή  $\Phi$  [αντίστοιχη με  $(OZ)$  αμπερελίγματα] είναι ανάλογη με τον αριθμό στροφών του κινητήρα. Επομένως οι στατικές  $H.E.D$   $(ZA)$  και  $(Z\Sigma)$ , που μπορούν να αναπτυχθούν στον κινητήρα, με τα ίδια αμπερελίγματα  $(OZ)$  είναι ανάλογες με τις στροφές του  $n$  και  $n_1$  (σχ. 6.1β). Δηλαδή:  $\frac{ZA}{Z\Sigma} = \frac{n_0}{n_1}$ . Αν στο σχήμα

$$\frac{ZA}{Z\Sigma} = \frac{n_0}{n_1}$$

μας το  $(ON_0)$  αντιστοιχεί στις  $n_0$  στροφές και  $\frac{ON_0}{ON_1} = \frac{ZA}{Z\Sigma}$ , το μήκος  $(ON_1)$  παριστάνει τις  $n_1$  στροφές του κινητήρα.

Έτσι με γεωμετρική κατασκευή, που φαίνεται στο σχήμα 6.1β, προσδιορίζουμε το σημείο  $T$ , της χαρακτηριστικής  $n = F(I_\phi)$  κ.ο.κ. και χαράζομε την αντίστοιχη καμπύλη.

Από τη μορφή της καμπύλης της χαρακτηριστικής  $n = F(I_\phi)$  και τη θέση της στο ορθογώνιο σύστημα αξόνων, παρατηρούμε ότι όσο το ηλεκτρικό ρεύμα φορτίσεως αυξάνει τόσο γρηγορότερα πιέφτουν οι στροφές.

Ο κινητήρας σειράς στη λειτουργία του χωρίς φορτίο απορροφά ένα ελάχιστο ηλεκτρικό ρεύμα  $I_0 = (OE_0)$ , για να καλύψει τις διάφορες απώλειές του. Στην περίπτωση αυτή οι στροφές του κινητήρα αυξάνουν επικίνδυνα με αποτέλεσμα την καταστροφή του επαγγελματικού τυμπάνου (λόγω των πολύ μεγάλων φυγόκεντρων δυνάμεων που αναπτύσσονται σε αυτό).

Επομένως: **Ο κινητήρας Σ.Ρ. με διέγερση σειράς δεν πρέπει να λειτουργεί χωρίς φορτίο.**

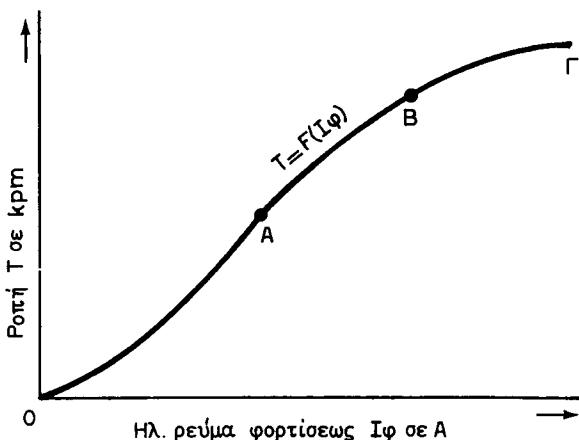
### 6.1.2 Χάραξη χαρακτηριστικής $T = F(I_\phi)$ .

Στον κινητήρα σειράς η διέγερσή του διαρρέεται από το ηλεκτρικό ρεύμα του επαγγελματικού τυμπάνου, δηλαδή το ρεύμα φορτίσεως του. Έτσι για φορτίσεις του κινητήρα με διέγερση σειράς, σε τέτοια όρια που να μην οδηγείται η διέγερση στο μαγνητικό κόρο, η μαγνητική ροή των πόλων του  $\Phi$  είναι ευθέως ανάλογη με το ηλεκτρικό ρεύμα φορτίσεως  $I_\phi$ .

Επομένως η βασική σχέση  $T = K \cdot \Phi \cdot I_\phi$  παίρνει τη μορφή  $T = K_1 I_\phi^2$  (αφού  $\Phi = \lambda \cdot I_\phi$ ). Η ροπή είναι ανάλογη με το τετράγωνο του ηλεκτρικού ρεύματος φορτίσεως. Για μεγαλύτερες φορτίσεις, και επειδή η μαγνητική ροή  $\Phi$  του κόρου είναι σταθερή, η ροπή είναι  $T = K_2 I_\phi$ .

Μπορούμε να χαράζουμε την καμπύλη  $T = F(I_\phi)$  κάνοντας κατάλληλες μετρήσεις στο εργαστήριο με τη βοήθεια δυναμοπέδης, όπως θα δούμε παρακάτω.

Η μορφή της χαρακτηριστικής  $T = F(I_\phi)$  φαίνεται στο σχήμα 6.1γ.



**Σχ. 6.1γ.**  
Χαρακτηριστική  $T = F(I_\phi)$ .

Η καμπύλη της χαρακτηριστικής αυτής στο τμήμα της  $(OA)$  είναι ανάλογη με το τετράγωνο του ηλεκτρικού ρεύματος φορτίσεως (παραβολοειδής μορφή). Από το σημείο  $A$  μέχρι το  $B$  είναι σχεδόν ευθεία, ( $T = K_2 I_\phi$ ).

Μετά το σημείο  $B$  η ροπή αυξάνει ελάχιστα με το ηλεκτρικό ρεύμα φορτίσεως. Αυτό οφείλεται στο ότι, στις πολύ μεγάλες υπερφορτίσεις του κινητήρα, το φαινόμενο της αντιδράσεως του επαγγελματικού τυμπάνου είναι έντονο και μειώνει βασικά τη συνολική μαγνητική ροή. Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι ο κινητήρας με διέγερση σειράς παρουσιάζει μεγάλη αυξομείωση των στροφών του με

μεταβαλλόμενο φορτίο, σε σχέση με τον κινητήρα παράλληλης διεγέρσεως του οποίου οι στροφές μένουν σχεδόν σταθερές στις μεταβολές του φορτίου.

Συμπεραίνομε ακόμα ότι ο κινητήρας αναπτύσσει μεγαλύτερη κινητήρια ροπή από τον αντίστοιχο κινητήρα παράλληλης διεγέρσεως.

Για τους λόγους αυτούς ο κινητήρας Σ.Ρ. σειράς χρησιμοποιείται εκεί, που απαιτείται μεταβολή στροφών με το φορτίο ή μεγάλη ροπή στρέψεως σε υπερφορτίσεις και που δεν υπάρχει κίνδυνος να λειτουργήσει χωρίς φορτίο, όπως π.χ. για την κίνηση γερανών, βαρούλκων σε πλοιά, στην ηλεκτρική έλξη (σιδηρόδρομοι, τρόλεϋ) κλπ.

## 6.2 Ασκήσεις.

1. Αναγνωρίστε στο κιβώτιο ακροδεκτών του κινητήρα σειράς, που θα σας δοθεί το εργαστήριο, τα τυλίγματά του.

**α)** Από την πινακίδα των χαρακτηριστικών στοιχείων του κινητήρα (τάση λειτουργίας, ονομαστική ένταση φορτίσεως, ισχύς κλπ) σημειώστε εκείνα, που σας χρειάζονται για να ελέγχετε την καταλληλότητα των οργάνων και συσκευών που σας έχουν δοθεί για να πραγματοποιήσετε τη συνδεσμολογία του σχήματος 6.2a. Συγκρίνετε τη συνδεσμολογία αυτή με εκείνη του σχήματος 6.1a.

**β)** Αν ο κινητήρας έχει βοηθητικούς πόλους πρέπει να προσέξετε την πολικότητά τους σε σχέση με τη φορά περιστροφής του κινητήρα. Αν η πολικότητα των βοηθητικών πόλων είναι λανθασμένη τότε έχομε έντονο σπινθηρισμό στο συλλέκτη κατά τη λειτουργία του κινητήρα.

**γ)** Συνδέστε μηχανικά στον άξονα του κινητήρα μια γεννήτρια Σ.Ρ., που θα την χρησιμοποιήσετε ως φορτίο του κινητήρα.

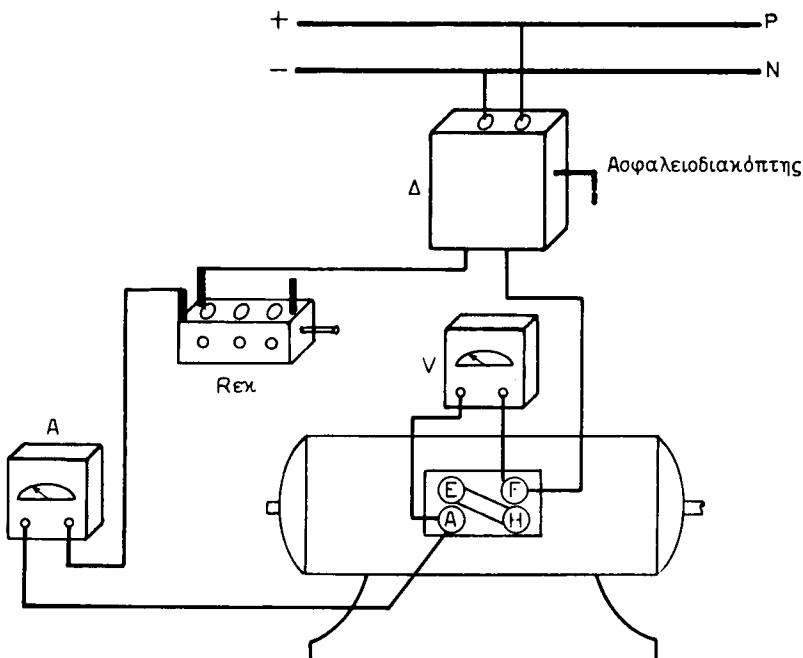
**Προσοχή:** Πριν από κάθε χειρισμό σας βεβαιωθείτε ότι η αντίσταση του εκκινητή  $R_{ek}$  είναι ολόκληρη μέσα στο κύκλωμα και το φορτίο μόνιμα συνδεμένο στον κινητήρα.

**δ)** Κλείστε το διακόπτη Δ και τροφοδοτήστε τον κινητήρα με ηλεκτρικό ρεύμα. Αυξομείωστε τη ρυθμιστική αντίσταση  $R_{ek}$  σταδιακά μέχρι να εφαρμοσθεί στον κινητήρα η τάση U τροφοδοτήσεως του. Σταθεροποιήστε τη λειτουργία του κινητήρα στο ελάχιστο ηλεκτρικό ρεύμα φορτίσεως  $I_f$  και στο μέγιστο κανονικό αριθμό στροφών του.

Σημειώστε τις ενδείξεις του αμπερόμετρου, του βολτόμετρου και του στροφόμετρου στον πίνακα αποτελεσμάτων 6.2.1.

**ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ 6.2.1**

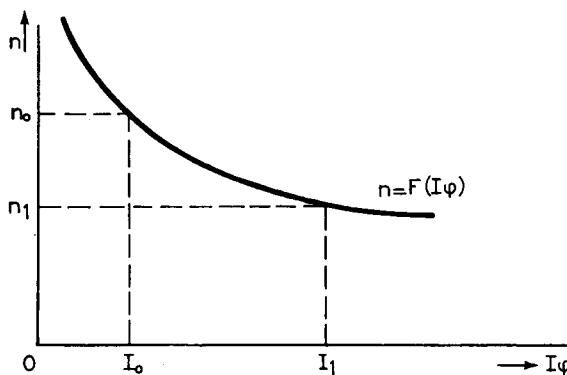
Τάση τροφοδοτήσεως $U = \dots \dots \dots$ (σταθερή)	
$I_f$ (A)	$n$ (στροφές/min)
.....	.....
.....	.....
.....	.....
.....	.....



Σχ. 6.2α.

**ε)** Αυξομειώστε το φορτίο της γεννήτριας. Έτσι πετυχαίνετε και τη μεταβολή του φορτίου του κινητήρα. Η μεταβολή του φορτίου να γίνεται κάθε φορά σε ποσοστό 20% από το μέγιστο φορτίο του κινητήρα. Σε κάθε μεταβολή σημειώστε τις ενδείξεις των οργάνων στον πίνακα αποτελεσμάτων 6.2.1. Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων αυτών φροντίστε η τάση τροφοδοτήσεως του κινητήρα να παραμένει σταθερή.

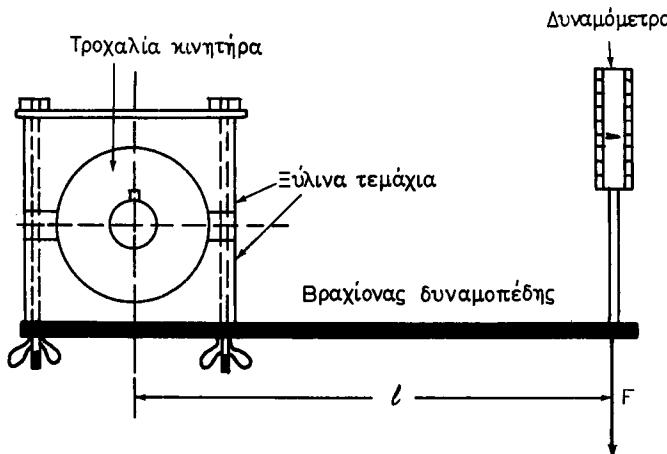
**στ)** Με τη βοήθεια των στοιχείων που γράψατε στον πίνακα αποτελεσμάτων να χαράξετε σε σύστημα ορθογωνίων αξόνων τη χαρακτηριστική  $n = F(I_\phi)$ , δηλαδή την καμπύλη στροφές-ένταση φορτίσεως (σχ. 6.2β).



Σχ. 6.2β.

2. Τη δυναμοπέδη, που θα σας δοθεί, συνδέστε την μηχανικά στην τροχαλία του κινητήρα της ασκήσεως 1.

**a)** Πραγματοποιήστε τους ίδιους χειρισμούς και τις ίδιες μετρήσεις της ασκήσεως 1 σημειώνοντας εδώ πρόσθετα, σε κάθε περίπτωση και την ένδειξη του δυναμόμετρου της δυναμοπέδης (σχ. 6.2γ).



Σχ. 6.2γ.  
Δυναμοπέδη.

Με τις ενδείξεις του δυναμόμετρου υπολογίστε την αντίστοιχη κινητήρια ροπή στρέψεως:  $T = F \cdot l$ .

όπου:  $F$  = η ένδειξη του δυναμόμετρου (σε kp)

και  $l$  = το μήκος του βραχίονα του συστήματος της δυναμοπέδης (σε m).

Τα αποτελέσματα των μετρήσεών σας και του υπολογισμού της ροπής σημειωστε τα στον πίνακα αποτελεσμάτων 6.2.2.

#### ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ 6.2.2

Τάση τροφοδοτήσεως $U = \dots$ (σταθερή) Μήκος βραχίονα πέδης $l = \dots$ m			
$I_\phi$ (A)	$n$ (στροφές/min)	$F$ (kp)	$T$ (kpm)
.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....

**β)** Στη συνέχεια χαράξτε τη χαρακτηριστική ροπή στρέψεως-ένταση ηλεκτρικού ρεύματος φορτίσεως  $T = F(I_\phi)$ , που θα έχει τη μορφή του σχήματος 6.1 γ.

3. Από τις ροπές, που υπολογίσατε στην άσκηση 2 και με τις αντίστοιχες στροφές ανά λεπτό του κινητήρα σειράς, υπολογίστε σε κάθε περίπτωση φορτί-

σεως τη μηχανική ισχύ που αποδίδεται από τον κινητήρα σύμφωνα με τη σχέση  $N_{\omega\phi} = 1,026 \cdot T \cdot n$  (σε W), όταν η ροπή T είναι σέ kpm και το n σε στροφές ανά λεπτό.

**α)** Τα αποτελέσματα του υπολογισμού της μηχανικής ισχύος και εκείνα των πινάκων 6.2.1 και 6.2.2 μεταφέρετε τα στον πίνακα αποτελεσμάτων 6.2.3.

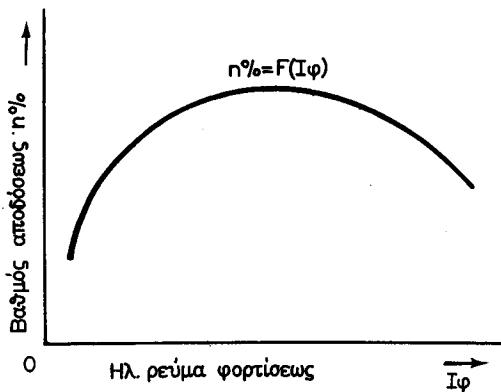
**β)** Από τη σχέση  $N_{\eta\lambda} = U \cdot I_{\phi}$  υπολογίστε την ηλεκτρική ισχύ (σε W), που απορροφά ο κινητήρας από το δίκτυο τροφοδοτήσεώς του, σε κάθε μεταβολή του φορτίου του, που πραγματοποιήσατε στις ασκήσεις 1 και 2. Στη συνέχεια

υπολογίστε από τη σχέση  $n\% = \frac{N_{\omega\phi}}{N_{\eta\lambda}} \cdot 100$  το βαθμό αποδόσεως με τον οποίο λειτουργεί ο κινητήρας σε κάθε φόρτισή του. Σημειώστε τα αποτελέσματα στον πίνακα αποτελεσμάτων 6.2.3.

### ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ 6.2.3

Τάση τροφοδοτήσεως $U = \dots$ (σταθερή) Μήκος βραχίονα πέδης $l = \dots$ m						
$I_{\phi}$ (A)	n (στροφές/min)	F(kp)	T(kpm)	$N_{\omega\phi}$ (W)	$N_{\eta\lambda}$ (W)	n%
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....

**γ)** Χαράξτε σε σύστημα ορθογωνίων αξόνων την καμπύλη  $n\% = F(I_{\phi})$  (σχ. 6.2δ).



**Σχ. 6.2δ.**  
Χαρακτηριστική βαθμού αποδόσεως.

**δ)** Στο τετράδιό σας περιγράψτε συνοπτικά την όλη πορεία της εργασίας σας στις ασκήσεις 1,2 και 3. Διατυπώστε τις παρατηρήσεις και τα συμπεράσματά σας.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΒΔΟΜΟ

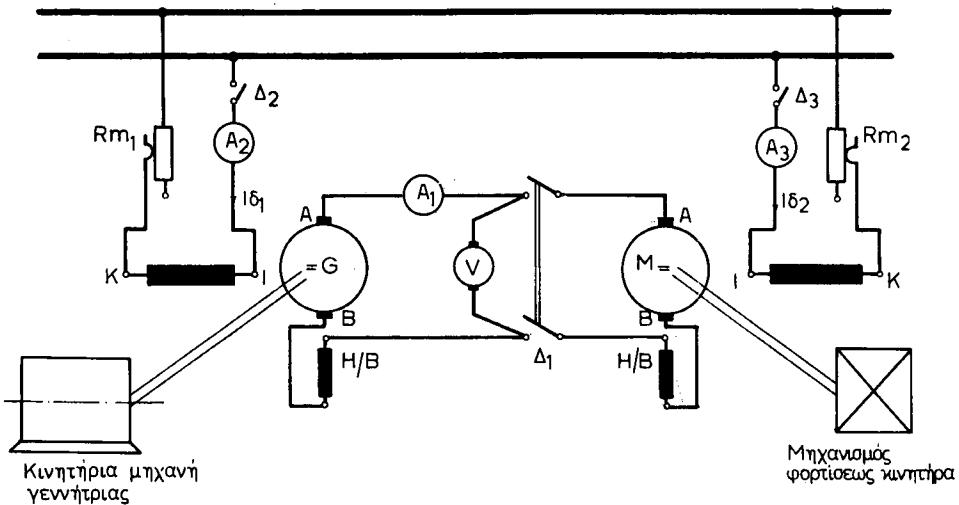
### ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΖΕΥΞΕΩΣ WARD-LEONARD

#### 7.1 Γενικά.

Η ζεύξη αυτή χρησιμοποιείται στις περιπτώσεις που χρειαζόμαστε γραμμική μεταβολή των στροφών σε μεγάλη έκταση, όπως στην κίνηση των ελάστρων, ανυψωτικών μηχανών, ελίκων πλοίων κ.ά. Η χρήση της περιορίζεται λόγω του μεγάλου κόστους της εγκαταστάσεως της.

Για να πραγματοποιηθεί η ζεύξη Ward-Leonard (Γουόρντ-Λέοναρντ) χρειάζονται:

- Μια γεννήτρια Σ.Ρ. ξένης διεγέρσεως, που μπορεί να κινείται με οποιοδήποτε κινητήριο μέσο.  
Συνήθως σε τέτοιες εγκαταστάσεις ως κινητήρια μηχανή χρησιμοποιείται τριφασικός ασύγχρονος κινητήρας.
- Ένας κινητήρας Σ.Ρ. ξένης διεγέρσεως.
- Μια πηγή Σ.Ρ. για τη διέγερση της γεννήτριας και του κινητήρα (σχ. 7.1a).



Σχ. 7.1.  
Ζεύξη Ward-Leonard.

Η ρύθμιση των στροφών του κινητήρα γίνεται με τη μεταβολή της τάσεως τροφοδοτήσεώς του. Η ρύθμιση της τάσεως της γεννήτριας επιτυγχάνεται με τη ρύθμιση του ηλεκτρικού ρεύματος διεγέρσεως της. Το ηλεκτρικό ρεύμα διεγέρσεως του κινητήρα παραμένει σταθερό. Αν το ηλεκτρικό ρεύμα διεγέρσεως του κινητήρα μειωθεί πολύ, ο κινητήρας αναπτύσσει τότε υπερβολική ταχύτητα και είναι επικίνδυνο για όλη την εγκατάσταση του κινητήρα και του φορτίου του.

## 7.2 Ασκήσεις.

1. Αναγνωρίστε τις μηχανές, τα όργανα και τις συσκευές ελέγχου που' θα σας δοθούν στο εργαστήριο για να πραγματοποιήσετε τη ζεύξη Ward-Leonard.

**α)** Πραγματοποιήστε τη συνδεσμολογία του σχήματος 7.1.

**β)** Να θέσετε σε λειτουργία την κινητήρια μηχανή της γεννήτριας. Ρυθμίστε τις στροφές της στον ονομαστικό αριθμό στροφών της γεννήτριας (εδώ χρειάζεται και ένα στροφόμετρο).

**γ)** Κλείστε το διακόπτη  $\Delta_2$  και ρυθμίστε την αντίσταση  $R_{m_1}$ , μέχρις ότου η ένδειξη του βολτόμετρου (V) δείξει το  $1/2$  της ονομαστικής τάσεως της γεννήτριας.

**δ)** Κλείστε τους διακόπτες  $\Delta_1$  και  $\Delta_3$ . Με την αντίσταση  $R_{m_2}$  ρυθμίστε το ηλεκτρικό ρεύμα, που δείχνει το αμπερόμετρο  $A_3$ , ώστε να παραμένει σταθερό σε δλη τη διάρκεια της λειτουργίας της ζεύξεως.

**ε)** Αυξομειώστε την  $R_{m_1}$ , σε δλη της την τιμή. Παρατηρήστε ότι οι στροφές του κινητήρα μεταβάλλονται ανάλογα με τις μεταβολές της ενδείξεως του βολτόμετρου.

**Προσοχή.** Στο κύκλωμα διεγέρσεως του κινητήρα να μη δημιουργήσετε διακοπή, γιατί τότε ο κινητήρας θα αναπτύξει επικίνδυνα υπερβολική ταχύτητα.

Διακόψτε τη λειτουργία της ζεύξεως Ward-Leonard κάνοντας τις ίδιες ενέργειες και χειρισμούς κατ' αντίστροφη φορά.

Σημειώστε στο τετράδιό σας τα αποτελέσματα των μετρήσεων σας και διατυπώστε τις παρατηρήσεις και τα συμπεράσματά σας.

2. Συνδέστε στον κινητήρα της συνδεσμολογίας της ασκήσεως 1a (σχ. 7.1 ) τη δυναμοπέδη, που θα σας δοθεί, ως φορτίο.

**α)** Πραγματοποιήστε τις ενέργειες και τους χειρισμούς της ασκήσεως 1. Ρυθμίστε την τάση της γεννήτριας αυξάνοντάς την κάθε φορά κατά 20% από την ονομαστική της τάση.

Σε κάθε μεταβολή της τάσεως μετρήστε την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος φορτίσεως του κινητήρα (ενδείξεις αμπερόμετρου  $A_1$ ) και το ηλεκτρικό ρεύμα διεγέρσεως της γεννήτριας  $I_d$ , (ενδείξεις αμπερόμετρου  $A_2$ ). Επίσης μετρήστε, με το στροφόμετρο τις στροφές του κινητήρα, και την περιφερειακή δύναμη (F) της δυναμοπέδης με το δυναμόμετρο. Καταχωρήστε τα αποτελέσματα των μετρήσεων στον πίνακα αποτελεσμάτων 7.2.1.

**ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ 7.2.1**

Ιδ <sub>2</sub> = ..... A σταθερό στροφές κινητήριας μηχανής n <sub>1</sub> = ..... σε/min				
I <sub>d</sub> <sub>1</sub>	U	Φ	n	F
.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....

**β)** Μελετήστε από τον πίνακα τα αποτελέσματα των μετρήσεων που πραγματοποιήσατε. Διατυπώστε στο τετράδιό σας, συνοπτικά τις παρατηρήσεις και τα συμπεράσματά σας.

## ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ

### ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ (Ε.Ρ.)

#### ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΟΓΔΟΟ

##### ΜΕΤΡΗΣΗ ΜΕ ΓΕΦΥΡΑ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΑΥΤΕΠΑΓΩΓΗΣ ΠΗΝΙΟΥ (L) ΚΑΙ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΠΥΚΝΩΤΗ (C)

###### 8.1 Γενικά.

###### 8.1.1 Συντελεστής αυτεπαγωγής πηνίου.

Είναι γνωστό ότι, όταν τροφοδοτήσομε ένα πηνίο με εναλλασσόμενο ρεύμα, αναπτύσσεται σε αυτό Η.Ε.Δ.  $E_L$  από αυτεπαγωγή. Η τιμή της είναι ανάλογη με την ταχύτητα που μεταβάλλεται το ρεύμα μέσα στο πηνίο και με το συντελεστή αναλογίας που εξαρτάται από τα κατασκευαστικά στοιχεία του πηνίου και ονομάζεται **συντελεστής αυτεπαγωγής L**. Δηλαδή η τάση από αυτεπαγωγή στο πηνίο είναι:

$$e = \frac{dl}{dt}$$

Μονάδα μετρήσεως του L είναι το ανρύ (Η) και υποπολλαπλάσιά του το μιλλιανρύ (mH) και το μικροανρύ (μΗ).

Τα πηνία όταν συνδέονται σε σειρά χωρίς να υπάρχει αμοιβαία επαγωγή μεταξύ τους, παρουσιάζουν ισοδύναμο συντελεστή αυτεπαγωγής:

$$L_0 = L_1 + L_2 + \dots + L_v$$

Όταν συνδέονται παράλληλα παρουσιάζουν ισοδύναμο συντελεστή αυτεπαγωγής:

$$L_0 = \frac{1}{\frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \dots + \frac{1}{L_v}}$$

###### 8.1.2 Χωρητικότητα πυκνωτή C.

Όταν στα άκρα του πυκνωτή εφαρμόζεται τάση τότε στους οπλισμούς του συγκεντρώνονται ηλεκτρικά φορτία που είναι ανάλογα με την τάση που εφαρμόζεται και με μια σταθερά αναλογίας, που εξαρτάται από τα κατασκευαστικά στοιχεία του πυκνωτή και ονομάζεται **χωρητικότητα C** του πυκνωτή. Δηλαδή τα ηλεκτρικά φορτία στους οπλισμούς του πυκνωτή είναι  $Q = C \cdot U$ . Μονάδα μετρήσεως του C είναι το φαράντ (F) και υποπολλαπλάσιά του το μικροφαράντ ( $\mu F$ ) και το πικοφαράντ ( $\mu F$  ή  $\mu mF$ ).

Οι πυκνωτές όταν συνδέονται μεταξύ τους σε σειρά παρουσιάζουν ισοδύναμη χωρητικότητα.

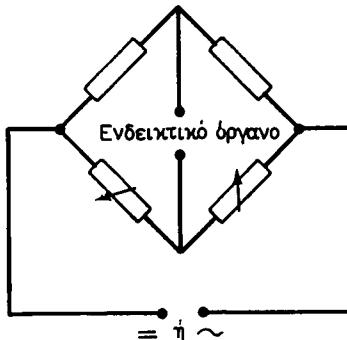
$$C_0 = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_v}}$$

Όταν συνδέονται παράλληλα παρουσιάζουν ισοδύναμη χωρητικότητα.

$$C_0 = C_1 + C_2 + \dots + C_v .$$

Στο μάθημα «ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ» του Β' έτους, μάθαμε πώς να μετράμε ωμικές αντιστάσεις με την γέφυρα Wheatstone. Υπάρχουν πολλές παραλλαγές της, όπως οι γέφυρες Maxwell, Hay, Wien, Schering κ.ά. με τις οποίες μπορούμε να μετρήσουμε με μεγάλη ακρίβεια τη χωρητικότητα ( $C$ ) των πυκνωτών και το συντελεστή αυτεπαγωγής ( $L$ ) των πηνίων.

Σε όλες τις περιπτώσεις 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 μηδενισθεί με κατάλληλη ρύθμιση των στοιχείων δύο πλευρικών κλάδων (σχ. 8.1a).



Σχ. 8.1a.

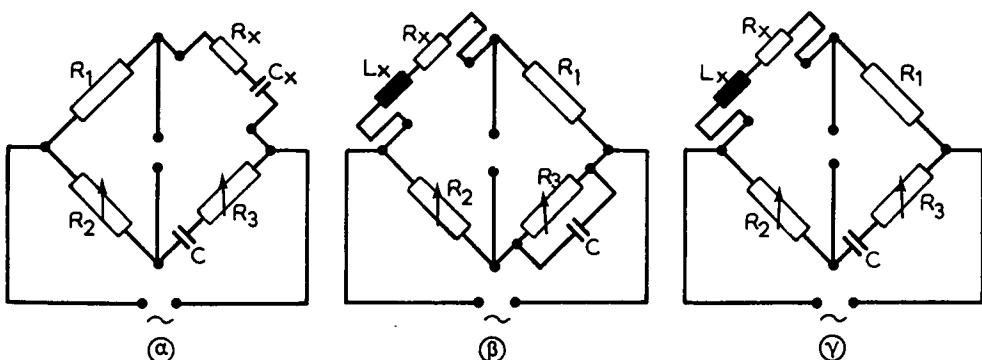
Όταν στη γέφυρα πετύχει ο μηδενισμός της διαφοράς δυναμικού, τότε λέμε ότι η γέφυρα **ισορροπεί**.

Στο παρακάτω σχήμα 8.1β έχουμε τρία τυπικά κυκλώματα γεφυρών που χρησιμοποιούνται σε συκευές για τη μέτρηση του ( $L$ ) των πηνίων και του ( $C$ ) των πυκνωτών.

Από τα κυκλώματα των γεφυρών του σχήματος 8.1β, παρατηρούμε, ότι μια γέφυρα για να είναι κατάλληλη για τη μέτρηση  $C$  και  $L$  πρέπει να αποτελείται:

Από δύο κλάδους προτύπων ωμικών αντιστάσεων  $R_1, R_2$ .

Από τον κλάδο χωρητικότητας ( $C$ ) που συνδέεται σε σειρά ή παράλληλα με μεταβλητή αντίσταση και χρησιμεύει για την εξισορρόπηση της ισοδύναμης αντιστάσεως απωλειών των προς μέτρηση στοιχείων  $L$  ή  $C$  και από τον κλάδο που περιλαμβάνει τα προς μέτρηση στοιχεία  $L$  ή  $C$  και την ισοδύναμη αντίσταση απωλειών τους.



Σχ. 8.1β.

(a) Γέφυρα για μέτρηση  $C$ . (b) Γέφυρα Maxwell. (c) Γέφυρα Hay.

Στον ένα διαγώνιο κλάδο εφαρμόζεται έναλλασσόμενη τάση με συχνότητα 400 ή 1000 Hz και στον άλλο συνδέεται ηλεκτρονικό βολτόμετρο ή άλλο ενδεικτικό όργανο κατάλληλο για να λειτουργήσει στο E.P.

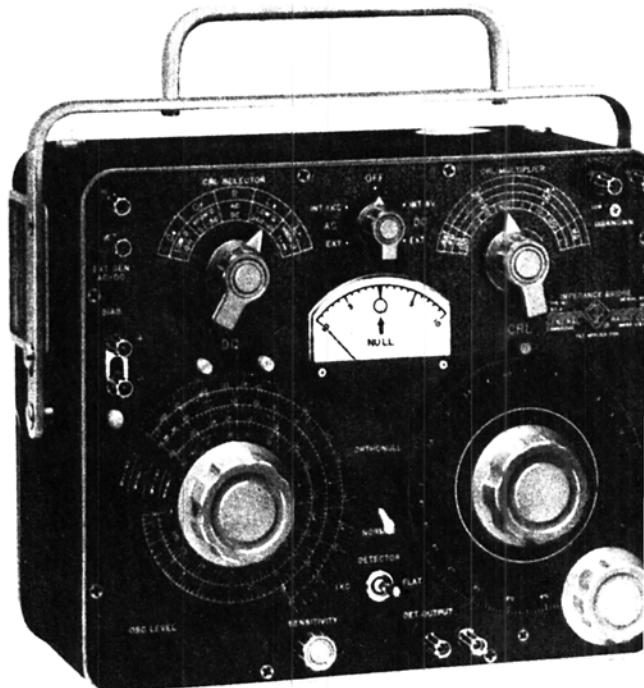
Ακόμη στη θέση αυτή μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε και ακουστικά. Η  $R_2$  είναι μια μεταβλητή ωμική αντίσταση της οποίας οι τιμές αντιστοιχούν αμέσως σε  $\mu H$  - mH ή  $pF$  -  $\mu F$ . Στα κυκλώματα των γεφυρών ( $\beta$ ) και ( $\gamma$ ) παρατηρούμε ότι είναι εύκολο με τη βοήθεια ενός διακόπτη να μετατραπεί η γέφυρα Hay σε γέφυρα Maxwell.

### 8.1.3 Πώς χρησιμοποιούνται οι γέφυρες για μέτρηση L και C.

Τροφοδοτείται η γέφυρα εξωτερικά από ένα ταλαντωτή ακουστικών συχνοτήτων όπως στο σχήμα 8.1γ. Ρυθμίζεται στη συχνότητα 1000 Hz και τάση εξόδου της τάξεως των 3V. Στις ειδικές υποδοχές της γέφυρας έχουμε τοποθετήσει τα άκρα του πηνίου ή του πυκνωτή που θέλομε να μετρήσουμε. Στρέφομε τη  $R_2$  στη γέφυρα μέχρι τη βελόνα του ενδεικτικού οργάνου να δείξει τη μικρότερη απόκλιση. Κατόπιν στρέφομε τη  $R_3$  μέχρι να επιτευχθεί νέα ελάχιστη απόκλιση της βελόνας του ενδεικτικού οργάνου. Η ρύθμιση επαναλαμβάνεται πάλι με τη  $R_2$  μέχρι να επιτύχουμε τη μικρότερη απόκλιση του οργάνου. Για μεγαλύτερη ακρίβεια αυξάνομε την τάση του ταλαντωτή και επαναλαμβάνομε, όπως προηγουμένως, τις ρυθμίσεις.



Σχ. 8.1γ.



Σχ. 8.1δ.  
Γέφυρα μετρήσεως R, L, C.

Στην εικόνα του σχήματος 8.1δ φαίνεται ένας τύπος γέφυρας για μετρήσεις αντιστάσεων από  $1\Omega$  μέχρι  $10 M\Omega$ , χωρητικότητα (C) πυκνωτών από  $1pF$  μέχρι  $1000 \mu F$  και συντελεστή αυτεπαγωγής ποντίων (L) από  $1 \mu mH$  μέχρι  $1000 H$  με ακρίβεια μετρήσεων 1%.

## 8.2 Ασκήσεις.

1. Αναγνωρίστε τη γέφυρα μετρήσεων R,L και C, που θα σας δοθεί στο εργα-

στήριο. Ζητήστε συμπληρωματικές πληροφορίες για τη χρήση της από τον υπεύθυνο καθηγητή του εργαστήριου. Συμβουλευθείτε και για περισσότερη ενημέρωσή σας το ειδικό φυλλάδιο του κατασκευαστή.

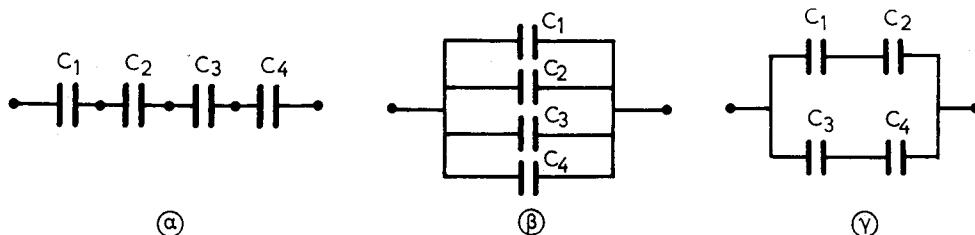
Σχεδιάστε στο τετράδιό σας την πρόσωψη της γέφυρας και αναφέρετε συνοπτικά την εργασία που κάθε κουμπί της καθώς και τις κλίμακες των μετρήσεων R, L και C.

- 2.** Συνδέστε στη γέφυρα διαδοχικά τα πηνία και τους πυκνωτές που θα σας δοθούν στο εργαστήριο για μέτρηση. Ρυθμίστε τη γέφυρα σύμφωνα με τις οδηγίες που θα σας δώσουν στο εργαστήριο και μετρήστε το L των πηνίων και το C των πυκνωτών. Καταχωρίστε τα αποτέλεσμα των μετρήσεων στον πίνακα αποτελεσμάτων 8.2.1.

**ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ 8.2.1**

Μετρήσεις C	Μετρήσεις L
Πυκνωτών σε ( $\mu\text{F}$ )	Πηνίων σε (H)
$C_1 \dots$	$L_1 \dots$
$C_2 \dots$	$L_2 \dots$
$C_3 \dots$	$L_3 \dots$
$C_4 \dots$	$L_4 \dots$

- 3.** Συνδέστε τους πυκνωτές διαδοχικά όπως στις συνδεσμολογίες του σχήματος 8.2a.



**Σχ. 8.2a.**

$$(a) \quad C_0 = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \frac{1}{C_4}}$$

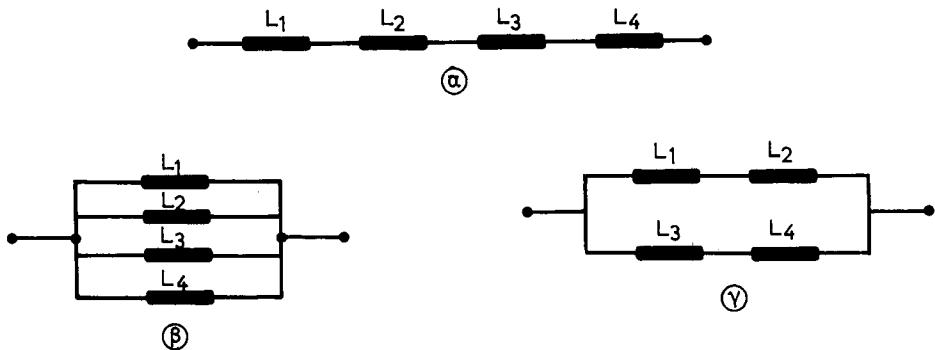
$$(b) \quad C_0 = C_1 + C_2 + C_3 + C_4$$

$$(c) \quad C_0 = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} + \frac{C_3 C_4}{C_3 + C_4}$$

Μετρήστε την ισοδύναμη χωρητικότητα κάθε συνδεσμολογίας. Να επαληθεύσετε το αποτέλεσμα κάθε μετρήσεως με αυτό που θα βρείτε μετά τον υπολογισμό.

- 4.** Συνδέστε τα πηνία μεταξύ τους διαδοχικά όπως στις συνδεσμολογίες του σχήματος 8.2β (φροντίστε την απόσταση μεταξύ των πηνίων ώστε να αποφευχθεί το φαινόμενο της αμοιβαίας επαγωγής).

Μετρήστε τον ισοδύναμο συντελεστή αυτεπαγωγής κάθε συνδεσμολογίας πηνίων και επαληθεύστε το αποτέλεσμα κάθε μετρήσεως με αυτό που θα βρείτε μετά τον υπολογισμό.



**Σχ. 8.2β.**

$$(a) \quad L_0 = L_1 + L_2 + L_3 + L_4$$

$$(b) \quad L_0 = \frac{L}{\frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} + \frac{1}{L_4}}$$

$$(c) \quad L_0 = \frac{(L_1 + L_2) \cdot (L_3 + L_4)}{(L_1 + L_2) + (L_3 + L_4)}$$

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΝΑΤΟ

### ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ

#### 9.1 Γενικά.

Μας είναι γνωστό ότι σε κάθε εναλλασσόμενό μέγεθος, ο χρόνος που χρειάζεται για να γίνει μια πλήρης μεταβολή σ' αυτό ονομάζεται **περίοδος** ( $T$ ), την οποία μετραμε σε δευτερόλεπτα (sec ή s). Τον αριθμό των πλήρων μεταβολών του εναλλασσόμενου μεγέθους που πραγματοποιούνται σε ένα sec τον ονομάζομε συχνότητα ( $f$ ).

$$\text{Τα δύο αυτά μεγέθη, η συχνότητα και η περίοδος είναι αντίστροφα, δηλαδή } f = \frac{1}{T}.$$

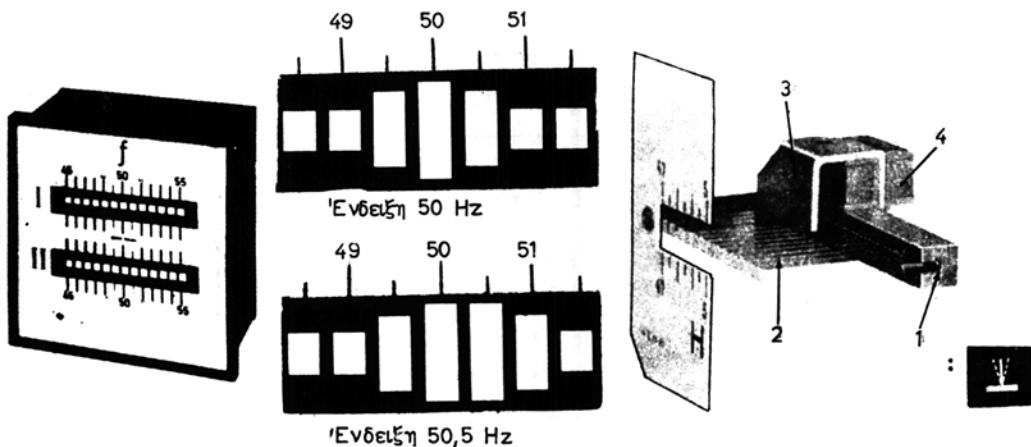
Τη συχνότητα τη μετραμε σε κύκλους ανά δευτερόλεπτο (c/sec) ή σε Herz (Hz).

Τα πολλαπλάσια τους είναι: το  $\text{kc/sec} = 1000 \text{ c/sec}$  ή  $\text{kHz} = 1000 \text{ Hz}$   
και το  $\text{Mc/sec} = 1000 \text{ kc/sec}$  ή  $\text{MHz} = 1000 \text{ kHz}$ .

Στα δίκτυα μεταφοράς και διανομής πληκτρικής ενέργειας διατηρουμε τη συχνότητα σταθερή. Οι συχνότητές τους είναι 50 ή 60 Hz και τις χαρακτηρίζομε ως βιομηχανικές συχνότητες, σε σχέση με αλλες εφαρμογές εναλλασσόμενων ρευμάτων, π.χ. τηλεφωνίας, ραδιοεπικοινωνίας κ.ά.

Τη συχνότητα ενός εναλλασσόμενου ρεύματος τη μετραμε με τη γέφυρα «Robinson», με τη συμβολή συχνοτήτων, με τη στροβισκοπική κ.ά. Τη μετραμε επίσης και απ' ευθείας με ενδεικτικά όργανα που ονομάζονται **συχνόμετρα**. Υπάρχουν και εδώ αρκετοί τύποι συχνομέτρων, όπως το συχνόμετρο με παλλόμενα ελάσματα, το πληκτροδυναμικό συχνόμετρο, το επαγγεικό συχνόμετρο κ.ά.

Στο κεφάλαιο αυτό κάνομε λόγο, μόνο για το συχνόμετρο με παλλόμενα ελάσματα, γιατί αυτό χρησιμοποιείται περισσότερο στις βιομηχανικές εγκαταστάσεις (σχ. 9.1a).



Σχ. 9.1.

1) Βάση. 2) Ελάσματα. 3) Πυρηνες ηλεκτρομαγνήτη. 4) Πηνίο.

Το όργανο αυτό αποτελείται από ένα επιμήκη ηλεκτρομαγνήτη. Μπροστά στον πυρήνα του ηλεκτρομαγνήτη υπάρχουν ελάσματα με διάφορα μήκη και μάζα· είναι τακτοποιημένα σε μια σειρά. Τα ελάσματα από την μια τους πλευρά είναι πακτωμένα, ενώ από την άλλη είναι ελεύθερα. Κάθε ένα από τα ελάσματα έχει διαφορετική ιδιοσυχνότητα μηχανικής ταλαντώσεως. Όταν ο ηλεκτρομαγνήτης διεγείρεται με ρεύμα, του οποίου ζητάμε τη συχνότητα, το εναλλασσόμενο μαγνητικό πεδίο του ηλεκτρομαγνήτη εξασκεί ελκτικές δυνάμεις στα ελάσματα και στη συνέχεια προκαλούνται σε αυτά αναγκαίες ταλαντώσεις. Ένα από τα ελάσματα, που η ιδιοσυχνότητά του συμπίπτει με το διπλάσιο της συχνότητας του ρεύματος που διεγείρει τον ηλεκτρομαγνήτη, κάνει ταλάντωση με το μεγαλύτερο πλάτος. Μπροστά στη σειρά των ελασμάτων υπάρχει βαθμολογημένη κλίμακα σε Hz. Συνήθως οι διαφορές της συχνότητας μεταξύ των διαδοχικών ελασμάτων είναι  $\frac{1}{4}$  μέχρι  $\frac{1}{2}$  Hz.

## 9.2 Ασκήσεις.

- 1.** Αναγνωρίστε το όργανο που θα σας δοθεί στο εργαστήριο. Παρατηρήστε την ακρίβεια της κλίμακάς του.
- 2.** Συνδεσμολογήστε το συχνόμετρο για να μετρήσετε τη συχνότητα του δικτύου.
- 3.** Συνδεσμολογήστε το συχνόμετρο στον πίνακα ελέγχου του εναλλακτήρα που υπάρχει στο εργαστήριο. Ο υπεύθυνος καθηγητής του εργαστηρίου θα θέσει σε λειτουργία το ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος του εναλλακτήρα (το πώς θέτομε σε λειτουργία ένα εναλλακτήρα το εξετάζομε σε ένα από τα παρακάτω κεφάλαια). Ρυθμίζοντας τις στροφές του εναλλακτήρα, μετρήστε κάθε φορά τη συχνότητα της παραγόμενης εναλλασσόμενης τάσεως.
- 4.** Σε κάθε ρύθμιση των στροφών σημειώστε από το στροφόμετρο του πίνακα τον αριθμό των στροφών και την αντίστοιχη ένδειξη του συχνόμετρου. Να επαληθεύσετε το αποτέλεσμα με τη σχέση  $f = p.n/60$  σε Hz όπου:  $p$  είναι τα ζεύγη πόλων του εναλλακτήρα και  $n$  είναι ο αριθμός στροφών ανά min.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ

### ΑΥΤΕΠΑΓΩΓΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΠΗΝΙΟΥ

#### 10.1 Γενικά.

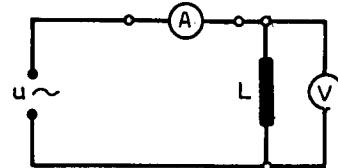
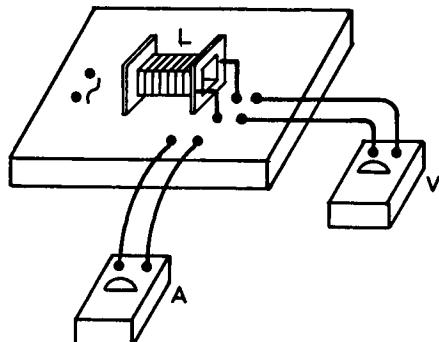
Ας πάρομε ένα πηνίο και αις θεωρήσομε, ότι η ωμική αντίσταση του σύρματος απ' το οποίο είναι κατασκευασμένο είναι αμελητέα. Όταν στα άκρα του πηνίου εφαρμόσουμε εναλλασσόμενη τάση θα κυκλοφορήσει εναλλασσόμενο ρεύμα. Το εναλλασσόμενο μαγνητικό πεδίο που θα δημιουργηθεί από το εναλλασσόμενο ρεύμα, θα προκαλέσει την ανάπτυξη μιας τάσεως από αυτεπαγωγή στα άκρα του πηνίου. Η τάση από αυτεπαγωγή θα πάει να κυκλοφορήσει ρεύμα μέσα στο πηνίο, που θα αντιτίθεται στις μεταβολές του ρεύματος της πηγής. Επομένως το ρεύμα μέσα στο πηνίο θα περιορίζεται εξ αιτίας της αντιδράσεως της τάσεως αυτής. Δηλαδή η τάση από αυτεπαγωγή που αναπτύσσεται με αυτό τον τρόπο, παρουσιάζεται ως ένα «είδος αντιστάσεως» στην εφαρμοζόμενη τάση της πηγής. Αυτό το είδος της αντιστάσεως ονομάζεται **αυτεπαγωγική αντίσταση** του πηνίου, συμβολίζεται με το  $X_L$  και είναι  $X_L = L\omega$ , όπου  $\omega$  είναι η **κυκλική συχνότητα** του ρεύματος που διαρρέει το πηνίο και ισούται:  $\omega = 2\pi f$ . Από τις διαστάσεις του γινομένου  $L$  . ω προκύπτει ως μονάδα μετρήσεως της το ωμ. Το ηλεκτρικό ρεύμα σε ένα πηνίο που παρουσιάζει σχεδόν **αμελητέα** ωμική αντίσταση, καθορίζεται από το πηλίκο

$$I_L = \frac{U}{L\omega}$$

Η αυτεπαγωγική αντίσταση σε πηνίο με σταθερό  $L$  είναι ανάλογη με την κυκλική συχνότητα ω του ρεύματος. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στις υψηλές συχνότητες η ταχύτητα μεταβολής του εναλλασσόμενου ρεύματος είναι μεγαλύτερη. Επομένως και το φαινόμενο της αυτεπαγωγής είναι εντονότερο. Το ηλεκτρικό ρεύμα του πηνίου είναι **ισθδυσχνο** με την τάση της πηγής, αλλά **καθυστερεί στη φάση από την τάση κατά 90°**.

#### 10.2 Ασκήσεις.

1. Μετρήστε με τη γέφυρα αυτεπαγωγών τους συντελεστές αυτεπαγωγής των πηνίων που θα σας δοθούν στο εργαστήριο. Τις τιμές των συντελεστών καταχωρίστε στον πίνακα αποτελεσμάτων 10.2.1 (τα πηνία πρέπει να είναι χωρίς σιδηροπυρήνα και κατασκευασμένα με σύρμα σχετικά μεγάλης διατομής, ώστε να θεωρούνται αμελητέας ωμικής αντιστάσεως).
2. Τοποθετήστε ένα από τα πηνία, που μετρήσατε στην άσκηση 1, πάνω στο «σασσί» που θα σας δοθεί στο εργαστήριο, και στη συνέχεια πραγματοποιήστε το κύκλωμα του σχήματος 10.2a.
3. Τροφοδοτήστε το κύκλωμα του σχήματος 10.2a με τάση σταθερής συχνότητας. Χρησιμοποιήστε ταλαντωτή με χαμηλή συχνότητα. Σημειώστε τις ενδείξεις του αμπερόμετρου και βολτόμετρου στον πίνακα αποτελεσμάτων 10.2.1. Επαναλάβετε τις μετρήσεις και με τα υπόλοιπα πηνία της ασκήσεως 1.
4. Τροφοδοτήστε τώρα το κύκλωμα της ασκήσεως 2 με σταθερή τάση μεταβλητής συχνότητας. Γι' αυτό μεταβάλλετε τη συχνότητα του ταλαντωτή ανά 100



Σχ. 10.2α.

Hz. Καταχωρήστε τα αποτελέσματα των μετρήσεων στον πίνακα αποτελεσμάτων 10.2.2.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ 10.2.1

$U = \dots\dots\dots$ V σταθερή $f = \dots\dots\dots$ Hz σταθερή			
$L(H)$	$I_L$	$X_L = \frac{U}{I_L}$	$X_L = L\omega$
$L_1$	.....	.....	.....
$L_2$	.....	.....	.....
$L_3$	.....	.....	.....
$L_4$	.....	.....	.....

ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ 10.2.2

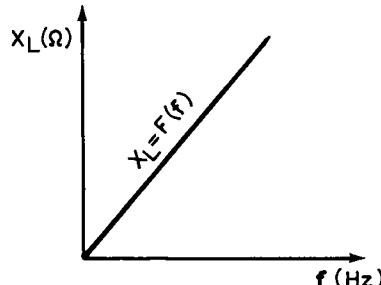
$U = \dots\dots\dots$ V σταθερή $L = \dots\dots\dots$ H σταθερή			
$f$	$I_L$	$X_L = \frac{U}{I_L}$	$X_L = L\omega$
$f_1$	.....	.....	.....
$f_2$	.....	.....	.....
$f_3$	.....	.....	.....
$f_4$	.....	.....	.....

5. Συμπληρώστε τις στήλες στους πίνακες αποτελεσμάτων 10.2.1 και 10.2.2 υπολογίζοντας με προσέγγιση, την αυτεπαγωγική αντίσταση με τις σχέσεις:

$$X_L = \frac{U}{I_L} \quad \text{και} \quad X_L = L\omega$$

Παρατηρήστε τα αποτελέσματα των υπολογισμών σας και διατυπώστε συνοπτικά τα συμπεράσματά σας.

6. Χαράξτε από τα αποτελέσματα των μετρήσεων του πίνακα αποτελεσμάτων 10.2.2 την χαρακτηριστική  $X_L = F(f)$  όπως στο σχήμα 10.2β.



Σχ. 10.2β.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΝΔΕΚΑΤΟ

### ΧΩΡΗΤΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΠΥΚΝΩΤΗ

#### 11.1 Γενικά.

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 κατά συνέπεια, το όλο κύκλωμα διαρρέεται συνεχώς από αυτά τα ρεύματα. Η τιμή του ρεύματος στο κύκλωμα με πυκνωτή ευρίσκεται από τη σχέση:

$$I_C = \frac{U}{\frac{1}{C\omega}}$$

Τη σχέση αυτή αν τη συγκρίνομε με το νόμο του Ωμ  $I = \frac{U}{R}$ , θα παρατηρήσουμε ότι ο παράγοντας  $1/C\omega$  εκφράζει τον ίδιο ρόλο της αντιστάσεως  $R$ .

Αυτός ο παράγοντας ονομάζεται **χωρητική αντίσταση**. Συμβολίζεται με  $X_C$  και είναι:  $X_C = \frac{1}{C\omega}$

Δηλαδή το αντίστροφο του γινομένου της κυκλικής συχνότητας της πηγής τροφοδοτήσεως επί τη χωρητικότητα του πυκνωτή. Μετρείται σε ωμ, όταν το  $C$  είναι σε φαράντ ( $F$ ) και το  $\omega$  σε ακτίνια /sec. Η φάση του ρεύματος στο κύκλωμα με πυκνωτή προπορεύεται κατά  $90^\circ$  από την τάση που εφαρμόζεται στα άκρα του.

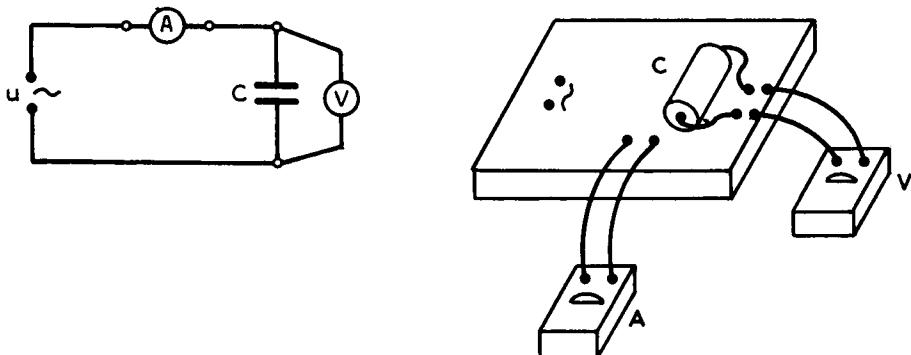
#### 11.2 Ασκήσεις.

- Μετρήστε με γέφυρα πυκνωτών την χωρητικότητα των πυκνωτών που θα σας δοθούν στο εργαστήριο. Καταχωρήστε τα αποτελέσματα των μετρήσεων στον πίνακα αποτελεσμάτων 11.2.1.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ 11.2.1

$U = \dots\dots\dots$ V σταθερό $f = \dots\dots\dots$ Hz σταθερή			
$C(\mu F)$	$I_C$	$X_C = \frac{U}{I}$	$X_C = \frac{1}{C\omega}$
$C_1$	.....	.....	.....
$C_2$	.....	.....	.....
$C_3$	.....	.....	.....
$C_4$	.....	.....	.....

2. Τοποθετήστε στο «σασσί», που θα σας διθεί στο εργαστήριο, ένα πυκνωτή από αυτούς που μετρήσατε στην άσκηση 1. Πραγματοποιήστε το κύκλωμα του σχήματος 11.2a. Τροφοδοτήστε το κύκλωμα με ένα ταλαντωτή χαμηλής συχνότητας, κρατώντας σταθερή την τάση και τη συχνότητα. Σημειώστε τις ενδείξεις του βολτόμετρου και του αμπερόμετρου και τη συχνότητα του ταλαντωτή στον πίνακα αποτελεσμάτων 11.2.1 (η αντίσταση απωλειών του πυκνωτή με μεγάλη προσέγγιση θεωρείται ότι είναι αμελητέα).
3. Επαναλάβετε τις μετρήσεις της ασκήσεως 2 και με τους υπόλοιπους πυκνωτές της ασκήσεως 1.
- Διατηρήστε σε όλες τις μετρήσεις την τάση και την συχνότητα σταθερή.
4. Τροφοδοτήστε τώρα το κύκλωμα του σχήματος 11.2a με τον ταλαντωτή κρατώντας την τάση σταθερή και μεταβάλλοντας μόνο την συχνότητα ανά 100 Hz. Για κάθε μέτρηση καταχωρήστε τα αποτελέσματα των μετρήσεων στον πίνακα αποτελεσμάτων 11.2.2.



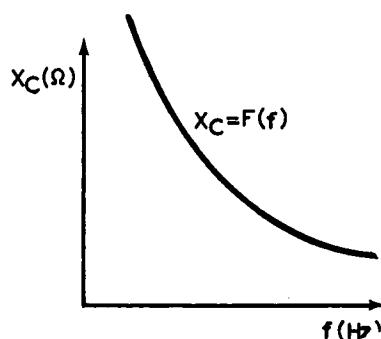
Σχ. 11.2a.

5. Συμπληρώστε τις στήλες στους πίνακες αποτελεσμάτων 11.2.1 και 11.2.2, υπολογίζοντας με προσέγγιση, τη χωρητική αντίσταση με τις σχέσεις  $X_C = U/I_C$  και  $X_C = 1/C\omega$ .  
Παρατηρήστε τα αποτελέσματα των υπολογισμών σας και διατυπώστε συνοπτικά στο τετράδιό σας τα συμπεράσματα.

#### ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ 11.2.2

$U = \dots\dots\dots$ V σταθερή $C = \dots\dots\dots$ μF σταθερή			
f	I <sub>C</sub>	$X_C = \frac{U}{I_C}$	$X_C = \frac{1}{C\omega}$
$f_1$	.....	.....	.....
$f_2$	.....	.....	.....
$f_3$	.....	.....	.....
$f_4$	.....	.....	.....
$f_5$	.....	.....	.....

6. Χαράξτε από τα αποτελέσματα των μετρήσεων του πίνακα αποτελεσμάτων 11.2.2 τη χαρακτηριστική  $X_C = F(f)$  όπως στο σχήμα 11.2β.



Σχ. 11.2β.

---

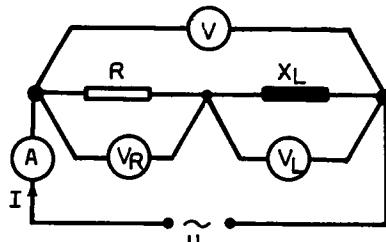
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΩΔΕΚΑΤΟ

ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΚΥΚΛΩΜΑ ΜΕ ΩΜΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΠΗΝΙΟ ΣΕ ΣΕΙΡΑ (R, L).

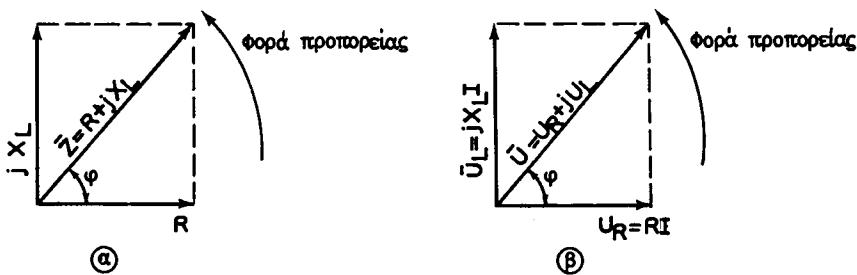
12.1 Γενικά.

Στο δέκατο κεφάλαιο γνωρίσαμε την αυτεπαγγική αντίσταση του πηνίου (με αμελητέα ωμική αντίσταση) όταν διαρρέεται αυτό με Ε.Ρ. Στην πράξη συναντάμε συχνά κυκλώματα με πηνίο και ωμική αντίσταση σε σειρά όπως στο σχήμα 12.1a. Η συνδεσμολογία αυτή δεν παρουσιάζει μία απλή αντίσταση  $R$  ή  $X_L$ , αλλά **σύνθετη αντίσταση  $Z$** , που είναι το διανυσματικό άθροισμα των δύο αντιστάσεων, της πραγματικής αντιστάσεως  $R$  που φανερώνει τον παράγοντα καταναλώσεως ηλεκτρικής ενέργειας στο κύκλωμα και της φαινομένης αντιστάσεως  $X_L$ , που φαίνεται ως αντίσταση στο κύκλωμα χωρίς να καταναλώνει ενέργεια. Δηλαδή το μέτρο της σύνθετης αντιστάσεως είναι:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$



Σχ. 12.1α.



### **Σχ. 12.1β.**

Η σύνθετη αντίσταση παριστάνεται γραφικά στο διανυσματικό διάγραμμα (a) του σχήματος 12.1β. Η ένταση του ρεύματος στο κύκλωμα του σχήματος 12.1α καθορίζεται από το νόμο του Ωμ,

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

Στα άκρα των στοιχείων R και L αναπτύσσονται τάσεις  $U_R = RI$  και  $U_L = X_L I$ . Η τάση  $U_L$  προπορεύεται από την  $U_R$  κατά  $90^\circ$  ενώ η τάση U που εφαρμόζεται στα άκρα της συνδεσμολογίας είναι το διανυσματικό άθροισμα των δύο τάσεων,  $U_R$  και  $U_L$ , με προπορεία από την ένταση του ρεύματος κατά μια γωνία φ μικρότερη από  $90^\circ$ . Η γωνία τένει να μηδενισθεί όσο η R γίνεται μεγα-

λύτερη από την  $X_L$ . Βλέπε (β) διανυσματικό διαγράμμα στο σχήμα 12.1β. Η  $U_R$  είναι συμφασική με την ένταση του ρεύματος, ενώ η  $U_L$  προπορεύεται από αυτό κατά  $90^\circ$ . Η γωνία της διαφοράς φάσεως μεταξύ του ρεύματος και της τάσεως που εφαρμόζεται στο κύκλωμα καθορίζεται από τον λόγο των δύο αντιστάσεων:

$$\epsilon\phi\phi = \frac{X_L}{R_R}$$

$$\text{Χαρακτηριστικό στοιχείο του κυκλώματος είναι και το συνφ} = \frac{R}{Z} \quad \text{ή} \quad \frac{U_R}{U} \quad \text{που ονομάζεται συντελεστής ισχύος του κυκλώματος.}$$

ται συντελεστής ισχύος του κυκλώματος. Από την τιμή του συνφ προκύπτει αν και κατά πόσο το κύκλωμα είναι καταναλωτής ενέργειας.

## 12.2 Ασκήσεις.

- Αναγνωρίστε τα στοιχεία της αντιστάσεως  $R$  και του πηνίου, που θα σας δοθούν στο εργαστήριο. Γι' αυτό μετρήστε με γέφυρα την τιμή της αντιστάσεως  $R$ , το συντελεστή αυτεπαγωγής  $L$  του πηνίου και την τιμή της ωμικής αντιστάσεως του σύρματος απ' το οποίο έχει κατασκευασθεί το πηνίο, για να διαπιστώσετε ότι η τιμή αυτή είναι αμελητέα σε σύγκριση με την τιμή της αντιστάσεως  $R$ .
- Πραγματοποιήστε τη συνδεσμολογία του κυκλώματος του σχήματος 12.1α. Μετά τροφοδοτήστε το κύκλωμα με σταθερή χαμηλή τάση συχνότητας 50 Hz. Σημειώστε τις ενδείξεις των βολτομέτρων και του αμπερόμετρου στον πίνακα αποτελεσμάτων 12.2.1.

**ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ 12.2.1**

$U = \dots \text{V σταθερή}$ $R = \dots \Omega \text{ σταθερή}$ $L = \dots H \text{ σταθερή}$						
1	2	3	4	5	6	7
fF (Hz)	$V_R(V)$	$V_L(V)$	I(A)	$Z(\Omega)$	$X_L (\Omega)$	συνφ
50	...	...	...	...	...	...
100	...	...	...	...	...	...
200	...	...	...	...	...	...
400	...	...	...	...	...	...
600	...	...	...	...	...	...

- Επαναλάβετε τις μετρήσεις. Τροφοδοτήστε το κύκλωμα με σταθερή τάση  $U$  και μεταβλητή συχνότητα 100, 200, 400 και 600 Hz. Καταχωρήστε τα αποτελέσματα κάθε μετρήσεως στον πίνακα αποτελεσμάτων 12.2.1.
- Υπολογίστε από τα αποτελέσματα του πίνακα και από τις σχέσεις:

$$Z = \frac{U}{I}, X_L = \sqrt{Z^2 - R^2} \quad \text{και} \quad \text{συνφ} = \frac{U_R}{U}$$

τη σύνθετη αντίσταση, την αυτεπαγωγική αντίσταση και το συντελεστή Ι-σχύος, για κάθε συχνότητα της τάσεως τροφοδοτήσεως. Παρατηρήστε τα αποτελέσματα των υπολογισμών σας και διατυπώστε συνοπτικά στο τετράδιο τα συμπεράσματά σας.

5. Από τα αποτελέσματα που έχετε καταχωρήσει στον πίνακα να επαληθεύσετε τα διανυσματικά διαγράμματα (α) και (β) του σχήματος 12.1β.
-

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΤΡΙΤΟ

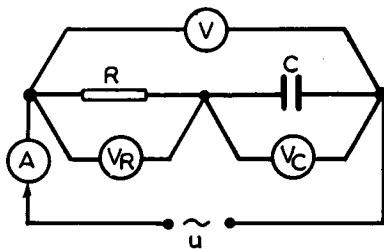
### ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΚΥΚΛΩΜΑ ΜΕ ΩΜΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΠΥΚΝΩΤΗ

#### ΣΕ ΣΕΙΡΑ ΚΑΙ ΠΑΡΑΛΛΗΛΑ (R.C)

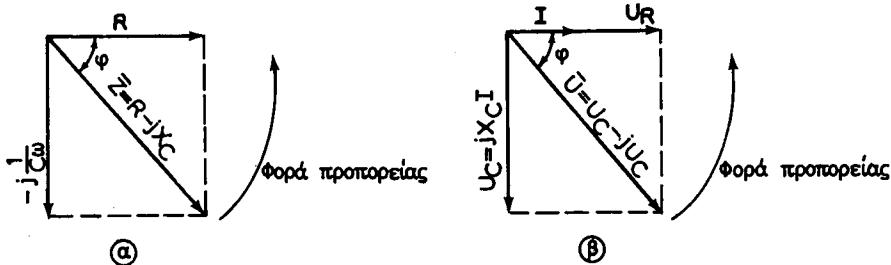
##### 13.1 Γενικά.

###### 13.1.1 Ηλεκτρικό κύκλωμα με $R$ και $C$ σε σειρά.

Αν συνδέσομε μια ωμική αντίσταση σε σειρά με ένα πυκνωτή, όπως στο κύκλωμα του σχήματος 13.1a. Το κύκλωμα αυτό θα παρουσιάσει σύνθετη αντίσταση που έχει μέτρο  $Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$ . Η σύνθετη αντίσταση και στο κύκλωμα αυτό, όπως και στη συνδεσμολογία του πηνίου σε σειρά με την



Σχ. 13.1a.



Σχ. 13.1β.

ωμική αντίσταση, είναι το διανυσματικό άθροισμα των δύο αντιστάσεων  $R$  και  $X_C$ , με τη διαφορά ομως ότι η συμπεριφορά της φαινόμενης αντιστάσεως του πυκνωτή είναι αντίθετη από αυτή που παρουσιάζει το πηνίο σε αντίστοιχο κύκλωμα. Τα διανυσματικά διαγράμματα των αντιστάσεων και των τάσεων στη συνδεσμολογία αυτή είναι όπως φαίνονται στα διαγράμματα (a) και (b) του σχήματος 13.1β.

Παρατηρούμε στο διάγραμμα (b) ότι η τάση στον πυκνωτή καθυστερεί κατά  $90^\circ$  από την τάση στα άκρα της αντιστάσεως  $R$ . Και ακόμη ότι η τάση  $U$  που εφαρμόζεται στο κύκλωμα καθυστερεί από το

ρεύμα  $I$  κατά μια γωνία μικρότερη από  $90^\circ$  και ανάλογα με τον λόγο που έχουν οι αντιστάσεις  $\frac{X_C}{R}$ .

Η διαφορά τείνει να γίνει  $90^\circ$  όταν λόγος των αντιστάσεων αυξάνεται. Ο συντελεστής ισχύος στη συνδεσμολογία του πυκνωτή σε σειρά με την αντίσταση είναι:

$$\sigma_{\text{υνφ}} = \frac{R}{Z} \quad \text{ή } \sigma_{\text{υνφ}} = \frac{U_R}{U}$$

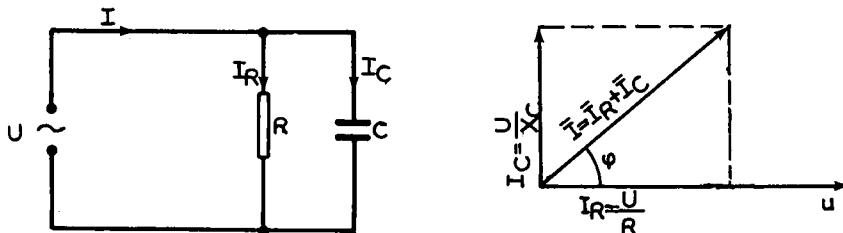
### 13.1.2 Ηλεκτρικό κύκλωμα με $R$ και $C$ παράλληλα.

Στην πράξη συναντάμε πολλά κύκλωμα στα οποία παράλληλα σε μια ωμική αντίσταση συνδέεται ένας πυκνωτής, όπως στο σχήμα 13.1γ. Το κύκλωμα αυτό όταν τροφοδοτηθεί με εναλλασσόμενη τάση παρουσιάζει **σύνθετη αγωγμότητα** που έχει μέτρο:

$$G = \frac{\sqrt{1 + (\omega CR)^2}}{R}$$

Το μέτρο της σύνθετης αντιστάσεως σύμφωνα με τα γνωστά είναι:

$$Z = \frac{R}{\sqrt{1 + (\omega CR)^2}}$$



Σχ. 13.1γ.

Σχ. 13.1ε.

Παρατηρούμε και στο κύκλωμα αυτό ότι η ισοδύναμη φαινόμενη αντίσταση συμπεριφέρεται αντίθετα από ένα πηνίο σε αντίστοιχο κύκλωμα.

Το ρεύμα που παρέχεται από την πηγή  $I$  είναι το διανυσματικό άθροισμα των ρευμάτων των δύο κλάδων  $\bar{I} = \bar{I}_R + \bar{I}_C$  και έχει μέτρο:  $I = \sqrt{I_R^2 + I_C^2}$ .

Στον κλάδο του πυκνωτή το ρεύμα έχει μέτρο:  $I_C = \frac{U}{X_C}$

Το ρεύμα αυτό προπορεύεται κατά  $90^\circ$  από την τάση που εφαρμόζεται στο κύκλωμα (θεωρούμε την ισοδύναμη αντίσταση απωλειών του πυκνωτή αμελητέα).

Στον κλάδο της ωμικής αντιστάσεως το ρεύμα έχει τιμή:

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

και είναι συμφασικό με την τάση που εφαρμόζεται στο κύκλωμα. Στο σχήμα 13.1δ φαίνεται το διανυσματικό διάγραμμα των ρευμάτων.

Ο συντελεστής ισχύος στη συνδεσμολογία του πυκνωτή παράλληλα με την αντίσταση, είναι:

$$\sigma_{\text{υνφ}} = \frac{I_R}{I}$$

### 13.2 Ασκήσεις.

- Αναγνωρίστε τα στοιχεία της αντιστάσεως  $R$  και του πυκνωτή που θα σας δοθούν στο εργαστήριο. Μετρήστε γι' αυτό με γέφυρα τήν τιμή της αντιστάσεως  $R$ , και την χωρητικότητα  $C$  του πυκνωτή (θεωρούμε ότι, σε σύγκριση με την  $R$ , η ισοδύναμη αντίσταση απωλειών του πυκνωτή είναι αμελητέα).
- Πραγματοποιήστε τη συνδεσμολογία του κυκλώματος (σχ. 13.1a). Μετά τροφοδοτήστε το κύκλωμα με σταθερή χαμηλή τάση συχνότητας 100 Hz. Σημειώστε τις ενδείξεις των βολτομέτρων και του αμπερόμετρου στον πίνακα αποτελεσμάτων 13.2.1.

**ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ 13.2.1**

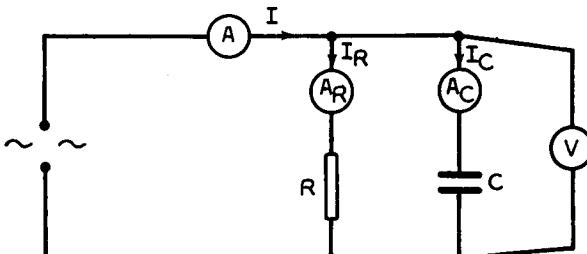
$U = \dots\dots$ σταθερή $R = \dots\dots \Omega$ $C = \dots\dots \mu F$						
1	2	3	4	5	6	7
f(Hz)	$V_R(V)$	$V_C(V)$	I(A)	$Z = U/I(\Omega)$	$X_C (\Omega)$	συνφ
100	.....	.....	.....	.....	.....	.....
200	.....	.....	.....	.....	.....	.....
300	.....	.....	.....	.....	.....	.....
400	.....	.....	.....	.....	.....	.....
500	.....	.....	.....	.....	.....	.....

- Επαναλάβετε τις μετρήσεις τροφοδοτώντας το κύκλωμα με σταθερή τάση  $U$  και μεταβλητή συχνότητα 200, 300, 400, 500, 600 Hz. Καταχωρίστε τα αποτελέσματα κάθε μετρήσεως στον πίνακα αποτελεσμάτων 13.2.1.
- Υπολογίστε από τα αποτελέσματα του πίνακα τη σύνθετη αντίσταση του κυκλώματος, τη χωρητική αντίσταση και το συντελεστή ισχύος από τις σχέσεις:

$$Z = \frac{U}{I} \quad X_C = \sqrt{Z^2 - R^2}, \quad \text{συνφ} = \frac{U_R}{U}$$

Παρατηρήστε τα αποτελέσματα των υπολογισμών σας και διατυπώστε συνοπτικά στο τετράδιο τα συμπεράσματά σας.

- Συνδεσμολογήστε τα στοιχεία  $R$  και  $C$  παράλληλα όπως στο σχήμα 13.2. Μετά τροφοδοτήστε το κύκλωμα με σταθερή χαμηλή τάση, όπως κάνατε και στις ά-



Σχ. 13.2.

σκήσεις 2 και 3. Καταχωρίστε τις ενδείξεις των αμπερομέτρων  $A$ ,  $A_R$  και  $A_C$  δημιουργώντας στον πίνακα αποτελεσμάτων 13.2.2.

**ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ 13.2.2**

$U = \dots\dots\dots$ V σταθερή $R = \dots\dots\dots$ $\Omega$ $C = \dots\dots\dots$ $\mu F$						
1	2	3	4	5	6	7
f(Hz)	$I_R$ (A)	$I_C$ (A)	$I$ (A)	$Z(\Omega)$	$X_C (\Omega)$	συνφ
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....

6. Υπολογίστε από τα αποτελέσματα του πίνακα αποτελεσμάτων 13.2.2 για κάθε συχνότητα της τάσεως τροφοδοτήσεως, τη σύνθετη αντίσταση του κυκλώματος, τη χωρητική αντίσταση του πυκνωτή και το συντελεστή ισχύος από τις σχέσεις:

$$Z = \frac{U}{I}, \quad X_C = \frac{U}{I_C} \quad \text{και} \quad \text{συνφ} = \frac{I_R}{I}$$

Παρατηρήστε τα αποτελέσματα των υπολογισμών σας και διατυπώστε συνοπτικά στο τετράδιο τα συμπεράσματά σας.

7. Συγκρίνετε τα αποτελέσματα στις στήλες 5 και 7 των πινάκων 13.2.1 και 13.2.2 και εξηγήστε τις διαφορές των τιμών που παρουσιάζουν μεταξύ τους.  
 8. Από τα αποτελέσματα των μετρήσεων που έχετε καταχωρήσει στις στήλες 2,3 και 4 να επαληθεύσετε το διανυσματικό διάγραμμα των ρευμάτων δημιουργώντας στο σχήμα 13.1δ.



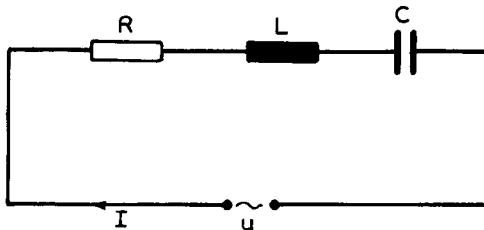
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

### ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΣ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ R, L, C ΣΕ ΣΕΙΡΑ

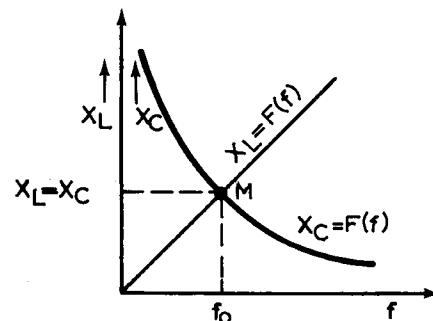
#### 14.1 Γενικά.

Η σύνθετη αντίσταση του κυκλώματος που αποτελείται από τα στοιχεία  $R$ ,  $L$ ,  $C$  συνδεμένα μεταξύ τους σε σειρά (σχ. 14.1α) και τροφοδοτείται με εναλλασσόμενη τάση είναι:  $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$ .

Όταν η συχνότητα της τάσεως τροφοδοτήσεως μεταβάλλεται από χαμηλές σε ψηλότερες τιμές, τότε μεταβάλλονται και οι φανταστικές αντιστάσεις  $X_L$  και  $X_C$  του πηνίου και πυκνωτή. Στο σχήμα 14.1β φαίνεται πώς μεταβάλλονται οι αντιστάσεις αυτές με τη συχνότητα. Για συχνότητα  $f_0$  παρατηρούμε ότι τα μέτρα των αντιστάσεων  $X_L$  και  $X_C$  γίνονται ίσα. Στη συχνότητα αυτή ο παράγοντας  $X_L - X_C$  της σύνθετης αντιστάσεως μηδενίζεται και τότε η αντίσταση παίρνει την μικρότερη τιμή της, που είναι ίση με την ισοδύναμη ωμική αντίσταση του κυκλώματος  $Z = R$ .



Σχ. 14.1α.



Σχ. 14.1β.

Σ' αυτή την περίπτωση λέμε ότι το κύκλωμα βρίσκεται σε **συντονισμό**. Η συχνότητα που επιτυγχάνεται ο συντονισμός του κυκλώματος είναι:

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

Κατά το συντονισμό το κύκλωμα παρουσιάζει τα εξής χαρακτηριστικά:

a) **Υπεραγωγμότητα.** Η ένταση του ρεύματος γίνεται:

$$I_{μεγ} = \frac{U}{R}.$$

b) **Υπερτάσεις:** Οι τάσεις στα άκρα των στοιχείων  $L$  και  $C$ .

Γίνονται  $U_L = U_C = Q \cdot U$

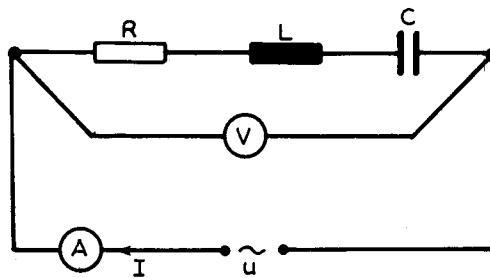
$$\text{όπου:} \quad Q = \frac{L\omega_0}{R} \quad \text{ή} \quad Q = \frac{1}{C\omega_0 R}$$

Με το  $Q$  χαρακτηρίζεται η **ποιότητα του κυκλώματος συντονισμού**.

**γ)** Το κύκλωμα παρουσιάζει **χωρητική συμπεριφορά** στις συχνότητες που είναι μικρότερες από τη συχνότητα συντονισμού. Δηλαδή το ρεύμα προπορεύεται από την τάση. Στις συχνότητες που είναι μεγαλύτερες από τη συχνότητα συντονισμού το κύκλωμα παρουσιάζει **επαγγελματική συμπεριφορά** και το ρεύμα καθυστερεί της τάσεως.

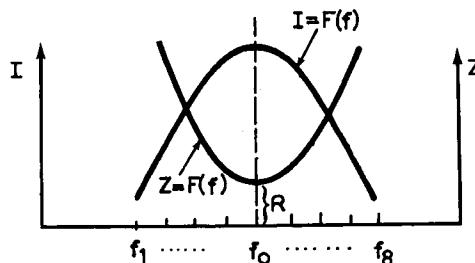
## 14.2 Ασκήσεις.

- Αναγνωρίστε τα στοιχεία  $R$ ,  $L$  και  $C$ , που είναι τοποθετημένα στο «σασσί» το οποίο θα σας δοθεί στο εργαστήριο. Μετρήστε τις τιμές τους με γέφυρα μετρήσεων  $R$ ,  $L$ ,  $C$ .
- Πραγματοποιήστε τη συνδεσμολογία των  $R$ ,  $L$ ,  $C$  με τα όργανα όπως στο σχήμα 14.2a.

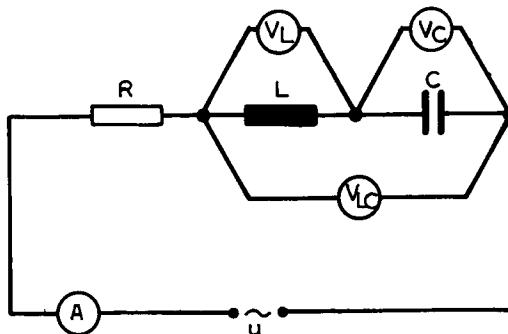


Σχ. 14.2a.

- Τροφοδοτήστε το κύκλωμα με ταλαντωτή χαμηλής συχνότητας. Κρατήστε την τιμή της τάσεως τροφοδοτήσεως του κυκλώματος σταθερή, μεταβάλλοντας τη συχνότητα του ταλαντωτή. Προσδιορίστε τη συχνότητα συντονισμού από τις ενδείξεις του αμπερόμετρου. Η συχνότητα συντονισμού αντιστοιχεί στη μεγαλύτερη ένδειξη του αμπερόμετρου.
- Επαναλάβετε τις μετρήσεις της ασκήσεως 3. Έχοντας την τάση σταθερή, αυξομειώστε την συχνότητά της πάνω και κάτω από τη συχνότητα συντονισμού. Σημειώστε στον πίνακα αποτελεσμάτων 14.2.1 τις ενδείξεις του αμπερόμετρου και του ταλαντωτή.
- Για κάθε συχνότητα της τάσεως τροφοδοτήσεως υπολογίστε την αντίστοιχη τιμή  $Z$  και του συνφ. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών σας καταχωρήστε τα στις αντίστοιχες στήλες του πίνακα αποτελεσμάτων 14.2.1.
- Χαράξτε σε ορθογώνιο σύστημα αξόνων τις χαρακτηριστικές  $I = F(f)$ ,  $Z = F(f)$  (σχ. 14.2β).
- Παρατηρήστε τα αποτελέσματα της στήλης συνφ και εξηγήστε τα συνοπτικά στο τετράδιό σας.
- Συνδέστε στο κύκλωμα τρία βολτόμετρα (σχ. 14.2γ). Τροφοδοτήστε το με τη συχνότητα συντονισμού. Παρατηρήστε τις ενδείξεις των βολτόμετρων και εξηγήστε στο τετράδιό σας συνοπτικά τα αποτέλεσμα αυτών των μετρήσεων



Σχ. 14.28.



Σχ. 14.29.

(Προσοχή όσον αφορά την επιλογή του στις κλίμακες των οργάνων. Στο συντονισμό έχομε υπερτάσσεις).

#### ΤΙΜΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ 14.2.1

$U = \dots\dots\dots$ V σταθερή	$f_0 = \dots\dots\dots$ Hz		
$R = \dots\dots\dots$ $\Omega$	$L = \dots\dots\dots$ H		
	$C = \dots\dots\dots \mu F$		
$f$ (Hz)	$I$ (A)	$Z = \frac{U}{I}$ ( $\Omega$ )	$\sigma \nu \phi = \frac{R}{2}$
$f_1$	.....	.....	.....
$f_2$	.....	.....	.....
$f_3$	.....	.....	.....
$f_4$	.....	.....	.....
$f_0$	.....	.....	.....
$f_6$	.....	.....	.....
$f_7$	.....	.....	.....
$f_8$	.....	.....	.....

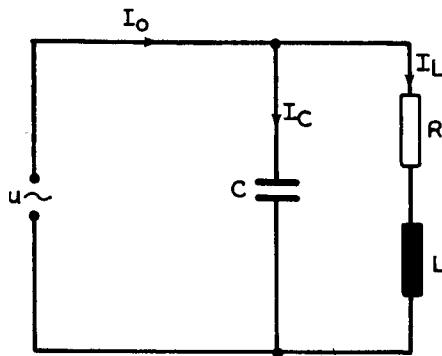
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΠΕΜΠΤΟ

### ΠΑΡΑΛΛΗΛΟ ΚΥΚΛΩΜΑ ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΥ

#### 15.1 Γενικά.

Αν συνδέσομε παράλληλα ένα πυκνωτή με πηνίο που έχει συντελεστή αυτεπαγωγής  $L$  και ισοδύναμη αντίσταση απωλειών  $R$ , τότε σχηματίζεται **κύκλωμα παράλληλου συντονισμού** (σχ. 15.1). Το κύκλωμα αυτό, όταν τροφοδοτείται με σταθερή τάση, αλλά με μεταβλητή συχνότητα, παρουσιάζει σύνθετη αντίσταση που είναι:

$$Z = \frac{Z_L \cdot Z_C}{Z_L + Z_C}$$



Σχ. 15.1.

Η τιμή της εξαρτάται από τη συχνότητα. Αν παραδεχθούμε ότι το μέτρο αυτής της αντιστάσεως είναι:

$$Z = \frac{\frac{L}{C}}{Z'} \quad \text{όπου} \quad Z' = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

Όταν η συχνότητα της τάσεως τροφοδοτήσεως πάρει την τιμή:

$$f_o = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}$$

δηλαδή το μέτρο της αυτεπαγωγικής αντιστάσεως γίνει ίσο με της χωρητικής, τότε η αντίσταση του

κυκλώματος παίρνει τη μεγαλύτερή της τιμή και γίνεται:

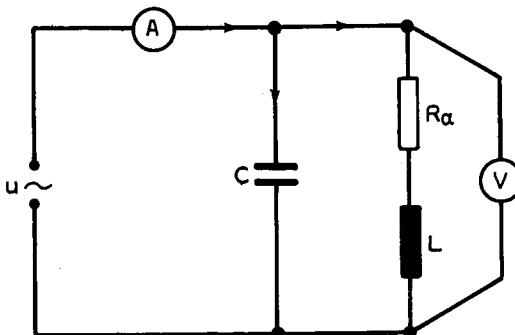
$$Z_0 = \frac{L}{R \cdot C} \quad \text{ή} \quad Z_0 = QL\omega \quad \text{και όπου} \quad Q = \frac{L\omega_0}{R}$$

Στην περίπτωση αυτή λέμε ότι το κύκλωμα έχει συντονίσει και παρουσιάζει τα εξής χαρακτηριστικά:

- **Υπεραντίσταση** με καθαρή ωμική συμπεριφορά.
- **Τα ρεύμα** που παρέχει η πηγή παίρνει την **ελάχιστη τιμή** του και είναι συμφασικό με την τάση.
- **Τα ρεύματα των κλάδων είναι αντίθετα** και οι τιμές τους γίνονται  **$Q$  φορές μεγαλύτερες** από το ρεύμα  $I_o$  της πηγής. Δηλαδή έχουν μέτρα:  $I_C = I_L = QI_o$ .
- Η φασική συμπεριφορά του κυκλώματος είναι αντίθετη από αυτή που παρουσιάζει το αντίστοιχο κύκλωμα σειράς. Δηλαδή στις συχνότητες που είναι μικρότερες από τη συχνότητα συντονισμού το κύκλωμα παρουσιάζει επαγγειακή συμπεριφορά, ενώ στις συχνότητες που είναι μεγαλύτερες από τη συχνότητα συντονισμού παρουσιάζει χωρητική συμπεριφορά.

## 15.2 Ασκήσεις.

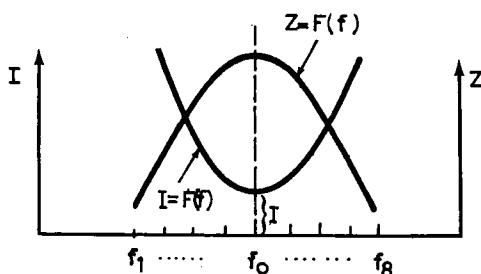
1. Αναγνωρίστε τα στοιχεία του πηνίου και του πυκνωτή που είναι τοποθετημένα στο «σασσί» το οποίο θα σας δοθεί στο εργαστήριο. Μετρήστε με γέφυρα μετρήσεων τις τιμές της αντιστάσεως απωλειών του πηνίου  $R$ , το συντελεστή αυτεπαγωγής  $L$  του πηνίου και τη χωρητικότητα  $C$  του πυκνωτή.
2. Πραγματοποιήστε τη συνδεσμολογία του πυκνωτή και του πηνίου όπως στο (σχ. 15.2a).



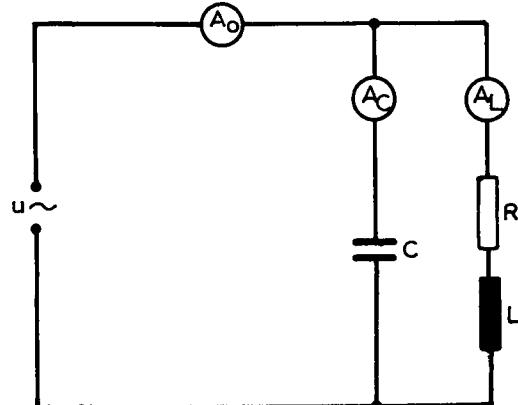
Σχ. 15.2a.

3. Τροφοδοτήστε το κύκλωμα με ταλαντωτή χαμηλής συνχότητας. Κρατήστε την τιμή της τάσεως τροφοδοτήσεως του κυκλώματος σταθερή, μεταβάλλοντας την συχνότητα του ταλαντωτή. Προσδιορίστε τη συχνότητα συντονισμού από τις ενδείξεις του αμπερόμετρου. Η συχνότητα συντονισμού αντιστοιχεί στην ελάχιστη ένδειξη του αμπερόμετρου.
4. Επαναλάβετε τις μετρήσεις της ασκήσεως 3. Κρατώντας την τάση σταθερή, αυξομειώστε τη συχνότητά της πάνω και κάτω από τη συχνότητα συντονισμού. Σημειώστε στον πίνακα αποτελεσμάτων 15.2.1 τις ενδείξεις του αμπερόμετρου και του ταλαντωτή.

5. Για κάθε συχνότητα της τάσεως τροφοδοτήσεως υπολογίστε την αντίστοιχη τιμή της  $Z$ . Καταχωρίστε τα αποτέλεσματα των υπολογισμών σας στην αντίστοιχη στήλη του πίνακα αποτελεσμάτων 15.2.1.
6. Χαράξτε σε ορθογώνιο σύστημα αξόνων τις χαρακτηριστικές  $I = F(f)$  και  $Z = F(f)$  (σχ. 15.2β).



Σχ. 15.2β.



Σχ. 15.2γ.

7. Συνδέστε στο κύκλωμα τρία αμπερόμετρα όπως στο σχήμα 15.2γ. Τροφοδοτήστε το με τη συχνότητα συντονισμού. Παρατηρήστε τις ενδείξεις των αμπερόμετρων και εξηγήστε συνοπτικά στο τετράδιό σας τα αποτέλεσματα των μετρήσεων. (Προσοχή όσον αφορά την επιλογή στις κλίμακες των αμπερόμετρων. Κατά το συντονισμό στους κλάδους έχουμε υπερεντάσεις).

#### ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ 15.2.1

$U = \dots\dots\dots$ V σταθερή	$f_0 = \dots\dots\dots$ Hz		
$R = \dots\dots\dots$ $\Omega$	$L = \dots\dots\dots$ H		
	$C = \dots\dots\dots$ $\mu\text{F}$		
$f$ (Hz)	$I$ (A)	$Z = \frac{U}{I}$ ( $\Omega$ )	$\sigma v \phi = \frac{R}{Z}$
$f_1$	.....	.....	.....
$f_2$	.....	.....	.....
$f_3$	.....	.....	.....
$f_4$	.....	.....	.....
$f_0$	.....	.....	.....
$f_5$	.....	.....	.....
$f_6$	.....	.....	.....
$f_7$	.....	.....	.....
$f_8$	.....	.....	.....

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΕΚΤΟ

### ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΣ ΤΑΣΕΩΣ ΚΑΙ ΕΝΤΑΣΕΩΣ

#### 16.1 Γενικά.

Για τη μέτρηση ηλεκτρικών τάσεων και εντάσεων σε δίκτυα υψηλής τάσεως ή μεγάλων εντάσεων σε ηλεκτρικά δίκτυα χαμηλής τάσεως, παρεμβάλλονται μεταξύ των αγωγών των δικτύων και του οργάνου μετρήσεως ειδικοί μετασχηματιστές που ονομάζονται **μετασχηματιστές μετρήσεως**.

Οι μετασχηματιστές που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση τάσεων λέγονται **μετασχηματιστές τάσεως**. Οι μετασχηματιστές που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση εντάσεων λέγονται **μετασχηματιστές εντάσεως**.

Με τους μετασχηματιστές μετρήσεως επιτυγχάνομε ταυτόχρονα την αύξηση της περιοχής μετρήσεως των οργάνων, την ηλεκτρική απομόνωσή τους από τα κυκλώματα ψηλής τάσεως και την εγκατάστασή τους σε θέσεις προστίτες, αλλά ακίνδυνες για τον παρατηρητή και χειριστή τους.

Οι μετασχηματιστές μετρήσεως έχουν ονομαστική ισχύ της τάξεως μερικών δεκάδων βολταμπέρ (VA). Το μέγεθός τους όμως δεν εξαρτάται από αυτή, αλλά από την αναγκαία μόνωση στην τάση λειτουργίας του ηλεκτρικού δικτύου, που πρόκειται να εξυπηρετήσουν. Το ένα άκρο του δευτερεύοντος τυλίγματος των μετασχηματιστών γειώνεται.

#### 16.1.1 Μετασχηματιστές εντάσεως.

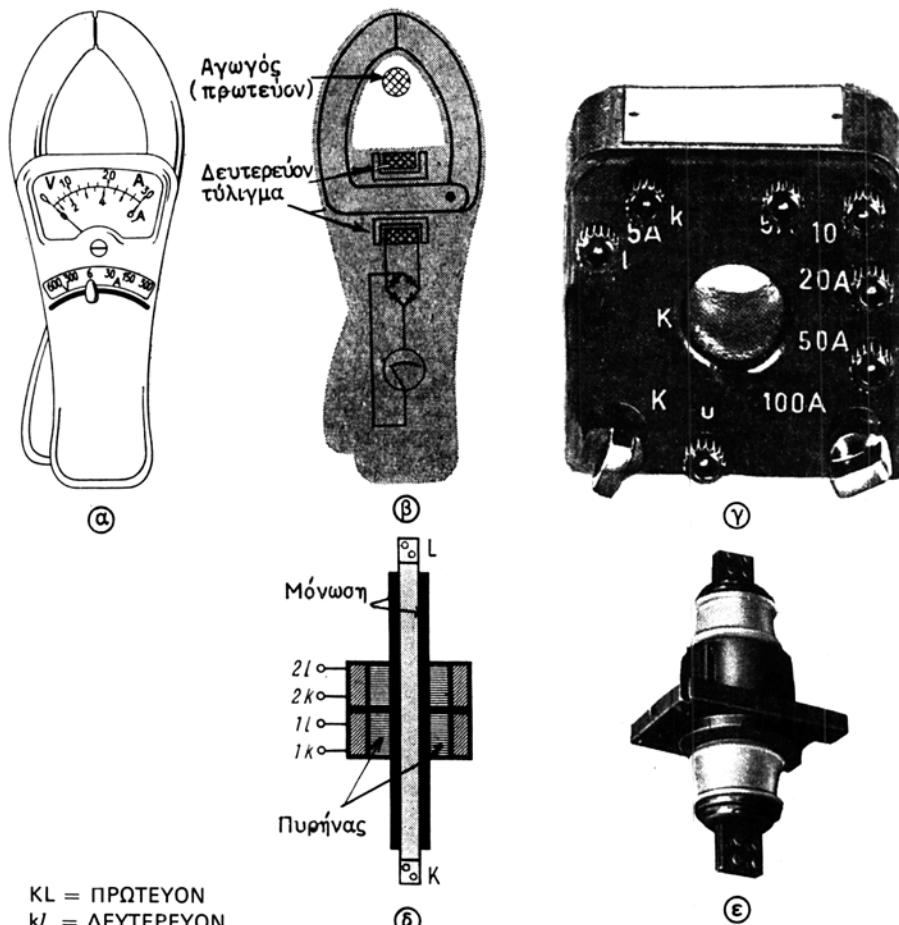
Στο σχήμα 16.1α φαίνονται διάφοροι τύποι μετασχηματιστών εντάσεως.

Το πρωτεύον των μετασχηματιστών εντάσεως συνδέεται σε σειρά με το κύκλωμα του ηλεκτρικού ρεύματος του οποίου την ένταση θέλουμε να μετρήσουμε. Στο δευτερεύον συνδέεται το αμπερόμετρο (σχ. 16.1β). Εκτός από το αμπερόμετρο μπορούμε να συνδέσουμε στο δευτερεύον των μετασχηματιστών εντάσεως και άλλα δργανά, δημοσίευσης, όπως το πηνίο εντάσεως των βαττομέτρων (σχ. 16.1γ), τα τυλίγματα των ρελάσ (ηλεκτρονόμοι) προστασίας των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων κλπ.

Συνήθως σε εγκαταστάσεις δικτύων ενέργειας η περιοχή μετρήσεως των αμπερομέτρων, που συνδέονται στους μετασχηματιστές εντάσεως, είναι 0-5A.

#### Προσοχή.

Στις μετρήσεις με μετασχηματιστές εντάσεως πρέπει να παίρνουμε κάθε προφυλακτικό μέτρο ώστε το δευτερεύον κύκλωμα να μη διακοπεί όταν ο μετασχηματιστής είναι συνδεμένος με φορτίο. Γι' αυτό **ποτέ** δεν τοποθετούμε ασφάλεια στο δευτερεύον κύκλωμα του μετασχηματιστή εντάσεως. Το αποτέλεσμα της διακοπής του δευτερεύοντος, όταν το πρωτεύον του μετασχηματιστή είναι συνδεμένο σε φορτίο, είναι ότι αναπτύσσονται πολύ ψηλές θερμοκρασίες με κίνδυνο να καταστραφεί ο μετασχηματιστής. Αναπτύσσονται επίσης στο πηνίο του δευτερεύοντος πολύ ψηλές αιχμές τάσεως με κίνδυνο καταστροφής μονώσεως. Αν παρά τις προφυλάξεις μας συμβεί διακοπή του δευτερεύοντος του μετασχηματιστή, θα πρέπει αμέσως να πραγματοποιηθεί και διακοπή του πρωτεύοντος. Στην περίπτωση αυτή και εφ' όσον ο μετασχηματιστής δεν έχει πάθει ανεπανόρθωτη βλάβη, ο πυρήνας του παραμένει, κατά κανόνα, σε μόνιμη μαγνήτιση. Η μαγνήτιση γίνεται πρόσθιας σοβαρής αυξήσεως των σφαλμάτων μετρήσεων, όταν αποκατασταθεί και πάλι η κανονική λειτουργία του μετασχηματιστή. Για την απομαγνήτιση του πυρήνα τροφοδοτείται το δευτερεύον, ενώ ακόμη ο μετασχηματιστής είναι εκτός λειτουργίας. Η τροφοδότηση γίνεται με εναλλασσόμενο ρεύμα του οποίου η ένταση μειώνεται αργά και μέχρι να μηδενισθεί με τη βοήθεια ρυθμιστικής αντιστάσεως.



Σχ. 16.1a.

Μετασχηματιστής εντάσεως.

α) Φορητός τύπος, δψη. β) Φορητός τύπος σε ζεύγη. γ) Εργαστηριακός τύπος με διάφορες λήψεις πρωτεύοντος τυλίγματος. δ) Τομή ραβδού βιομηχανικού τύπου με δύο λήψεις δευτερεύοντος. (kl και 2kl). ε) Βιομηχανικός τύπος.

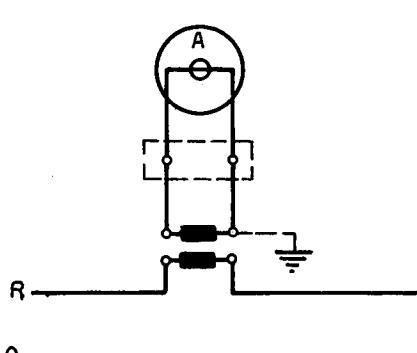
Η ακρίβεια των μετρήσεων με μετασχηματιστές εντάσεως εξαρτάται από τα σφάλματα των μετασχηματιστών και από την ακρίβεια των οργάνων (π.χ. αμπερομέτρων) που συνεργάζονται με αυτόν. Όπως τα δραγανατ μετρήσεως έτσι και οι μετασχηματιστές κατατάσσονται από την άποψη του μεγέθους των σφαλμάτων τους σε κατηγορίες. Συνήθως από τους διάφορους κανονισμούς προβλέπονται κλάσεις για τους μετασχηματιστές εντάσεως 0,1–0,2–0,5–1 καί 3.

Η εκλογή του μετασχηματιστή γίνεται ανάλογα με την ακρίβη μετρήση που επιθυμούμε. Μεταξύ της κατηγορίας μετασχηματιστή που έχομε εκλέξει για μέτρηση, και του οργάνου μετρήσεως που θα χρησιμοποιήσουμε σε αυτή, πρέπει να υπάρχει αντιστοιχία από την άποψη της τάξεως μεγέθους σφαλμάτων.

Τα στοιχεία καθορισμού των μετασχηματιστών εντάσεως είναι τα εξής:

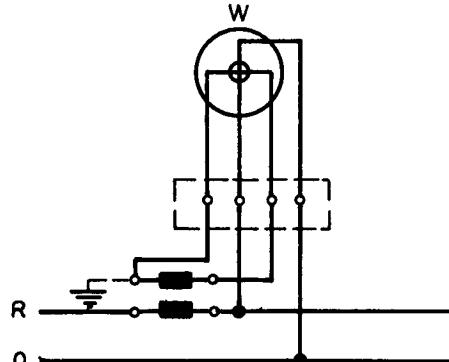
α) **Εντάσεις ονομαστικών ρευμάτων** (πρωτεύον και δευτερεύον). Είναι αυτές που γράφονται στην πινακίδα του μετασχηματιστή και αναφέρονται στην κανονική του λειτουργία.

β) **Ονομαστική τάση.** Είναι αυτή που γράφεται στην πινακίδα του μετασχηματιστή και αναφέρεται στην τάση του δικτύου στο οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί χωρίς κίνδυνο.



Σχ. 16.1β.

Σύνδεση αμπερόμετρου σε κύκλωμα με μετασχηματιστή εντάσεως.



Σχ. 16.1γ.

Σύνδεση πηνίου εντάσεως μονοφασικού βαττόμετρου σε κύκλωμα μέσω μετασχηματιστή εντάσεως.

- γ) **Επιφόρτιση.** Είναι η σύνθετη αντίσταση που έχει συνδεθεί στο δευτερεύον του μετασχηματιστή.
- δ) **Ονομαστική επιφόρτιση.** Είναι η τιμή σε Ωμ της επιφορτίσεως που γράφεται στην πινακίδα του μετασχηματιστή. Πέρα από αυτή την τιμή τα σφάλματα μετρήσεως του μετασχηματιστή γίνονται μεγαλύτερα.
- ε) **Ονομαστική ισχύς.** Είναι το γινόμενο του τετραγώνου της εντάσεως του ονομαστικού ρεύματος στο δευτερεύον του μετασχηματιστή με τη σύνθετη αντίσταση της ονομαστικής επιφορτίσεως. Η ονομαστική ισχύς εκφράζεται σε VA (βολταμπέρ). Ορισμένοι κατασκευαστές μετασχηματιστών την αποκαλούν ονομαστική επιφόρτιση.
- στ) **Ονομαστική σχέση μεταφοράς.** Είναι ο λόγος της εντάσεως του ονομαστικού πρωτεύοντος ρεύματος με την ένταση του ονομαστικού δευτερεύοντος ρεύματος.
- ζ) **Ονομαστική συχνότητα.** Είναι αυτή που γράφεται στην πινακίδα του μετασχηματιστή και αντιστοιχεί στην κανονική του λειτουργία.
- η) **Συντελεστής υπερεντάσεως.** Είναι το πολλαπλάσιο της εντάσεως του ονομαστικού πρωτεύοντος ρεύματος, για το οποίο το σφάλμα της εντάσεως του ρεύματος δεν ξεπερνά το 10%, όταν στο δευτερεύον του μετασχηματιστή έχει συνδεθεί η ονομαστική επιφόρτιση.
- θ) **Θερμικό οριακό ρεύμα.** Είναι η μέγιστη τιμή της ενδεικνυόμενης τιμής της εντάσεως του ρεύματος, που μπορεί να υποστεί για 1 δευτερόλεπτο το πρωτεύον τύλιγμα του μετασχηματιστή χωρίς βλάβη. Αν λάβομε υπόψη ότι η οριακή θερμοκρασία του τυλίγματος είναι 200°C, το θερμικό οριακό ρεύμα υπολογίζεται, με μεγάλη προσέγγιση από τη σχέση:

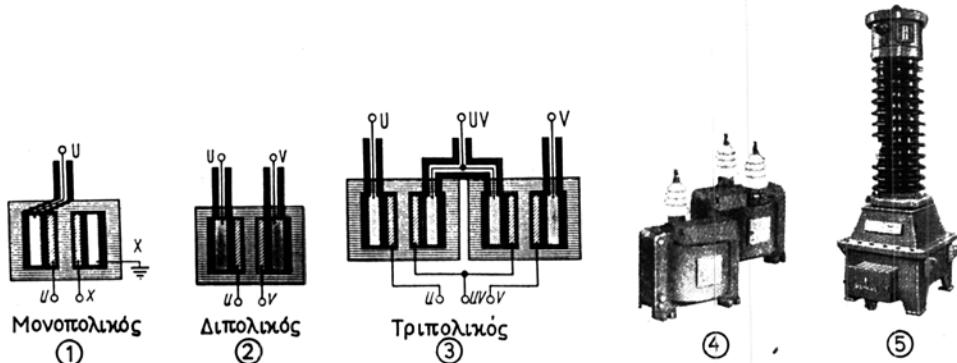
$$I_{\theta} = \frac{180 \cdot S}{1000}$$

σε kA (κιλοαμπέρ ή χιλιάδες αμπέρ), όπου S η διατομή του πρωτεύοντος τυλίγματος σε mm<sup>2</sup> (τετραγωνικά χιλιοστά).

- ι) **Δυναμικό οριακό ρεύμα.** Είναι η μέγιστη στιγμιαία ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος, που μπορεί να υποστεί χωρίς βλάβη το πρωτεύον τύλιγμα του μετασχηματιστή με βραχυκυκλωμένο το δευτερεύον.

### 16.1.2 Μετασχηματιστές τάσεως.

Στο σχήμα 16.1δ φαίνονται διάφοροι τύποι μετασχηματιστών τάσεως.



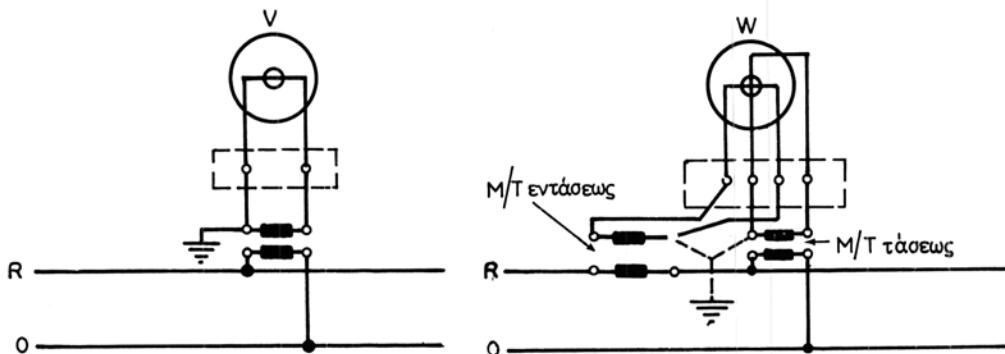
Σχ. 16.16.

(1) (2) (3): Μετασχηματιστές τάσεως σε τομή  $U - V$  = πρωτεύον κύκλωμα,  $U - V$  = δευτερεύον κύκλωμα (4) (5): Μετασχηματιστές τάσεως, εξωτερική μορφή.

Το πρωτεύον των μετασχηματιστών τάσεως συνδέεται παράλληλα με το κύκλωμα του οποίου θέλομε να μετρήσουμε την τάση.

Στο δευτερεύον μπορούμε να συνδέσουμε το βολτόμετρο (σχ. 16.1ε). Εκτός από το βολτόμετρο μπορούμε να συνδέσουμε και άλλα όργανα, που θέλομε να τα προστατεύσουμε από την ψηλή τάση δικύου στο οποίο πρέπει να συνδεθούν, όπως το πηνίο τάσεως των βαττομέτρων (σχ. 16.1στ).

Συνήθως, σε εγκαταστάσεις δικτύων ενέργειας η περιοχή μετρήσεως των βολτομέτρων που συνδέονται στους μετασχηματιστές τάσεως είναι  $0 \div 110V$  ή  $0 \div 100V$ .



Σχ. 16.1ε.

Σύνδεση βολτόμετρου σε κύκλωμα με μετασχηματιστή τάσεως.

Σχ. 16.1στ.

Σύνδεση πηνίου τάσεως και πηνίου εντάσεως βαττόμετρου σε κύκλωμα με αντίστοιχους μετασχηματιστές.

#### Προσοχή:

Οι μετασχηματιστές τάσεως εργάζονται όπως όταν το δευτερεύον τύλιγμά τους είναι ανοικτό (πολύ μικρή ένταση ρεύματος στο δευτερεύον). Σε περίπτωση βραχυκυκλώματος στο δευτερεύον κύκλωμα του μετασχηματιστή, η θερμοκρασία που αναπύσσεται είναι πιθανό να τον καταστρέψει. Γι' αυτό συνηθίζεται στο δευτερεύον κύκλωμα του μετασχηματιστή να τοποθετούμε ασφάλεια για την προστασία του από βραχυκύκλωμα.

Συνήθως οι μετασχηματιστές τάσεως, ανάλογα με την ακρίβειά τους είναι κλάσεων  $0,1-0,2-0,5-1$  και  $3$ .

Τα στοιχεία καθορισμού των μετασχηματιστών τάσεως είναι τα εξής:

- Όνομαστικές τάσεις (Πρωτεύοντες και δευτερεύουσες).** Είναι αυτές που γράφονται στην πινακίδα του μετασχηματιστή και αναφέρονται στην κανονική του λειτουργία.

- β) Ονομαστική ισχύς.** Είναι η φαινόμενη ισχύς που εκφράζεται σε VA (βολταμπέρ) και γράφεται στην πινακίδα του μετασχηματιστή. Ο μετασχηματιστής μπορεί να φορτισθεί μέχρι την ισχύ αυτή χωρίς να ξεπεράσει τα σφάλματα λειτουργίας των μετασχηματιστών στην κατηγορία των οποίων ανήκει.
- γ) Ονομαστική αχέση μεταφοράς.** Είναι ο λόγος της ονομαστικής πρωτεύουσας τάσεως προς την ονομαστική δευτερεύουσα τάση.
- δ) Ονομαστική συχνότητα.** Είναι αυτή που γράφεται στην πινακίδα του μετασχηματιστή και αντιστοιχεί στην κανονική του λειτουργία.
- ε) Οριακή ισχύς μετασχηματιστή.** Είναι αυτή που γράφεται στην πινακίδα του μετασχηματιστή και αντιστοιχεί στη μέγιστη φόρτιση του χωρίς να ξεπεραστεί η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή της θερμοκρασίας του μετασχηματιστή.

## 16.2 Ασκήσεις.

- Αναγνωρίστε τους διάφορους μετασχηματιστές, που θα σας δώσουν στο εργαστήριο. Προσδιορίστε τα στοιχεία καθορισμού τους και σημειώστε τα στο τετράδιό σας.
  - α)** Με τη βοήθεια μετασχηματιστών εντάσεως του τύπου που φαίνεται στο σχήμα 16.1a, μετρήστε την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος ενός κυκλώματος, που θα σας υποδείξει ο καθηγητής στο εργαστήριο, χωρίς να διακόψετε τη λειτουργία του.
  - β)** Διακόψτε τη λειτουργία του παραπάνω κυκλώματος. Διαλέξτε για την περίπτωση το κατάλληλο αμπερόμετρο και τον αντίστοιχο μετασχηματιστή εντάσεως. Συνδέστε τα στο κύκλωμα (σχ. 16.1β). Μετρήστε την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος του κυκλώματος και συγκρίνετε το αποτέλεσμα με εκείνο της παραγράφου 16.1.1. Τις παρατηρήσεις και τα συμπεράσματά σας διατυπώστε τα στο τετράδιο.
  - α)** Με τη βοήθεια ενός μετασχηματιστή τάσεως και ενός βολτόμετρου με περιοχή μετρήσεως 0-110V, που θα σας δοθεί στο εργαστήριο, μετρήστε την τάση ηλεκτρικού δικτύου π.χ. 380V.
  - β)** Την ίδια τάση (380 V) μετρήστε την απ' ευθείας με το κατάλληλο βολτόμετρο. Συγκρίνετε το αποτέλεσμα με εκείνο της παραγράφου (α) και σημειώστε τις παρατηρήσεις σας στο τετράδιο.
  - α)** Με τη βοήθεια ενός βολτόμετρου και ενός αμπερόμετρου η εκλογή των οποίων θα γίνει από σας, μετρήστε χωρίς μετασχηματιστές μετρήσεως ισχύ ενός μονοφασικού καταναλωτή τάσεως λειτουργίας 220V. Η ένταση του φορτίου πρέπει να είναι μεγαλυτερη από 30A. Σημειώστε τα αποτελέσματα των μετρήσεων στο τετράδιο και σχεδιάστε τη συνδεσμολογία που πραγματοποιήσατε, σύμφωνα με δσα γνωρίζετε από προηγούμενες ασκήσεις.
  - β)** Με ένα βολτόμετρο 110V και ένα αμπερόμετρο 5A και με το κατάλληλο βαττόμετρο και τους αντίστοιχους για τα δργανα μετασχηματιστές μετρήσεως (εσείς θα τη διαλέξετε), πραγματοποιήστε την κατάλληλη συνδεσμολογία για να μετρήσετε την ισχύ του προηγούμενου φορτίου. Σχεδιάστε τη συνδεσμολογία στο τετράδιο σας και σημειώστε τα αποτελέσματα των μετρήσεων. Συγκρίνετε τα αποτελέσματα με εκείνα της παραγράφου 16.1.2 και διατυπώστε τις παρατηρήσεις σας.
-

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΕΒΔΟΜΟ

### ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΙΣΧΥΟΣ ΣΤΟ Ε.Ρ. ΜΕΤΡΗΣΗ ΙΣΧΥΟΣ ΣΕ ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΜΕ ΒΑΤΤΟΜΕΤΡΟ

#### 17.1 Γενικά.

Όταν στα áκρα μιας μονοφασικής καταναλώσεως (Κ) επικρατεί τάση U και η κατανάλωση απορροφά από το ηλεκτρικό δίκτυο που την τροφοδοτεί, ένταση ηλεκτρικού ρεύματος I, τότε τα τρία είδη της ισχύος της καταναλώσεως υπολογίζονται από τις παρακάτω σχέσεις:

Πραγματική ισχύς	$P = U \cdot I$ συνφ	σε W (βάπτ)
Φαινόμενη ισχύς	$P_\phi = U \cdot I$	σε VA (βολταμπέρ)
Άεργη ισχύς	$P_a = U \cdot I$ ημφ	σε VAR (βάρ)

Όπου: συνφ είναι ο συντελεστής ισχύος του καταναλωτή.

Από τις παραπάνω σχέσεις προκύπτει ότι:

$$P_a = \sqrt{P^2 - P_\phi^2}$$

Η πραγματική ισχύς P είναι αυτή που απορροφάται από τον καταναλωτή. Η φαινόμενη ισχύς  $P_\phi$  είναι το μέτρο της ολικής φορτίσεως των γεννητριών ή του ηλεκτρικού δικτύου που τροφοδοτεί τον καταναλωτή και διχάζεται σε δύο μέρη. Το ένα μέρος της ισχύος αυτής «πηγαίνει» στην πραγματική ισχύ P και το άλλο μέρος στην άεργη ισχύ  $P_a$ . Η άεργη ισχύς δεν προκαλεί απώλειες αλλά και δεν παρέχει καμιά ωφέλεια. Αντίθετα φορτίζει τις ηλεκτρικές γραμμές και την πηγή ΕΡ (γεννήτρια).

Έμεσα μπορούμε να μετρήσουμε τις ισχύες μονοφασικού καταναλωτή με ένα βολτόμετρο, ένα αμπερόμετρο και ένα συνημιτονόμετρο (όργανο που μετράει το συντελεστή ισχύος).

#### 17.1.1 Μέτρηση πραγματικής ισχύος με βαττόμετρο.

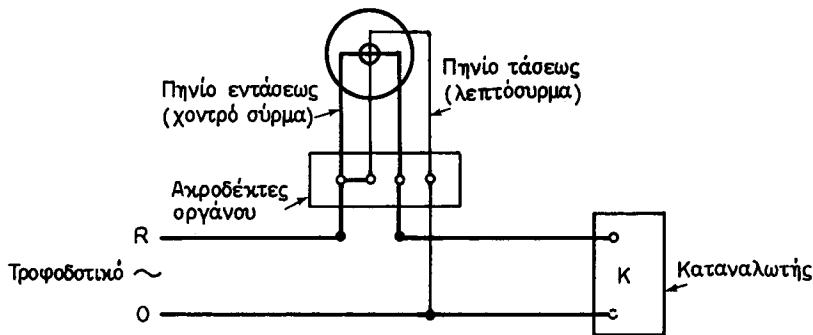
Την πραγματική ισχύ ενός μονοφασικού καταναλωτή μπορούμε να τη μετρήσουμε απ' ευθείας με ένα ηλεκτροδυναμικό ή επαγγειακό βαττόμετρο. Ο τύπος του οργάνου, οποιοδήποτε και αν είναι, φέρει τέσσερις ακροδέκτες, δύο για το **πηνίο εντάσεώς** του και δύο για το **πηνίο τάσεως**.

Το πηνίο εντάσεως συνδέεται πάντοτε σε σειρά με τον καταναλωτή και διαρρέεται από την ενταση του ηλεκτρικού ρεύματος που απορροφά από το δίκτυο τροφοδοτήσεως του.

Το πηνίο τάσεως συνδέεται πάντοτε παράλληλα με τον καταναλωτή και διαρρέεται από ένταση ηλεκτρικού ρεύματος ανάλογη με την τάση λειτουργίας του (σχ. 17.1α).

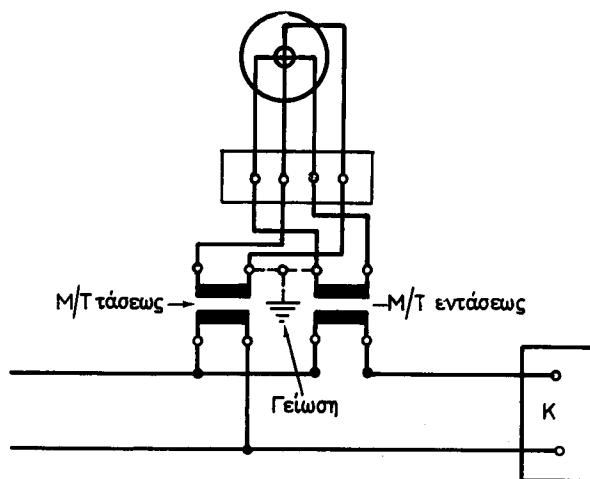
Όταν η τάση ή η ηλεκτρική ένταση του δικτύου η και ο δύο μαζί περνάνε τις ονομαστικές τιμές της λειτουργίας του οργάνου (συνηθισμένες ονομαστικές τιμές πηνίων τάσεως και εντάσεως βαττόμετρου 500 V και 5A αντίστοιχα), τότε η σύνδεση του βαττόμετρου στο ηλεκτρικό δίκτυο πραγματοποιείται μέσω μετασχηματιστών εντάσεως και τάσεως (σ. 17.1β). Για τους μετασχηματιστές αυτούς θα μιλήσουμε παρακάτω.

Στην περίπτωση αυτή πρέπει να προσέξουμε τις συνδέσεις των ακροδεκτών του βαττόμετρου με εκείνους των μετασχηματιστών μετρήσεως. Ενδεικτικά σημεία στους ακροδέκτες των οργάνων δείχνουν την κατάλληλη αντιστοιχία στη σύνδεσή τους. Επίσης θα πρέπει να έχουμε πάντα υπόψη μας ότι:



Σχ. 17.1α.

Απ' ευθείας σύνδεση μονοφασικού βαττόμετρου στο ηλεκτρικό δίκτυο.



Σχ. 17.1β.

Σύνδεση μονοφασικού βαττόμετρου μέσω μετασχηματιστών (M/T) τάσεως και εντάσεως.

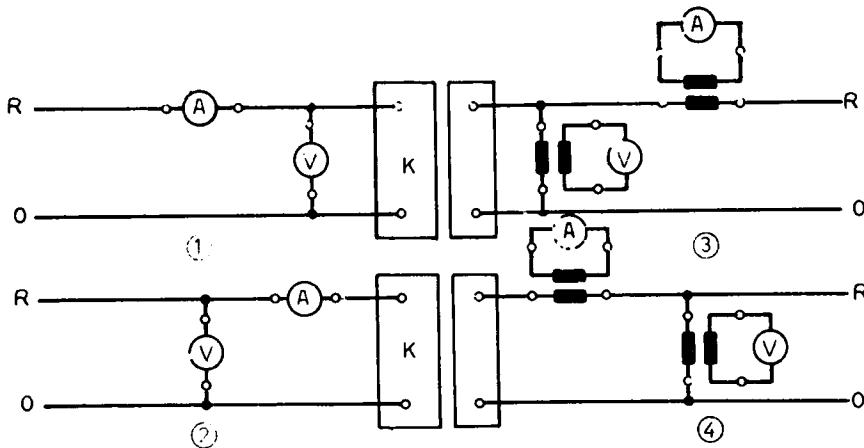
α) Όταν ο καταναλωτής του οποίου θέλουμε να μετρήσουμε την ισχύ είναι καθαρά επαγγελματικός ή χωρητικός, δηλαδή έχει το συνφ = 0, δεν πρέπει να χρησιμοποιήσουμε επαγγελματικό βαττόμετρο, γιατί δεν θα έχουμε ένδειξη του οργάνου. Αυτό οφείλεται στο ότι η κινητήρια ροπή του δίσκου που κινεί το δείκτη του οργάνου είναι μηδέν και επομένως ο δίσκος μένει ακίνητος.

β) Γενικά τα βαττόμετρα Ε.Ρ. μετράνε την ισχύ που είναι ανάλογη με την τάση U, την ηλεκτρική ένταση I και το συνφ του καταναλωτή. Υπάρχει περίπτωση, ιδιαίτερα όταν το συνφ έχει πολύ μικρή τιμή, η ισχύς που μετράμε να βρίσκεται μέσα στην περιοχή μετρήσεως του οργάνου, αλλά η τάση και ηλεκτρική ένταση του καταναλωτή νά έχουν περάσει τη μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή λειτουργίας των πηγών τάσεως και εντάσεως του οργάνου. Γ' αυτό κρίνεται σκόπιμο στις μετρήσεις, να εκλέγονται τα βαττόμετρα όχι με βάση την αναμενόμενη πραγματική ισχύ του καταναλωτή, αλλά την αναμενόμενη φαινόμενη ισχύ του.

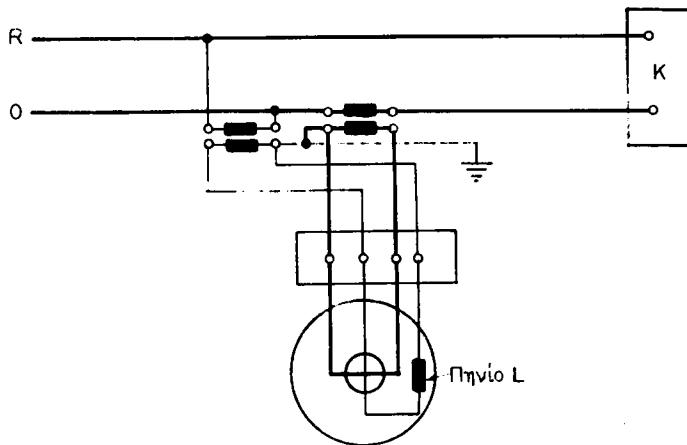
#### 17.1.2 Μέτρηση φαινόμενης ισχύος $P_\phi$ με βολτόμετρο και αμπερόμετρο.

Η μέτρηση της φαινόμενης ισχύος  $P_\phi$  ενός καταναλωτή (K) είναι έμμεση και γίνεται με

βολτόμετρο και αμπερόμετρο. Ο υπολογισμός της γενικά γίνεται από το γινόμενο των ενδείξεων των οργάνων σύμφωνα με τη σχέση:  $P_\phi = U \cdot I$  (σε VA) (σχ. 17.1 γ).



**Σχ. 17.1γ.**  
Σύνδεση αμπερόμετρου-βολτόμετρου για τη μέτρηση της  $N_\phi$ .

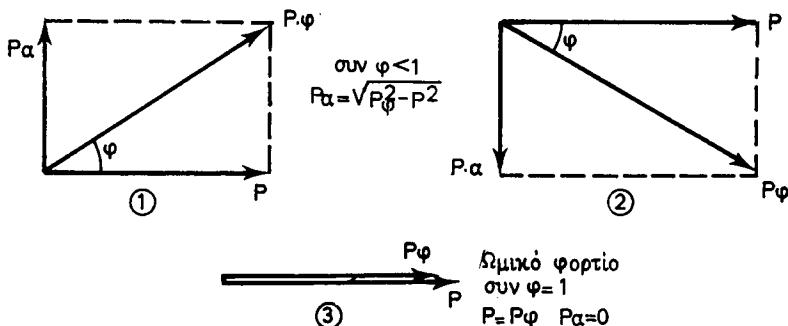


**Σχ. 17.1δ.**  
Σύνδεση μετρητή VAR μέσω μετασχηματιστή εντάσεως και τάσεως.

### 17.1.3 Μέτρηση της δέργης ισχύος με μετρητή VAR.

Η συνηθέστερη μέθοδος μετρήσεως της δέργης ισχύος  $P$  είναι με ηλεκτροδυναμικό όργανο, δηλαδή με το μετρητή VAR. Ο μετρητής VAR συνδέεται απ' ευθείας στο ηλεκτρικό δίκτυο ή μέσω μετασχηματιστών εντάσεως και τάσεως (σχ. 17.1δ). Διαφέρει από το μονοφασικό βαττόμετρο στο ότι το σύστημα του πηνίου τάσεως έχει σε σειρά πηνίο  $L$  και έτσι η τάση τροφοδοτήσεώς του θα βρίσκεται σε φασική απόκλιση  $90^\circ$  από την τάση του ηλεκτρικού δικτύου τροφοδοτήσεως του καταναλωτή ( $K$ ).

Ανάλογα με το είδος του φορτίου του καταναλωτή οι παραπάνω μετρήσεις των ισχύων ( $P$ ,  $P_\phi$  και  $P_a$ ) επαληθεύονται διανυσματικά (σχ. 17.1ε).



**Σχ. 17.1ε.**  
Διανυσματική επαλήθευση ισχύων.

## 17.2 Ασκήσεις.

1. α) Αναγνωρίστε τις καταναλώσεις και τα χαρακτηριστικά των οργάνων, που θα χρησιμοποιήσετε για τη μέτρηση της ισχύος τους.
- β) Πραγματοποιήστε τη συνδεσμολογία του σχήματος 17.1α ή 17.1β και μετρήστε την πραγματική ισχύ των καταναλωτών που θα σας δοθούν στο εργαστήριο. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων σημειώστε τα στον πίνακα αποτελεσμάτων 17.2.1.

**ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ 17.2.1**

ΕΙΔΟΣ ΦΟΡΤΙΟΥ	P (W)	ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ 1		ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ 2		Pφ (VA)	Pa (VAR)
		U (U)	I (A)	U (V)	I (A)		
1. Ωμικό καθαρό	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
2. Με χωρητική συμπεριφορά	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
3. Με επαγωγική συμπεριφορά	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
4. .....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
5. .....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....

2. Με τους ίδιους καταναλωτές της ασκήσεως 1 πραγματοποιήστε τις συνδεσμολογίες του σχήματος 17.1γ(1), 17.1γ(2) ή 17.1γ(3), 17.1γ(4) και μετρήστε την τάση και την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος διαδοχικά.

Από τις ενδείξεις του βολτόμετρου και του αμπερόμετρου δικαιολογήστε τη φαινόμενη ισχύ  $P_f$  από τη σχέση  $P_f = U \cdot I$ . Σημειώστε τα αποτελέσματα των μετρήσεων και των υπολογισμών σας στις αντίστοιχες στήλες του πίνακα αποτελεσμάτων της ασκήσεως 1.

3. α) Μετρήστε την άεργη ισχύ  $P_a$  των καταναλώσεων της ασκήσεως 1 με τη βοήθεια του μετρητή VAR, που θα σας δοθεί στο εργαστήριο (σχ. 17.1δ). Η σύνδεση των πηνίων τάσεως και έντασεως του μετρητή γίνεται και χωρίς την

παρεμβολή των αντίστοιχων μετασχηματιστών μετρήσε υς (αν το επιτρέπουν οι τάσεις και οι εντάσεις των φορτίων).

Σημειώστε τα αποτελέσματα των μετρήσεών σας στην αντίστοιχη στήλη του ίδιου πίνακα αποτελεσμάτων των προηγουμένων ασκήσεων.

β) Συγκρίνετε τα αποτελέσματα των μετρήσεων των ασκήσεων 1,2 και 3. Πραγματοποιήστε τη διανυσματική επαλήθευση για κάθε φορτίο και διατυπώστε τις παρατηρήσεις και τα συμπεράσματά σας στο τετράδιο.

- 4.** Με ένα επαγγελματικό βαττόμετρο μετρήστε την ισχύ καταναλωτών, οι οποίοι θα σας διθούν στο εργαστήριο και οι οποίοι έχουν συνφ<0,3. Την ισχύ των ίδιων καταναλωτών μετρήστε την με ένα ηλεκτροδυναμικό βαττόμετρο και συγκρίνετε τα αποτελέσματα των αντίστοιχων μετρήσεων.

Διατυπώστε τις παρατηρήσεις και τα συμπεράσματα σας στο τετράδιο.

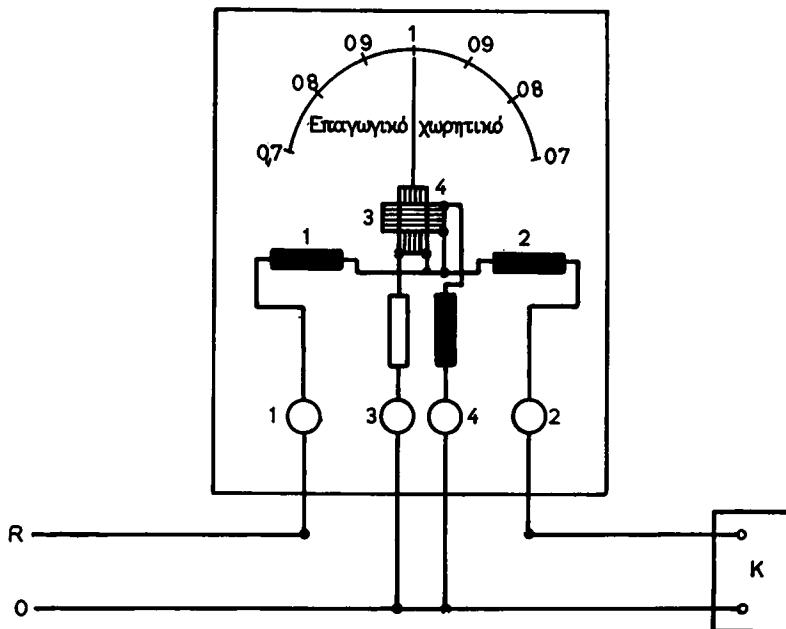
---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΟΓΔΟΟ

### ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΙΣΧΥΟΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΗ

#### 18.1 Γενικά.

Η άμεση μέτρηση του συντελεστή ισχύος (συνφ) ενός μονοφασικού καταναλωτή (Κ) επιτυγχάνεται με το συνημιτονόμετρο. Το συνημιτονόμετρο είναι ένα μονοφασικό δυναμομετρικό δργανο (σχ. 18.1α).



Σχ. 18.1α.

Συνημιτονόμετρο για μονοφασική μέτρηση.

1 και 2) Ακίνητα πηνία εντάσεως. 3 και 4) Διασταυρωμένα πηνία τάσεως (κινητό σύστημα).

Έμμεση μέτρηση του συντελεστή ισχύος (συνφ) του καταναλωτή (Κ) μπορούμε να έχομε με ένα βαττόμετρο, ένα αμπερόμετρο και ένα βολτόμετρο (σχ. 18.1β).

Av:  $P = U \cdot I \cdot \text{συνφ}$  (W): Ένδειξη βαττόμετρου

I (A): Ένδειξη αμπερόμετρου

(V): Ένδειξη βολτόμετρου

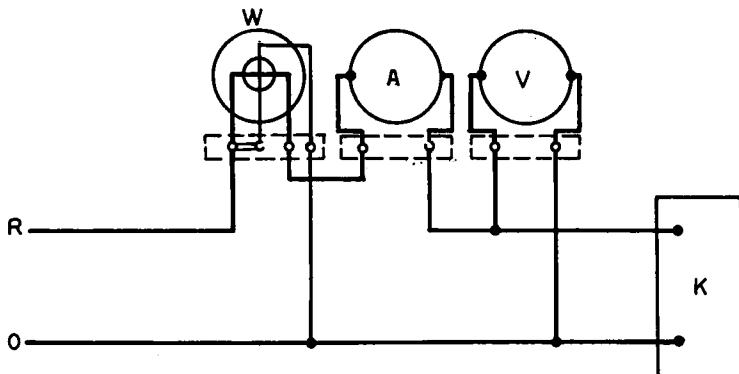
$$\text{τότε: } \text{συνφ} = \frac{P}{U \cdot I}$$

## 18.2 Ασκήσεις

1. α) Πραγματοποιήστε τη συνδεσμολογία του σχήματος 18.1α με το συνημιτονόμετρο που θα σας δοθεί στο εργαστήριο.

Στη θέση του καταναλωτή (Κ) συνδέστε πρώτα ένα ωμικό φορτίο και μετρήστε το συντελεστή ισχύος του. Την ίδια μέτρηση πραγματοποιήστε για ένα φορτίο (R,L) και ένα φορτίο (R,C).

β) Σημειώστε στο τετράδιό σας τα αποτελέσματα των μετρήσεων και διατύπωστε τις παρατηρήσεις σας.



**Σχ. 18.1β.**

Έμμεση μέτρηση συντελεστή ισχύος μονοφασικού καταναλωτή.

2. α) Πραγματοποιήστε τη συνδεσμολογία του σχήματος 18.1β με τα δργανα (βαττόμετρο, αμπερόμετρο, βολτόμετρο) που θα σας δοθούν στο εργαστήριο. Σημειώστε τις ενδείξεις των οργάνων (W), (U), (I) για κάθε καταναλωτή της α-

σκήσεως 1. Από τη σχέση:  $\text{συνφ} = \frac{P}{U \cdot I}$  υπολογίστε για κάθε περίπτωση το

συντελεστή ισχύος και συγκρίνετε τα αποτελέσματα των υπολογισμών σας με τις ενδείξεις του συνημιτονόμετρου της ασκήσεως 1.

3. α) Πραγματοποιήστε τις μετρήσεις της ασκήσεως 2 συνδέοντας στο κύκλωμα του σχήματος 18.1β το αμπερόμετρο έτσι, ώστε να δείχνει μόνο την ένταση που απορροφά από το δίκτυο ο καταναλωτής (Κ).

β) Εξηγήστε στο τετράδιό σας το πώς οφείλονται οι διαφορές ενδείξεως των οργάνων στις μετρήσεις αυτές από τις αντίστοιχες της ασκήσεως 2.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΕΝΑΤΟ

### ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΙΣΧΥΟΣ (συνφ) ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΣ

#### 19.1 Γενικά.

Από τα προηγούμενα κεφάλαια γνωρίζομε ότι ο συντελεστής ισχύος ενός μονοφασικού καταναλωτή δίνεται από τη σχέση:

$$\text{συνφ} = \frac{\text{πραγματική ισχύς (W)}}{\text{φαινόμενη ισχύς (VA)}} = \frac{P}{P_{\phi}}$$

Γενικά, η διαφορά μεταξύ  $P$  και  $P_{\phi}$  οφείλεται στη διαφορά φάσεως μεταξύ της τάσεως  $U$  στα άκρα του καταναλωτή και της εντάσεως του ηλεκτρικού ρεύματος  $I$  που απορροφά αυτός από το δίκτυο. Μπορεί όμως η παραπάνω διαφορά να οφείλεται στη διαφορά της μορφής του κύματος της τάσεως  $U$  και του κύματος της εντάσεως  $I$ . Στις πρακτικές εφαρμογές ενδιαφέρει η πρώτη περίπτωση, η διαφορά φάσεως  $U, I$ , γιατί θεωρούμε πάντοτε τη μορφή των κυμάτων της  $U$  και της  $I$  ως ημιτονοειδή. Θα πρέπει βέβαια να σημειώσουμε ότι η μορφή του κύματος της εντάσεως του ηλεκτρικού ρεύματος ορισμένων καταναλώσεων αποκλίνει από την ημιτονοειδή μορφή, όπως συμβαίνει στις λάμπες των ανορθωτών υδράργυρου και σε συσκευές στις οποίες πραγματοποιείται ηλεκτρική εκφόρτιση μέσω αραιών αερίων ή μέσω κενού.

Οι ηλεκτρικές εγκαταστάσεις φωτισμού ή κινήσεως αποτελούνται κυρίως από επαγγειακά φορτία, όπως λαμπτήρες φθορισμού, επαγγειακοί κινητήρες, μετασχηματιστές κλπ. και επομένως το συνφ είναι πάντοτε μικρότερο από τη μονάδα. Όσο μικρότερος από τη μονάδα είναι ο συντελεστής ισχύος τόσο μεγαλύτερη είναι η άερηγη συνιστώσα της εντάσεως του ηλεκτρικού ρεύματος του καταναλωτή. Η παρουσία υψηλής άερηγης συνιστώσας του ηλεκτρικού ρεύματος στο ηλεκτρικό δίκτυο δημιουργεί σοδαρά λειτουργικά προβλήματα στις εγκαταστάσεις της Ηλεκτρικής Εταιρείας ( $\Delta E H$ ), που τροφοδοτεί τους καταναλωτές με ηλεκτρική ενέργεια. Τα προβλήματα αυτά σχετίζονται με τη διατήρηση της απαιτούμενης τάσεως αναχωρήσεως (στον ηλεκτρικό σταθμό παραγωγής) ή της τάσεως αφίξεως (στους καταναλωτές). Επίσης τα μειονεκτήματα του χαμηλού συντελεστή ισχύος των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων, επρεάζουν το κόστος κατασκευής και εγκαταστάσεως, των σταθμών παραγωγής, των δίκτυων μεταφοράς και διανομής της  $\Delta E H$ .

Έστω π.χ. ότι ένας μονοφασικός εναλλακτήρας είναι κατασκευασμένος για να αποδίδει στον καταναλωτή πραγματική ισχύ  $P = 10.000 \text{ W}$  ( $10 \text{ kW}$ ) με τάση λειτουργίας  $U = 220V$ . Υποθέτομε ότι το φορτίο του καταναλωτή είναι ωμικό, συνφ = 1. Επομένως η ένταση του ρεύματος που απορροφά ο καταναλωτής θα είναι:

$$I = \frac{P}{U \cdot \text{συνφ}} = \frac{10.000 \text{ (W)}}{220V \cdot 1} \simeq 45,5A$$

Αν το φορτίο του ίδιου καταναλωτή ήταν επαγγειακό με συνφ = 0,6 θα είχαμε:

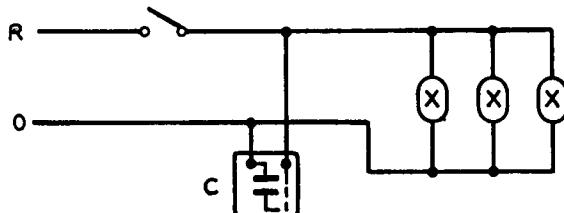
$$I = \frac{P}{U \cdot \text{συνφ}} = \frac{10.000 \text{ (W)}}{220 \text{ (V)} \cdot 0,6} \simeq 75,84$$

Δηλαδή στη δεύτερη περίπτωση θα πρέπει τα τυλίγματα της γεννήτριας να διαρρέονται από ηλε-

κτρικό ρεύμα εντάσεως 66% περίπου μεγαλύτερο από την πρώτη περίπτωση (ωμικό φορτίο). Επόμενο είναι και οι διάφοροι διακόπτες και συσκευές να είναι κατασκευασμένοι για τα 75,8 Α. Οι αγωγοί του δικτύου τροφοδοτήσεως του καταναλωτή πρέπει να έχουν μεγαλύτερη διατομή.

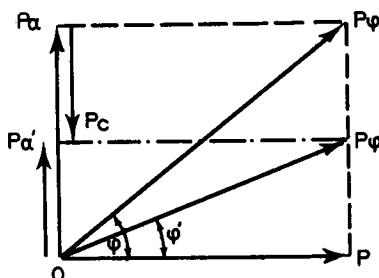
Από τα παραπάνω συμπεραίνομε ότι ο συντελεστής ισχύος των διαφόρων καταναλωτών πρέπει να πλησιάζει τη μονάδα (ελάχιστη αποδεκτή τιμή συνφ = 0,85). Αυτό επιτυγχάνεται με τη βελτίωση του χαμηλού συντελεστή ισχύος.

Η βελτίωση του συντελεστή ισχύος μιας μονοφασικής ηλεκτρικής εγκαταστάσεως καταναλωτή με επαγγελματική συμπεριφορά πραγματοποιείται με τη σύνδεση κατάλληλου πυκνωτή παράλληλα με αυτή (σχ. 19.1α).



Σχ. 19.1α.

Σύνδεση πυκνωτή παράλληλα σε κύκλωμα λαμπτήρων φθορισμού.



Σχ. 19.1β.

$P, P_\phi, P_a$  ισχείς εγκαταστάσεως χωρίς σύνδεση πυκνωτή.  $P_C$  = άεργη ισχύς πυκνωτή.  
 $UI_C P, P'_a$  = ισχείς εγκαταστάσεως μετά τη σύνδεση του πυκνωτή συνφ > συνφ.

Οι κατασκευαστές πυκνωτών δίνουν σε πίνακες τα απαραίτητα στοιχεία με τα οποία είναι δυνατή η εκλογή των κατάλληλων πυκνωτών για τη βελτίωση του συντελεστή ισχύος καταναλωτών ηλεκτρικής ενέργειας, ανάλογα με τη μορφή και το είδος του φορτίου τους.

Θεωρητικά η βελτίωση του συντελεστή ισχύος ενός επαγγελματικού καταναλωτή με σύνδεση πυκνωτή φαίνεται στο σχήμα 19.1β.

## 19.2. Ασκήσεις.

1. α) Για να μετρήσετε τις ισχείς ( $P, P_\phi, P_a$ ) και το συντελεστή ισχύος του επαγγελματικού καταναλωτή, ο οποίος πρέπει να έχει συνφ < 0,6 και ο οποίος θα σας δοθεί στο εργαστήριο, ζητήστε να σας δώσουν και τα κατάλληλα όργανα.
- β) Συνδεσμολογήστε κατάλληλα τα όργανα με την κατανάλωση και μετρήστε την πραγματική ισχύ  $P$ , τη φαινόμενη  $P_\phi$  και το συντελεστή ισχύος συνφ της καταναλώσεως.
- γ) Πραγματοποιήστε τις παραπάνω μετρήσεις για ένα επαγγελματικό καταναλωτή της ίδιας τάσεως λειτουργίας με τον προηγούμενο και της ίδιας πραγματικής ισχύος, αλλά να έχει συνφ > 0,6.

- δ) Σημειώστε στο τετράδιό σας τα αποτελέσματα των μετρήσεων. Επαληθεύστε τα διανυσματικά και διατυπώστε τις παρατηρήσεις σας.
- 2. a)** Προκειμένου να βελτιώσετε το συντελεστή ισχύος του καταναλωτή της ασκήσεως 1α συνδέστε στο κύκλωμά του παράλληλα τον πυκνωτή που θα σας δώσουν στο εργαστήριο.
- Προσοχή:** Ο πυκνωτής πρέπει να έχει την ίδια τάση λειτουργίας με την τάση του καταναλωτή.
- β) Πραγματοποιήστε τις μετρήσεις για τον προσδιορισμό των  $P$ ,  $P_{\phi}$ ,  $P_a$ , συνφ' και  $P_C$ , όπως στην άσκηση 1.
- γ) Σημειώστε στο τετράδιό σας τα αποτελέσματα των μετρήσεων. Επαληθεύστε τα διαγυσματικά, σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα της ασκήσεως 1, και διατυπώστε τις παρατηρήσεις σας.
-

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ

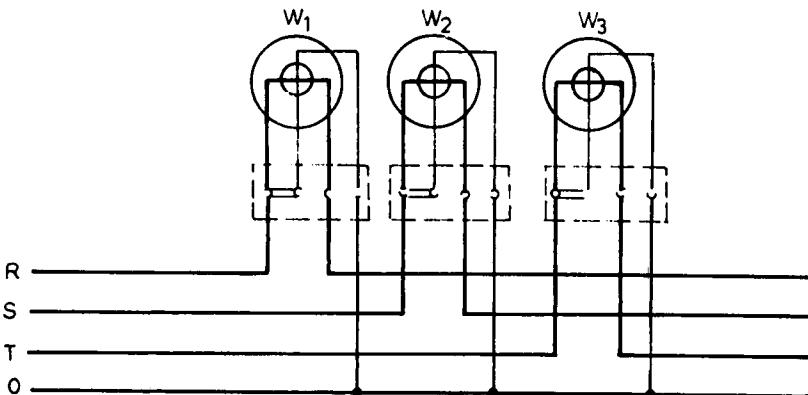
### ΜΕΤΡΗΣΗ ΙΣΧΥΟΣ ΣΕ ΤΡΙΦΑΣΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

#### 20.1 Γενικά.

##### 20.1.1 Σύστημα 4 αγωγών [τρεις φάσεις R, S, T και ουδέτερος (0)].

Όπως γνωρίζουμε, το σύστημα αυτό χρησιμοποιείται στα ηλεκτρικά δίκτυα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας για το φωτισμό και την κίνηση μηχανημάτων. Σε ένα τέτοιο σύστημα, που συνήθως δεν έχει συμμετρική φόρτιση, η ισχύς μετρείται με τη βοήθεια τριών μονοφασικών βαττομέτρων (σχ. 20.1α). Αν  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$  είναι οι ενδείξεις των βαττομέτρων αντίστοιχα, τότε η ισχύς της καταναλώσεως θα είναι:  $P = P_1 + P_2 + P_3$ . Η σύνδεση των βαττομέτρων με το δίκτυο μπορεί να πραγματοποιηθεί αμέσως ή με μετασχηματιστές μετρήσεως.

Στην περίπτωση της συμμετρικής φορτίσεως αρκεί το ένα βαττόμετρο, π.χ. το  $W_1$  (σχ. 20.1α) και η ισχύς  $P = 3 \cdot P_1$ .



Σχ. 20.1α.

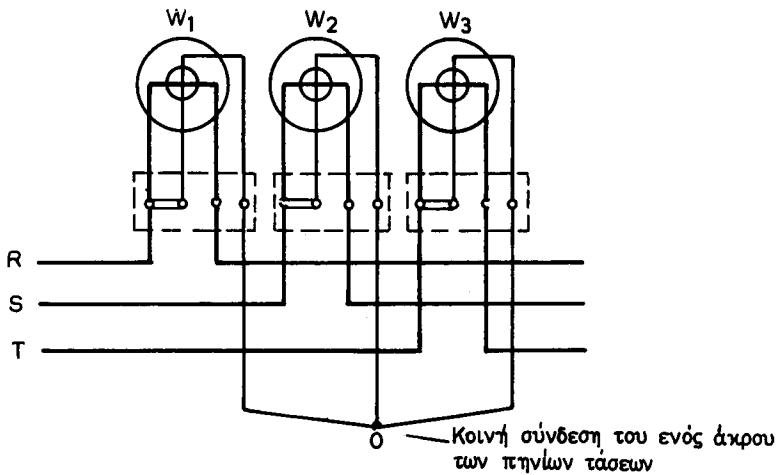
Μέτρηση τριφασικής ισχύος σε ασύμμετρο σύστημα 4 αγωγών με τρία μονοφασικά βαττόμετρα.

##### 20.1.2 Σύστημα 3 αγωγών.

Το σύστημα αυτό χρησιμοποιείται όταν δεν χρειάζεται ο ουδέτερος αγωγός (0), δημοσιεύοντας στα ηλεκτρικά δίκτυα, που τροφοδοτούν εγκαταστάσεις κινήσεως μηχανημάτων. Η μέτρηση της ισχύος στην περίπτωση αυτή μπορεί να γίνει με τρία (3) μονοφασικά βαττόμετρα (σχ. 20.1β) ή με δύο βαττόμετρα (διάταξη ARON) (σχ. 20.1γ).

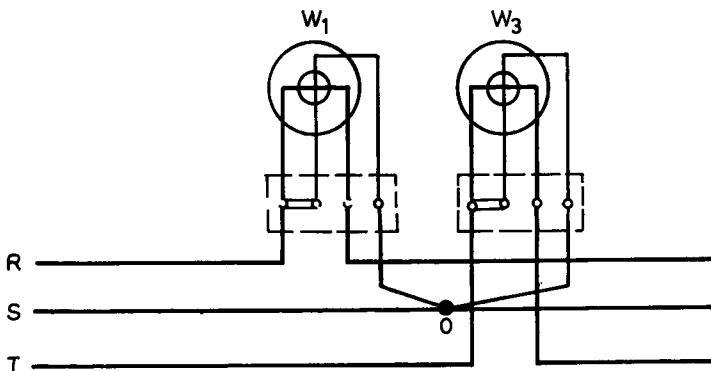
Στην περίπτωση των τριών βαττομέτρων η ισχύς της καταναλώσεως θα είναι:

$$P \doteq P_1 + P_2 + P_3,$$



Σχ. 20.1β.

Μέτρηση τριφασικής ισχύος σε σύστημα τριών αγωγών με κοινή σύνδεση του ενός άκρου των πηγών τάσεων.



Σχ. 20.1γ.  
Διάταξη ARON.

ενώ στην περίπτωση της διατάξεως ARON η ισχύς θα είναι:

$$P = P_1 + P_3$$

Τα βαπτόμετρα μπορεί να συνδεθούν στο κύκλωμα απ' ευθείας ή μέσω μετασχηματιστή μετρήσεως.

## 20.2 Ασκήσεις.

1. a) Με τη βοήθεια τριών μονοφασικών βαπτομέτρων, που θα σας δοθούν στο εργαστήριο, μετρήστε και υπολογίστε την πραγματική ισχύ ασύμμετρων τριφασικών καταναλώσεων (σε σύστημα 4 αγωγών), που θα έχετε δημιουργήσει

μόνοι σας με λαμπτήρες φωτισμού και μονοφασικούς κινητήρες ή με αντιστάσεις και πηνία.

β) Περιγράψτε στο τετράδιό σας την πορεία της όλης εργασίας σας κατά την άσκηση και διατυπώστε τις παρατηρήσεις σας.

2. α) Σε τριφασικό σύστημα 4 αγωγών (τρεις **φάσεις** και **ουδέτερος**) δημιουργήστε ένα συμμετρικό φορτίο με λαμπτήρες φωτισμού, που θα σας δοθούν στο εργαστήριο.

β) Με ένα κατάλληλο μονοφασικό βαττόμετρο μετρήστε και υπολογίστε την πραγματική ισχύ της παραπάνω καταναλώσεως. Το βαττόμετρο θα το συνδέστε διαδοχικά στα (R,O), (S,O) και (T,O) σχήματος 20.1α και θα επαληθεύσετε τη μέθοδο μετρήσεως. Η ισχύς της τριφασικής καταναλώσεως θα είναι πάντοτε το τριπλάσιο της κάθε μονοφασικής στο ίδιο δίκτυο.

γ) Σημειώστε συνοπτικά στο τετράδιό σας, τις ενέργειες και τους χειρισμούς που πραγματοποιήσατε κατά τη διάρκεια της ασκήσεως και διατυπώστε τις παρατηρήσεις και τα συμπεράσματά σας.

3. α) Στους τρεις αγωγούς R, S, T του δικτύου κινήσεως του εργαστηρίου συνδέστε ασύγχρονους τριφασικούς κινητήρες και πραγματοποιήστε τη συνδεσμολογία της διατάξεως ARON (σχ. 20.1γ).

β) Μετρήστε δύο φορές την ισχύ της παραπάνω τριφασικής καταναλώσεως αλλάζοντας τη θέση των βαττομέτρων  $W_1$ , και  $W_3$  στο κύκλωμα. Θα πρέπει και τις δύο φορές το αποτέλεσμα να είναι το ίδιο.

γ) Σχεδιάστε στο τετράδιο σας τη συνδεσμολογία της ασκήσεως και διατυπώστε τις παρατηρήσεις και τα συμπεράσματά σας.

---

## ΜΕΡΟΣ ΤΡΙΤΟ

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ ΠΡΩΤΟ

#### ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΡΙΦΑΣΙΚΩΝ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗΡΩΝ

##### 21.1 Γενικά.

Είναι γνωστό ότι οι εναλλακτήρες (σύγχρονες γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος) ανάλογα με την κατασκευαστική τους διαμόρφωση διακρίνονται σε δύο τύπους:

- Εναλλακτήρες με σταθερούς πόλους ή εσωτερικούς πόλους.
- Εναλλακτήρες με περιστρεφόμενους πόλους ή εσωτερικούς πόλους.

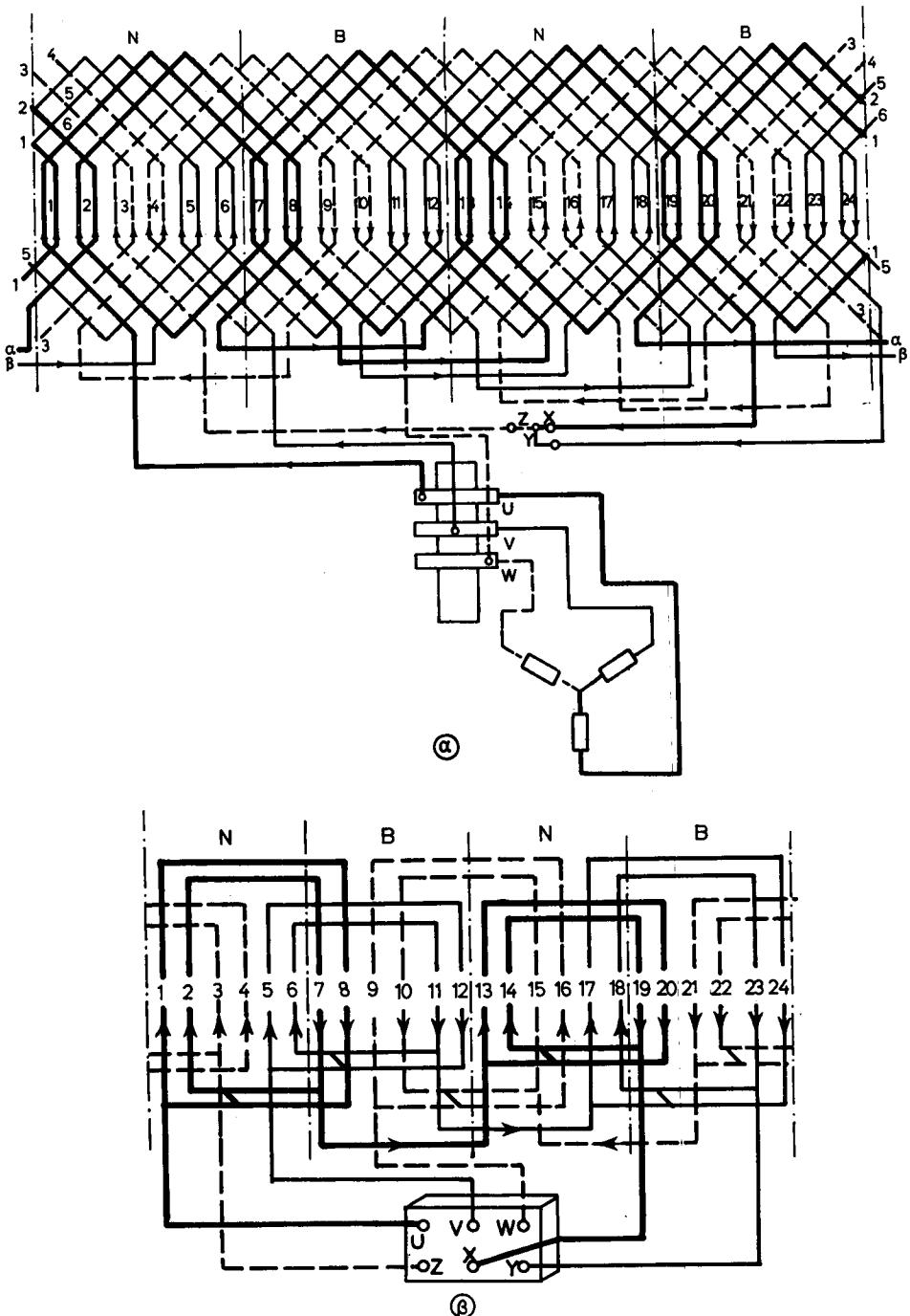
Από τους δύο παραπάνω τύπους αυτός που χρησιμοποιείται περισσότερο είναι ο «με περιστρεφόμενους πόλους». Σχεδόν αποκλειστικά στους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιούνται, σήμερα, εναλλακτήρες με περιστρεφόμενους πόλους, ο οποίοι λόγω των γνωστών ιδιαίτερων χαρακτηριστικών τους (κατασκευαστικών και λειτουργικών) λέγονται **στροβιλοεναλλακτήρες**.

Για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μικρής ισχύος χρησιμοποιούνται οι εναλλακτήρες με σταθερούς πόλους. Ο τύπος αυτός των εναλλακτήρων στην κατασκευή του μοιάζει πολύ με τις γεννήτριες Σ.Ρ. Διαφέρει από αυτές στο ότι ο συλλέκτης έχει αντικατασταθεί με ορειχάλκινα δακτυλίδια. Αντίθετα, οι εναλλακτήρες με στρεφόμενους πόλους έχουν βασικές κατασκευαστικές διαφορές από τις γεννήτριες Σ.Ρ.

Στους εναλλακτήρες αυτούς το τύλιγμα του επαγώγιμου αναπτύσσεται στο εσωτερικό των αυλάκων του στάτη και η παροχή του ηλεκτρικού ρεύματος, προς το ηλεκτρικό δίκτυο μεταφοράς και διανομής για την κατανάλωση, γίνεται από σταθερή θέση. Το τύλιγμα όμως των μαγνητικών πόλων (επαγωγέας) είναι τοποθετημένο πάνω στην κυλινδρική επιφάνεια του τυμπάνου του εναλλακτήρα και περιστρέφεται μαζί του. Η ηλεκτρική τροφοδότηση του τυλίγματος αυτού γίνεται με το σύστημα δακτύλιοι-ψήκτρες, από μια αυτοδιεγειρόμενη γεννήτρια ή από μια ξένη διέγερση Σ.Ρ., τη **διεγέρτρια**. Η διεγέρτρια είναι συνήθως τοποθετημένη στον ίδιο κινητήριο άξονα με τον εναλλακτήρα.

Και στους δύο τύπους εναλλακτήρων που αναφέραμε, το τύλιγμα του επαγώγιμου αποτελείται από ένα αριθμό ομάδων στοιχείων τοποθετημένων μέσα στα αυλάκια του στάτη ή του δρομέα (ανάλογα με τον τύπο του εναλλακτήρα) και σε διάταξη απόλυτα συμμετρική. Οι ομάδες αυτές συνδεσμολογούνται μεταξύ τους έτσι ώστε να σχηματίζουν τις τρεις φάσεις του τυλίγματος του επαγώγιμου. Οι ομάδες των στοιχείων μιας φάσεως απέχουν από τις αντίστοιχες της άλλης φάσεως κατά τα  $\frac{2}{3}$  του πολικού βήματος.

Τα άκρα των φάσεων του τυλίγματος καταλήγουν στους δακτύλιους (εναλλακτήρες με σταθερούς πόλους) ή στους ακροδέκτες του κιβωτίου ακροδεκτών του στάτη της μηχανής (εναλλακτήρες με στρεφόμενους πόλους) όπως φαίνεται και στο σχήμα 21.1.



Σχ. 21.1.

## 21.2 Χαρακτηριστικά στοιχεία λειτουργίας των εναλλακτήρων.

### 21.2.1 Η ηλεκτρεγερτική δύναμη (ΗΕΔ).

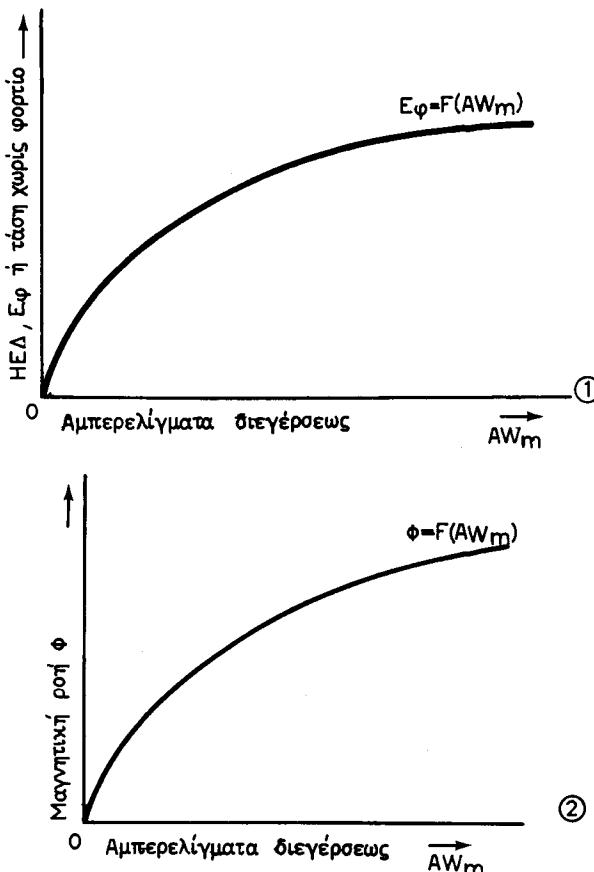
Δηλαδή η τάση του εναλλακτήρα χωρίς φορτίο, που αναπτύσσεται στα άκρα του τυλίγματος μιας φάσεως είναι η **φασική ΗΕΔ ( $E_\phi$ )** η οποία είναι:

$$E_\phi = K' \cdot \Phi \cdot n \quad (\text{σε V})$$

όπου:  $K'$  είναι σταθερά που εξαρτάται από τα κατασκευαστικά στοιχεία της μηχανής.

$\Phi$  είναι η χρήσιμη μαγνητική ροή κάθε πόλου του εναλλακτήρα σε  $V_s$ .  
και  $n$  είναι η ταχύτητα περιστροφής του δρομέα σε στροφές ανά λεπτό.

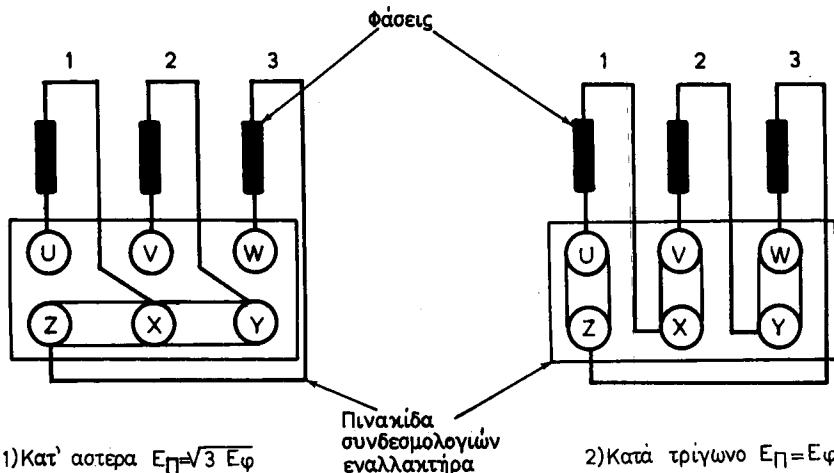
'Έτσι, όπως και στις γεννήτριες Σ.Ρ., η αναπτυσσόμενη ΗΕΔ είναι ανάλογη με τη μαγνητική ροή  $\Phi$  και με την ταχύτητα περιστροφής  $n$ . Επομένως η **στατική χαρακτηριστική του εναλλακτήρα** πρέπει να έχει την ίδια μορφή με τη **μαγνητική χαρακτηριστική** του μαγνητικού του κυκλώματος (σχ. 21.2a).



Σχ. 21.2a.

1) Στατική χαρακτηριστική. 2) Μαγνητική χαρακτηριστική.

Η ΗΕΔ που αναπτύσσεται μεταξύ δύο φάσεων στους τριφασικούς εναλλακτήρες είναι η **πολική τάση ( $E_p$ )**. Η τιμή της πολικής τάσεως σε σχέση με τη φασική τάση εξαρτάται από τον τρόπο συνδεσμολογίας των φάσεων. Όπως είναι γνωστό έχουμε συνδεσμολογία φάσεων «κατ' αστέρα» και συνδεσμολογία φάσεων «κατά τρίγωνο» (σχ. 21.2β).



**Σχ. 21.2β.**  
Συνδεσμολογίες φάσεων εναλλακτήρα.

### 21.2.2 Η συχνότητα της εναλλασσόμενης ΗΕΔ.

Αυτή είναι ανάλογη με τις στροφές του δρομέα ανά λεπτό.

$$\Delta\text{ηλαδή: } f = \frac{P \cdot n}{60} \text{ (σε Hz)}$$

Όπου:  $f$  η συχνότητα της ΗΕΔ (Hz).

• Ρ ο αριθμός των ζευγών των μαγνητικών πόλων.  
• οι στροφές ανά λεπτό του δρομέα.

Απαραίτητη προϋπόθεση για την κανονική λειτουργία κάθε εναλλακτήρα είναι, να τροφοδοτεί το ηλεκτρικό δίκτυο των καταναλωτών με τάση σταθερής συχνότητας. Γι' αυτό φροντίζουμε σε όλη τη διάρκεια λειτουργίας του εναλλακτήρα, να παραμένει σταθερή η ταχύτητα περιστροφής του (στροφές/τιμή). Στους εναλλακτήρες δεν ρυθμίζομε την τάση με τις στροφές, όπως γίνεται στις γεννήτριες Σ.Ρ., αλλά μόνο με τη μεταβολή του ηλεκτρικού ρεύματος διεγέρσεως.

### 21.2.3 Η λειτουργία του εναλλακτήρα με φορτία.

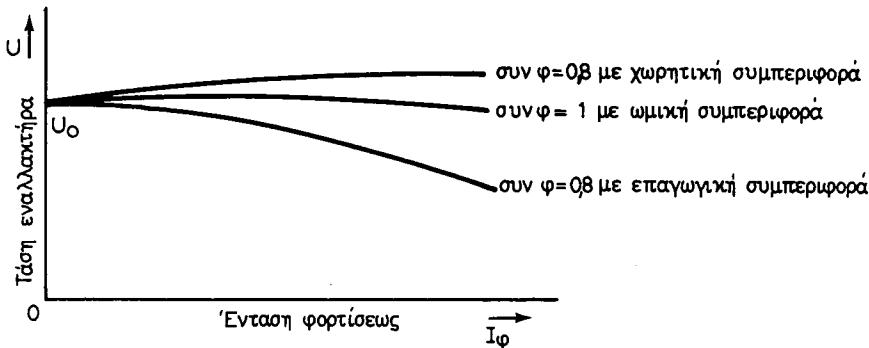
Όταν ο εναλλακτήρας λειτουργεί με φορτίο, εκτός από τους παράγοντες γνωστούς και από τη μελέτη των γεννητριών Σ.Ρ., που συντελούν στον υποβιβασμό της τάσεως (ΗΕΔ), σημαντικό ρόλο παίζει και το είδος της φορτίσεως του εναλλακτήρα. Το είδος φορτίσεως του εναλλακτήρα, καθαρά αμικό φορτίο ή σύνθετο με επαγγεική ή χωρητική συμπεριφορά, εκφράζει ο συντελεστής ισχύος συνφ.

Στις μετρήσεις μας στο εργαστήριο θα παρατηρήσουμε ότι για τις ίδιες μεταβολές του φορτίου του εναλλακτήρα, με διαφορετικό όμως κάθε φορά συντελεστή ισχύος, η τάση μεταβάλλεται με διάφορους τρόπους. Στο σχήμα 21.2γ φαίνονται οι χαρακτηριστικές φορτίου ενός εναλλακτήρα για διαφορετικούς σε κάθε περίπτωση συντελεστές ισχύος.

### 21.2.4 Η διακύμανση της τάσεως.

Χαρακτηριστικό μέγεθος στους εναλλακτήρες είναι και η διακύμανση της τάσεώς του που είναι:

$$\epsilon \% = \frac{U_0 - U_N}{U_N} \cdot 100\%$$



Σχ. 21.2γ.

Χαρακτηριστικές φορτίου  $U = F(I_\phi)$  εναλλακτήρα.  
1) Κατ' αστέρα  $E_\pi = \sqrt{3} E_\phi \cdot 2$  Κατά τρίγωνο  $E_\pi = E_\phi$

όπου:  $U_0$  η τάση του εναλλακτήρα χωρίς φορτίο, δηλαδή η ΗΕΔ.

$U_N$  η τάση του εναλλακτήρα με το κανονικό φορτό του.

Η διακύμανση της τάσεως κάθε εναλλακτήρα δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 5%.

Όταν έχουμε μεγάλες φορτίσεις σε ένα εναλλακτήρα με μικρό συντελεστή ισχύος φορτίου, το φαινόμενο της αντιδράσεως του επαγγειακού τυμπάνου είναι πολύ έντονο και γι' αυτό η τάση «πέφτει» απότομα. Συνήθως δεν πρέπει να λειτουργούν οι εναλλακτήρες με φορτία που έχουν συντελεστή ισχύος (συνφ) μικρότερο από 0,8.

### 21.2.5 Η ισχύς.

Η ισχύς που αποδίδει έργο στους καταναλωτές τους οποίους τροφοδοτεί ο εναλλακτήρας είναι η **πραγματική ισχύς** και είναι:  $N = 1,73 \cdot U \cdot I \cdot \sin\phi$ .

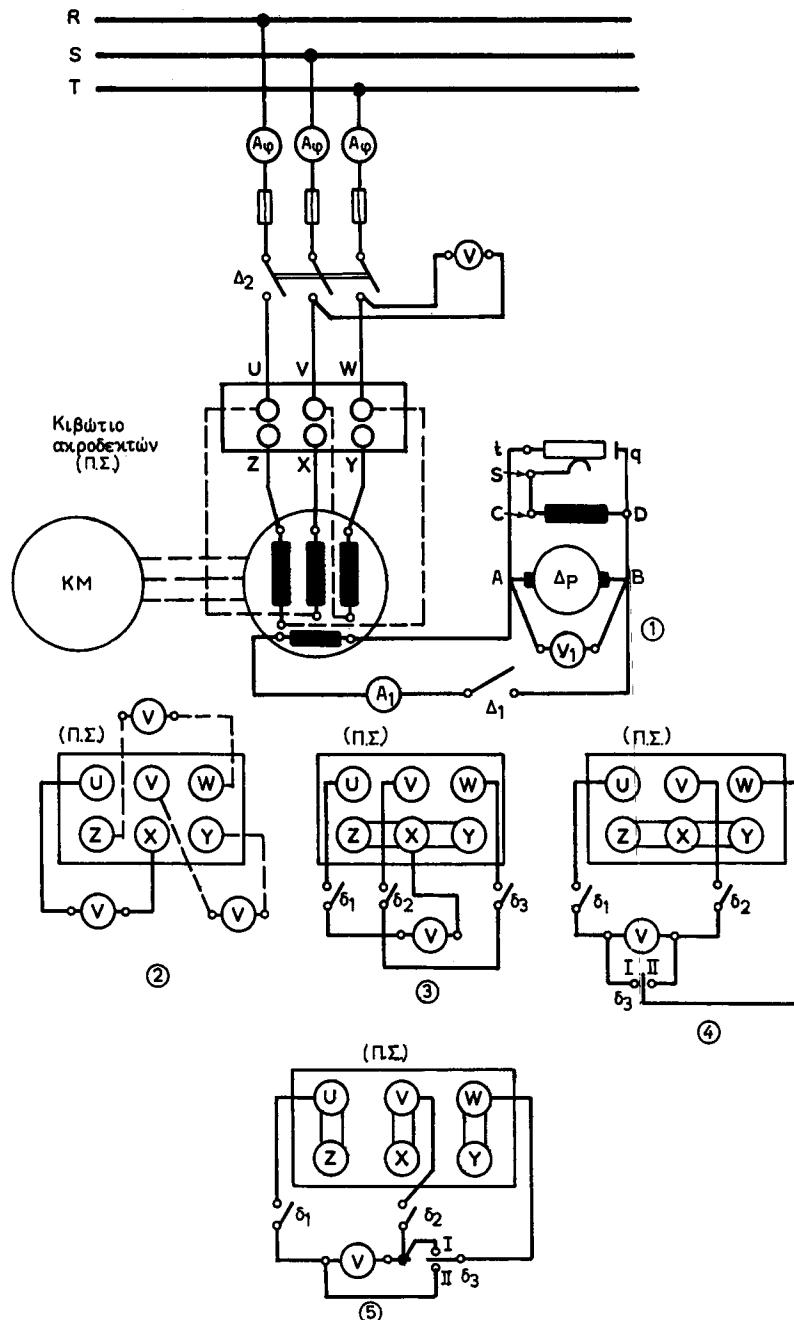
Η ισχύς που φαίνεται ότι φορτίζεται η κινητήρια μηχανή του εναλλακτήρα είναι η **φαινόμενη ισχύς**  $N_S = 1,73 \cdot U \cdot I$ , ενώ η **δεργη ισχύς** είναι  $N_b = 1,73 \cdot U \cdot I \cdot \eta\mu\phi$ .

(Προσοχή: Η  $U$  είναι πολική τάση και η  $I$  ένταση ηλεκτρικού ρεύματος γραμμής).

Πρέπει να σημειώσουμε ακόμη ότι ο βαθμός αποδόσεως κάθε εναλλακτήρα εξαρτάται και από το **συνφ** του φορτίου του. Όσο αυξάνεται η διαφορά μεταξύ των τιμών της πραγματικής και της φαινόμενης ισχύος τόσο αυξημένες παρουσιάζονται οι απώλειες του εναλλακτήρα και τόσο επομένως «χαμηλώνει» ο βαθμός αποδόσεώς του.

## 21.3 Ασκήσεις.

- Αναγνωρίστε τα διάφορα μέρη του εναλλακτήρα τα οποία θα χρησιμοποιήσετε στην άσκησή σας στο εργαστήριο. Σημειώστε στο τετράδιό σας τις παρατηρήσεις σας.
- Με τα όργανα και τις συσκευές που θα σας δώσουν στο εργαστήριο πραγματοποιήστε τη συνδεσμολογία του σχήματος 21.3α.
- Χωρίς να συνδέσετε στο κιβώτιο ακροδεκτών τα τυλίγματα των φάσεων του εναλλακτήρα μεταξύ τους (έχετε σχηματίσει έτσι ανεξάρτητο τριφασικό σύστημα), θέσετε σε κίνηση την κινητήρια μηχανή (KM) του εναλλακτήρα μέχρι τον ονομαστικό αριθμό στροφών για να έχετε συχνότητα 50 Hz (ο ονομαστικός αριθμός στροφών γράφεται στην πινακίδα των στοιχείων της μηχανής). Ρυθμίστε το κύκλωμα της διεγέρτριας ( $\Delta r$ ), ώστε η τάση της να είναι η προβλεπόμενη από τον κατασκευαστή της (ένδειξη βολτόμετρου  $V_1$ ). Κλείστε το διακόπτη  $\Delta_1$  και τροφοδοτήστε το τύλιγμα διεγέρσεως του εναλλακτήρα με το

**Σχ. 21.3α.**

Συνδεσμολογία τριφασικού εναλλακτήρα.

- 1) Συνδεσμολογία. 2) Ανεξάρτητο τριφασικό τύλιγμα. 3 και 4) Σύνδεση κατ' αστέρα. 5) Σύνδεση κατά τρίγωνο.

κανονικό ηλεκτρικό ρεύμα διεγέρσεως (ένδειξη αμπερόμετρου  $A_1$ ). Μετρήστε την τάση διαδοχικά μεταξύ των áκρων U-X, V-Y, W-Z με ένα βολτόμετρο V, όπως στο σχήμα 21.3a(2).

Διαπιστώστε ότι οι τάσεις που μετρήσατε και στις τρεις φάσεις του εναλλακτήρα είναι ίσες.

δ) Σταματήστε τη λειτουργία του εναλλακτήρα ακολουθώντας την εξής διαδικασία:

- Μειώστε το ηλεκτρικό ρεύμα της διεγέρσεως μέχρι την ελάχιστή του τιμή.
- Ανοίξτε το διακόπτη  $\Delta_1$ .
- Σταματήστε την κινητήρια μηχανή (KM).

ε) Σχεδιάστε στο τετράδιό σας τη συνδεσμολογία της ασκήσεως. Καταγράψτε τα όργανα και τις συσκευές που χρησιμοποιήσατε, αναφέροντας τα κατασκευαστικά τους στοιχεία (π.χ. τύπος, τάση λειτουργίας, κανονικό ρεύμα λειτουργίας κλπ.). Περιγράψτε συνοπτικά τους χειρισμούς που πραγματοποιήσατε και διατυπώστε τις παρατηρήσεις και τα συμπεράσματά σας.

2. a) Με τα όργανα και τις συσκευές, που θα σας δώσουν στο εργαστήριο, πραγματοποιήστε τη συνδεσμολογία λειτουργίας ενός εναλλακτήρα όπως στο σχήμα 21.3a(1), χωρίς να συνδέσετε στο κιβώτιο ακροδεκτών (ΠΣ) τα τυλίγματα των φάσεων μεταξύ τους.

β) Συνδέστε τα τυλίγματα των φάσεων του εναλλακτήρα στο κιβώτιο ακροδεκτών (ΠΣ) κατ' αστέρα (αλληλένδετο τριφασικό σύστημα), όπως φαίνεται στο σχήμα 21.3a(3) και (4). Θέστε σε λειτουργία τον εναλλακτήρα ακολουθώντας τη διαδικασία της ασκήσεως 1.

γ) Με ένα βολτόμετρο V και με τη βοήθεια τριών απλών διακοπών  $\delta_1, \delta_2, \delta_3$  μετρήστε τις φασικές τάσεις ( $U_\phi$ ) του εναλλακτήρα [σχ. 21.3a(3)].

Φάση 1, áκρα U-X (διακόπτης κλειστός μόνο ο  $\delta_1$ ).

Φάση 2, áκρα V-X (διακόπτης κλειστός μόνο ο  $\delta_2$ ).

Φάση 3, áκρα Q-X (διακόπτης κλειστός μόνο ο  $\delta_3$ ).

(Στην περίπτωση αυτή το X είναι κοινό áκρο των τριών φάσεων ή το Y ή το Z).

Διαπιστώστε ότι και οι τρεις φασικές τάσεις είναι ίσες μεταξύ τους.

δ) Στη συνέχεια μετρήστε τις πολικές τάσεις ( $U_\pi$ ) του εναλλακτήρα, όπως στο σχήμα 21.3a(4).

Χρησιμοποιήστε πάλι ένα βολτόμετρο V και τρεις διακόπτες  $\delta_1, \delta_2, \delta_3$  για να μετρήσετε την:

- Πολική τάση U-V (κλειστοί οι διακόπτες  $\delta_1$  και  $\delta_2$ ).
- Πολική τάση V-W (κλειστός ο διακόπτης  $\delta_2$ , στη θέση (II) ο διακόπτης  $\delta_3$ ).
- Πολική τάση U-W (κλειστός ο διακόπτης  $\delta_1$ , στη θέση (III) ο διακόπτης  $\delta_3$ ).

Διαπιστώστε ότι ισχύει η σχέση:  $U_\pi = 1,73 U_\phi$ .

(Η πολική τάση είναι 1,73 φορές μεγαλύτερη από την φασική τάση).

ε) Σταματήστε τη λειτουργία του εναλλακτήρα όπως στην άσκηση 1.

στ) Περιγράψτε συνοπτικά στο τετράδιό σας την όλη πορεία της εργασίας κατά την άσκηση. Διατυπώστε τις παρατηρήσεις και τα συμπεράσματά σας.

3. a) Με τα όργανα και τις συσκευές που θα σας δώσουν στο εργαστήριο, πραγματοποιείστε τη συνδεσμολογία λειτουργίας ενός εναλλακτήρα όπως στο σχήμα

μα 21.3α (1) χωρίς να συνδέσετε τα τυλίγματα των φάσεων μεταξύ τους στο κιβώτιο ακροδεκτών (ΠΣ).

β) Συνδέστε τα τυλίγματα των φάσεων του εναλλακτήρα στο κιβώτιο ακροδεκτών (ΠΣ) κατά τρίγωνο [σχ. 21.3(a)(5)]. Θέσετε σε λειτουργία τον εναλλακτήρα ακολουθώντας τη διαδικασία της ασκήσεως 1.

γ) Με ένα βολτόμετρο  $V$  και τρεις διακόπτες, τους  $\delta_1$ ,  $\delta_2$  και  $\delta_3$ , μετρήστε τις πολικές τάσεις ( $U_\pi$ ) του εναλλακτήρα [σχ. 21.3α(5)].

Πολική τάση  $U/Z-V/X$ , κλειστοί οι διακόπτες  $\delta_1$  και  $\delta_2$ .

Πολική τάση  $V/X-W/Y$ , κλειστός ο διακόπτης  $\delta_2$ , ο διακόπτης  $\delta_3$  στη θέση II.

Πολική τάση  $U/Z-W/Y$ , κλειστός ο διακόπτης  $\delta_1$ , ο διακόπτης  $\delta_3$  στη θέση I.

Στην περίπτωση αυτή:  $U_\pi = U_\phi$

Αν δεν γνωρίζετε τη φασική τάση του εναλλακτήρα ( $U_\phi$ ) μπορείτε να τη μετρήσετε όπως στην άσκηση 1.

δ) Χωρίς να σταματήσετε τη λειτουργία του εναλλακτήρα, να ελαττώσετε το ηλεκτρικό ρεύμα διεγέρσεως στο ελάχιστο δυνατό με κατάλληλη ρύθμιση της τάσεως της διεγέρτριας. Σημειώστε τις ενδείξεις του βολτόμετρου  $V$  του εναλλακτήρα και του αμπερόμετρου της διεγέρσεως  $A_1$  στον πίνακα αποτελεσμάτων 21.3.1. Στη συνέχεια μεταβάλλετε κάθε φορά το ηλεκτρικό ρεύμα διεγέρ-

#### ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ 21.3.1

$f = 50 \text{ Hz}$ σταθερή	
$I_\delta (\text{A})$	$U_0 = E (\text{V})$
.....	.....
.....	.....
.....	.....

σεως ( $I_\delta$ ), κατά 20% από το ηλεκτρικό ρεύμα κανονικής λειτουργίας της διεγέρτριας. Σε κάθε μεταβολή του ηλεκτρικού ρεύματος της διεγέρσεως σημειώστε στον πίνακα αποτελεσμάτων την αντίστοιχη τάση  $U_0$  ( $U_\pi = U_\phi$ ) που αναπτύσσεται στον εναλλακτήρα και που είναι όπως γνωρίζομε η ΗΕΔ (λειτουργία χωρίς φορτίο).

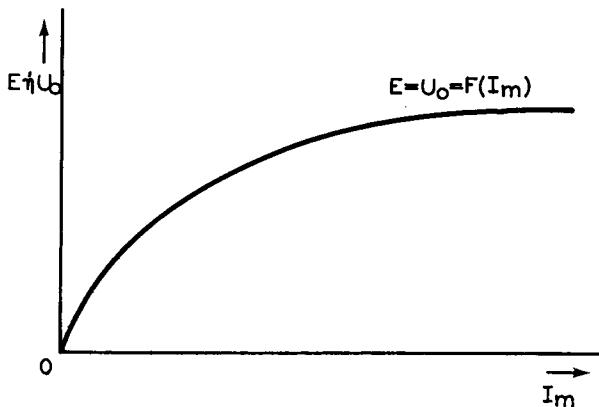
ε) Σταματήστε τη λειτουργία του εναλλακτήρα ακολουθώντας τη διαδικασία της ασκήσεως 1.

στ) Χαράξτε, με τα αποτελέσματα του πίνακα αποτελεσμάτων 21.3.1, τη στατική χαρακτηριστική του εναλλακτήρα  $E = U_0 = F(I_\delta)$  (σχ. 21.3β).

ζ) Περιγράψτε συνοπτικά στο τετράδιό σας την όλη πορεία της εργασίας κατά την άσκηση και διατυπώστε τις παρατηρήσεις και τα συμπεράσματά σας.

4. α) Πραγματοποιήστε την όλη εργασία και τους χειρισμούς της ασκήσεως 3 μέχρι και το (γ).

β) Αναγνωρίστε τα φορτία του εναλλακτήρα που θα σας δοθούν στο εργαστήριο:



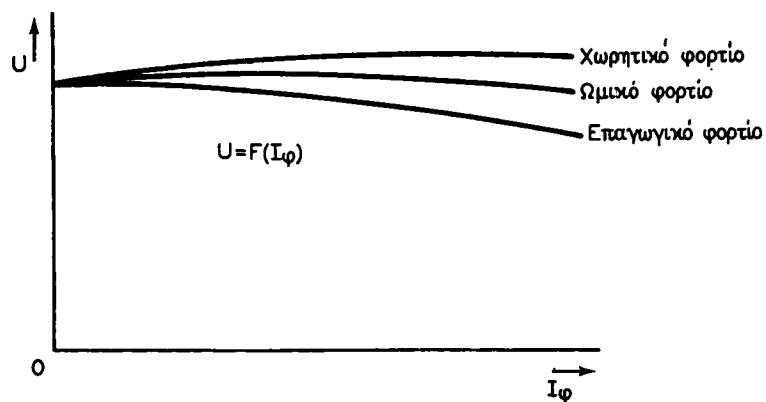
Σχ. 21.3β.

- 'Ένα ωμικό (π.χ. λαμπτήρες πυρακτώσεως ή θερμικές αντιστάσεις).
  - 'Ένα σύνθετο επαγωγικό (π.χ. ασύγχρονος κινητήρας).
  - 'Ένα σύνθετο χωρητικό (π.χ. πυκνωτές παράλληλα συνδεμένοι με ωμικό καταναλωτή).
- γ) Συνδέστε στο κύκλωμά σας [σχ. 21.3α(1)] τον ωμικό καταναλωτή. Ρυθμίστε την τάση του εναλλακτήρα στην ονομαστική της τιμή. Η συχνότητα επίσης θα τηρείται σταθερή, π.χ. 50Hz. Κλείστε το διακόπτη  $\Delta_2$  [σχ. 21.3α(1)]. Τώρα ο εναλλακτήρας εργάζεται με φορτίο. Αυξομειώστε το φορτίο σημειώνοντας κάθε φορά στον πίνακα αποτελεσμάτων 21.3.2 τις ενδείξεις του βολτόμετρου (V) και του αμπερόμετρου ( $A_\phi$ ).

**ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ 21.3.2**  
**Συχνότητα  $f = 50$  Hz σταθερή**

συνφ = 1		συνφ < 0 επαγωγικό		συνφ < 0 χωρητικό	
U(V)	$I_\phi$ (A)	U(V)	$I_\phi$ (A)	U(V)	$I_\phi$ (A)
.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....

- δ) Επαναλάβετε τις ενέργειες και τους χειρισμούς του (γ) αφού συνδέσετε στο κύκλωμά σας πρώτα το σύνθετο επαγωγικό φορτίο και μετά το σύνθετο χωρητικό. Κάθε φορά σημειώνεται τις ενδείξεις των (V) και ( $A_\phi$ ) στον πίνακα αποτελεσμάτων 21.3.2.
- ε) Με τα αποτελέσματα από τον πίνακα 21.3.2 χαράξτε τις χαρακτηριστικές φορτίσεως του εναλλακτήρα  $U = F(I_\phi)$  (σχ. 21.3γ).



Σχ. 21.3γ.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

### ΠΑΡΑΛΛΗΛΗ ΖΕΥΞΗ ΤΡΙΦΑΣΙΚΩΝ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗΡΩΝ ή ΠΑΡΑΛΛΗΛΙΣΜΟΙ

#### 22.1 Γενικά.

Αναφέραμε στο προηγούμενο κεφάλαιο ότι για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μεγάλης ίσχυός χρησιμοποιούνται αποκλειστικά σχεδόν οι τριφασικοί εναλλακτήρες με εσωτερικούς πόλους και μάλιστα οι στροβιλοεναλλακτήρες. Με άλλα λόγια ο τριφασικός εναλλακτήρας αποτελεί το βασικό στοιχείο των μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε κάθε σταθμό παραγωγής. Σήμερα σε κάθε σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας εγκαθίστανται δύο τουλάχιστον μονάδες παραγωγής. Δηλαδή δύο τριφασικοί εναλλακτήρες.

Στα πρώτα χρόνια της κατασκευής των σταθμών η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας του κάθε σταθμού ήταν ανεξάρτητη από κάθε άλλη παραγωγή. Τροφοδοτούσε δηλαδή ένα ορισμένο κέντρο καταναλώσεως. Π.χ. ένας σταθμός παραγωγής που ήταν εγκαταστημένος στο Φάληρο τροφοδοτούσε με ηλεκτρική ενέργεια την Αθήνα και τον Πειραιά. Αργότερα κατασκευάσθηκε για τον ίδιο σκοπό, ο σταθμός Αγ. Γεωργίου στο Κερατσίνι.

Κάθε πόλη ή κωμόπολη στη χώρα μας είχε και το δικό της σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Αργότερα, για λόγους οικονομίας και για την καλύτερη εξυπηρέτηση των καταναλωτών, έγινε σύνδεση των ηλεκτρικών συστημάτων των διαφόρων σταθμών για να υπάρχει ένα μεγάλο σύστημα από κεντρικούς σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από το οποίο θα εξυπηρετείται ολόκληρη η κατανάλωση της χώρας. Ήταν προέκυψε το λεγόμενο Εθνικό Ηλεκτρικό Σύστημα. Σήμερα έχει γίνει πλέον συνείδοση ότι τα διάφορα Εθνικά Ηλεκτρικά Συστήματα θα πρέπει να συνδεθούν μεταξύ τους βασικά για αλληλεξυπηρέτηση των αναγκών των χωρών σε ηλεκτρική ενέργεια (τα εθνικά Δίκτυα Ελλάδας και Γιουγκοσλαβίας έχουν συνδεθεί).

Είναι γνωστό ότι το ηλεκτρικό φορτίο κάθε σταθμού παραγωγής (και ολόκληρου του Εθνικού δικτύου) δεν μένει σταθερό, αλλά μεταβάλλεται ανάλογα με το είδος και τον αριθμό των καταναλωτών που τροφοδοτεί αλλά και με το χρόνο. Κάθε ηλεκτρική επιχείρηση όπως η ΔΕΗ, έχει ειδική Κεντρική Υπηρεσία, το Κέντρο Κατανομής Φορτίου, που ασχολείται με την παρακολούθηση αυτών των μεταβολών του φορτίου του δύο συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας.

Το Κέντρο Κατανομής Φορτίου καθορίζει βασικά το πρόγραμμα λειτουργίας των σταθμών παραγωγής. Έτσι, τελικά, για λόγους οικονομικής λειτουργίας των σταθμών και του Εθνικού Ηλεκτρικού Συστήματος και για τη βελτίωση του βαθμού αποδόσεώς τους, παρίσταται ανάγκη να συνδέονται ή να αποσυνδέονται στο ηλεκτρικό δίκτυο οι τριφασικοί εναλλακτήρες των σταθμών παραγωγής. Η διαδικασία της συνδέσεως ενός τριφασικού εναλλακτήρα στο ηλεκτρικό δίκτυο παράλληλα με άλλον ή άλλους εναλλακτήρες, ονομάζεται **παράλληλη ζεύξη** ή παραλληλισμός. Η αποσύνδεση κάθε εναλλακτήρα από το κοινό ηλεκτρικό δίκτυο ονομάζεται **απόζευξη**.

Για να γίνει η **παράλληλη ζεύξη** ή ο παραλληλισμός ενός εναλλακτήρα σε ηλεκτρικό δίκτυο πρέπει:

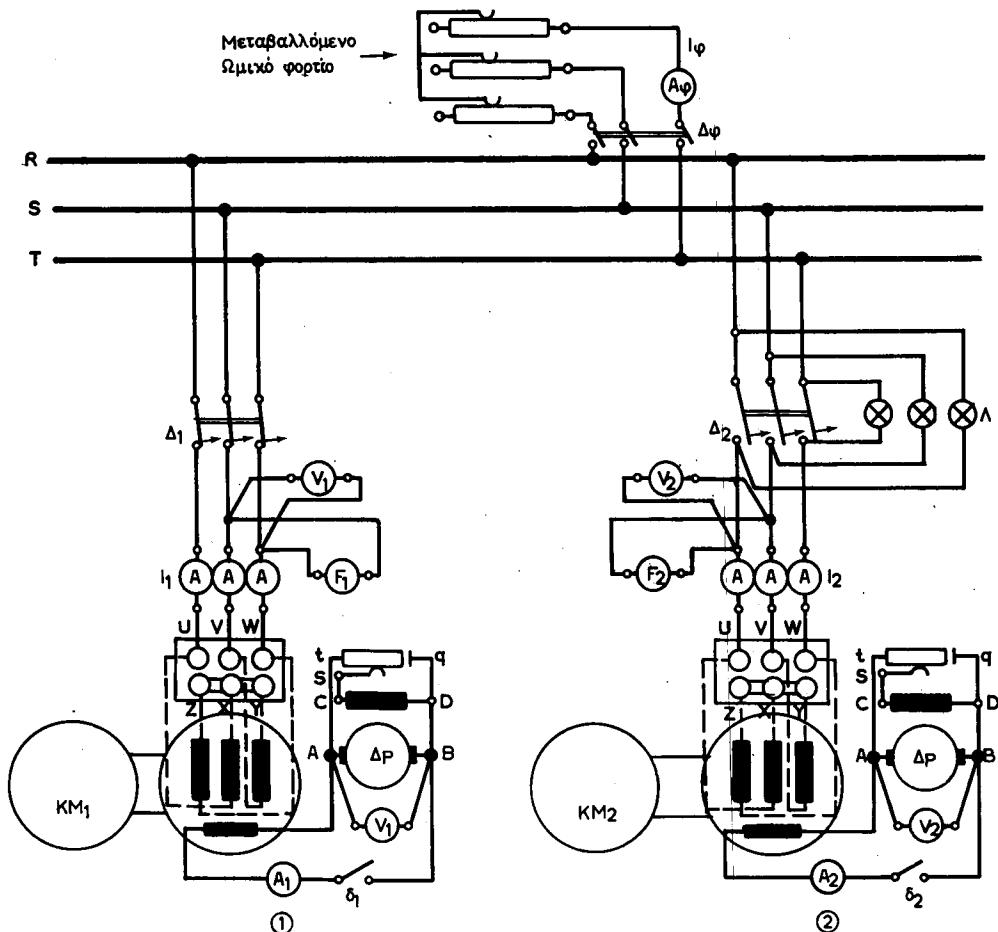
- Οι τάσεις του εναλλακτήρα και του ηλεκτρικού δίκτυου να είναι ίσες.
- Οι συχνότητες των τάσεων του εναλλακτήρα και του ηλεκτρικού δίκτυου να είναι επίσης ίσες.
- Η διαδοχή των φάσεων του εναλλακτήρα και του ηλεκτρικού δίκτυου να είναι η ίδια. Δηλαδή η πρώτη φάση του εναλλακτήρα να συνδεθεί με την πρώτη φάση του δίκτυου κ.ο.κ.
- Η διαφορά φάσεως μεταξύ των τάσεων των αντιστοίχων φάσεων του εναλλακτήρα και του δίκτυου να είναι μηδέν.

Όταν πραγματοποιηθούν οι παραπάνω συνθήκες τότε λέμε οτι, ο εναλλακτήρας έχει **συγχρονισθεί** με το δίκτυο ότι είναι δυνατή η ζεύξη του στο δίκτυο.

Στο κεφάλαιο 21 μελετήσαμε τα χαρακτηριστικά της λειτουργίας των τριφασικών εναλλακτήρων. Εκεί, βασικά, γνωρίσαμε τις ενέργειες και τους χειρισμούς, που πρέπει να κάνομε για να πραγματοποιήσουμε τις παραπάνω  $\alpha$  και  $\beta$  προϋποθέσεις του παραλληλισμού των εναλλακτήρων. Τις προϋποθέσεις του παραλληλισμού  $\gamma$  και  $\delta$  πραγματοποιούμε με τη βοήθεια του συγχρονοσκοπού.

Η απλούστερη και παλαιότερη σε χρήση συσκευή συγχρονοσκοπού είναι η συσκευή με λυχνίες ( $\Lambda$ ). Στο σχήμα 22.1 φαίνεται η συνδεσμολογία δύο τριφασικών εναλλακτήρων χαμηλής τάσεως (220 V) για παραλληλισμό. Η διαφορά της συνδεσμολογίας αυτής από μια αντίστοιχη εναλλακτήρων υψηλής τάσεως (15 kV), όπως σε ένα σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, περιορίζεται κυρίως στη σύνδεση των διαφόρων οργάνων ελέγχου στο κύκλωμα για λόγους προστασίας και ασφάλειας εκείνων που τα χειρίζονται. Δηλαδή η σύνδεση των οργάνων αυτών, αμπερόμετρων, βολτόμετρων κλπ. γίνεται με την παρεμβολή μετασχηματιστών εντάσεως ή τάσεως.

Υποθέτομε ότι ο τριφασικός εναλλακτήρας (1) τροφοδοτεί το δίκτυο (R, S, T) με ηλεκτρικό ρεύμα (Διακόπτης  $\Delta$ , κλειστός) και θέλουμε να ζεύξουμε στο δίκτυο αυτό τον εναλλακτήρα (2).



**Σχ. 22.1.**  
Παράλληλη ζεύξη τριφασικού εναλλακτήρα.

Οι λαμπτήρες ( $\Lambda$ ) αναβοσβήνουν με ταχύτητα, που οφείλεται και εξαρτάται κάθε φορά από τη διαφορά των συχνοτήτων, που δείχνουν τα συχνόμετρα ( $F_1$ ) και ( $F_2$ ). Διακόπτης  $\Delta_2$  ανοικτός. Με το δίκτυο (R, S, T) έχομε συγχρονισμό του εναλλακτήρα (2) όταν ταυτόχρονα σβήνουν οι λαμπτήρες ( $\Lambda$ ).

(Η εξήγηση του φαινομένου αυτού αναφέρεται στο βιβλίο των ηλεκτρικών μηχανών). Τη στιγμή που οι λαμπτήρες σβήνουν ταυτόχρονα ο χειριστής πρέπει να κλείσει το διακόπτη  $\Delta_2$  για να θέσει τον εναλλακτήρα (2) σε παράλληλη λειτουργία με τους άλλους εναλλακτήρες, που τροφοδοτούν ήδη το δίκτυο (R, S, T). Στην περίπτωσή μας με τον εναλλακτήρα (1).

Μετά τον παραλληλισμό πρέπει να πραγματοποιηθεί μεταφορά μέρους από το φορτίο του ηλεκτρικού δίκτυου στον εναλλακτήρα (2).

Η μεταφορά φορτίου γίνεται με μεταβολή των στροφών των εναλλακτήρων και όχι με τη μεταβολή της τιμής της τάσεως λειτουργίας όπως στις γεννήτριες Σ.Ρ. Δηλαδή αυξάνουμε τις στροφές του εναλλακτήρα που θέλουμε να φορτίσουμε και ελαττώνομε τις στροφές των εναλλακτήρων ή του εναλλακτήρα από τους οποίους θα μεταφέρουμε το φορτίο.

Πρέπει να σημειωθεί ότι στις σύγχρονες εγκαταστάσεις σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για την ένδειξη των συνθηκών (προϋποθέσεων) συγχρονισμού χρησιμοποιούνται στρεφόμενα **συγχρονοσκόπα**. Ακόμη, το κλείσιμο του διακόπτη  $\Delta_2$ , τη στιγμή του συγχρονισμού, πραγματοποιείται **αυτόματα** με «εντολή» ειδικού οργάνου που λέγεται **αυτόματος συγχρονιστής**.

Πρέπει ακόμη να έχομε υπόψη ότι στην πράξη δεν μπορούμε να εξασφαλίσουμε απόλυτα τις προϋποθέσεις παραλληλισμού. Για το λόγο αυτό κλείνουμε το διακόπτη  $\Delta_2$  όταν η διαφορά συχνοτήτων ( $f_1 - f_2$ ) είναι πολύ μικρή (αναβοσβήσιμο λαμπτήρων περιοδικά ανά δύο δευτερόλεπτα) και οι τάσεις  $V_1$  και  $V_2$  είναι ίσες.

## 22.2 Ασκήσεις.

- α) Συνδεσμολογήστε δύο εναλλακτήρες του εργαστηρίου και τα όργανα, που θα σας δοθούν ή υπάρχουν στους πίνακες (που συνοδεύουν τους εναλλακτήρες), όπως το σχήμα 22.1α. Διαπιστώστε ότι τα τυλίγματα και των δύο είναι συνδεμένα κατ' αστέρα.  
β) Θέστε τον εναλλακτήρα (1) σε λειτουργία, όπως κάνατε στην άσκηση του κεφαλαίου 21 και φορτίστε τον (με ωμικό φορτίο) μέχρι το κανονικό ηλεκτρικό ρεύμα φορτίσεως  $I_\phi$  (ένδειξη αμπερόμετρου  $A_\phi$ ) κλείνοντας το διακόπτη ( $\Delta_1$ ) και ( $\Delta_\phi$ ) διαδοχικά.  
γ) Θέστε τον εναλλακτήρα (2) σε λειτουργία (Διακόπτης  $\Delta_2$  ανοικτός), ρυθμίστε τις στροφές του ώστε το συχνόμετρο ( $F_2$ ) να δείχνει την ίδια συχνότητα με το ( $F_1$ ). Κατόπιν ρυθμίστε τη διέγερση του εναλλακτήρα (2) μέχρις ότου το βολτόμετρο ( $V_2$ ) δείξει την ίδια τάση με το ( $V_1$ ).  
δ) Στη συνέχεια, με τους λαμπτήρες συγχρονισμού ( $\Lambda$ ) που θα σας δώσουν, ελέγχετε τη διαδοχή των φάσεων του εναλλακτήρα (2) με το δίκτυο (R, S, T) (σχ. 22.1α).

Αν στην περίπτωση αυτή παρατηρήσετε ότι οι λαμπτήρες ( $\Lambda$ ) δεν αναβοσβήνουν ταυτόχρονα, θα πρέπει να σταματήσετε τη λειτουργία του εναλλακτήρα (2) και να αντιστρέψετε τη σύνδεση δύο αγωγών των φάσεων του εναλλακτήρα με τους ζυγούς R, S, T του δίκτυου.

ε) Εφ' όσον χρειάσθηκε να σταματήσετε τον εναλλακτήρα (2) για την τακτοποίηση της διαδοχής των φάσεων, θέστε τον πάλι σε λειτουργία πραγματοποιώντας τους χειρισμούς του (γ) και προσπαθήστε στη συνέχεια να τον **συγχρονίσετε** με το δίκτυο R, S, T, δηλαδή με τον εναλλακτήρα (1). Για να πετύχετε το συγχρονισμό κάνετε μικρές ρυθμίσεις στις στροφές του εναλλακτήρα (2).

στ) Μόλις διαπιστώσετε ότι οι λαμπτήρες ( $\Lambda$ ) αναβοσβήνουν ταυτόχρονα, ετοιμασθήτε και κλείστε το διακόπτη ( $\Delta_2$ ) τη στιγμή που οι λαμπτήρες σβήνουν. Ο εναλλακτήρας (2) έχει παραλληλισθεί με τον εναλλακτήρα (1) χωρίς όμως

να φορτισθεί.

ζ) Διακόψτε πρώτα τη λειτουργία του εναλλακτήρα (2) και μετά τον εναλλακτήρα (1), πραγματοποιώντας για κάθε έναν τους χειρισμούς της ασκήσεως του κεφαλαίου 21.

η) Περιγράψτε συνοπτικά στο τετράδιό σας τις ενέργειες και τους χειρισμούς, που πραγματοποιήσατε στην άσκηση και διατυπώστε τις παρατηρήσεις και τα συμπεράσματά σας.

**2. α)** Πραγματοποιήστε όλες τις ενέργειες και τους χειρισμούς της ασκήσεως 1 για να παραλληλίσετε δυο τριφασικούς εναλλακτήρες του εργαστηρίου.

β) Στη συνέχεια φορτίστε τον εναλλακτήρα (2) με το μισό από το συνολικό φορτίο (σχ. 22.1 ) πραγματοποιώντας τους χειρισμούς, που αναφέραμε στην παράγραφο 22.1.

γ) Μετά τη φόρτιση του εναλλακτήρα (2) σημειώστε τις ενδείξεις των αμπερόμέτρων (Α), των δύο εναλλακτήρων και του φορτίου ( $A_\Phi$ ). Από τις ενδείξεις αυτές διαπιστώστε αν οι δύο εναλλακτήρες λειτουργούν με τον ίδιο συντελεστή ισχύος (συνφ) (πρέπει  $I_1 + I_2 = I_\Phi$  για να έχουν το ίδιο συνφ). Αν παρατηρήσετε  $I_1 + I_2 \neq I_\Phi$ , οι δύο εναλλακτήρες λειτουργούν με διαφορετικό συνφ.

δ) Μεταφέρετε όλο το φορτίο στον εναλλακτήρα (2) μέχρις ότου τα αμπερόμετρα (Α) του εναλλακτήρα (1) δείξουν μηδέν (0) και τα αντίστοιχα του εναλλακτήρα (2) την ίδια ένδειξη με το ( $A_\Phi$ ).

ε) Μετά την εκφόρτωση του εναλλακτήρα (1) πραγματοποιήστε τη διακοπή του ακολουθώντας τη διαδικασία όπως στις ασκήσεις του προηγούμενου κεφαλαίου.

στ) Ενεργήστε όμοια για τη διακοπή της λειτουργίας του εναλλακτήρα (2) αφού προηγουμένως τον εκφορτώσετε, ελαττώνοντας το φορτίο και ανοίγοντας το διακόπτη  $\Delta_\Phi$ .

ζ) Σημειώστε στο τετράδιό σας τα στοιχεία των οργάνων και συσκευών που χρησιμοποιήσατε στην άσκηση. Διατυπώστε τις παρατηρήσεις και τα συμπεράσματά σας για την άσκηση.

**3. α)** Πραγματοποιήστε όλες τις ενέργειες και τους χειρισμούς της ασκήσεως 2 προκειμένου να παραλληλίσετε και να φορτίσετε εξ ίσου (με  $1/2$  φορτίο) δύο εναλλακτήρες του εργαστηρίου.

β) Διατηρήστε σταθερό το φορτίο κάθε εναλλακτήρα. Τη σταθερότητα του φορτίου μπορείτε να την παρακουλουθήσετε με ένα βαττόμετρο, το οποίο θα το συνδέσετε στο κύκλωμα του σχήματος 22.1 όπως μάθαμε στο κεφάλαιο 21. Μεταβάλλετε το ηλεκτρικό ρεύμα διεγέρσεως στον ένα ή και στους δύο εναλλακτήρες σε διαφορετικές τιμές από εκείνες, που είχατε στην άσκηση 2. Παρατηρήστε ότι η μεταβολή του ηλεκτρικού ρεύματος διεγέρσεως μεταβάλλει τις ενδείξεις των αμπερομέτρων (Α) των εναλλακτήρων, χωρίς το φορτίο να μεταβάλλεται. Δηλαδή μεταβολή των εναλλακτήρων ή του εναλλακτήρα έχουμε μόνο στην άεργη ισχύ.

γ) Πραγματοποιήστε τη διακοπή της λειτουργίας των εναλλακτήρων (1) και (2) σύμφωνα με όσα έγιναν στην άσκηση 2.

δ) Περιγράψτε συνοπτικά στο τετράδιό σας τους χειρισμούς που πραγματοποιήσατε για τη μεταβολή της άεργης ισχύος των εναλλακτήρων.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ ΤΡΙΤΟ

### ΣΥΓΧΡΟΝΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ (ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΙ)

#### 23.1 Γενικά.

Η λειτουργία ενός σύγχρονου εναλλακτήρα μπορεί να αντιστραφεί σε σύγχρονο κινητήρα (βλέπε και ανάλογη περίπτωση αντιστροφής γεννήτριας Σ.Ρ. κεφάλαιο 5) όταν τροφοδοτηθεί κατάλληλα με ήλεκτρικό ρεύμα.

**Σύγχρονοι κινητήρες** χαρακτηρίζονται εκείνοι που ο δρομέας τους περιστρέφεται με σταθερή και ορισμένη ταχύτητα, τη **σύγχρονη ταχύτητα**, που είναι:

$$n = \frac{60f}{p}$$

όπου:  $f$  η συχνότητα του ηλεκτρικού ρεύματος τροφοδοτήσεως σε (Hz).

$p$  τα ζεύγη των μαγνητικών πόλων του κινητήρα και

$n$  ή σύγχρονη ταχύτητα σε (στρ/мин).

Οι σύγχρονοι κινητήρες μοιάζουν στην κατασκευή τους με τους σύγχρονους εναλλακτήρες. Η διαφορά τους είναι, ότι στα πέδιλα των πόλων τους πολλές φορές οι σύγχρονοι κινητήρες φέρουν κλειστό βιοθητικό τύλιγμα κλωβού ασύγχρονου κινητήρα, που χρησιμοποιείται για την εκκίνησή τους.

Μια από τις απαραίτητες προϋποθέσεις για να λειτουργήσει ένας σύγχρονος κινητήρας είναι να δημιουργηθεί γύρω από το δρομέα του στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο με τη **σύγχρονη ταχύτητα**. Αυτό το πραγματοποιείται όταν το τριφασικό τύλιγμα του τροφοδοτηθεί με σύστημα τριφασικών ηλεκτρικών ρευμάτων που έχουν διαφορά φάσεως 120°.

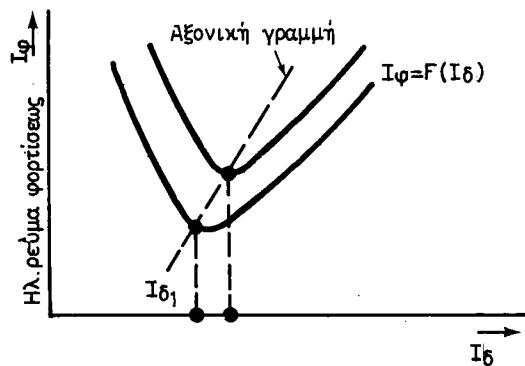
Η φορά περιστροφής του κινητήρα εξαρτάται από τη φορά περιστροφής του μαγνητικού πεδίου. Για να αντιστρέψουμε τη φορά του μαγνητικού πεδίου πρέπει να αντιμεταθέσουμε τις θέσεις των δύο από τους αγωγούς (φάσεις) τροφοδοτήσεως.

Μια άλλη, επίσης απαραίτητη, προϋπόθεση για τη λειτουργία του σύγχρονου κινητήρα είναι η ύπαρξη κάποιου συστήματος εκκινήσεώς του, μέχρι αυτός να φθάσει τη σύγχρονη ταχύτητα περιστροφής.

Ο συγχρονισμός του κινητήρα επιτυγχάνεται και όταν η ταχύτητα του δρομέα του είναι μικρότερη κατά 2-5% από τη σύγχρονη ταχύτητά του.

Οι σύγχρονοι κινητήρες, εκτός από το χαρακτηριστικό γνώρισμα της σταθερής ταχύτητας κατά τη λειτουργία τους, παρουσιάζουν και ιδιόρρυθμη θα μπορούσαμε να πούμε συμπεριφορά στις μεταβολές του ηλεκτρικού ρεύματος φορτίσεως τους, σε συνάρτηση με τη μεταβολή της διεγέρσεως τους (σχ. 23.1).

Από τις χαρακτηριστικές καμπύλες  $I_\phi = F(I_\delta)$  ενός σύγχρονου κινητήρα φαίνεται ότι για ένα ορισμένο ηλεκτρικό ρεύμα διεγέρσεως  $I_\delta$  επιτυγχάνεται η ελάχιστη τιμή του ηλεκτρικού ρεύματος φορτίσεως  $I_\phi$ . Η τιμή αυτή του ηλεκτρικού ρεύματος διεγέρσεως δίνει την **κανονική διέγερση** του κινητήρα και το φορτίο του παρουσιάζει στο ηλεκτρικό δίκτυο τροφοδοτήσεως **ωμική συμπεριφορά** (συνφ = 1). Για ηλεκτρικό ρεύμα διεγέρσεως μικρότερο από το ρεύμα της κανονικής διεγέρσεως έχουμε **υποδιέγερση** του κινητήρα. Το φορτίο του δε παρουσιάζει **επαγγελματική συμπεριφορά** (συνφ < 1). Τέλος, όταν το ηλεκτρικό ρεύμα διεγέρσεως είναι μεγαλύτερο από το ρεύμα της κανονικής διεγέρ-



**Σχ. 23.1.**  
Ρεύμα διεγέρσεως  $I_\delta$ .

σεως, τότε έχουμε την **υπερδιέγερση** του κινητήρα, και το φορτίο του κινητήρα παρουσιάζει **χωρητική συμπεριφορά** (συν<1).

'Οσο η τιμή του ηλεκτρικού ρεύματος διεγέρσεως απομακρύνεται από την τιμή του ηλεκτρικού ρεύματος που αντιστοιχεί στην κανονική διέγερση, προς μεγαλύτερες τιμές ή προς μικρότερες, τόσο περισσότερο μικραίνει ο συντελεστής ισχύος (συνφ) του κινητήρα.

Από τα παραπάνω χαρακτηριστικά γνωρίσματα των συγχρόνων κινητήρων κατά τη λειτουργία τους καθορίζεται και η χρήση τους. Έτσι οι σύγχρονοι κινητήρες χρησιμοποιούνται εκεί που θέλουμε απόλυτα σταθερές στροφές: όπως για την κίνηση ελάστρων, εναλλακτήρων, για παραγωγή ρεύματος με σταθερή συχνότητα κλπ. Επίσης χρησιμοποιούνται για τη βελτίωση των συνφ των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων με παράλληλη παροχή μηχανικού έργου απ' αυτόν.

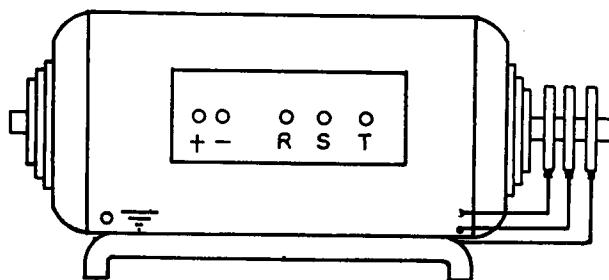
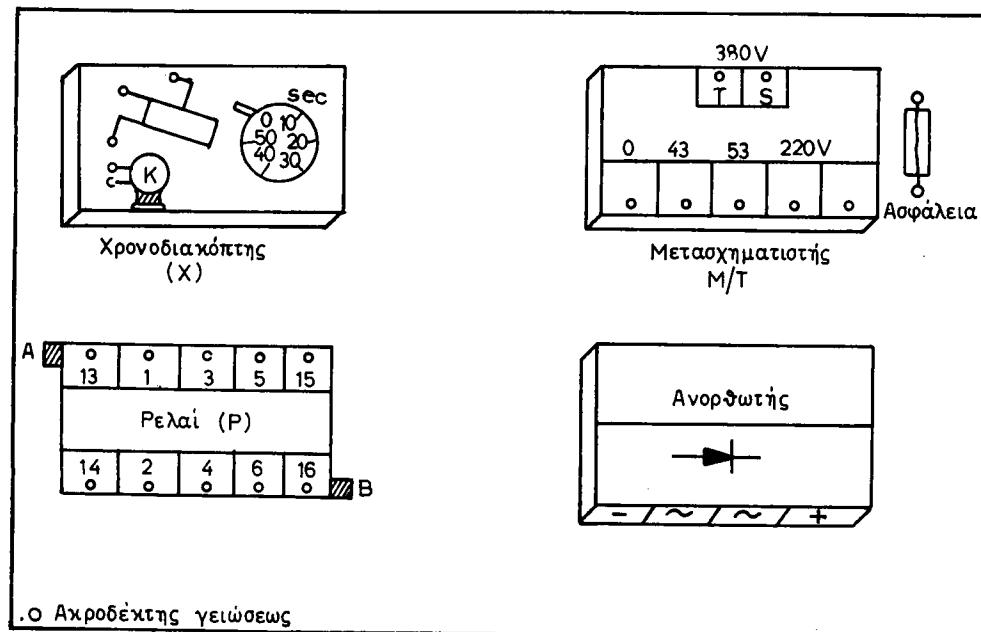
## 23.2 Ασκήσεις.

- Αναγνωρίστε τα διάφορα μέρη του σύγχρονου κινητήρα, που θα σας δοθεί στο εργαστήριο και τις βοηθητικές συσκευές και διατάξεις που τον συνοδεύουν (σχ. 23.2α) και σημειώστε στο τετράδιό σας τα χαρακτηριστικά στοιχεία που δίνει ο κατασκευαστής τους.
- Πραγματοποιήστε τη συνδεσμολογία του κινητήρα και των βοηθητικών συσκευών και διατάξεών του, όπως στο σχήμα 23.2β.
- Θέστε σε λειτουργία τον κινητήρα κλείνοντας το διακόπτη  $\Delta_1$ . Μετρήστε τη σύγχρονη ταχύτητά του ( $n$ ) με ένα στροφόμετρο και τη συχνότητα ( $f$ ) του ηλεκτρικού ρεύματος που τον τροφοδοτεί, με ένα συχνόμετρο. Επαληθεύστε τη σχέση:

$$n = \frac{60f}{p}$$

όπου  $p$  ο αριθμός των ζευγών των πόλων του κινητήρα.

- Σταματήστε τη λειτουργία του κινητήρα και σημειώστε στο τετράδιό σας τις παρατηρήσεις και τα συμπεράσματά σας από την άσκηση.
- Πραγματοποιήστε τη συνδεσμολογία του σύγχρονου κινητήρα, που θα σας δοθεί, όπως στο σχήμα 23.2γ. Συνδέστε σε σειρά στο κύκλωμα της διεγέρσεως του κινητήρα την κατάλληλη για τη ρύθμιση της αντίσταση  $R_m$  και δύο



Σχ. 23.2a.

Σύγχρονος κινητήρας και πίνακας βοηθητικών συσκευών και διατάξεων.

αμπερόμετρα ( $A_\phi$ ) και ( $A_\delta$ ) (σχ. 23.2γ).

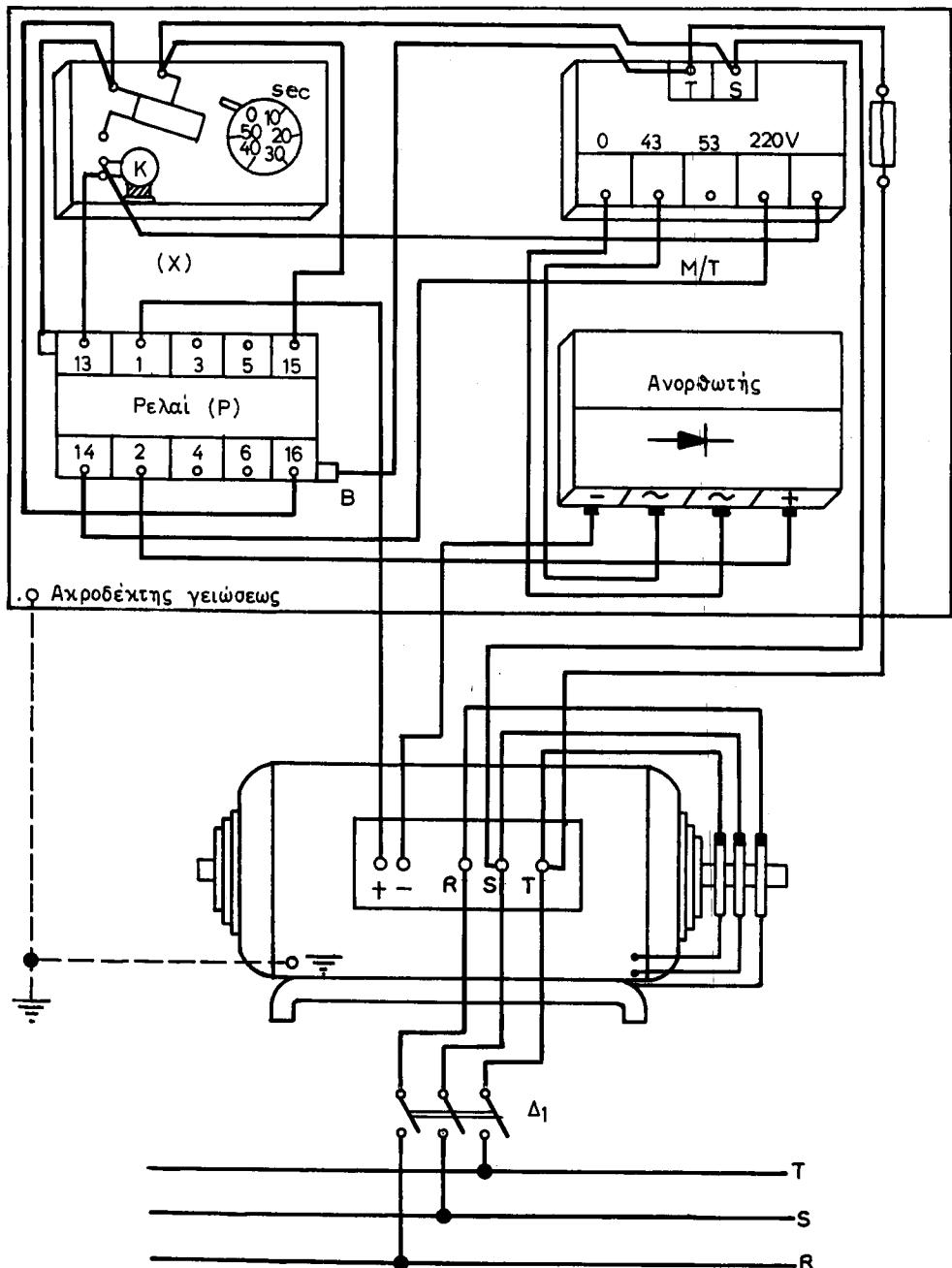
β) Ελέγχετε τη ρυθμιστική αντίσταση  $R_m$  ώστε κατά τη εκκίνηση να είναι εκτός κυκλώματος. Ξεκινήστε τον κινητήρα, όπως και στην άσκηση 1 χωρίς φορτίο.

γ) Αυξομειώστε την αντίσταση  $R_m$  σταδιακά και σημειώστε τις ενδείξεις των αμπερομέτρων  $A_\delta$  και  $A_\phi$  στον πίνακα αποτελεσμάτων 23.2.1.

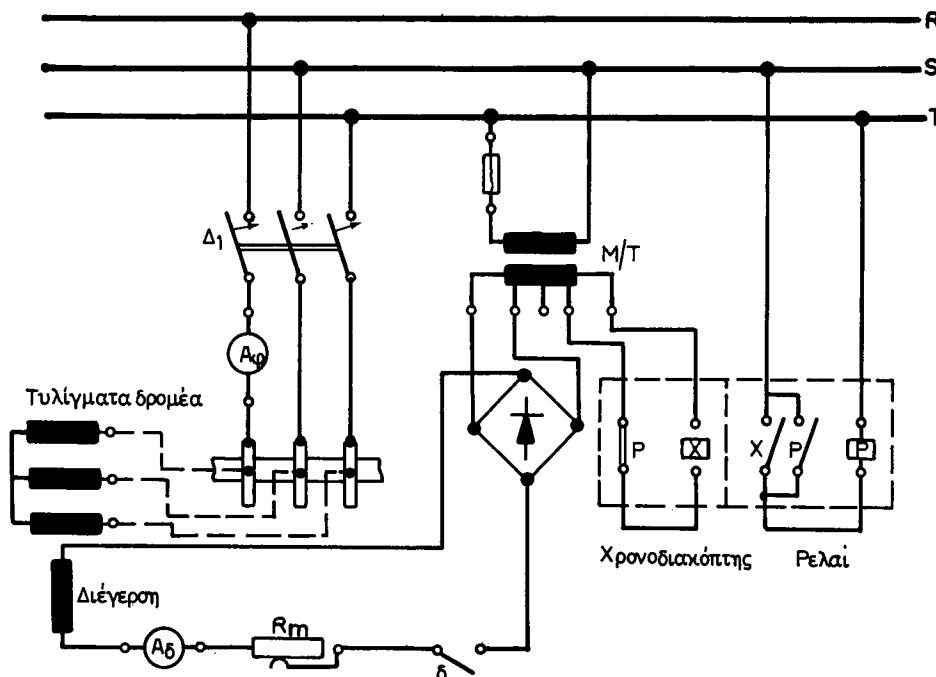
δ) Σταματήστε τον κινητήρα και χαράξτε, με τις τιμές του πίνακα αποτελεσμάτων 23.2.1 την καμπύλη  $I_\delta = F(I_\delta)$  χωρίς φορτίο.

ε) Περιγράψτε συνοπτικά την πορεία όλης της ασκήσεως στο τετράδιό σας και διατυπώστε τις παρατηρήσεις σας.

3. a) Επαναλάβετε όλες τις διαδικασίες της ασκήσεως 2. Πρέπει όμως ο κινητήρας να λειτουργεί με σταθερό φορτίο (π.χ. μια γεννήτρια Σ.Ρ.). Τις ενδείξεις των αμπερομέτρων  $A_\phi$  και  $A_\delta$  σημειώστε τις στον πίνακα αποτελεσμάτων 23.2.2. Χαράξτε με τις παραπάνω ενδείξεις την καμπύλη  $I_\phi = F(I_\phi)$ .



**Σχ. 23.28.**  
Συνδεσμολογία σύγχρονου κινητήρα σε ηλεκτρικό δίκτυο R, S, T.



Σχ. 23.2γ.

Σχηματική παράσταση συνδεσμολογίας τυλιγμάτων δρομέα και δεγέρσεως σύγχρονου κινητήρα.

β) Στο ίδιο σύστημα αξόνων που χαράξατε την  $I_\phi = F(I_\delta)$  με φορτίο, σχεδιάστε και την αντίστοιχη καμπύλη της ασκήσεως 2. Συγκρίνετε τις δύο καμπύλες και διατυπώστε τις παρατηρήσεις και τα συμπεράσματά σας στο τετράδιο.

4. Πραγματοποιήστε τις διαδικασίες της ασκήσεως 2. Πρέπει να μεταβάλλετε σταδιακά τη φόρτιση του κινητήρα (π.χ. με μια γεννήτρια Σ.Ρ. ή δυναμοπέδη) μέχρις ότου υπερφορτισθεί και σταματήσει απότομα.

β) Αφού σημειώσετε τις ενδείξεις των οργάνων ελέγχου του κινητήρα διακόψτε την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος από το διακόπτη  $\Delta_1$ .

#### ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ 23.2.1

$f = \dots$ σταθερή χωρίς φορτίο ο κινητήρας	
$I_\delta(A)$	$I_\phi(A)$
.....	.....
.....	.....
.....	.....
.....	.....

**ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ 23.2.2**

$f = \dots$ σταθερή με φορτίο ο κινητήρας	
$I_\delta(A)$	$I_\phi(A)$
.....	.....
.....	.....
.....	.....
.....	.....

---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

### ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΙ ΕΠΑΓΩΓΙΚΟΙ ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΜΕ ΒΡΑΧΥΚΥΚΛΩΜΕΝΟ ΔΡΟΜΕΑ

#### 24.1 Γενικά.

Από την κατασκευή τους διακρίνομε τους ασύγχρονους επαγωγικούς κινητήρες σε δύο είδη:

- Στους τριφασικούς κινητήρες με βραχυκυκλωμένο δρομέα και
- Στους τριφασικούς κινητήρες με δακτυλίους.

Ονομάζομε τους κινητήρες αυτούς **ασύγχρονους**, γιατί η ταχύτητα περιστροφής του δρομέα τους είναι μικρότερη από τη σύγχρονη ταχύτητα του στρεφόμενου μαγνητικού πεδίου. Τους ονομάζομε και **επαγωγικούς**, γιατί η αρχή λειτουργίας τους στηρίζεται στο φαινόμενο της επαγωγής. Δηλαδή στη δημιουργία στρεφόμενου μαγνητικού πεδίου που «κεπάγει» τάση στους αγωγούς του τυλίγματος του τυμπάνου. Στη συνέχεια αναπτύσσονται περιφερειακές δυνάμεις, οι ροπές των οποίων προκαλούν την περιστροφή του δρομέα τους.

#### 24.2 Χαρακτηριστικά γνωρίσματα της λειτουργίας των επαγωγικών τριφασικών κινητήρων.

##### 24.2.1 Η διολίσθηση ή ολίσθηση (S).

$$\text{Είναι: } S = \frac{n_s - n}{n_s} \quad \text{ή} \quad S\% = \frac{n_s - n}{n_s} \cdot 100\%$$

όπου:  $n_s = \frac{60 f}{P}$  (στρ/min) είναι η σύγχρονη ταχύτητα του στρεφόμενου μαγνητικού πεδίου και

η οι στροφές του δρομέα ανά λεπτό.

Η διολίσθηση χωρίς φορτίο είναι της τάξεως του 0,5%. Η διολίσθηση με φορτίο, ανάλογα και με την ισχύ του κινητήρα, είναι σε κινητήρες ισχύος μέχρι 10 PS (ίπποι) 4-5%, από 15 και μέχρι 50 PS 3% και πάνω από 50PS 1,5-2,5%.

##### 24.2.2 Ροπή στρέψεως (T).

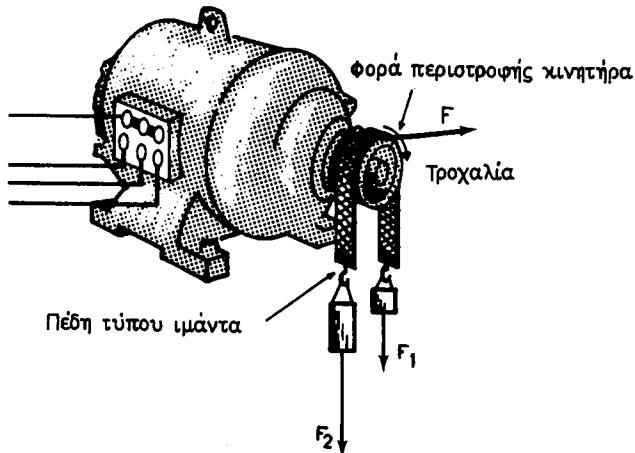
Είναι:  $T = F \cdot r$  σε νιούτον x μέτρα (Nm)

Όπως είναι γνωστό, το 1 N = 0,102 kp και το 1 kp (κιλοπόντ) = 9,81 N.

Όπου: F η περιφερειακή δύναμη, στην πέδη τύπου ιμάντα και  
r η ακτίνα της τροχαλίας της πέδης (σχ. 24.2).

Η δύναμη F μεταβιβάζεται με την τριβή στον ιμάντα. Όταν ο κινητήρας ισορροπεί με δύο διαφορετικά βάρη  $F_1$  και  $F_2$  θα είναι:

$$F = F_2 - F_1$$



**Σχ. 24.2.**  
Μέτρηση ροπής κινητήρα.

#### 24.2.3 Μηχανική ισχύς (N).

Η μηχανική ισχύς που αποδίδεται στον άξονα του κινητήρα, όταν αυτός περιστρέφεται με η στροφές/μίν είναι:

$$N = \frac{2\pi}{60} \cdot n \cdot T \quad \text{σε W (όταν T σε Nm)}$$

Η πραγματική ισχύς που απορροφά ο κινητήρας από το ηλεκτρικό δίκτυο, όταν λειτουργεί, είναι  $N_1 = 1,73 \cdot U \cdot I \cdot \text{συνφ}$ . Με μεγάλη προσέγγιση (αν αμελήσουμε τις μηχανικές απώλειες και του σιδήρου) οι ηλεκτρικές απώλειες στο τύλιγμα του δρομέα είναι:

$$N_{\alpha\delta} = N_1 \cdot S.$$

Από αυτή τη σχέση μπορούμε να πουμε ότι οι ηλεκτρικές απώλειες στο τύλιγμα του δρομέα είναι ανάλογες με τη διολίσθηση S και με την πραγματική ισχύ  $N_1$  που απορραφά αυτός από το δίκτυο.

#### 24.2.4 Βαθμός αποδόσεως (n).

$$\text{Είναι: } n = \frac{N}{N_1} \quad \text{ή} \quad n\% = \frac{N}{N_1} \cdot 100\% \text{ με ορισμένες παροδοχές.}$$

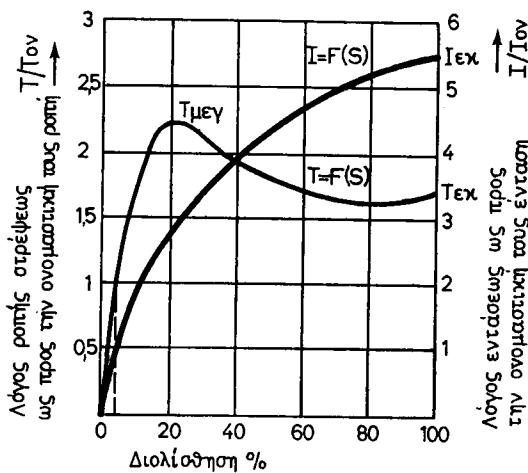
(Βλέπε το αντίστοιχο κεφάλαιο από τις ηλεκτρικές μηχανές). Ο βαθμός αποδόσεως είναι:

$$n = 1 - S \quad \text{ή} \quad n\% = (1 - S) \cdot 100\%$$

Από τη σχέση αυτή συμπεραίνεται ότι ο βαθμός αποδόσεως είναι καλύτερος όσο μικρότερη είναι η διολίσθηση. Επομένως στους κινητήρες αυτούς, όταν λειτουργούν με σταθερό φορτίο, η τυχαία ρύθμιση των στροφών τους θα επιφέρει και αντίστοιχη μεταβολή του βαθμού αποδόσεως.

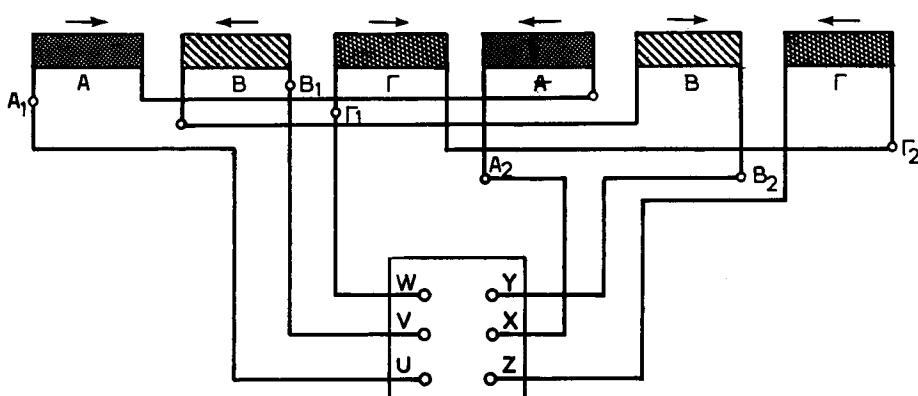
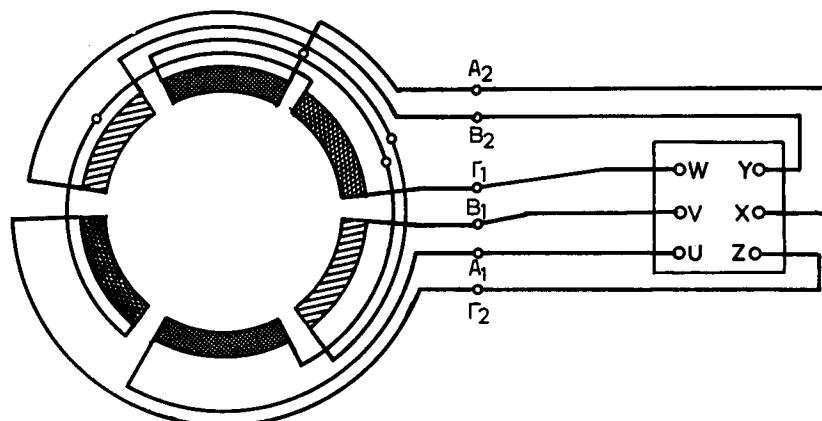
#### 24.3 Τριφασικοί κινητήρες με βραχυκυκλωμένο δρομέα.

Την κατασκευή των κινητήρων βραχυκυκλωμένου δρομέα γνωρίζουμε από το αντίστοιχο κεφάλαιο των πλεκτρικών μηχανών.



Σχ. 24.3α.

Μεταβολή της εντάσεως και της ροπής κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα.



Σχ. 24.3β.

Σύνδεση τυλιγμάτων κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα στο κιβώτιο ακροδεκτων.

Οι κινητήρες αυτοί χρησιμοποιούνται περισσότερο από τα άλλα είδος κινητήρων, γιατί είναι απλοί στην κατασκευή τους, εύκολοι στη συντήρησή τους και δεν παρουσιάζουν συχνά βλάβες κατά τη λειτουργία τους, ενώ παράλληλα έχουν καλό βαθμό αποδόσεως.

Η ροπή στρέψεως  $T$  των κινητήρων αυτών και το ηλεκτρικό ρεύμα που απορροφούν από το ηλεκτρικό δίκτυο τροφοδοτήσεώς τους εξαρτώνται από τη μεταβολή των στροφών τους, δηλαδή από τη διολίσθηση. Στα διαγράμματα του σχήματος 24.3α φαίνεται πώς μεταβάλλονται τα μεγέθη αυτά στους κινητήρες βραχυκυκλωμένου δρομέα.

Από τη χαρακτηριστική  $I = F(S)$  φαίνεται ότι τη στιγμή της εκκινήσεως του κινητήρα, που η διολίσθηση  $S = 100\%$ , η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος εκκινήσεως είναι 5 ή 6 φορές μεγαλύτερη από την ονομαστική ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος. Το ισχυρό ηλεκτρικό ρεύμα εκκινήσεως προκαλεί σοβαρές ανωμαλίες από τη βάθιση της τάσεως στις υπόλοιπες καταναλώσεις, που είναι συνδεμένες στο ίδιο ηλεκτρικό δίκτυο με τον κινητήρα.

Στο τύμπανο του δρομέα υπάρχει το τύλιγμα του κλωβού το οποίο δεν συνδέεται ηλεκτρικά με κανένα είδος ηλεκτρικής πηγής. Το γεγονός αυτό απλουστεύει την κατασκευή των κινητήρων και περιορίζει στο ελάχιστο τη συντήρησή τους. Ο στάτης φέρει τριφασικό τύλιγμα, όπως οι εναλλακτήρες και οι σύγχρονοι κινητήρες με στρεφόμενους πόλους. Τα άκρα των τυλιγμάτων των τριών φάσεων καταλήγουν στο κιβώτιο ακροδεκτών με τη σειρά όπως, φαίνεται στο σχήμα 24.3β.

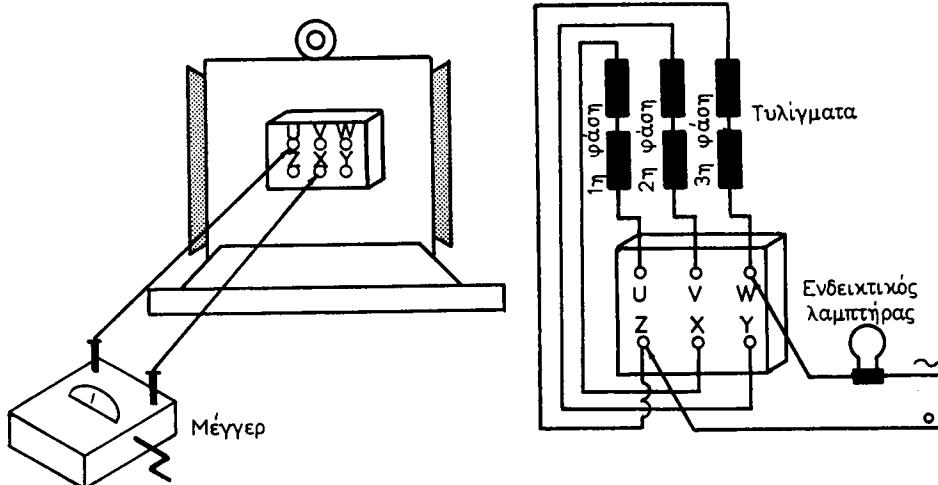
Για τον περιορισμό της εντάσεως του ηλεκτρικού ρεύματος εκκινήσεως σε κινητήρες ισχύος πάνω από 1,1 kW, χρησιμοποιούνται οι παρακάτω μέθοδοι εκκινήσεως:

- Εκκίνηση με διακόπτη αστέρα-τρίγωνο (χειροκίνητος ή αυτόματος).
- Εκκίνηση με αντιστάσεις (χειροκίνητο σύστημα ή αυτόματο).
- Εκκίνηση με αυτομετασχηματιστές.

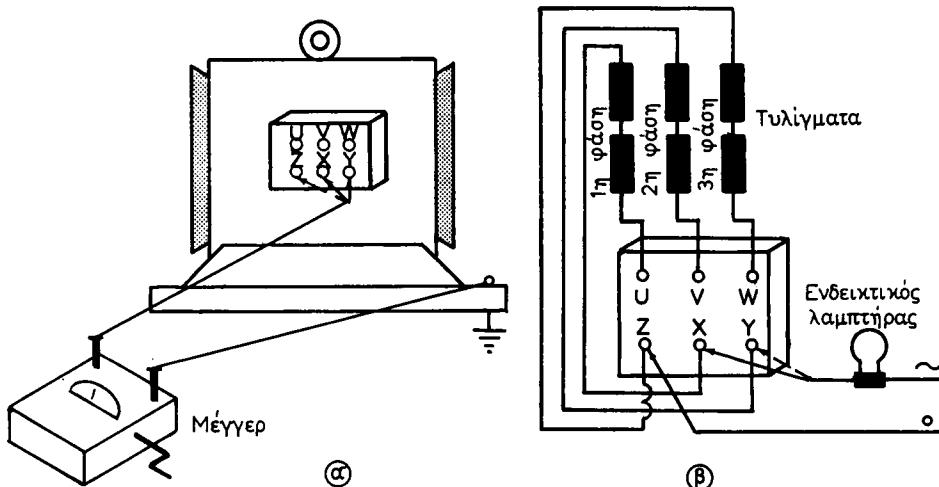
Από τη χαρακτηριστική  $T = F(S)$  (σχ. 24.3α) παρατηρείται ότι όταν η διολίσθηση είναι 20% περίπου, έχουμε ανάπτυξη τής μεγαλύτερης ροπής στρέψεως ( $T_{μεγ}$ ) στον κινητήρα. Όταν το φορτίο αυξηθεί πέρα από την  $T_{μεγ}$  τότε ο κινητήρας σταματά απότομα. Γ' αυτά η  $T_{μεγ}$  ονομάζεται και **ροπή ανατροπής**. Στο τμήμα της χαρακτηριστικής  $T = F(S)$  από το σημείο της  $T_{μεγ}$  και προς τα αριστερά, η λειτουργία του κινητήρα χαρακτηρίζεται ως **ευσταθής**. Δηλαδή σε οποιαδήποτε μεταβολή του φορτίου στην περιοχή αυτή, προκαλείται αυτόματα μεταβολή των στροφών για να έχουμε ταυτόχρονη προσαρμογή του παρεχόμενου κινητήριου έργου από τον κινητήρα προς τις απαιτήσεις του φορτίου.

## 24.4 Ασκήσεις.

1. a) Από τους τριφασικούς κινητήρες βραχυκυκλωμένου δρομέα που θα σας δοθούν στο εργαστήριο και από τα στοιχεία των πινακίδων τους, αναγνωρίστε εκείνο που είναι κατάλληλο (σε ισχύ και τάση λειτουργίας) για να συνδεθεί απ' ευθείας στο ηλεκτρικό δίκτυο της ΔΕΗ (380V) χωρίς κανένα βόηθητικό μέσο εκκινήσεως.  
β) Σημειώστε τα στοιχεία του στο τετράδιό σας και εξηγήστε τους λόγους που σας οδήγησαν στην εκλογή που κάνατε.  
γ) Αποσυναρμολογήστε τον κινητήρα και με τη βοήθεια ενός αμόμετρου (Μέγγερ) ή ενδεικτικού λαμπτήρα ελέγχετε τη συνέχεια των τυλιγμάτων των τριών φάσεων του κινητήρα όπως στο σχήμα 24.4a.  
Με τον έλεγχο αυτό διαπιστώνομε ότι τα άκρα της 1ης φάσεως έχουν συνδεθεί στις θέσεις U-X, της 2ης φάσεως στη θέση V-Y και της 3ης φάσεως στις θέσεις W-Z.  
δ) Στη συνέχεια ελέγχετε τη μόνωση μεταξύ των τυλιγμάτων των φάσεων και των τυλιγμάτων των φάσεων με το «σώμα» του κινητήρα (γείωση) όπως στο σχήμα 24.4β.  
ε) Περιγράψτε συνοπτικά στο τετράδιό σας τις ενέργειες και τους χειρισμούς, που πραγματοποιήσατε στην άσκηση και διατυπώστε τις παρατηρήσεις και τα συμπεράσματά σας.

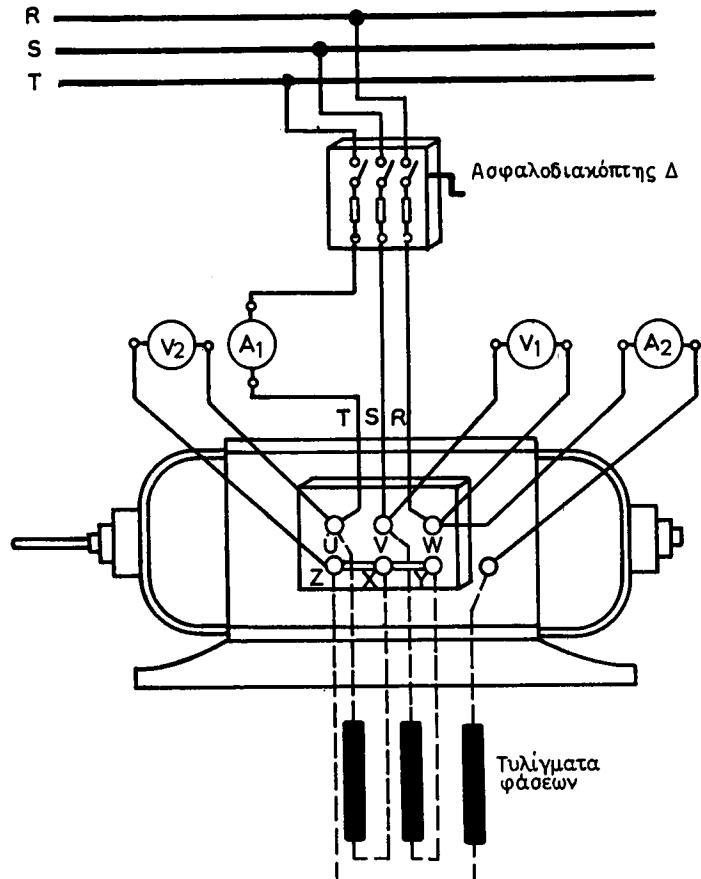


**Σχ. 24.4α.**  
Έλεγχος της συνέχειας των τυλιγμάτων.



**Σχ. 24.4β.**  
α) Έλεγχος γειώσεως τυλιγμάτων. β) Έλεγχος μονώσεως μεταξύ των τυλιγμάτων.

- 2. α)** Αναγνωρίστε τα τυλίγματα των τριών φάσεων του κινητήρα (ισχύος μικρότερης από 2PS), που θα σας δοθεί στο εργαστήριο. Συνδέστε τα τυλίγματα σε αστέρα και πραγματοποιήστε τη συνδεσμολογία των οργάνων ελέγχου του όπως στο σχήμα 24.4γ. Η σύνδεση του κινητήρα γίνεται απ' ευθείας στο ηλεκτρικό δίκτυο λόγω της μικρής ισχύος του.  
**β)** Τροφοδοτήστε τον κινητήρα με ηλεκτρικό ρεύμα κλείνοντας το διακόπτη Δ.

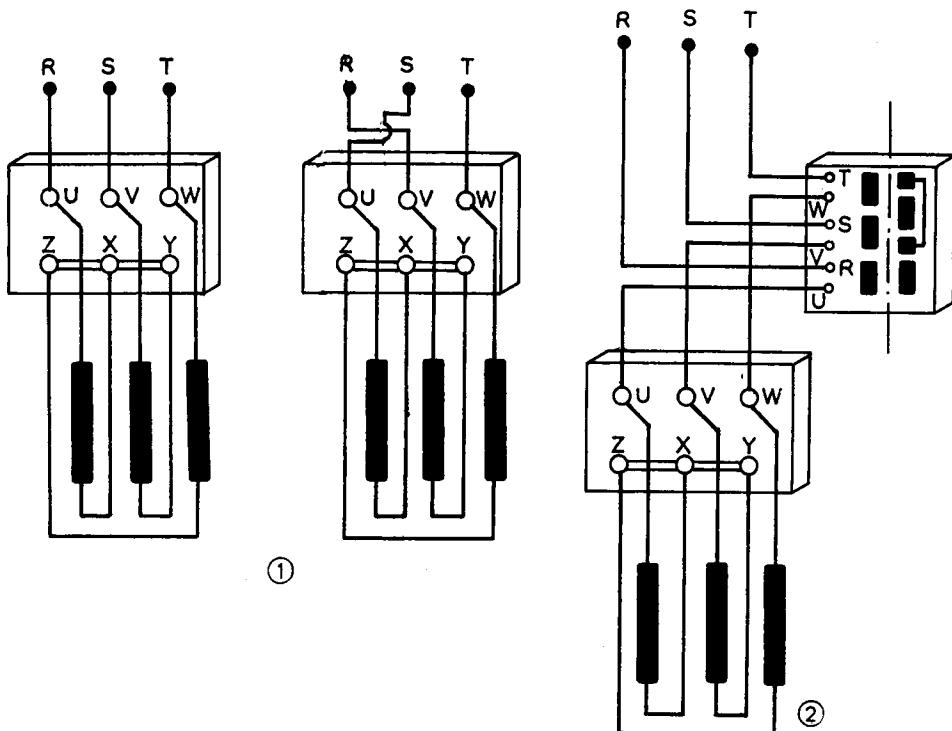


Σχ. 24.4γ.

Παρατηρήστε ότι:

- Το ηλεκτρικό ρεύμα κατά την εκκίνηση είναι πολύ μεγάλο σε σχέση με το ηλεκτρικό ρεύμα που απορροφά ο κινητήρας σε σταθερή λειτουργία. Πρέπει να προσέξετε στην εκλογή των αμπερομέτρων.
  - Η ένδειξη του αμπερόμετρου  $A_1$  (ηλεκτρικό ρεύμα γραμμής) είναι ίδια με την ένδειξη του  $A_2$  (ηλεκτρικό ρεύμα στο τύλιγμα μιας φάσεως).
  - Η ένδειξη του βολτόμετρου  $V_1$  (πολική τάση) είναι 1,73 φορές μεγαλύτερη από την ένδειξη του βολτόμετρου  $V_2$  (φασική τάση)
- γ) Σταματήστε τον κινητήρα και αφού σχεδιάσετε τη συνδεσμολογία της ασκήσεως στο τετράδιό σας, διατυπώστε τις παρατηρήσεις και τα συμπεράσματά σας.

3. a) Σε κινητήρα όμοιο με εκείνο της ασκήσεως 2, πραγματοποιήστε διαδοχικά τις δύο συνδεσμολογίες των τυλιγμάτων του στο κιβώτιο ακροδεκτών όπως στο σχήμα 24.4δ (1) αντιστρέφοντας κάθε φορά τη σειρά των φάσεων R, S, T.



Σχ. 24.46.

β) Τροφοδοτήστε και τις δύο φορές τον κινητήρα απ' ευθείας από το ηλεκτρικό δίκτυο. Διαπιστώστε πώς με την αλλαγή της σειράς τροφοδοτήσεως των τυλιγμάτων των φάσεων, επιτυγχάνεται η αλλαγή της φοράς περιστροφής του κινητήρα.

γ) Επαναλάβετε την αλλαγή της φοράς περιστροφής του κινητήρα χρησιμοποιώντας τον ειδικό διακόπτη αλλαγής φοράς [σχ. 24.46 (2)].

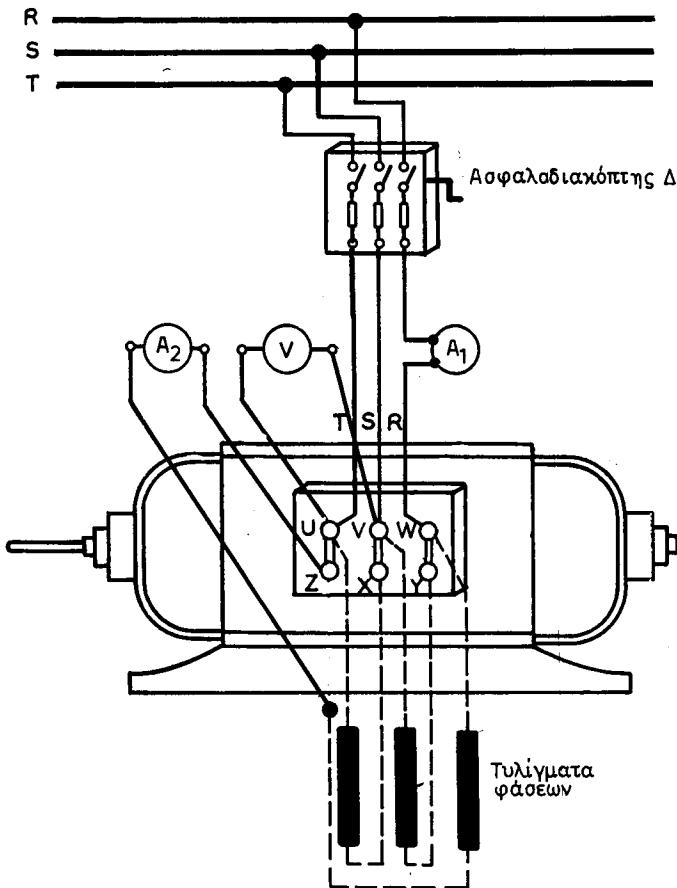
δ) Σχεδιάστε στο τετράδιό σας τις συνδεσμολογίες της ασκήσεως και σημειώστε τα χαρακτηριστικά του κινητήρα και των συσκευών που χρησιμοποιήσατε. Διατυπώστε στο τετράδιο τις παρατηρήσεις και τα συμπεράσματά σας.

4. a) Από τους τριφασικούς κινητήρες βραχυκυκλωμένου δρομέα που θα σας δοθούν στο εργαστήριο, διαλέξτε τον κατάλληλο με τον οποίο μπορούν να συνδεθούν τα τυλίγματα των φάσεών του σε τρίγωνο για να λειτουργήσει στο δίκτυο της ΔΕΗ (380 V). (Η ισχύς του πρέπει να είναι μικρότερη από 2PS). Σημειώστε τα χαρακτηριστικά του στοιχεία στο τετράδιό σας.

β) Πραγματοποιήστε τη συνδεσμολογία του σχήματος 24.4ε και τροφοδοτήστε τον κινητήρα με ηλεκτρικό ρεύμα κλείνοντας το διακόπτη Δ.

Παρατηρήστε ότι:

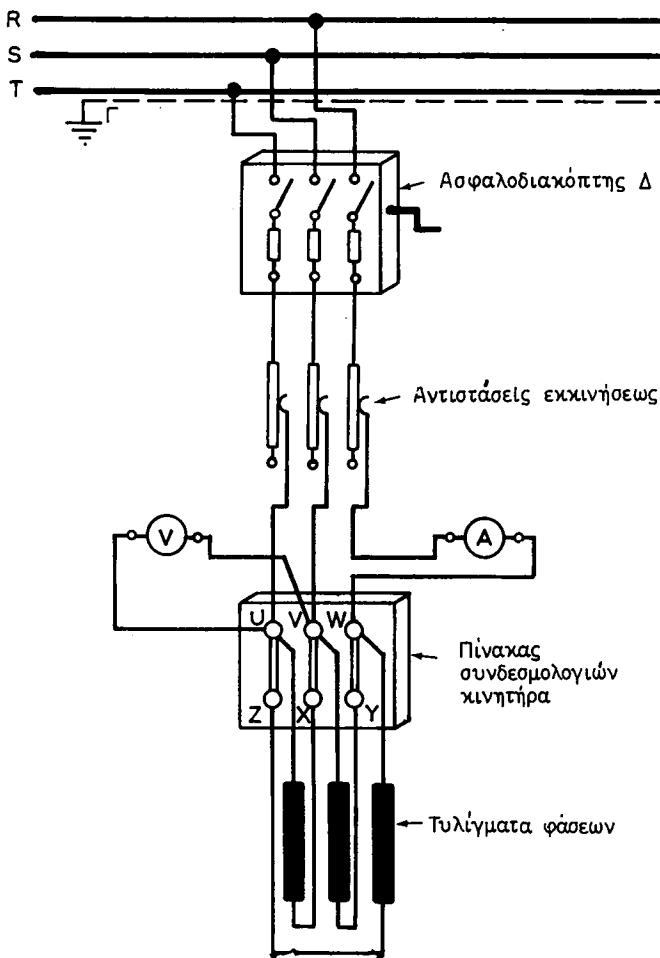
— Το ηλεκτρικό ρεύμα κατά την εκκίνηση του κινητήρα είναι μεγαλύτερο από το αντίστοιχο στη συνδεσμολογία του κινητήρα σε αστέρα (ένδείξεις αμπερόμετρου  $A_1$ , βλέπε δίσκηση 2).



Σχ. 24.4ε.

- Η ένδειξη του αμπερόμετρου  $A_1$  (ένταση ηλεκτρικού ρεύματος γραμμής) είναι 1,73 φορές μεγαλύτερη από την ένδειξη του  $A_2$  (ηλεκτρικό ρεύμα τυλιγμάτων φάσεων).
  - Η ένδειξη του βολτόμετρου  $V$  μας δείχνει την πολική τάση του ηλεκτρικού δικτύου, που εφαρμόζεται στα άκρα του τυλίγματος κάθε φάσεως. Δηλαδή για να γίνει η συνδεσμολογία αυτή των τυλιγμάτων θα πρέπει η τάση λειτουργίας τους να είναι ίση με την πολική τάση του ηλεκτρικού δικτύου, που τροφοδοτεί τον κινητήρα.
- γ) Σχεδιάστε τη συνδεσμολογία της ασκήσεως στο τετράδιό σας και περιγράψτε συνοπτικά την δλη πορεία της εργασίας σας στην άσκηση. Διατύπωστε τις παρατηρήσεις και τα συμπεράσματά σας.
5. a) Διαλέξτε ένα κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα από εκείνους που διαθέτει το εργαστήριο, ώστε τα τυλίγματα των φάσεών του να μπορούν να συνδεθούν σε τρίγωνο για τη λειτουργία του στο δίκτυο της ΔΕΗ (380V). Στη συνέχεια με τρεις κατάλληλες ρυθμιστικές αντιστάσεις, που θα χρησιμο-

ποιήσετε για την εκκίνηση του κινητήρα, πραγματοποιήστε τη συνδεσμολογία του σχήματος 24.4στ.



Σχ. 24.4στ.

β) Τροφοδοτήστε τον κινητήρα με ηλεκτρικό ρεύμα κλείνοντας το διακόπτη  $\Delta$ . Κατά την εκκίνηση του κινητήρα οι αντιστάσεις εκκινήσεως παρεμβάλλονται στο κύκλωμα.

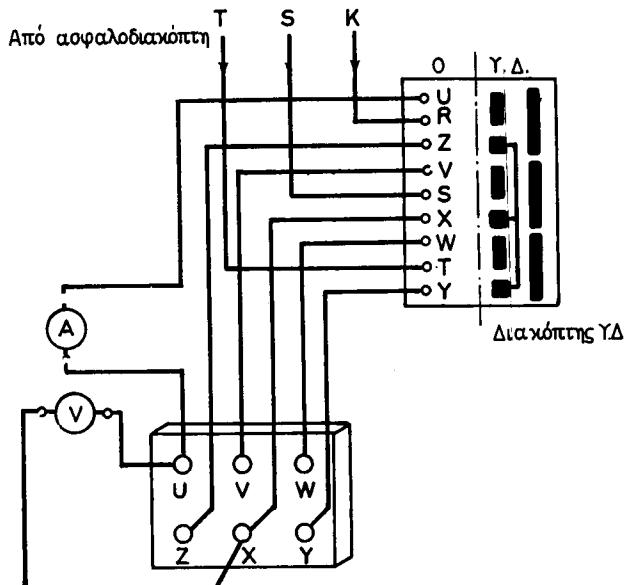
Μεταβάλλετε σταδιακά τις αντιστάσεις μέχρι ο κινητήρας να αποκτήσει τον ονομαστικό αριθμό στροφών του. Κάθε φορά σημειώστε τις ενδείξεις του αμπερόμετρου (A) και του βολτόμετρου (V).

γ) Σχεδιάστε τη συνδεσμολογία της ασκήσεως στο τετράδιό σας. Σημειώστε τις παραπάνω ενδείξεις των οργάνων (A) και (V) και διατυπώστε τους λόγους στους οποίους οφείλεται ο περιορισμός του ηλεκτρικού ρεύματος εκκινήσεως.

6. α) Στον κινητήρα της ασκήσεως 5 αντικαταστήστε τις ρυθμιστικές αντιστάσεις

με τον κατάλληλο διακόπτη αστέρα-τρίγωνο (Y-Δ) και πραγματοποιήστε τη συνδεσμολογία του σχήματος 24.4ζ.

β) Τροφοδοτήστε τον κινητήρα με ηλεκτρικό ρεύμα κλείνοντας τον ασφαλειοδιακόπτη. Θέστε σε κίνηση τον κινητήρα στρέφοντας το διακόπτη Y-Δ στη θέση Y (αστέρα). Σημειώστε αμέσως τις ενδείξεις του βολτόμετρου (V) και του αμπερόμετρου (A).



**Σχ. 24.4ζ.**  
Κιβώτιο ακροδεκτών κινητήρα.

Συνεχίστε περιστρέφοντας το διακόπτη στη θέση Δ (τρίγωνο). Σημειώστε πάλι τις ενδείξεις των οργάνων (V) και (A). Συγκρίνετε αυτές τις ενδείξεις με εκείνες του διακόπτη στη θέση Y.

γ) Σχεδιάστε στο τετράδιό σας τη συνδεσμολογία της ασκήσεως. Εξηγήστε το πώς οφείλονται οι διαφορετικές ενδείξεις των οργάνων (A) και (V) στις δύο θέσεις του διακόπτη αστέρα-τριγώνου. Συγκρίνετε τα αποτελέσματα της ασκήσεως με εκείνα της ασκήσεως 5. Διατυπώστε τις παρατηρήσεις και τα συμπεράσματά σας.

7. α) Στον άξονα ενός από τους κινητήρες που χρησιμοποιήσατε στις προηγούμενες ασκήσεις συνδέστε δυναμοπέδη και στο κύκλωμα τροφοδοτήσεώς του με ηλεκτρικό ρεύμα ένα συνημιτονόμετρο (συνφ). Πριν από κάθε ενέργειά σας σχεδιάστε τη συνδεσμολογία της ασκήσεως και σημειώστε τα χαρακτηριστικά στοιχεία του κινητήρα των οργάνων και συσκευών στο τετράδιό σας. Θέστε σε κίνηση τον κινητήρα με την ίδια διαδικασία που κάνατε σε προηγούμενη άσκηση. Ρυθμίστε το φορτίο του κινητήρα με τη δυναμοπέδη ώστε η περιφερειακή δύναμη  $F$  να αντιστοιχεί στις ακόλουθες τιμές φορτίσεως:

$$- F_0 = \text{Λειτουργία χωρίς φορτίο}$$

- $F_1 = 1/2$  του ονομαστικού φορτίου του κινητήρα.
- $F_3 = \text{φορτίο ανατροπής}$  (σ' αυτό το φορτίο ο κινητήρας σταματά απότομα).

**ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ 24.4.1**

Ακτίνα τροχαλίας $r = \dots\dots\dots$ m			
Πολική τάση $U = \dots\dots\dots$ V,			
$n_s = \dots\dots\dots \sigma_{\alpha\phi}/\text{min}$			
Δυνάμεις φορτίου $F$ σε kg	σε στρ/min	Ρεύμα γραμμής σε A	συνφ
.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....

Σε κάθε μια από τις παραπάνω φορτίσεις μετρήστε τις αντίστοιχες στροφές του κινητήρα (με στροφόμετρο), την ηλεκτρική ένταση του ρεύματος γραμμής που απορροφά ο κινητήρας από το ηλεκτρικό δίκτυο και το συντελεστή ισχύος (συνφ). Καταχωρήστε τις μετρήσεις σας στον πίνακα αποτελεσμάτων 24.4.1.

β) Από τον πίνακα αποτελεσμάτων 24.4.1 υπολογίστε:

— Τη ροπή στρέψεως, που είναι:  $T = F \cdot r$

— Την αποδιδόμενη μηχανική ισχύ, που είναι:

$$N = 0,0107 \cdot n \cdot T \text{ σε W (} T \text{ σε kpm)}$$

— Τη διολίσθηση, που είναι:  $S\% = \frac{n_s - n}{n_s} \cdot 100\%$

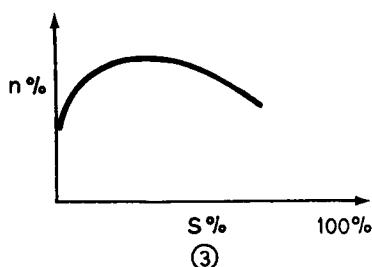
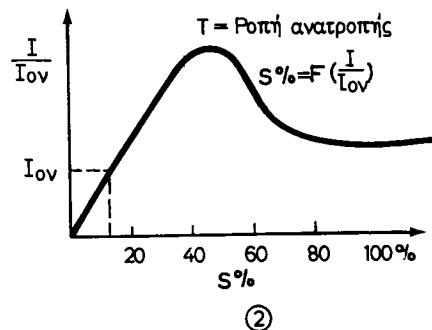
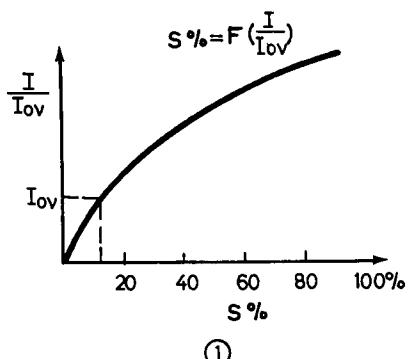
— Την απορροφούμενη ηλεκτρική ισχύ, που είναι:  $N_1 = 1,73 \cdot U \cdot I \cdot \text{συνφ}$  και

— Το βαθμό αποδόσεως, που είναι:  $n\% = \frac{N}{N_1} \cdot 100\%$

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών σας καταχωρήστε τα στον πίνακα αποτελεσμάτων 24.4.2.

**ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ 24.4.2**

Δυνάμεις φορτίου	T σε (kgm)	N σε (W)	S%	$N_1$ σε (w)	n%
.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....



Σχ. 24.4η.

γ) Με τη βοήθεια των πινάκων αποτελεσμάτων 24.4.1 και 24.4.2 χαράξτε τις χαρακτηριστικές:

$$S\% = F\left(\frac{1}{I_{ov}}\right) \quad S\% = F\left(\frac{T}{T_{ov}}\right) \quad S\% = F(\eta\%) \text{ (σχ. 24.4η)}$$

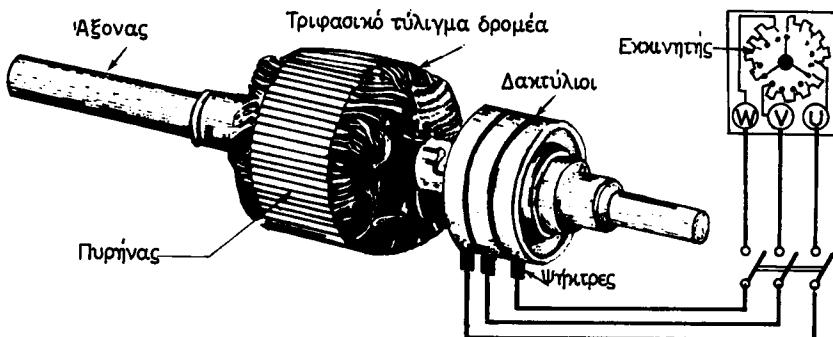
δ) Συμπληρώστε στο τετράδιο σας το υπόλοιπο από την άσκηση. Διατυπώστε τις παρατηρήσεις και τα συμπεράσματά σας.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ ΠΕΜΠΤΟ

### ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΙ ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΜΕ ΔΑΚΤΥΛΙΟΥΣ

#### 25.1 Γενικά.

Κατασκευαστικά οι κινητήρες αυτοί ξεχωρίζουν από τους κινητήρες βραχικλωμένου δρομέα μόνο ως προς την κατασκευή του δρομέα. Όπως είναι γνωστό, ο δρομέας των κινητήρων αυτών φέρει συνήθως τριφασικό τύλιγμα, όπως οι εναλλακτήρες με σταθερούς πόλους. Μέσω των ψηκτρών συνδέεται στους δακτύλιους σύστημα ρυθμιστικής αντιστάσεως (**εκκινητής**) (σχ. 25.1).



Σχ. 25.1.

Ο αριθμός των μαγνητικών πόλων, που σχηματίζονται όταν το τύλιγμα του δρομέα είναι ρευματοφόρο, είναι πάντοτε ο ίδιος με τον αριθμό των πόλων του τυλίγματος του στάτη.

#### 25.2 Χαρακτηριστικά γνωρίσματα της λειτουργίας των κινητήρων με δακτύλιους.

##### 25.2.1 Η πολική τάση.

Αναπτύσσεται στο τύλιγμα του δρομέα ( $U_2$ ) κατά τη στιγμή της εκκίνησεως του κινητήρα. Είναι:

$$U_2 = U \frac{W_2}{W_1}$$

Όπου:  $U$  η πολική τάση του ηλεκτρικού δικτύου τροφοδοτήσεως του κινητήρα και  $W_1$  και  $W_2$  ο αριθμός των αγωγών των τυλιγμάτων στάτη και δρομέα αντίστοιχα.

Η πολική τάση  $U_2$ , όταν ο κινητήρας λειτουργεί με διολίσθηση σ γίνεται:

$$U_{2s} = S \cdot U_2 \quad (\text{αντίστοιχη φασική τάση } U_{\Phi_{2s}} = U_{2s} / 1,73)$$

##### 25.2.2 Η συχνότητα του ηλεκτρικού ρεύματος στο δρομέα.

Κατά την εκκίνηση  $f_2 = f$ , όπου  $f$  η συχνότητα του ηλεκτρικού ρεύματος που τροφοδοτεί τον κινη-

τήρα. Για λειτουργία με διολίσθηση (s) έχομε  $f_{2s} = s \cdot f$ . Επομένως και η αυτεπαγωγική αντίσταση του τυλίγματος του δρομέα γίνεται  $X_{2s} = s \cdot X_2$  (τη στιγμή εκκινήσεως του κινητήρα είναι  $X_2 = L_2 \omega_2$ ).

### 25.2.3 Η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος στο δρομέα ( $I_2$ ).

Η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος ( $I_2$ ) στο δρομέα του κινητήρα είναι:

$$I_2 = \frac{U_2}{1,73 \sqrt{\left(\frac{R_\delta}{S}\right)^2 + X_2^2}}$$

όπου:  $R_\delta$  η συνολική αντίσταση του τυλίγματος του δρομέα του κινητήρα και μέρος από τη ρυθμιστική αντίσταση του εκκινητή ( $R_\delta = R_2 + R_e$ ).

Κατά την εκκίνηση του κινητήρα, που είναι  $s = 1$ , έχομε τη μεγαλύτερη τιμή του  $I_2$ . Η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος εκκινήσεως μπορεί να περιορισθεί με τη σύνδεση των αντιστάσεων του εκκινητή σε σειρά με τα τυλίγματα των φάσεων του δρομέα. Ο υπολογισμός του ηλεκτρικού ρεύματος εκκινήσεως γίνεται με μεγάλη προσέγγιση από τη σχέση:

$$I_{2ek} = \frac{650 \cdot N}{U_2} \quad (\text{A})$$

όπου:  $N$  αποδιδόμενη ονομαστική ισχύς του κινητήρα σε kW και

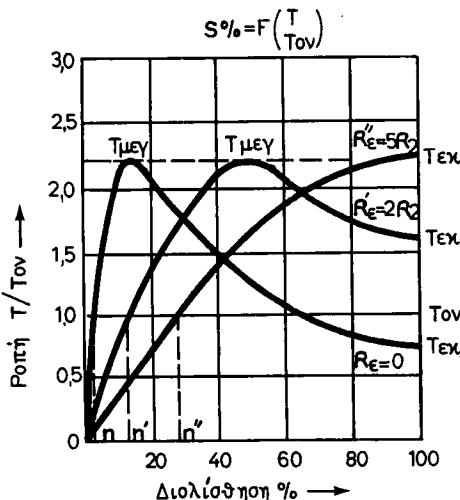
$U_2$  η πολική τάση του δρομέα με τις ψήκτρες ανυψωμένες από τους δακτύλιους.

Η πληροφορία αυτή είναι χρήσιμη, γιατί από την τιμή  $I_{2ek}$  καθορίζεται η διατομή των αγωγών που συνδέουν τις αντιστάσεις με τις ψήκτρες.

### 25.2.4 Η ροπή στρέψεως ( $T$ ).

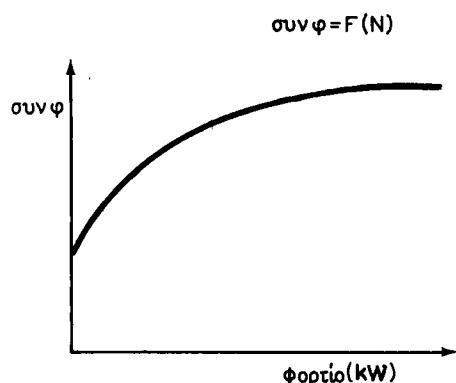
Η ροπή στρέψεως ( $T$ ) στους κινητήρες αυτούς επηρεάζεται από την τιμή της ρυθμιστικής αντιστάσεως που εισέρχεται στο κύκλωμα του δρομέα. Στο σχήμα 25.2a φαίνονται χαρακτηριστικά

$s\% = F\left(\frac{T}{T_{ov}}\right)$  για διάφορες τιμές της ρυθμιστικής αντιστάσεως ( $R_e$ ) που εισέρχεται στο κύκλωμα του δρομέα.



Σχ. 25.2a.

Μεταβολή της ροπής σε κινητήρα με δακτύλιους για διάφορες τιμές της ρυθμιστικής αντιστάσεως  $R_e$ .



Σχ. 25.2b.

Χαρακτηριστική συνφ =  $F(N)$ .

Από τη μορφή των χαρακτηριστικών αυτών παρατηρούμε ότι όσο αυξάνομε την αντίσταση ( $R_e$ ) στο κύκλωμα του δρομέα τόσο μεγαλώνει η ροπή εκκινήσεως του κινητήρα. Η μέγιστη ροπή T (ροπή ανατροπής) επιτυγχάνεται σε μεγαλύτερη διολίσθηση (s), η δε διολίσθηση του κινητήρα για κανονικό φορτίο αυξάνει (δηλαδή μειώνεται ο ονομαστικός αριθμός στροφών του κινητήρα  $n_{ov}$  ).

### 25.2.5 Ο συντελεστής ισχύος (συνφ) του κινητήρα.

Εξαρτάται από τις μεταβολές του φορτίου του. Στην κανονική φόρτιση φθάνει το 0,80-0,90. Όταν ο κινητήρας λειτουργεί χωρίς φορτίο το συνφ έχει πολύ μικρή τιμή (σχ. 25.2β).

### 25.2.6 Μεταβολή της τάσεως τροφοδοτήσεως.

Σημαντική επίδραση στη λειτουργία του κινητήρα με δακτύλιους ασκείται από τη μεταβολή της τάσεως τροφοδοτήσεως του, όταν η συχνότητα του ηλεκτρικού ρεύματος παραμένει σταθερή.

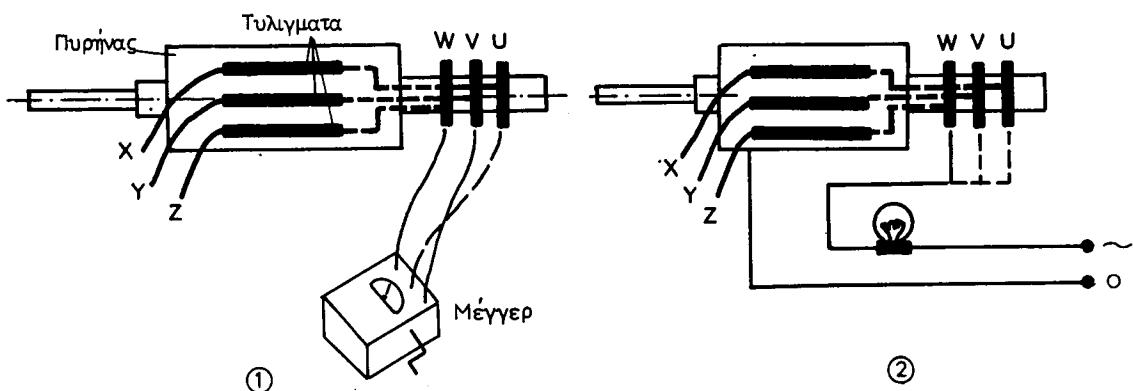
Η αναπτυσσόμενη ροπή στον άξονα του κινητήρα και ιδιαίτερα η ροπή εκκινήσεως και ανατροπής, μεταβάλλονται με το τετράγωνο της τάσεως τροφοδοτήσεως του δικτύου, ενώ η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος εκκινήσεως μεταβάλλεται ανάλογα με την τάση του δικτύου. Όταν η τάση του δικτύου η οποία τροφοδοτεί τον κινητήρα και η ανθιστάμενη ροπή του φορτίου του κινητήρα παραμένουν σταθερές, η ισχύς του κινητήρα καθώς και η ταχύτητα περιστροφής του δρομέα του αυξάνονται. Η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που απορροφά ο κινητήρας και η θερμοκρασία του σ' αυτή την περίπτωση είναι περίπου σταθερή. Στην αντίθετη περίπτωση, όταν δηλαδή έχουμε μείωση της τάσεως τροφοδοτήσεως, η ισχύς του κινητήρα καθώς και η ταχύτητα περιστροφής του δρομέα του μειώνεται.

Η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος τροφοδοτήσεως του κινητήρα και η θερμοκρασία του αυξάνουν στην αντίθετη περίπτωση.

## 25.3 Ασκήσεις.

1. a) Αναγνωρίστε στον κινητήρα με δακτύλιους που θα σας δοθούν στο εργαστήριο, το τύλιγμα του δρομέα, το σύστημα του ψηκτροφορέα και την αντίσταση του εκκινητή.

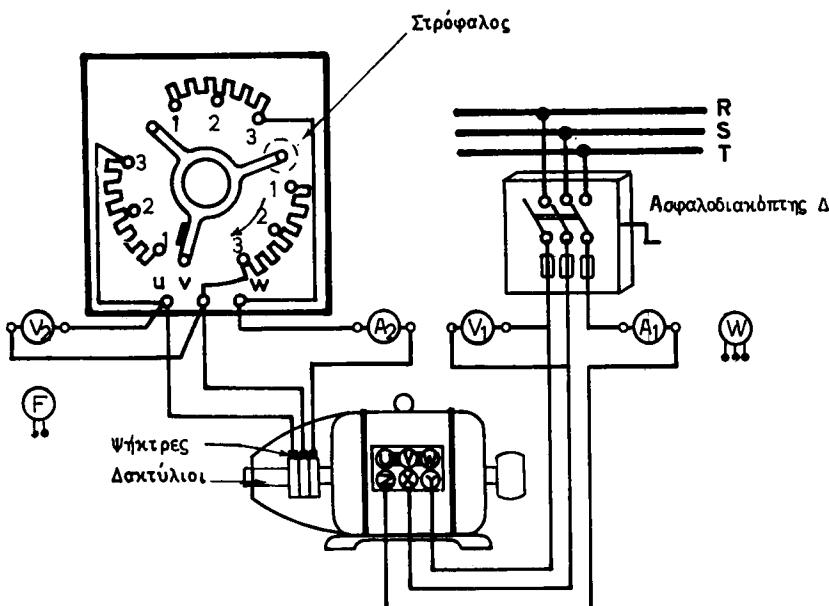
β) Με ένα μέγγερ (ωμόμετρο) ή με ενδεικτικό λαμπτήρα, ελέγχετε τη μονώση μεταξύ των τυλιγμάτων των φάσεων του δρομέα και μεταξύ των τυλιγμάτων και του πυρήνα του δρομέα (σχ. 25.3α)



Σχ. 25.3α.

1) Έλεγχος της μονώσεως μεταξύ των τυλιγμάτων των φάσεων. 2) Έλεγχος για γείωση του τυλιγμάτος.

- γ) Σχεδιάστε στο τετράδιό σας τις αντίστοιχες συνδεσμολογίες που πραγματοποιήσατε και διατυπώστε τις παρατηρήσεις και τα συμπεράσματά σας.
2. α) Με το δακτυλιοφόρο κινητήρα, τις συσκευές ελέγχου και τα όργανα που θα σας δοθούν στο εργαστήριο, πραγματοποιήστε τη συνδεσμολογία του σχήματος 25.3β.



Σχ. 25.3β.  
Σύνδεση δακτυλιοφόρου κινητήρα σε δίκτυο.

β) Τοποθετήστε το στρόφαλο του εκκινητή στη θέση Ο (οι αντιστάσεις είναι εκτός κυκλώματος). Τροφοδοτήστε τον κινητήρα με ηλεκτρικό ρεύμα κλείνοντας το διακόπτη Δ. Ο κινητήρας στη θέση αυτή του στροφάλου δεν τίθεται σε κίνηση.

Με το βολτόμετρο  $V_2$  μετρήστε την πολική τάση στα τυλίγματα του δρομέα. Με το αμπερόμετρο  $A_2$  διαπιστώστε ότι τα τυλίγματα του δρομέα δεν διαρρέονται από ηλεκτρικό ρεύμα. Με το συχνόμετρο ( $F$ ) μετρήστε τη συχνότητα της τάσεως  $U_2$  και με το αμπερόμετρο  $A_1$ , μετρήστε την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος  $I_0$ .

γ) Μετακινήστε το στρόφαλο του εκκινητή στις θέσεις 1,2,3 σταδιακά και σε σύντομο χρονικό διάστημα. Συγχρόνως παρατηρήστε και σημειώστε τις ενδείξεις στα αμπερόμετρα  $A_1$  (ρεύμα εκκινήσεως  $A_2$  (ρεύμα  $I_2$  στο δρομέα), στο βολτόμετρο  $V_2$  και στο συχνόμετρο ( $F$ ).

δ) Σχεδιάστε στο τετράδιό σας τη συνδεσμολογία της ασκήσεως. Διατυπώστε τις παρατηρήσεις και τα συμπεράσματά σας για τις μεταβαλές των ενδείξεων των οργάνων ελέγχου με τη μετακίνηση του στροφάλου του εκκινητή.

3. α) Συνδέστε στον δίξονα του κινητήρα της ασκήσεως 2 δυναμοπέδη. Τροφοδοτήστε τον κινητήρα με ηλεκτρικό ρεύμα από το δίκτυο.

Μετακινήστε το στρόφαλο του εκκινητή σταδιακά:

Θέση 1: Ολόκληρη η αντίσταση  $R_\epsilon$  του εκκινητή σε σειρά στο τύλιγμα κάθε φάσεως του δρομέα.

Θέση 2: Μέρος της αντίστασεως  $R_\epsilon$  σε σειρά στο τύλιγμα κάθε φάσεως.

Θέση 3: Η  $R_\epsilon$  εκτός κυκλώματος των φάσεων των τυλιγμάτων.

Για κάθε θέση του στροφάλου 1,2,3 της  $R_\epsilon$  διατηρήστε την περιφερειακή δύναμη ( $F$ ) της δυναμοπέδης σταθερή και μετρήστε με ένα στροφόμετρο τις στροφές του δρομέα του κινητήρα, την τάση  $U_2$ , την ένταση  $I_2$ , την ένταση  $I_1$ , και την πραγματική ισχύ ( $N$ ) που αναρροφάται από το ηλεκτρικό δίκτυο (με το βαπτόμετρο ( $W$ ) (σχ. 25.3β).

Σημειώστε τα αποτελέσματα των μετρήσεων στον πίνακα αποτελεσμάτων 25.3.1.

**ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ 25.3.1**

		Τάση τροφοδοτήσεως		$U_1 = \dots$ σταθερή		
		Περιφερειακή δύναμη δυναμοπέδης		$F = \dots$ σταθερή		
$R_{\epsilon_0}$	$n$	$U_2$	$I_2$	$I_1$	$N_1$	
$R_{\epsilon_0}$						
$R_{\epsilon_1}$						
$R_{\epsilon_2}$						
$R_{\epsilon_3}$						

β) Από τις τιμές του πίνακα αποτελεσμάτων 25.3.1 υπολογίστε σε κάθε μεταβολή της  $R_\epsilon$  τη διολίσθηση  $s\%$ , τη συχνότητα  $f_2 = s \cdot f$ , τη σταθερή

ανθιστάμενη ροπή  $T_a = F \cdot r$  καθώς και το συνθετικό  $\frac{N_1 \text{ (πραγματική)}}{N_\phi \text{ (φαινομένη)}}$ .

Σημειώστε τα αποτελέσματα των υπολογισμών σας στον πίνακα αποτελεσμάτων 25.3.2.

**ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ 25.3.2**

Ακτίνα τροχαλίας δυναμοπέδης $r = \dots$ σταθερή			
$T_a = \dots$ σταθερή			
$R_\epsilon$	$s\%$	$f_2$	συνθετικό

γ) Τοποθετήστε το στρόφαλο της ρυθμιστικής αντιστάσεως  $R_\epsilon$  σταθερά στη θέση 1 και μεταβάλλετε το φορτίο της δυναμοπέδης. Κάνετε την ίδια εργασία και για τις θέσεις 2 και 3 του στροφάλου της  $R_\epsilon$ . Για κάθε θέση του στροφάλου της  $R_\epsilon$  σημειώστε στον πίνακα απότελεσμάτων 25.3.3 τις μεταβολές της περιφερειακής δυνάμεως ( $F$ ) της δυναμοπέδης, τις εντάσεις  $I_1$  και  $I_2$ , την ισχύ  $N_1$  και τις στροφές του δρομέα  $n$ .

**ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ 25.3.3**

Ακτίνα τροχαλίας δυναμοπέδης $r = \dots\dots$ $U_1 = \dots\dots$ σταθερό					
Για $R_{\epsilon_1} = \text{σταθερό}$			Για $R_{\epsilon_2} = \text{σταθερό}$		Για $R_{\epsilon_3} = \text{σταθερό}$
F	T	$I_1$	$I_2$	$N_1$	$n$
$F_1$					
$F_2$					
$F_3$					

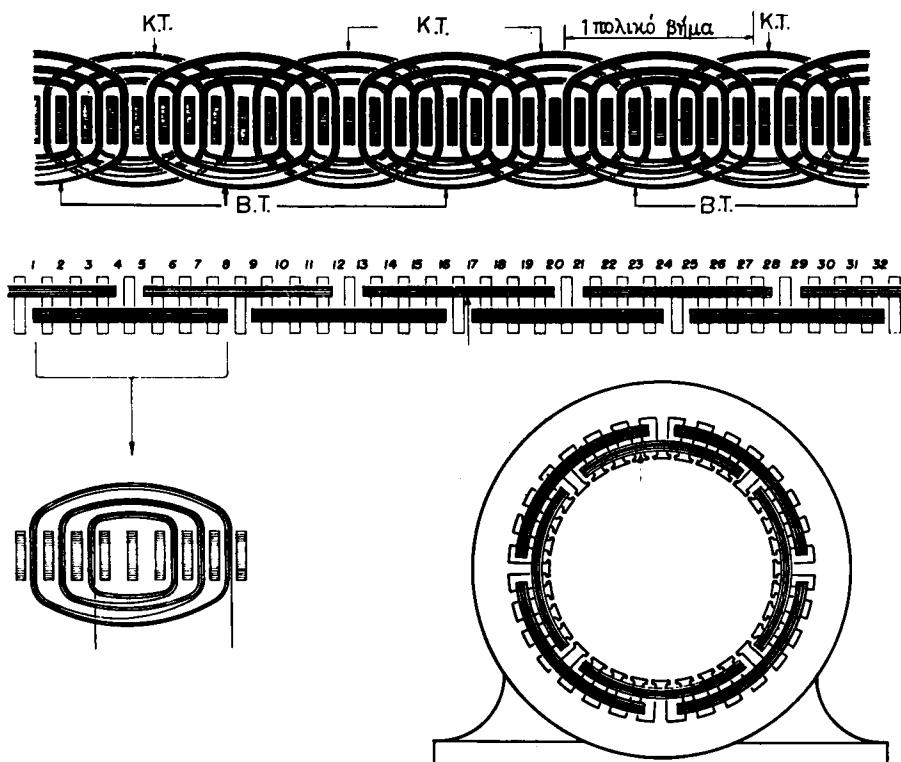
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ ΕΚΤΟ

### ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΟΙ ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΒΡΑΧΥΚΥΚΛΩΜΕΝΟΥ ΔΡΟΜΕΑ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΜΕ ΠΥΚΝΩΤΕΣ ΕΚΚΙΝΗΣΕΩΣ

#### 26.1 Γενικά.

Όπως και στους ασύγχρονους τριφασικούς κινητήρες βραχυκυκλωμένου δρομέα, έτσι και εδώ, η αρχή λειτουργίας των ασύγχρονων μονοφασικών κινητήρων με βραχυκυκλωμένο δρομέα βασίζεται στην αρχή της επαγωγής.

Το στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο, γύρω από τους αγωγούς του τυλίγματος κλωβού του δρομέα, επιτυγχάνεται από δύο εναλλασσόμενα μαγνητικά πεδία των οποίων οι διευθύνσεις είναι κάθετες και παρουσιάζουν διαφορά φάσεως  $90^{\circ}$ . Για το σκοπό αυτό στα αυλάκια του στάπη του κινητήρα αναπτύσσονται δύο τυλίγματα, έτσι ώστε οι ομάδες του ενός τυλίγματος να απέχουν από τις ομάδες του άλλου τυλίγματος κατά  $\frac{1}{2}$  του πολικού βήματος (σχ. 26.1).



Σχ. 26.1.

Τυλίγματα ασύγχρονου μονοφασικού κινητήρα.

B.T. = Βοηθητικό τύλιγμα. K.T. = Κύριο τύλιγμα.

Το ένα τύλιγμα ονομάζεται **κύριο τύλιγμα** (K.T.) και τροφοδοτείται με ηλεκτρικό ρεύμα σε όλη τη διάρκεια της λειτουργίας του κινητήρα, ενώ το άλλο τύλιγμα ονομάζεται **βοηθητικό** (B.T.) και χρησιμοποιείται μόνο για την εκκίνηση του κινητήρα και μέχρι να αναπτύξει ο δρομέας του τον ονομαστικό αριθμό στροφών του.

Το βοηθητικό τύλιγμα διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα, που έχει διαφορά φάσεως  $90^\circ$  από το ρεύμα που διαρρέει το κύριο τύλιγμα. Έτσι και η αντίστοιχη διαφορά φάσεως των μαγνητικών πεδίων που δημιουργούν αυτά τα ηλεκτρικά ρεύματα είναι  $90^\circ$ . Για να επιτύχουμε τη διαφορά φάσεως των  $90^\circ$  μεταξύ των ηλεκτρικών ρευμάτων των δύο τυλιγμάτων (βοηθητικό και κύριο) συνδέομε σε σειρά με το βοηθητικό τύλιγμα ένα πυκνωτή. Οι κινητήρες αυτοί ονομάζονται μονοφασικοί ασύγχρονοι κινητήρες με **πυκνωτή εκκινήσεως**. Συνδέομε σε σειρά με το βοηθητικό τύλιγμα και **ωμήκη αντίσταση**. Οι κινητήρες αυτοί ονομάζονται μονοφασικοί ασύγχρονοι κινητήρες με **αντίσταση εκκινήσεως**.

## 26.2 Κινητήρες με πυκνωτή εκκινήσεως.

Η ισχύς των κινητήρων αυτών φθάνει μέχρι  $1.5 \text{ kW}$ . Χρησιμοποιούνται περισσότερο από τα άλλα είδη των μονοφασικών κινητήρων, γιατί παρουσιάζουν ορισμένα πλεονεκτήματα. Βασικά επιτυγχάνουν μεγαλύτερη ροπή εκκινήσεως και καλύτερο συντελεστή ισχύος (συνφ).



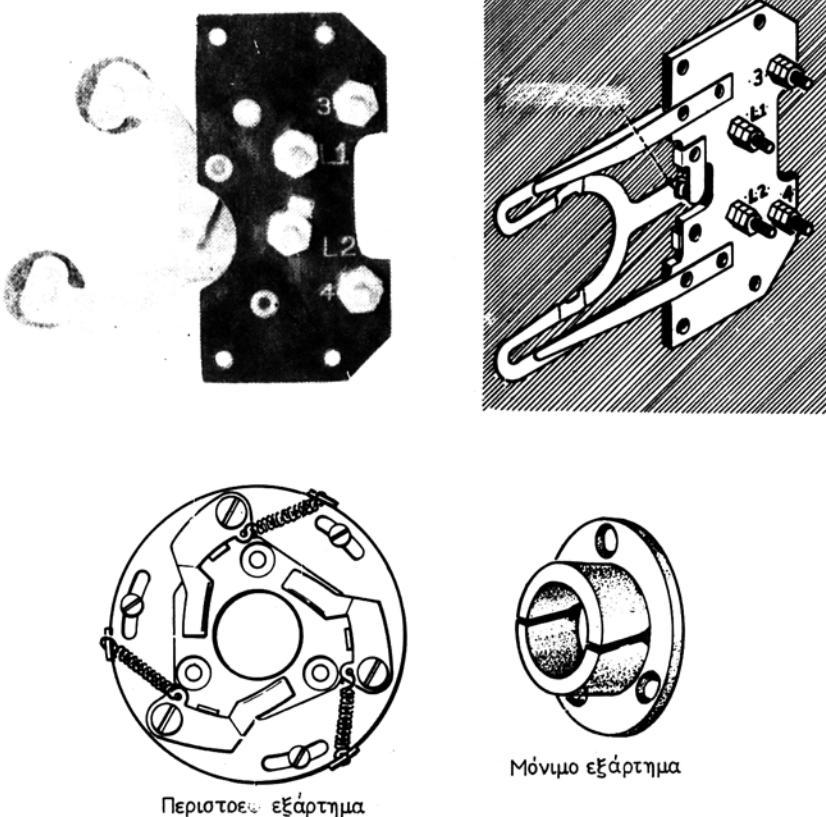
Σχ. 26.2a.

1) Κινητήρας με πυκνωτή. 2) Πυκνωτές εκκινήσεως.

Οι κινητήρες αυτοί εύκολα ξεχωρίζουν από τα άλλα είδη των κινητήρων, γιατί ο πυκνωτής ΕΚΚΙΝΗΣΕΩΣ είναι τοποθετημένος συνήθως στο κέλυφος του στάτη τους.

Στο σχήμα 26.2α φαίνονται ένας κινητήρας του είδους αυτού (1) και συνηθισμένοι τύποι πυκνωτών ΕΚΚΙΝΗΣΕΩΣ (2).

Επίσης ξεχωρίζουν στην κατασκευή τους και από το φυγοκεντρικό διακόπτη (σχ. 26.2β). Πρόκειται για ένα ειδικό εξάρτημα του οποίου η λειτουργία εξαρτάται από τη φυγόκεντρη δύναμη που αναπύσσεται κατά την περιστροφή του δρομέα του κινητήρα.



**Σχ. 26.2β.**  
Φυγοκεντρικός διακόπτης.

Στο σχήμα 26.2γ φαίνεται η συνδεσμολογία των τυλιγμάτων του κινητήρα με το φυγοκεντρικό διακόπτη και τον πυκνωτή ΕΚΚΙΝΗΣΕΩΣ.

Τα άκρα των τυλιγμάτων στους κινητήρες αυτούς συμβολίζονται σύμφωνα με τους παρακάτω κανονισμούς:

Γερμανικό V.D.E.      Αγγλικό B.S.      Αμερικανικό A.S.S.

Κύριο τύλιγμα:

U - V

A<sub>1</sub> - A<sub>1</sub>

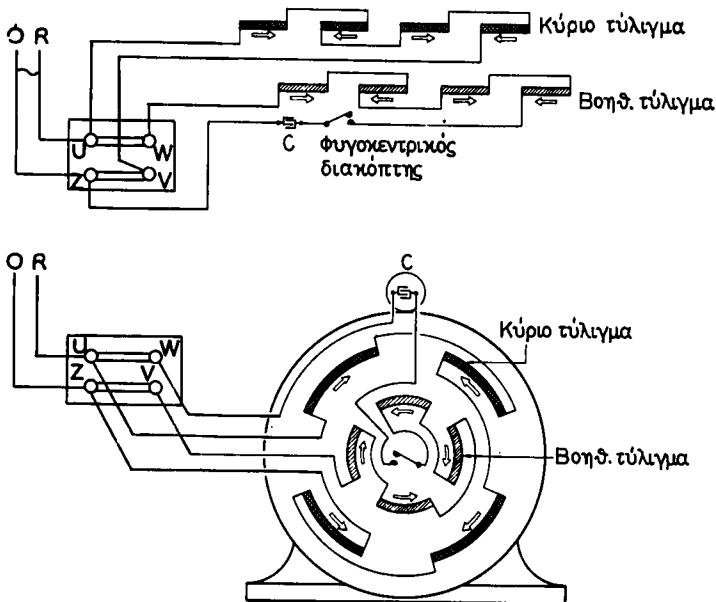
T<sub>1</sub> - T<sub>3</sub>

Βοηθητικό τύλιγμα:

W - Z

Z<sub>1</sub> - Z<sub>2</sub>

T<sub>2</sub> - T<sub>4</sub>

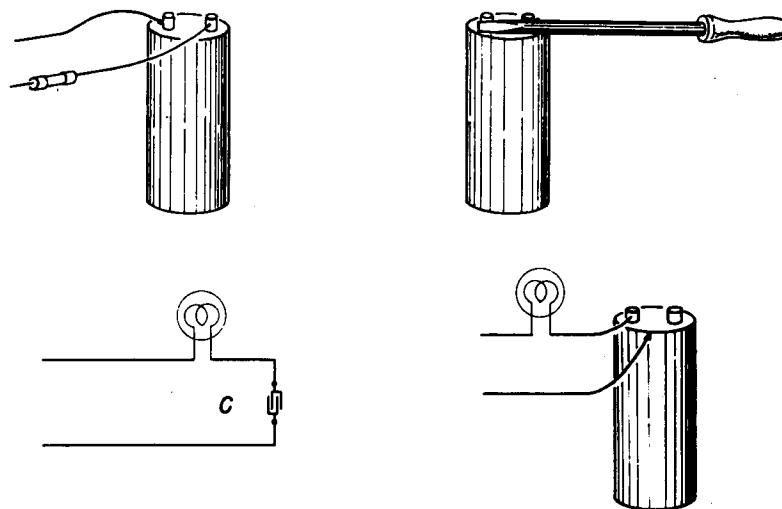


Σχ. 26.2γ.

Συνδεσμολογία τυλιγμάτων και φυγοκεντρικού διακόπτη σε κινητήρα με πυκνωτή εκκινήσεως.

### 26.3 Ασκήσεις.

1. α) Αναγνωρίστε με τη βοήθεια ωμόμετρου ή ενδεικτικού λαμπτήρα το κύριο και βοηθητικό τύλιγμα του αποσυναρμολογημένου κινητήρα που θα σας δοθεί στο εργαστήριο. Θα παρατηρήσετε ότι το βοηθητικό τύλιγμα αποτελείται από ομάδες με λιγότερο αριθμό σπειρών και από αγωγούς με μεγαλύτερη διατομή. Επομένως πρέπει να σας δείξει μικρότερη ωμική αντίσταση.  
 β) Προσδιορίστε από τα αυλάκια του στάτη του κινητήρα και από τα τυλίγματά του τον αριθμό των μαγνητικών πόλων, το πολικό βήμα και την απόσταση των ομάδων του βοηθητικού από τις ομάδες του κύριου τυλιγματος.  
 γ) Ελέγχετε με μέγγερη τη μόνωση μεταξύ των ομάδων των τυλιγμάτων και μεταξύ των ομάδων με το «σώμα» του στάτη (γείωση).  
 δ) Αναγνωρίστε τα μέρη του φυγοκεντρικού διακόπτη του κινητήρα και παρατηρήστε τον τρόπο λειτουργίας του.  
 ε) Αναγνωρίστε τα χαρακτηριστικά στοιχεία του πυκνωτή εκκινήσεως (είδος πυκνωτή, χωρητικότητα, τάση λειτουργίας κλπ.) και στη συνέχεια ελέγχετε τον όπως φαίνεται στο σχήμα 26.3α.  
 στ) Σχεδιάστε στο τετράδιό σας, με τα στοιχεία που πήρατε στην άσκηση, τα τυλίγματα του κινητήρα.  
 Περιγράψτε συνοπτικά την όλη εργασία σας κατά την άσκηση και διατυπώστε τις παρατηρήσεις και τα συμπεράσματά σας.
2. α) Πραγματοποιήστε τη συνδεσμολογία των τυλιγμάτων ενός μονοφασικού ασύγχρονου κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα με πυκνωτή εκκινήσεως, με

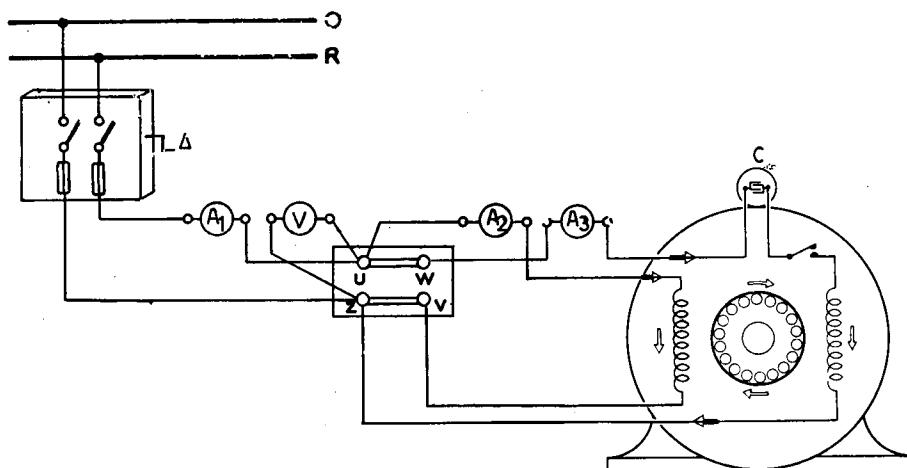


**Σχ. 26.3α.**  
Έλεγχος πυκνωτή εκκινήσεως.

τα όργανα και τις συσκευές ελέγχου όπως στο σχήμα 26.3β.

β) Τροφοδοτήστε τον κινητήρα με ηλεκτρικό ρεύμα και έχοντας βραχυκυκλωμένο το φυγοκεντρικό διακόπτη.

Μετά την ανάπτυξη του ονομαστικού αριθμού στροφών του κινητήρα σημειώστε τις ενδείξεις των αμπερομέτρων ( $A_1$ ) ( $A_2$ ), ( $A_3$ ), του βολτόμετρου ( $V$ ), του συνημιτονόμετρου ( $\text{COS}\phi$ ) και μετρήστε με ένα στροφόμετρο τις στροφές του δρομέα.



**Σχ. 26.3β.**  
Συνδεσμολογία κινητήρα με πυκνωτή εκκινήσεως.

Στη μέτρηση αυτή το βοηθητικό τύλιγμα συνεχίζει να διαρρέεται με ηλεκτρικό ρεύμα (ένδειξη  $A_3$ ).

γ) Επαναλάβετε την τροφοδότηση του κινητήρα όπως και πρηγουμένως, χωρίς όμως να είναι βραχυκυκλωμένος ο φυγοκεντρικός διακόπτης.

(Σημειώστε πάλι τις ενδείξεις των οργάνων. Στην περίπτωση αυτή το βοηθητικό τύλιγμα δεν διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα (ένδειξη  $A_3$  μηδέν).

δ) Συγκρίνετε τα αποτελέσματα των μετρήσεών σας β και γ και προσδιορίστε τις διαφορές τους. Υπολογίστε σε κάθε περίπτωση την άεργη ισχύ του κινητήρα από τη σχέση:  $N_a = \sqrt{N_\phi^2 - N^2}$ .

όπου:  $N = U \cdot I$ . συνφ σε (W) και  $N_\phi = UI(VA)$ .

Σε ποια περίπτωση (β ή γ) έχετε μεγαλύτερη άεργη ισχύ και γιατί;

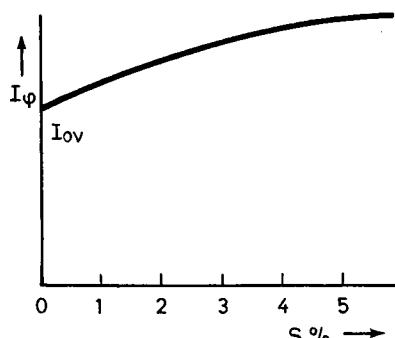
3. α) Πραγματοποιήστε την ίδια συνδεσμολογία με την άσκηση 2 ενός κινητήρα με πυκνωτή εκκινήσεως. Τροφοδοτήστε τον με ηλεκτρικό ρεύμα και αύξηστε τη φόρτισή του σταδιακά μέχρι να ξεπεράσει κατά 20% το κανονικό του φορτίο. Κάθε φορά μετρήστε τις στροφές του δρομέα του κινητήρα με ένα στροφόμετρο και το ηλεκτρικό ρεύμα τροφοδοτήσεως του  $I_\phi$  (ένδειξη αμπερόμετρου  $A_1$ ). Σημειώστε τα αποτελέσματα των μετρήσεων στον πίνακα αποτελεσμάτων 26.3.1. Στον ίδιο πίνακα σημειώστε και τη διολίσθηση του κινητήρα, που θα έχετε υπολογίσει για κάθε περίπτωση φορτίσεώς του.

**ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ 26.3.1**

U = ..... σταθερή		
n(στροφές/min)	$I_\phi$ (A)	s%
.....	.....	.....
.....	.....	.....
.....	.....	.....
.....	.....	.....

β) Από τον πίνακα αποτελεσμάτων χαράξτε τη χαρακτηριστική  $s\% = F(I_\phi)$ , που θα έχει τη μορφή της καμπύλης του σχήματος 26.3γ.

γ) Περιγράψτε συνοπτικά στο τετράδιό σας τις ενέργειες και τους χειρισμούς που πραγματοποιήσατε στην άσκηση. Διατυπώστε τις παρατηρήσεις και τα συμπεράσματά σας.



**Σχ. 26.3γ.**

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ ΕΒΔΟΜΟ

### ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΜΕ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΕΚΚΙΝΗΣΕΩΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΥΛΙΓΜΑΤΩΝ ΤΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

#### 27.1 Γενικά.

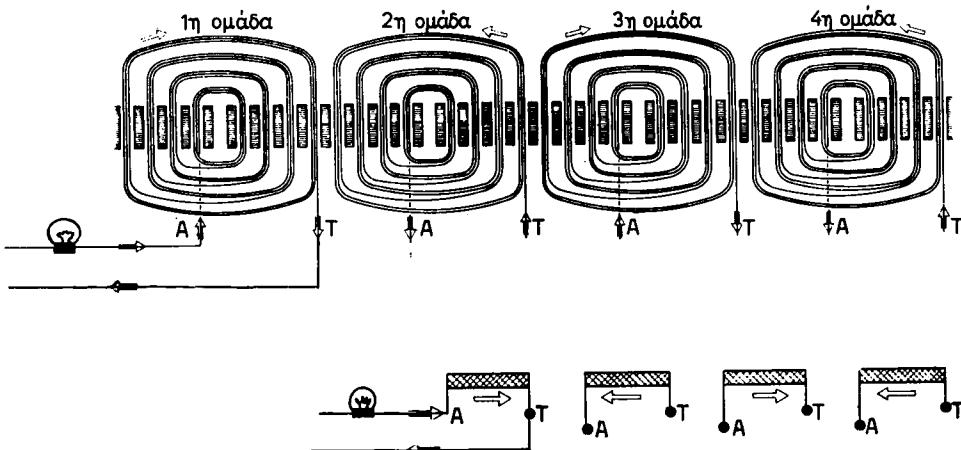
Η κατασκευή των κινητήρων αυτών είναι σχεδόν ίδια με τους κινητήρες με πυκνωτή εκκινήσεως. Στους κινητήρες αυτούς η διαφορά φάσεως μεταξύ των ηλεκτρικών ρευμάτων στο κύριο και βοηθητικό τύλιγμα δημιουργείται με τη βοήθεια της ωμικής αντιστάσεως που είναι συνδεμένη με το βοηθητικό τύλιγμα σε σειρά.

Σε πολλούς τύπους κινητήρων αυτού του είδους για να σχηματισθεί αυξημένη ωμική αντίσταση το βοηθητικό τύλιγμα κατασκευάζεται με αγωγό μικρής διατομής και με πολλές σπείρες.

Συναντούμε και κινητήρες που συνοδεύονται με πρόσθετη ωμική αντίσταση εξωτερικά. Η αντίσταση αυτή συνδέεται σε σειρά με το βοηθητικό τύλιγμα του κινητήρα.

#### 27.2 Ασκήσεις.

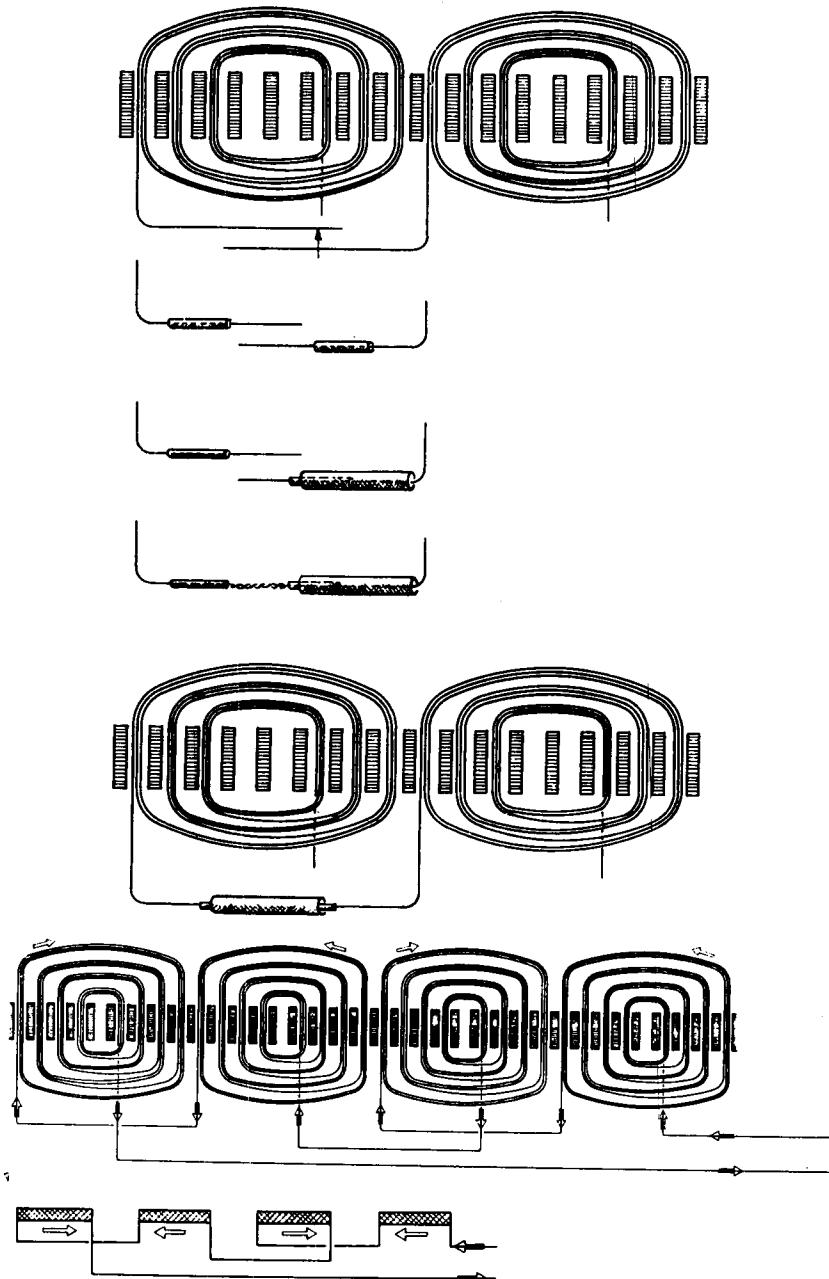
1. a) Με τη βοήθεια ωμόμετρου ή ενδεικτικού λαμπτήρα, αναγνωρίστε τα άκρα των ομάδων του κύριου και βοηθητικού τυλίγματος του αποσυναρμολογημένου κινητήρα με αντίσταση εκκινήσεως που θα σας δοθεί στο εργαστήριο (σχ. 27.2a).



Σχ. 27.2a.

Τυλίγματα κινητήρα με αντίσταση εκκινήσεως.

β) Μετά την αναγνώριση των άκρων των ομάδων που πραγματοποιήσατε στην άσκηση (α), συνδέστε τις ομάδες των τυλιγμάτων μεταξύ τους ακολουθώντας τη σειρά, όπως φαίνεται στο σχήμα 27.2β.

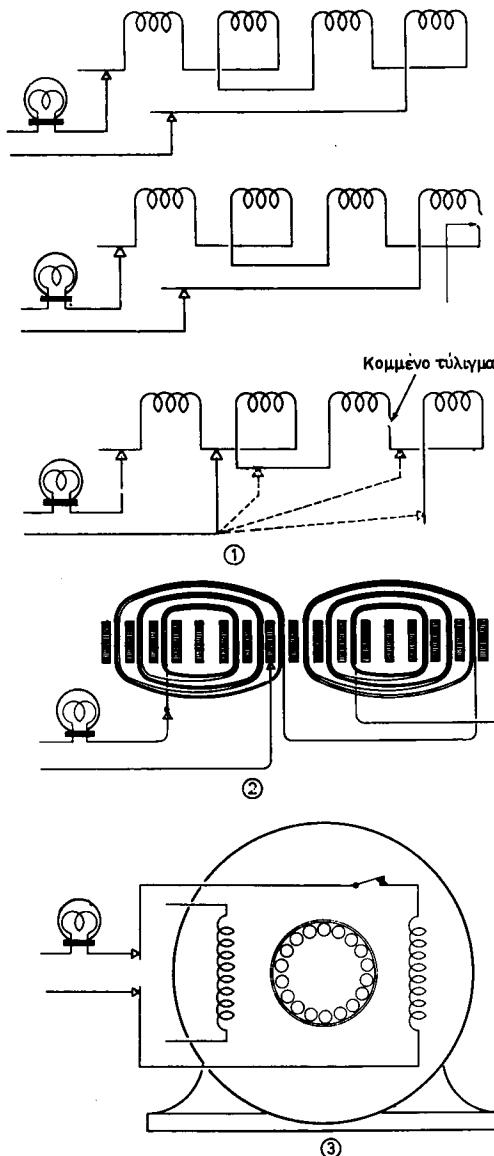


**Σχ. 27.2β.**

Σύνδεση ομάδων τυλιγμάτων κινητήρα με αντίσταση εκκινήσεως.

γ) Ελέγχετε με μέγγερ ή και με ενδεικτικό λαμπτήρα.

- Τη συνέχεια των τυλιγμάτων (έλεγχος για κακές συνδέσεις ή διακοπή) όπως στο σχήμα 27.2γ (1).
- Τη μόνωση των ομάδων των τυλιγμάτων, ως προς το «σώμα» του στάτη (γείωση) [σχ. 27.2γ (2)].
- Τη μόνωση μεταξύ των ομάδων των τυλιγμάτων μεταξύ τους [σχ. 27.2γ (3)].



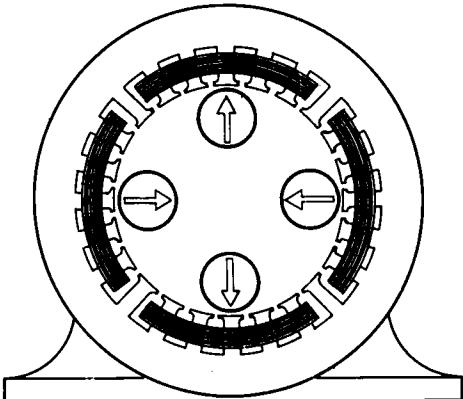
**Σχ. 27.2γ.**

Έλεγχος τυλιγμάτων κινητήρα με αντίσταση εκκινήσεως.

δ) Τροφοδοτήστε, μέτα από τον έλεγχο των τυλιγμάτων που κάνατε προηγουμένως, με ηλεκτρικό ρεύμα συνεχούς χαμηλής τάσεως, διαδοχικά τα τυλίγματα, κύριο και βοηθητικό, και με τη βοήθεια μικρής πυξίδας ελέγχετε τη διαδοχή των μαγνητικών πόλων του κινητήρα όπως στο σχήμα 27.2δ.

2. a) Συναρμολογήστε τον κινητήρα της ασκήσεως 1 και πραγματοποιήστε μια συνδεσμολογία ανάλογη με εκείνη του σχήματος 26.3β του κεφαλαίου 26, με τα όργανα και τις συσκευές ελέγχου που θα σας δοθούν. Τροφοδοτήστε τον κινητήρα με ηλεκτρικό ρεύμα και παρατηρήστε:

- Από τις ενδείξεις του αμπερόμετρου  $A_1$ , τη διαφορά του ηλεκτρικού ρεύματος εκκινήσεως από το ηλεκτρικό ρεύμα της κανονικής λειτουργίας του κινητήρα.
- Στο αμπερόμετρο  $A_2$ , τη διακοπή λειτουργίας του βοηθητικού τυλίγματος μετά την αποκατάσταση των κανονικών στροφών του κινητήρα.



Σχ. 27.26.

Έλεγχος διαδοχής μαγνητικών πόλων.

Υπολογίστε σε κάθε περίπτωση μεταβολής του φορτίου του κινητήρα τη φαινόμενη ισχύ  $N_\phi$  και το συντελεστή ισχύος συνφ.

β) Σημειώστε συνοπτικά στο τετράδιό σας τις ενέργειες και τους χειρισμούς που πραγματοποιήσατε στην άσκηση. Διατυπώστε τις παρατηρήσεις και τα συμπεράσματά σας.

β) Σταματήστε τη λειτουργία του κινητήρα και αντιστρέψτε τα άκρα του βοηθητικού κυκλώματος. Τροφοδοτήστε πάλι τον κινητήρα με ηλεκτρικό ρεύμα και παρατηρήστε την αλλαγή της φοράς περιστροφής του.

γ) Περιγράψτε συνοπτικά στο τετράδιό σας την όλη πορεία της εργασίας της ασκήσεως και διατυπώστε τις παρατηρήσεις και τα συμπεράσματά σας. Κάνετε την ίδια συνδεσμολογία που πραγματοποιήσατε στην άσκηση 2 ενός κινητήρα με αντίσταση εκκινήσεως και συνδέστε τον με μεταβλητό φορτίο.

Τροφοδοτήστε τον με ηλεκτρικό ρεύμα από το δίκτυο. Αυξομειώστε το φορτίο του κινητήρα σταδιακά. Σημειώστε σε κάθε μεταβολή του φορτίου τις ενδείξεις του αμπερόμετρου ( $A_1$ ), του βολτόμετρου ( $V$ ) και του βαττόμετρου ( $W$ ). Σημειώστε τα αποτελέσματα των μετρήσεών σας στον πίνακα αποτελεσμάτων 27.2.1.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ 27.2.1

U = ..... σταθερή			
$I_\phi$ (A)	N(W)	$N_\phi$ (VA)	συνφ
.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ ΟΓΔΟΟ

### ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΜΕ ΣΥΛΛΕΚΤΗ

#### 28.1 Γενικά.

Εκτός από τους σύγχρονους και ασύγχρονους κινητήρες (κεφάλαια 23,24,25,26 και 27), στις εφαρμογές του εναλλασσόμενου ρεύματος χρησιμοποιούνται και κινητήρες με συλλέκτη, για να επιτυγχάνουν μεγαλύτερη ρύθμιση της ταχύτητας περιστροφής. Αυτό είναι το σημαντικότερο μειονέκτημα των ασύγχρονων κινητήρων.

Η κατασκευή των κινητήρων με συλλέκτη που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν στο εναλλασσόμενο ρεύμα, πρέπει να είναι ιδιαίτερα προσεγμένη για να αντιμετωπίζονται εύκολα τα διάφορα λειτουργικά προβλήματα, όπως είναι έντονα φαινόμενα αυτεπαγωγής, οι αυξημένες απώλειες από δινορεύματα, η μαγνητική υστέρηση κ.ά.

#### 28.2 Μονοφασικό κινητήρες σειράς με συλλέκτη.

Η λειτουργία των κινητήρων αυτών στηρίζεται στην ίδια αρχή που στηρίζεται η λειτουργία των κινητήρων συνεχούς ρεύματος και παρουσιάζουν βασικά τα ίδια χαρακτηριστικά λειτουργίας.

Παρουσιάζουν όμως και ορισμένες διαφορές, όσον αφορά τη κατασκευή τους, από τους κινητήρες σειράς με συνεχές ρεύμα. Οι διαφορές αυτές συντελούν ώστε να λειτουργούν ομαλά στο εναλλασσόμενο ρεύμα και να μη θερμαίνονται υπερβολικά, η δε απόδοσή τους να βρίσκεται σε ικανοποιητικό επίπεδο.

Σε μερικές περιπτώσεις, για να περιορισθούν οι απώλειες από τα δινορεύματα και τη μαγνητική υστέρηση, τροφοδοτούνται οι κινητήρες σειράς με ηλεκτρικό ρεύμα συχνότητας 25 ή 16 2/3 Hz.

Οι μικροί κινητήρες αυτού του είδους, ισχύος μέχρι 500 W, λειτουργούν και στο συνεχές ρεύμα και ονομάζονται κινητήρες Universal. Τα χαρακτηριστικά λειτουργίας αυτών των κινητήρων είναι τα ίδια με εκείνα των κινητήρων συνεχούς ρεύματος σειράς. Οι κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος σειράς χρησιμοποιούνται στην ηλεκτρική έλξη, για την κίνηση μικρών εργαλείων (δράπανο κλπ.), οικιακών συσκευών κλπ.

#### 28.3 Κινητήρες αντιδράσεως.

Οι κινητήρες αντιδράσεως φέρουν στο στάτη μονοφασικό τύλιγμα, όπως και οι ασύγχρονοι μονοφασικοί κινητήρες, διαφέρουν όμως από αυτούς στο ότι δεν χρησιμοποιούν βοηθητικό τύλιγμα εκκίνησεως.

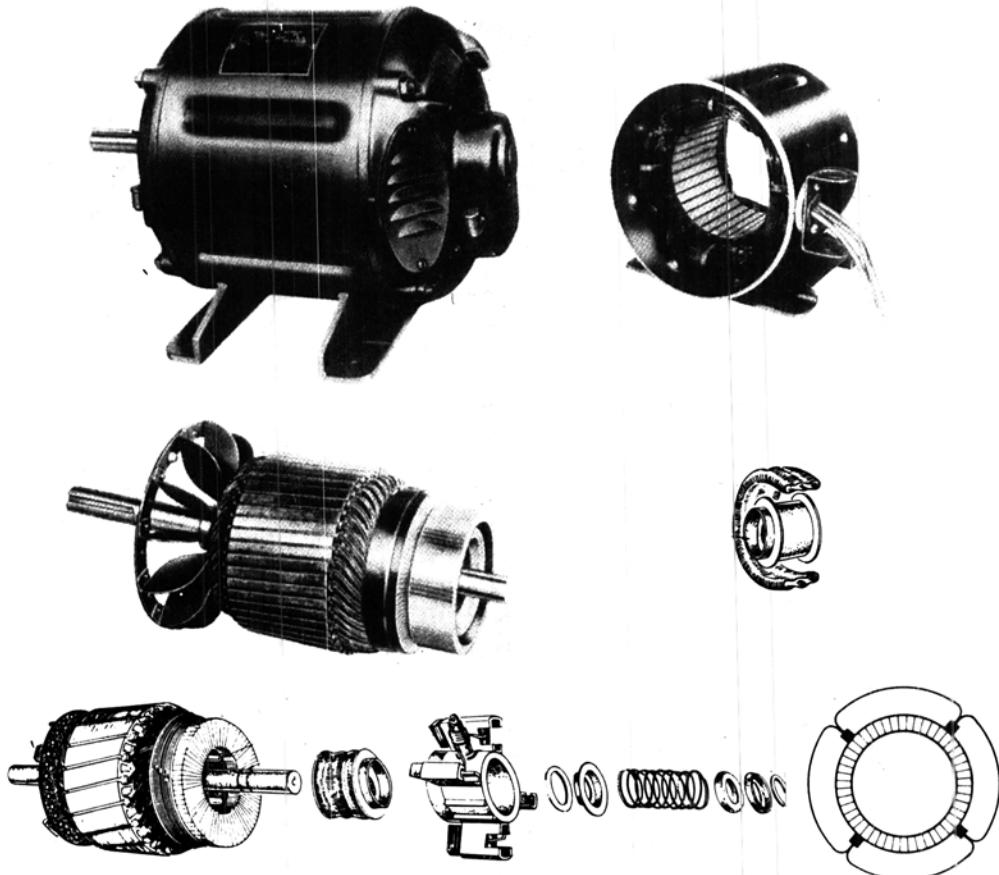
Στο δρομέα τους έχουν τύλιγμα όπως οι ηλεκτρικές μηχανές συνεχούς ρεύματος. Στην επιφάνεια του συλλέκτη των κινητήρων αυτων εφάπτονται οι ψήκτρες, που είναι βραχυκλωμένες ανά δύο μεταξύ τους. Οι ψήκτρες είναι τοποθετημένες σε ειδικό μηχανισμό, που εχει τη δυνατότητα να περιστρέφεται κατά μία γωνία 90° και έτσι να μετατοπίζεται η θέση τους πάνω στο συλλέκτη. Το τύλιγμα του δρομέα των κινητήρων αντιδράσεως δεν τροφοδοτείται με ηλεκτρικό ρεύμα από εξωτερική πηγή. Όταν όμως το τύλιγμα του στάτη τροφοδοτείται με εναλλασσόμενη τάση τότε επάγεται στο τύλιγμα του δρομέα Η.Ε.Δ.

Η ταχύτητα περιστροφής και η ροπή των κινητήρων αυτών ρυθμίζονται ανάλογα με τη γωνία μετατοπίσεως των ψηκτρών πάνω στο συλλέκτη. Η φορά περιστροφής του κινητήρα εξαρτάται επίσης και από τη φορά μετατοπίσεως των ψηκτρών.

Τα χαρακτηριστικά λειτουργίας των κινητήρων αυτών, για ορισμένη θέση των ψηκτρών, μοιάζουν με εκείνα των κινητήρων σειράς.

Σε κανονική φόρτωση είναι δυνατή η ρύθμιση των στροφών του κινητήρα μεταξύ 60% και 130% από τον κανονικό αριθμό των στροφών του. Πρέπει να αποφεύγεται η λειτουργία των κινητήρων αντιδράσεως χωρίς φαρτίο, όπως και στους κινητήρες σειράς, γιατί διατρέχουν κίνδυνο να καταστραφούν από υπερβολική ταχύτητα περιστροφής του δρομέα τους. Ξεκινούν με μικρή ένταση ηλεκτρικού ρεύματος και με σχετικά μεγάλη ροπή, γι' αυτό και δεν χρειάζονται εκκινητή (απ' ευθείας εκκίνηση).

Στο σχήμα 28.3 φαίνεται η κατασκευαστική διαμόρφωση ενός κινητήρα αντιδράσεως.



Σχ. 28.3.

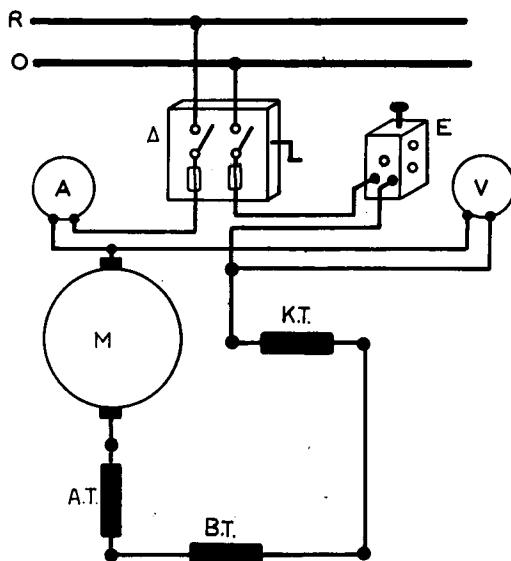
Κατασκευαστική διαμόρφωση κινητήρα αντιδράσεως.

#### 28.4 Ασκήσεις.

1. a) Αναγνωρίστε τα διάφορα μέρη του κινητήρα σειράς, που θα σας δοθεί στο εργαστήριο. Γράψτε συνοπτικά στο τετράδιό σας τις κατασκευαστικές διαφορές που παρουσιάζουν σε σύγκριση με τους αντίστοιχους κινητήρες του συνεχούς ρεύματος. Θα παρατηρήσετε ότι τα τυλίγματα του στάτη είναι τοποθετημένα μέσα σε αυλάκια. Πιθανόν στα αυλάκια του στάτη να είναι αναπτυγμένα τρία τυλίγματα: το κύριο τύλιγμα των πόλων, το τύλιγμα των βοηθητικών πόλων και το τύλιγμα αντισταθμίσεως.

β) Συνδεσμολογήστε τα τυλίγματα του κινητήρα, τα όργανα και τις συσκευές ελέγχου όπως στο σχήμα 28.4a.

Τροφοδοτήστε τον κινητήρα με ηλεκτρικό ρεύμα από το δίκτυο κλείνοντας το διακόπτη  $\Delta$ . Διαπιστώστε ότι αυξομειώνοντας τη ρυθμιστική αντίσταση  $E$  αυξομειώνετε τις στροφές του κινητήρα με την τάση τροφοδοτήσεώς του.



Σχ. 28.4a.

Συνδεσμολογία κινητήρα σειράς.

K.T. = Τύλιγμα κυρίων πόλων. B.T. = Τύλιγμα βοηθητικών πόλων. A.T. = Τύλιγμα αντισταθμίσεως.  
E = Ρυθμιστική αντίσταση. Δ = Ασφαλειοδιακόπτης.

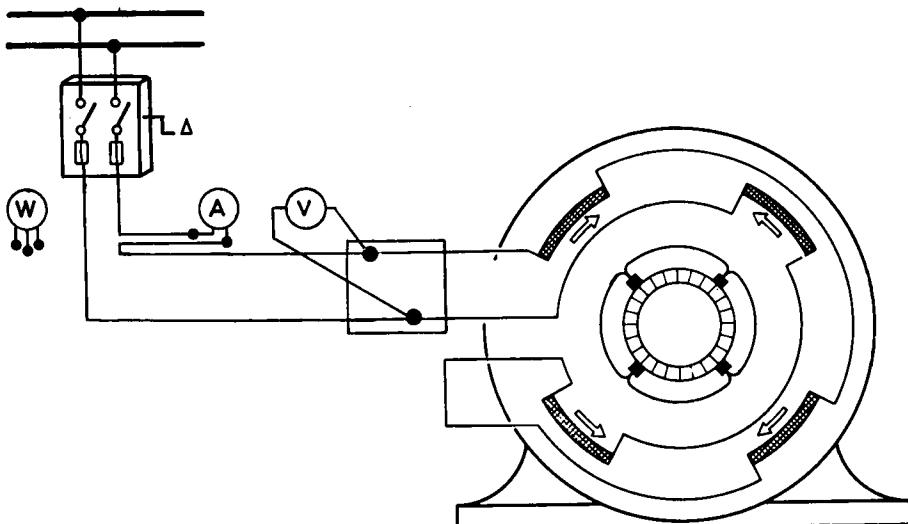
γ) Διακόψτε τη λειτουργία του κινητήρα. Φορτίστε τον με μεταβλητό φορτίο. Τροφοδοτήστε τον με ηλεκτρικό ρεύμα και διαπιστώστε την προσαρμογή της ταχύτητας περιστροφής με την μεταβολή του φορτίου (ανάλογη συμπεριφορά με τους κινητήρες σειράς του Σ.Ρ.).

δ) Σχεδιάστε στο τετράδιό σας τη συνδεσμολογία της ασκήσεως. Περιγράψτε συνοπτικά την πορεία της όλης εργασίας και διατυπώστε τις παρατηρήσεις και τα συμπεράσματά σας.

2. a) Αναγνωρίστε το μικρό κινητήρα Universal που θα σας δοθεί στο εργαστήριο. Παρατηρήστε στον πίνακα συνδεσμολογιών τους ακροδέκτες του κινητήρα που αντιστοιχούν για τροφοδότηση με εναλλασσόμενο (AC) και με συνεχές ρεύμα (DC).
- β) Τροφοδοτήστε διαδοχικά τον κινητήρα με Σ.Ρ. και με Ε.Ρ. και με την ίδια τιμή τάσεως τροφοδοτήσεως. Σε κάθε περίπτωση μετρήστε τις στροφές του κινητήρα με ένα στροφόμετρο. Διαπιστώστε ότι οι στροφές (ανά λεπτό) κατά την τροφοδότηση του κινητήρα με Σ.Ρ. είναι περίπου κατά 15% περισσότερες από εκείνες κατά την τροφοδότησή του με Ε.Ρ. Δικαιολογήστε τη διαφορά αυτή των στροφών και διατυπώστε τις παρατηρήσεις και τα συμπεράσματά σας στο τετράδιο ασκήσεων.

3. Αναγνωρίστε τα μέρη του κινητήρα **αντιδράσεως** που θα σας δοθεί στο εργαστήριο. Παρατηρήστε το μηχανισμό μετατοπίσεως των ψυκτρών. Ελέγχετε αν οι ψήκτρες του κινητήρα είναι βραχυκλωμένες.

β) Πραγματοποιήστε τη συνδεσμολογία του κινητήρα όπως στο σχήμα 28.4β. Συνδέστε στον κινητήρα φορτίο ανάλογο με την ονομαστική του ισχύ.



**Σχ. 28.4β.**  
Συνδεσμολογία κινητήρα αντιδράσεως.

γ) Τροφοδοτήστε τον κινητήρα με ηλεκτρικό ρεύμα από το δίκτυο αφού κλείστε το διακόπτη Δ (ασφαλειοδιακόπτη). Μετακινήστε το μηχανισμό του ψηκτροφορέα ώστε ότου ο δρομέας του κινητήρα να αποκτήσει τον ονομαστικό αριθμό στροφών. Στο αμπερόμετρο (Α) παρακολουθήστε τις μεταβολές του ηλεκτρικού ρεύματος φορτίσεως του.

Αντιστρέψτε τη φορά περιστροφής του ψηκτροφορέα και παρατηρήστε την αλλαγή της φοράς του δρομέα του κινητήρα. Ο χειρισμός αυτός θα πραγματοποιηθεί αφού προηγουμένως έχετε διακόψει τη λειτουργία του κινητήρα και έχετε επαναφέρει τις ψήκτρες στην αρχική τους θέση (θέση εκκινήσεως).

δ) Σε κανονική φόρτιση του κινητήρα σημειώστε τις ενδείξεις του αμπερόμετρου (Α), βολτόμετρου (V) και του βαττόμετρου (W). Από τις ενδείξεις των οργάνων και από τη σχέση  $\sigma_{\text{unf}} = \frac{N}{U \cdot I}$

υπολογίστε το συντελεστή ισχύος του κινητήρα.

ε) Επαναλάβετε τις ίδιες μετρήσεις και τους ίδιους υπολογισμούς μειώνοντας πρώτα τις στροφές του κινητήρα κατά 20% και ύστερα αυξάνοντας τις στροφές κατά 20%. Η αυξομείωση των στροφών του κινητήρα πρέπει να γίνεται σε σχέση με τον ονομαστικό αριθμό στροφών του κινητήρα.

στ) Σχεδιάστε στο τετράδιό σας τη συνδεσμολογία της ασκήσεως και περιγράψτε, συνοπτικά τις ενέργειες και τους χειρισμούς που πραγματοποιήσατε και διατυπώστε τις παρατηρήσεις και τα συμπεράσματά σας.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ ΕΝΑΤΟ

### ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ ΙΣΧΥΟΣ

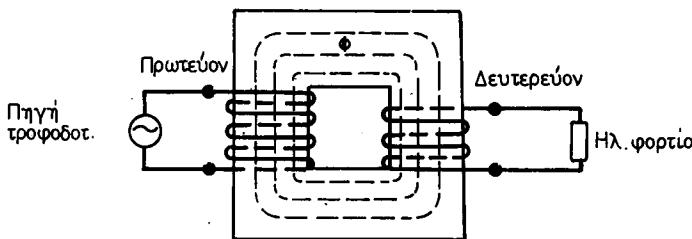
#### 29.1 Γενικά.

Στατός μετασχηματιστής ή απλώς μετασχηματιστής (M/T) είναι μια ηλεκτρομαγνητική διάταξη της οποίας η λειτουργία στηρίζεται στο φαινόμενο της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής, χωρίς η διάταξη να έχει στρεφόμενα μέρη.

Αποτελείται από δύο ηλεκτρικά κυκλώματα, τα οποία με τη βοήθεια ενός σιδηροπυρήνα βρίσκονται σε στενή μαγνητική σύζευξη μεταξύ τους.

Σκοπός του M/T είναι να αλλάζει την τιμή της ηλεκτρικής τάσεως και εντάσεως της ισχύος εναλλασσόμενου ρεύματος, που δέχεται στο κύκλωμα εισόδου (**πρωτεύον κύκλωμα**) και να την αποδίδει στο κύκλωμα εξόδου (**δευτερεύον κύκλωμα**) χωρίς σημαντικές απώλειες. Η όλη διαδικασία του **μετασχηματισμού** των χαρακτηριστικών της τάσεως και εντάσεως πραγματοποιείται με σταθερή τη συχνότητα του ηλεκτρικού ρεύματος.

Η μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας από το πρωτεύον κύκλωμα στο δευτερεύον (το δευτερεύον μπορεί να είναι ένα ή περισσότερα τυλίγματα) οφείλεται στην κυκλοφορία μαγνητικής ροής Φ μέσα στο σιδηροπυρήνα του M/T, που συνήθως αποτελεί ένα κλειστό μαγνητικό κύκλωμα (σχ. 29.1).

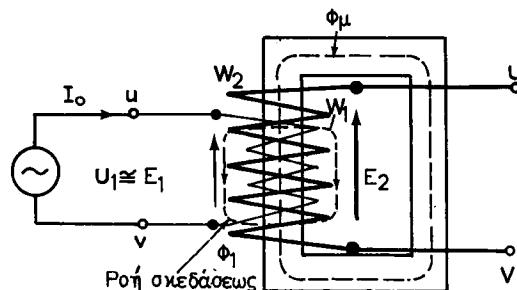


Σχ. 29.1.  
Διάταξη αρχης λειτουργίας μετασχηματιστή.

#### 29.2 Λειτουργία M/T χωρίς φορτίο.

Όταν στο δευτερεύον M/T δεν έχει συνδεθεί ηλεκτρικό φορτίο και το πρωτεύον τροφοδοτείται με ηλεκτρικό ρεύμα με σταθερή τιμή καθώς και με σταθερή συχνότητα έχουμε λειτουργία χωρίς φορτίο (σχ. 29.2).

Στην περίπτωση αυτή το πρωτεύον τύλιγμα διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα μικρής εντάσεως  $I_0$ , 1-5% από την τιμή εντάσεως  $I_1$ , του πρωτεύοντος σε κανονική φόρτιση του M/T. Η ένταση αυτή μπορεί να φθάσει το 10% της  $I_1$ , στους μικρούς M/T. Οι πτώσεις τάσεως του πρωτεύοντος, ωμική  $R_1 I_0$  και αυτεπαγωγική  $X_1 I_0$  (λόγω της ροής σκεδάσεως) είναι πολύ μικρές και γι' αυτό τις θεωρούμε αμελητέες. Έτσι, με μεγάλη προσέγγιση, η τάση  $U_1$ , που εφαρμόζεται στο πρωτεύον του M/T, είναι ίση με την ΗΕΔ Ε<sub>1</sub>, που αναπτύσσεται από αυτεπαγωγή στο τύλιγμα. Δηλαδή:  $U_1 = E_1$ .



**Σχ. 29.2.**  
Λειτουργία μετασχηματιστή χωρίς φορτίο

Στο δευτερεύον τύλιγμα η πολική τάση  $U_2$  είναι ίση με την ΗΕΔ που αναπτύσσεται σ' αυτό από επαγωγή. Δηλαδή:  $U_2 = E_2$ .

Από τις « Ηλεκτρικές Μηχανές » είναι γνωστό ότι:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{W_1}{W_2} = K$$

όπου:  $W_1, W_2$  ο αριθμός σπειρών πρωτεύοντος και δευτερεύοντος αντιστοίχως.

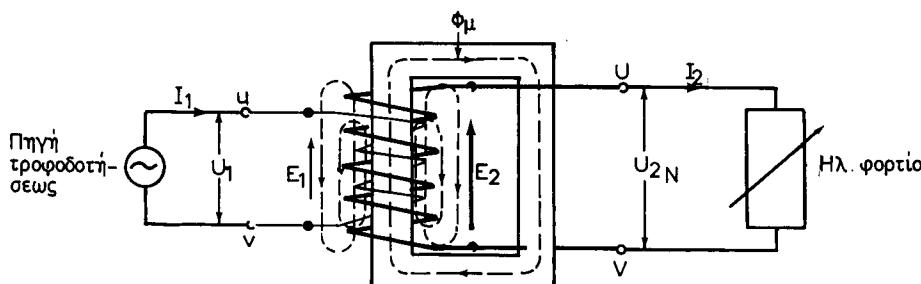
### 29.3 Λειτουργία Μ/Τ με φορτίο.

Όταν στο δευτερεύον Μ/Τ συνδεθεί ηλεκτρικό φορτίο και το πρωτεύον τροφοδοτείται με ηλεκτρικό ρεύμα, όπως στην προηγούμενη περίπτωση, έχουμε λειτουργία με φορτίο (σχ. 29.3a). Στην περίπτωση αυτή η ισχύς που απορροφά ο Μ/Τ από την πηγή τροφοδοτήσεως του είναι:

$$N_1 = U_1 \cdot I_1 \text{ συνφ}_1$$

και η ισχύς που αποδίδεται στο ηλεκτρικό φορτίο είναι:

$$N_2 = U_2 \cdot I_2 \text{ συνφ}_2$$



**Σχ. 29.3a.**  
Λειτουργία μετασχηματιστή με φορτίο.

Επειδή οι Μ/Τ λειτουργούν με πολύ μεγάλο βαθμό αποδόσεως δεχόμαστε ότι:

$$N_1 = N_2$$

Με την παραδοχή αυτή κατά προσέγγιση έχουμε:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} = K$$

$$\Delta \text{ηλαδή: } U_1 = KU_2 \quad \text{και} \quad I_1 = \frac{I_2}{K}$$

Από το ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα του M/T, κατό τη λειτουργία του με φορτίο θα έχουμε, για τις σύνθετες αντιστάσεις  $Z_1, Z_2$ , τις ωμικές  $R_1, R_2$  και για τις αυτεπαγωγικές  $X_1, X_2$ , του πρωτεύοντος και του δευτερεύοντος τυλίγματος αντιστοίχως:  $Z_1 = K^2 \cdot Z_2$ ,  $R_1 = K^2 R_2$  και  $X_1 = K^2 X_2$ . Με τις μεταβολές του φορτίου, σταν η τάση  $U_1$  παραμένει σταθερή, η τάση  $U_2$  μεταβάλλεται σε συνάρτηση με το συντελεστή ισχύος συνφ<sub>2</sub> και την τιμή του φορτίου (σχ. 29.3β.).

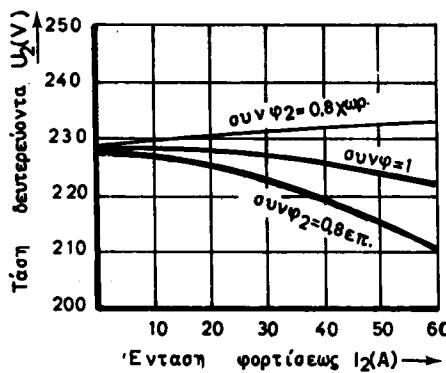
Τη μεταβολή της  $U_2$  σε σχέση με την  $E_2$  την ονομάζουμε **διακύμανση τάσεως ε** και είναι:

$$\epsilon \% = \frac{E_2 - U_2}{U_2} \cdot 100\%$$

Στους M/T πρέπει να είναι:  $\epsilon < 5\%$

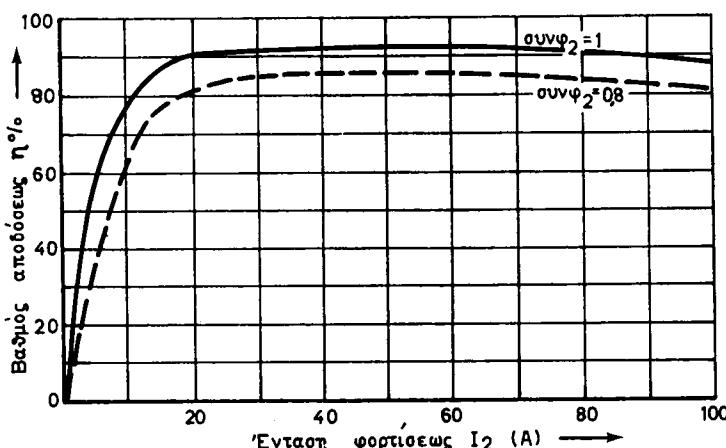
Ο βαθμός αποδόσεως του M/T είναι:

$$\eta = \frac{N_2}{N_1} = \frac{N_2}{N_2 + N_{\text{απ}}}$$



Σχ. 29.3β.

Χαρακτηριστικές με φορτίο μετασχηματιστή.



Σχ. 29.3γ.

Μεταβολή βαθμού αποδόσεως μετασχηματιστή.

όπου:  $N_{\text{απ}}$  το σύνολο των απώλειών του Μ/Τ. Δηλαδή:

$$N_{\text{απ}} = N_n + N_\mu$$

όπου:  $N_n = \text{Ηλεκτρικές απώλειες ή απώλειες χαλκού}.$

Οι απώλειες αυτές οφείλονται στην κατανάλωση ενέργειας στην ισοδύναμη αμική αντίσταση του πρωτεύοντος και του δευτερεύοντος τυλίγματος του Μ/Τ (Νόμος Joule). Οι απώλειες αυτές δεν είναι σταθερές. Εξαρτώνται από το φορτίο του Μ/Τ.

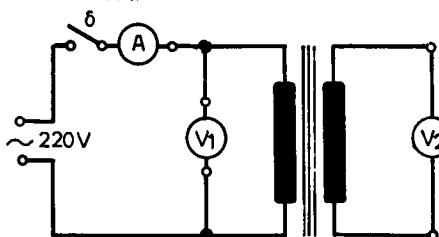
και  $N_\mu = \text{Μαγνητικές απώλειες ή απώλειες σιδήρου}.$

Αυτές οφείλονται στην κατανάλωση ενέργειας στο σιδηροπυρήνα (δινορρεύματα και μαγνητική υστέρηση). Οι απώλειες αυτές είναι σταθερές και είναι σχεδόν ίδιες με τις απώλειες που παρουσιάζονται και στη λειτουργία του Μ/Τ χωρίς φορτίο.

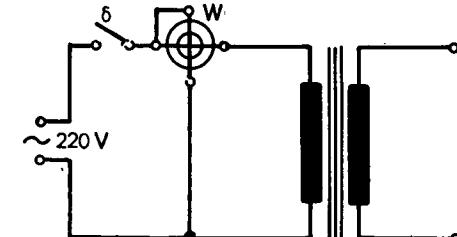
Στο σχήμα 29.3 γ. φαίνεται η μεταβολή του βαθμού αποδόσεως η του Μ/Τ με το ηλεκτρικό ρεύμα φορτίσεως  $I_2$  και το είδος φορτίσεως (συνφ<sub>2</sub>).

#### 29.4 Ασκήσεις.

- Αναγνωρίστε με ένα ωμόμετρο τα άκρα των τυλιγμάτων πρωτεύοντος και δευτερεύοντος του μονοφασικού Μ/Τ που θα σας δοθεί στο εργαστήριο.
- Πραγματοποιήστε τη συνδεσμολογία του Μ/Τ με τα όργανα ελέγχου όπως στο σχήμα 29.4 α.



Σχ. 29.4α.



Σχ. 29.4β.

γ) Τροφοδοτήστε το πρωτεύον του Μ/Τ με την τάση του ηλεκτρικού δικτύου (π.χ. 220V).

Σημειώστε τις ενδείξεις των οργάνων A, V<sub>1</sub>, και V<sub>2</sub>.

Το αμπερόμετρο A σας δείχνει το ηλεκτρικό ρεύμα λειτουργίας του Μ/Τ χωρίς φορτίο.

Υπολογίστε το ρεύμα αυτό ( $I_0$ ) σε ποσοστά επί % ως προς την ονομαστική ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος του Μ/Τ, που γράφει η πινακίδα του.

Από τις ενδείξεις των βολτομέτρων V<sub>1</sub>, V<sub>2</sub> (πολικές τάσεις) υπολογίστε τη σχέση μεταφοράς:  $K = \frac{U_1}{U_2}$  του Μ/Τ.

δ) Σχεδιάστε τη συνδεσμολογία της ασκήσεως στο τετράδιό σας και σημειώστε τα χαρακτηριστικά του Μ/Τ που δίνει ο κατασκευαστής και τα οποία γράφονται στην πινακίδα του. Συγκρίνετε τα χαρακτηριστικά αυτά με εκείνα που υπολογίσατε ( $I_0$ , K, U<sub>2</sub> κλπ.). Διατυπώστε τις παρατηρήσεις και τα συμπεράσματά σας.

- Στο πρωτεύον κύκλωμα του Μ/Τ της ασκήσεως 1 ή σε άλλον όμοιο Μ/Τ συνδέστε ένα βαττόμετρο (σχ. 29.4β) που θα σας δοθεί ή θα το έχετε εκλέξει

εσείς σύμφωνα με τα στοιχεία του Μ/Τ που γράφει ο κατασκευαστής στην πινακίδα του.

β) Τροφοδοτήστε το Μ/Τ από το ηλεκτρικό δίκτυο με ρεύμα και σημειώστε την ένδειξη του βαττόμετρου.

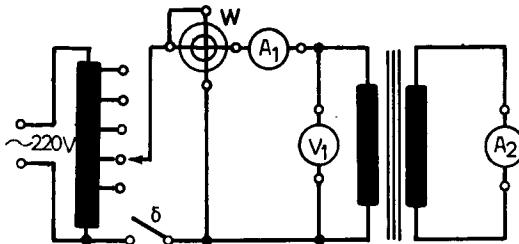
Το βαττόμετρο στην περίπτωση αυτή σας δείχνει σχεδόν τις μαγνητικές απώλειες ή απώλειες σιδήρου ( $N_p$ ) του Μ/Τ. Οι απώλειες στην ωμική αντίσταση του πρωτεύοντος τυλίγματος του Μ/Τ θεωρούνται αμελητέες.

γ) Υπολογίστε την ποιότητα του σιδηροπυρήνα του Μ/Τ σε απώλειες σιδήρου ανά kp από τη σχέση:

$$\frac{\text{ένδειξη βαττόμετρου}}{\text{βάρος σιδηροπυρήνα}} \quad \frac{W}{kp}$$

Επάνω στην πινακίδα του Μ/Τ το βάρος γράφεται σε kp. Σε αντίθετη περίπτωση θα σας δοθεί αυτό από τον καθηγητή σας.

3. α) Με το Μ/Τ, που θα σας δοθεί στο εργαστήριο, και τα κατάλληλα όργανα ελέγχου, που θα διαλέξετε εσείς με τη βοήθεια του καθηγητή σας, πραγματοποιήστε τη συνδεσμολογία του σχήματος 29.4γ.



Σχ. 29.4γ.

β) Τροφοδοτήστε το Μ/Τ με ηλεκτρικό ρεύμα ρυθμιζόμενης τάσεως μέχρι τα αμπερόμετρα  $A_1$ , και  $A_2$  να σας δείξουν τις ονομαστικές τιμές των ρευμάτων  $I_1$ ,  $I_2$  (εντάσεις κανονικής φορτίσεως του Μ/Τ), που γράφονται στην πινακίδα του Μ/Τ).

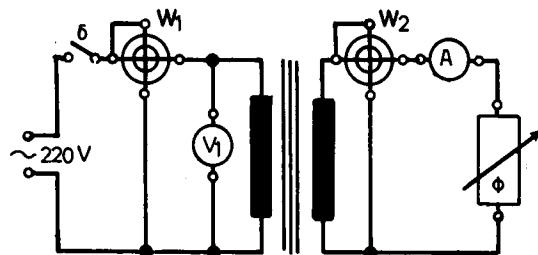
Σημειώστε την ένδειξη του βολτόμετρου  $V_1$ , που είναι στην περίπτωση αυτή η **τάση βραχυκυκλώσεως**  $U_k$  του Μ/Τ.

Από τη σχέση :  $U_k \% = \frac{U_k}{U_1} \cdot 100$  υπολογίστε την τάση βραχυκυκλώσεως του Μ/Τ σε ποσοστό % της ονομαστικής τάσεως του πρωτεύοντος του Μ/Τ.

γ) Τη στιγμή που το βολτόμετρο  $V_1$  σας δείχνει την τάση βραχυκυκλώσεως του Μ/Τ, το βαττόμετρο  $W$  δείχνει τις απώλειες χαλκού  $N_n$  του Μ/Τ σε κανονική φόρτιση.

δ) Σημειώστε συνοπτικά στο τετράδιό σας την όλη πορεία της ασκήσεως και διατυπώστε τις παρατηρήσεις και τα συμπεράσματά σας.

4. α) Με το Μ/Τ, που θα σας δοθεί στο εργαστήριο, και τα όργανα ελέγχου που θα διαλέξετε δύναστε στις προηγούμενες ασκήσεις, πραγματοποιήστε τη συνδε-



Σχ. 29.4δ.

συμολογία του σχήματος 29.4δ συνδέοντας στο δευτερεύον κύκλωμά του μεταβλητό ηλεκτρικό φορτίο με συνφ = 1 (π.χ. λυχνίες πυρακτώσεως ή ένα ροοστάτη).

β) Τροφοδοτήστε το πρωτεύον του Μ/Τ με ηλεκτρικό ρεύμα σταθερής τάσεως  $U_1$ , (ονομαστική του Μ/Τ).

Αυξήστε το φορτίο  $\Phi$  μέχρι να φθάσει την τιμή  $110 \div 120\%$  του ονομαστικού φορτίου του Μ/Τ (το ονομαστικό φορτίο γράφεται στην πινακίδα του Μ/Τ).

Σημειώστε τις ενδείξεις των οργάνων στον πίνακα αποτελεσμάτων 29.4.1.

Επαναλάβετε τις μετρήσεις αλλάζοντας το φορτίο. Χρησιμοποιήστε μεταβλητό φορτίο με συνφ =  $0,6 \div 0,8$ . Σημειώστε τις ενδείξεις των οργάνων, στις περιπτώσεις αυτές, στον πίνακα αποτελεσμάτων 29.4.1.

γ) Από τα αποτελέσματα των προηγουμένων μετρήσεων σε κάθε περίπτωση, και αφού υπολογίσετε το βαθμό αποδόσεως  $\eta\%$  του Μ/Τ, χαράξτε τις χαρακτηριστικές καμπύλες  $\eta\% = F(I_2)$  όπως στο σχήμα 29.3.γ.

δ) Σε κάθε περίπτωση φορτίσεως του Μ/Τ (διαφορετικό συνφ) υπολογίστε από τη σχέση:

$$\epsilon\% = \frac{E_2 - U_2}{U_2} \cdot 100\%$$

τη διακύμανση τάσεως, που παρουσιάζει ο Μ/Τ στο ονομαστικό του φορτίο.

ε) Σχεδιάστε τη συνδεσμολογία της ασκήσεως στο τετράδιό σας. Σημειώστε τα χαρακτηριστικά στοιχεία του Μ/Τ, των οργάνων ελέγχου και του φορτίου που δίνουν οι κατασκευαστές τους. Περιγράψτε συνοπτικά την πορεία της ασκήσεως και διατυπώστε τις παρατηρήσεις και τα συμπεράσματά σας.

#### ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ 29.4.1

U <sub>1</sub> = ..... σταθερή											
συνφ = 1				συνφ = 0,8				συνφ = 0,6			
I <sub>2</sub> (A)	N <sub>1</sub> (W)	N <sub>2</sub> (W)	η%	I <sub>2</sub> (A)	N <sub>1</sub> (W)	N <sub>2</sub> (W)	η%	I <sub>2</sub> (A)	N <sub>1</sub> (W)	N <sub>2</sub> (W)	η%
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΑΚΟΣΤΟ

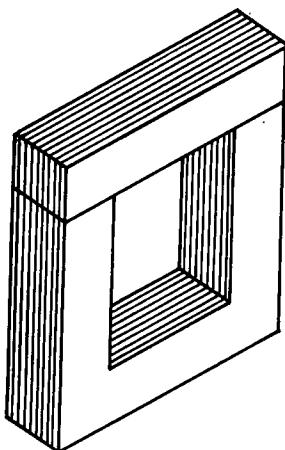
### ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΙΚΡΟΥ ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΟΥ Μ/Τ

#### 30.1 Γενικά.

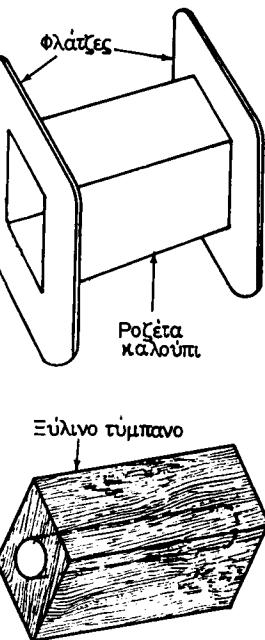
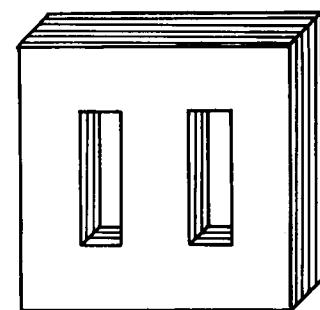
##### 30.1.1 Κατασκευή τυλιγμάτων μονοφασικού Μ/Τ.

Οι πυρήνες των μονοφασικών Μ/Τ κατασκευάζονται με μαγνητικά ελάσματα από πυριτιούχο χάλυβα. Τα ελάσματα αυτά έχουν πάχος 0,35-0,5 mm και μονωτική κάλυψη από βερνίκι ή ειδικό εμποτισμένο χαρτί, για να περιορίζονται οι απώλειες από δινορρεύματα. Το σχήμα που κόβονται τα ελάσματα του πυρήνα είναι, συνήθως, **Ε Ι Π** ή **Τ**. Οι σιδηροπυρήνες των Μ/Τ που σχηματίζονται με τα ελάσματα αυτά είναι δύο ειδών:

- Τύπου πυρήνα (σχ. 30.1α) και
- Τύπου μανδύα (σχ. 30.1β).



Σχ. 30.1α.



Σχ. 30.1γ.

Για να κατασκευάσουμε ένα μικρό Μ/Τ πρέπει προηγουμένως να ετοιμάσουμε μια ροζέτα-καλούπι από μονωτικό χαρτόνι πάχους,  $0,8 \div 1,5$  mm φορμαρισμένο πάνω σε ξύλινο τύμπανο με διαστάσεις διατομής και μήκους ανάλογες με τις διαστάσεις του σιδηροπυρήνα. Στα πλαϊνά αυτής της βάσεως κολλάμε με ψυχρή κόλλα δύο φλάντζες από μονωτικό χαρτόνι, φίμπερ, πρεσπάν ή βακελίτη (σχ. 30.1γ).

Μετά την προετοιμασία του καλουπιού, που αποτελεί τη βάση περιελίξεως των τυλιγμάτων του Μ/Τ, αρχίζομε το τύλιγμα. Πρώτα πραγματοποιούμε το τύλιγμα της χαμηλής τάσεως του Μ/Τ με το χέρι ή με περιελίκτρια, φροντίζοντας πάντα να περιστρέφομε το σύρμα με την ίδια φορά. Στην αρχή και στο τέλος της περιελίξεως του τυλιγμάτος πρέπει να αφήσουμε έξω από το τύλιγμα τα δύο άκρα του. Στα δύο αυτά άκρα φτιάχνομε με πολύκλωνο σύρμα και με επένδυση από μονωτικό «μακαρόνι» (κυλινδρικός μονωτικός σωλήνας) τους ακροδέκτες του τυλιγμάτος.

Το πολύκλωνο σύρμα χρησιμοποιείται στην περίπτωση αυτή για λόγους μεγαλύτερης μηχανικής αντοχής και ευκαμψίας. Τους ακροδέκτες του τυλιγμάτος τους στερεώνομε κατάλληλα με δέσιμο ή με την κάλυψη της πρώτης στρώσεως.

Στο τέλος κάθε στρώσεως του τυλιγμάτος παρεμβάλομε μια λωρίδα από κηρόχαρτο πάχους  $0,03 \div 0,04\text{mm}$ . Μετά από το τελείωμα ενός τυλιγμάτος παρεμβάλομε μια λωρίδα «πρεσπάν» πάχους  $0,2 \div 0,3\text{mm}$ .

Τα τυλιγμάτα ψηλής και χαμηλής τάσεως τα διαχωρίζομε με ένα φύλλο «πρεσπάν» πάχους  $0,5\text{mm}$  και με ένα φύλλο κηρόπανο «στέρλιν».

Για να μην πέφτουν οι τελευταίες σπείρες της στρώσεως πάνω στις σπείρες της προηγούμενης στρώσεως του τυλιγμάτος, πρέπει το μήκος κάθε στρώσεως να γίνεται κατά  $1 \div 2\text{ mm}$  μικρότερο και από τις δύο πλευρές του, από το μήκος του διαχωριστικού κηρόχαρτου.

Το κάθε τύλιγμα του Μ/Τ πρέπει να είναι καλά κατασκευασμένο και χωρίς στριψίματα (βερίνες) και διασταυρώσεις σπειρών μεταξύ τους. Το βήμα της περιελίξεως πρέπει να είναι σταθερό.

### 30.1.2 Υπολογισμός σιδηροπυρήνα και τυλιγμάτων Μ/Τ 10-1000 VA.

Σύντομα και με μεγάλη προσέγγιση μπορούμε να υπολογίσουμε τα βασικά στοιχεία (σιδηροπυρήνες και τυλιγμάτα) ενός μετασχηματιστή ισχύος 10 μέχρι 1000 VA. Ο υπολογισμός γίνεται ως εξής:

#### *α) Εκλογή διατομής S σιδηροπυρήνα.*

Παίρνομε τη συνολική φαινόμενη ισχύ  $N_2\phi$ , που θέλομε να αποδίδουν τα δευτερεύοντα τυλιγμάτα ή το δευτερεύον τύλιγμα του Μ/Τ. Δεχόμαστε βαθμό αποδόσεως του Μ/Τ το  $\eta = 90\%$ , οπότε για να υπολογίσουμε τη φαινόμενη ισχύ του πρωτεύοντος τυλιγμάτος  $N_1\phi$  πολλαπλασιάζομε τη  $N_2\phi$  επί 1,1.

$$\Delta\text{ηλαδή: } N_{1\phi} = 1,1 N_{2\phi} \quad (\text{σε VA})$$

Από τη σχέση:  $S = (1,2 \div 1,5) \sqrt{N_{1\phi}}$  σε  $\text{cm}^2$  υπολογίζουμε τη διατομή του σιδηροπυρήνα του Μ/Τ. Ο συντελεστής 1,2...1,5, εκλέγεται ανάλογα με την ποιότητα του σιδηρομαγνητικού υλικού που χρησιμοποιούμε για το σιδηροπυρήνα.

Από την παραπάνω σχέση γνωρίζουμε τη διατομή S του σιδηροπυρήνα και μπορούμε να υπολογίσουμε την ισχύ του Μ/Τ. Η καθαρή διατομή S' του σιδηροπυρήνα προκύπτει από τη σχέση:

$$S' = 0,9 \cdot S$$

Στο εμπόριο κυκλοφορούν σιδηροπυρήνες Μ/Τ με τυποποιημένες διαστάσεις. Ένας τέτοιος σιδηροπυρήνας φαίνεται στο σχήμα 30.1δ.

Οι κατασκευαστές ελασμάτων για σιδηροπυρήνες Μ/Τ δίνουν χαρακτηριστικές καμπύλες, οι οποίες δείχνουν πώς θα μεταβάλλονται οι απώλειες σιδήρου του Μ/Τ (σε  $\text{W/kg}^*$ ) όταν μεταβάλλεται η μαγνητική επαγωγή B στο Μ/Τ. Επομένως από τις χαρακτηριστικές αυτές καμπύλες, όπως στο σχήμα 30.1ε, μπορούμε για σταθερή μαγνητική επαγωγή B και δεδομένο βάρος σιδηροπυρήνα να υπολογίσουμε τις απώλειες σιδήρου ενός Μ/Τ.

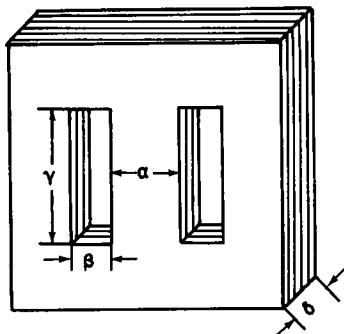
Στον πίνακα 30.1.1 δίνεται μια σειρά από χαρακτηριστικά στοιχεία τυποποιημένων σιδηροπυρήνων τύπου μανδύα.

#### *β) Υπολογισμός τυλιγμάτων.*

Τον αριθμό σπειρών W<sub>1</sub> του πρωτεύοντος τυλιγμάτος του Μ/Τ υπολογίζομε από τη σχέση:

$$W_1 = U_1 \cdot \frac{48}{S'}$$

Τον αριθμό σπειρών W<sub>2</sub> του δευτερεύοντος τυλιγμάτος από τη σχέση:  $W_2 = U_2 \cdot \frac{50}{S'}$



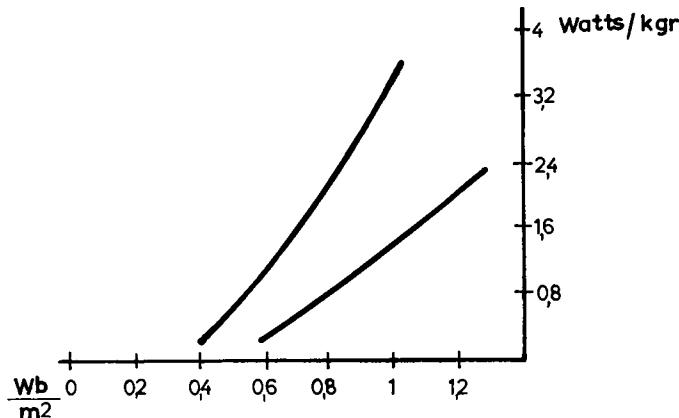
Σχ. 30.1δ.

Διαστάσεις πυρήνα τύπου μανδύα  
με τετραγωνική διατομή του κεντρι-  
κού κορμού.

Διαστάσεις  $a = \delta = \sqrt{s}$  σε cm.

Διάσταση  $\beta = 0,347 \cdot a$  σε cm.

Διάσταση  $\gamma = 5 \cdot \beta$  σε cm.



Σχ. 30.1ε.

Καμπύλες απωλειών σιδήρου για πυρήνες μετασχηματιστών με διάφορες τιμές εντάσεων μαγνητικής επαγωγής.

#### ΠΙΝΑΚΑΣ 30.1.1

Με στοιχεία τυποποιημένων διαστάσεων πυρήνων εμπορίου

Διατομή (S) πυρήνα σε $cm^2$	Υψος (γ) πυρήνα σε cm	Πλάτος (α) πυρήνα σε cm	Πλάτος (β) παραθύρου σε cm	Μήκος μέσης μαγνητικής γραμμής σε cm	Βάρος πυρήνα σε kp
2	3	2	1	11,1	0,23
5,4	3,9	2,6	1,3	14,5	0,62
7,8	3,9	2,6	1,3	14,5	0,92
8,4	4,7	2,8	1,3	16,1	1,13
12	6,5	3	1,4	20,2	1,97
13,6	8,7	3,4	1,7	26,1	2,85
15	6,5	3	1,4	20,2	2,47
17	8,7	3,4	1,7	26,1	3,56
20,4	8,7	3,4	1,7	26,1	4,28
23,8	8,7	3,4	1,7	26,1	5
25,8	8,7	4,3	2,1	30,2	6,32

Αν υπάρχουν περισσότερα από ένα δευτερεύοντα τυλίγματα υπολογίζομε τον αριθμό των σπειρών κάθε τυλίγματος από την ίδια σχέση, αλλά χρησιμοποιώντας τους αριθμούς 51,52:

$$\text{π.χ. } W_3 = U_3 \frac{51}{S'}$$

Ο μεγαλύτερος αριθμός αντιστοιχεί σε τύλιγμα με τη μικρότερη τάση. Οι αριθμοί 48, 50, 51, 52 ανταποκρίνονται σε παραδεκτή μαγνητική επαγωγή σιδηροπυρήνα  $B = 0, \pm 0,95 \text{ W}_b/\text{m}^2$ .

Οι διάμετροι των συρμάτων που κατασκευάζονται τα τυλίγματα των M/T υπολογίζονται σε σχέση με τις εντάσεις των ρευμάτων που τα διαρέουν και δίνονται από τις σχέσεις:

$$d_1 = \sqrt{\frac{l_1}{2}}, \quad d_2 = \sqrt{\frac{l_2}{2}} \quad \text{κ.ο.κ.} \quad \text{σε mm (τα } l_1, l_2, \dots \text{ σε A)}$$

### γ) Παράδειγμα.

Μονοφασικός M/T τροφοδοτείται με τάση 220 V και αποδίδει 350V/0,2A, 6,3V/2A και 5V/3A. Η συνολική φαινόμενη ισχύς που αποδίδει ο M/T είναι:

$$N_{2\phi} = (350 \times 0,2 + 6,3 \times 2 + 5 \times 3) \text{ VA} = 97,6 \text{ VA}$$

Η ισχύς που απορροφά από το ηλεκτρικό δίκτυο το πρωτεύον του M/T είναι:

$$N_{1\phi} = 97,6 \times 1,1 = 107 \text{ VA}$$

Ο σιδηροπυρήνας του M/T πρέπει να έχει διατομή:  $S = 1,2 \sqrt{107} = 12,4 \text{ cm}^2$   
Η καθαρή διατομή του σιδηροπυρήνα είναι:  $S' = 0,9 \times 12,4 = 11,2 \text{ cm}^2$

$$\text{Αριθμός σπειρών πρωτεύοντος } W_1 = 220 \times \frac{48}{11,2} \simeq 943$$

$$\text{Αριθμός σπειρών 1ου δευτερεύοντος } W_{2_1} = 350 \times \frac{50}{11,2} \simeq 1562$$

$$\text{Αριθμός σπειρών 2ου δευτερεύοντος } W_{2_2} = 6,3 \times \frac{51}{11,2} \simeq 29$$

$$\text{Αριθμός σπειρών 3ου δευτερεύοντος } W_{2_3} = 5 \times \frac{52}{11,2} \simeq 23$$

$$\text{Διάμετρος σύρματος πρωτεύοντος } d_1 = \sqrt{\frac{0,5}{2}} \simeq 0,5 \text{ mm}$$

$$(\text{διότι } I_1 = \frac{N_{1\phi}}{U_1} = \frac{107}{220} \simeq 0,5 \text{ A})$$

$$\text{Διάμετρος σύρματος 1ου δευτερεύοντος } d_{2_1} = \sqrt{\frac{0,2}{2}} \simeq 0,35 \text{ mm}$$

$$\text{Διάμετρος σύρματος 2ου δευτερεύοντος } d_{2_2} = \sqrt{\frac{2}{2}} \simeq 1 \text{ mm}$$

$$\text{Διάμετρος σύρματος 3ου δευτερεύοντος } d_{2_3} = \sqrt{\frac{3}{2}} \simeq 1,25 \text{ mm}$$

## 30.2 Ασκήσεις.

1. α) Πάρτε τις απαραίτητες διαστάσεις του σιδηροπυρήνα που θα σας δοθεί στο εργαστήριο και υπολογίστε την ονομαστική ισχύ του Μ/Τ που θα κατασκευάστε σ' αυτόν, τις σπείρες των τυλιγμάτων του Μ/Τ και τις διαμέτρους των συρμάτων που θα χρησιμοποιήσετε στην περιέλιξη των τυλιγμάτων.

Τις τάσεις του πρωτεύοντος και του δευτερεύοντος τυλίγματος θα τις καθορίσει ο υπεύθυνος καθητητής.

β) Κατασκευάστε το κατάλληλο μονωτικό τύμπανο πάνω στο οποίο θα περιελίξετε τα τυλιγμάτα του Μ/Τ που υπολογίσατε προηγουμένως.

Για το σκοπό αυτό θα σας δοθούν τα απαραίτητα υλικά και εργαλεία καθώς και δείγματα από τη σειρά εργασίας που θα ακολουθήσετε.

γ) Πριν αρχίσετε την περιέλιξη των τυλιγμάτων του Μ/Τ κάνετε τον απαραίτητο έλεγχο για τη χωρητικότητα του πυρήνα του:

Δηλαδή από το μήκος του τυμπάνου και τη διάμετρο των συρμάτων υπολογίστε τον αριθμό των σπειρών σε κάθε στρώση των τυλιγμάτων. Από το συνολικό αριθμό των σπειρών κάθε τυλίγματος υπολογίστε τον αριθμό των στρώσεών του και από τη διάμετρο του σύρματος, το πάχος κάθε τυλίγματος του Μ/Τ. Θα λάβετε υπόψη και το πάχος των μονωτικών χαρτιών που θα χρησιμοποιήσετε.

δ) Μετά τον παραπάνω έλεγχο για τη χωρητικότητα του τυμπάνου, πραγματοποιήστε την περιέλιξη των τυλιγμάτων του Μ/Τ με το χέρι ή με την περιελικτρια μηχανή του εργαστηρίου, ανάλογα με τις οδηγίες που θα σας δοθούν από τον καθηγητή.

ε) Όταν τελειώσετε τη διαδικασία της περιελίξεως των τυλιγμάτων και της μονώσεώς τους περάστε στο εσωτερικό του τυμπάνου τα ελάσματα του σιδηροπυρήνα. Πρέπει να προσέχετε για να μην προκαλέσετε φθορά στη μόνωση των τυλιγμάτων του Μ/Τ.

Στο τέλος συναρμολογήστε το σιδηροπυρήνα έτσι, ώστε τα ελάσματά του να μην πάλλονται κατά τη λειτουργία του.

στ) Περιγράψτε συνοπτικά στο τετράδιό σας την κατασκευή του Μ/Τ. Η περιγραφή σας θα συνοδεύεται με τα απαραίτητα σχέδια και τους υπολογισμούς. Διατυπώστε τις παρατηρήσεις και τα συμπεράσματά σας.

2. α) Με τη βοήθεια ενός μέγγερ (ωμόμετρο) να ελέγξετε τη μόνωση των τυλιγμάτων του Μ/Τ που κατασκευάσατε στο εργαστήριο.

β) Τροφοδοτήστε το Μ/Τ με ηλεκτρικό ρεύμα (προσοχή στην τάση τροφοδοτήσεως του) και πραγματοποιήστε, χωρίς φορτίο, τις δοκιμές.

γ) Τις παρατηρήσεις και τα συμπεράσματά σας από την άσκηση να τα διατυπώσετε στο τετράδιο.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΑΚΟΣΤΟ ΠΡΩΤΟ

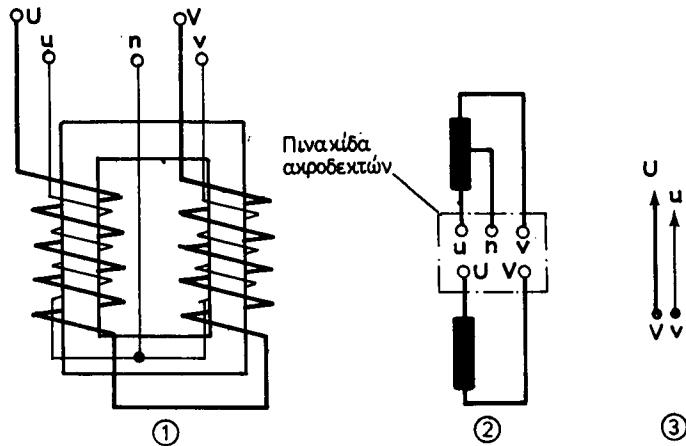
### ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΕΣ ΤΥΛΙΓΜΑΤΩΝ Μ/Τ. — ΠΑΡΑΛΛΗΛΙΣΜΟΣ Μ/Τ.

#### 31.1 Γενικά.

Τα áκρα των τυλιγμάτων του Μ/Τ καταλήγουν σε ακροδέκτες που στηρίζονται συνήθως σε μια βάση από βακελίτη. Για να ξεχωρίζονται οι ακροδέκτες αυτοί μεταξύ τους χρησιμοποιούνται συμβολικά γράμματα.

##### 31.1.1 Συμβολισμός ακροδεκτών στους μονοφασικούς Μ/Τ.

Στους μονοφασικούς Μ/Τ οι ακροδέκτες των τυλιγμάτων ψηλής τάσεως (Υ.Τ.) σημειώνονται με U-V A-B ή H<sub>1</sub>-H<sub>2</sub> και οι ακροδέκτες της χαμηλής τάσεως (Χ.Τ.) με u-v ή a-b ή x<sub>1</sub>-x<sub>2</sub>. Στις περιπτώσεις που ένα από τα τυλίγματα έχει μεσαία λήψη, τοποθετείται ένας ακόμη ακροδέκτης μεταξύ των δύο ακροδεκτών του τυλίγματος (αντίστοιχει στη μεσαία λήψη) και σημειώνεται με n ή n<sub>p</sub> ή x<sub>0</sub>.



Σχ. 31.1α.  
Σύνδεση των áκρων τυλιγμάτων μονοφασικού μετασχηματιστή.

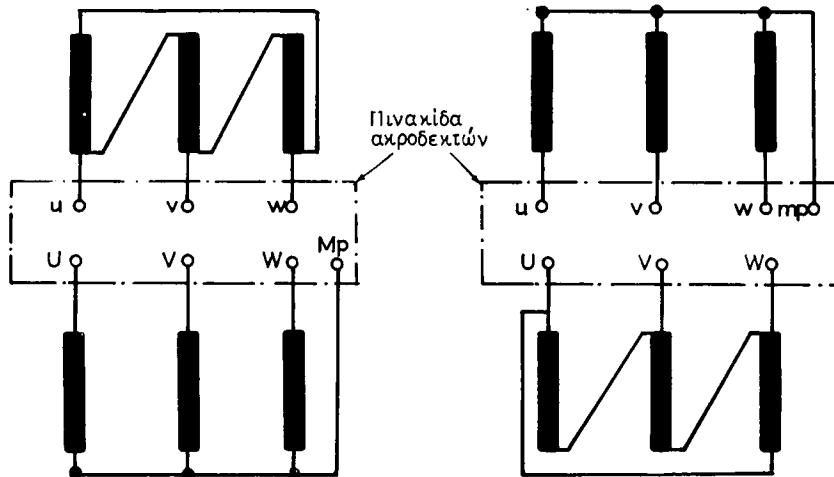
Όταν τα τυλίγματα ενος μονοφασικού Μ/Τ έχουν περιελιχθεί με την ίδια φορά [σχ. 31.1α (1)], τα áκρα των τυλιγμάτων του συνδέονται στους ακροδέκτες [σχ. 31.1α (2)]. Η πολικότητα του ακροδέκτη U (Υ.Τ.) είναι ίδια με την πολικότητα u (χ.τ.) και αντίστοιχα του V με του v. Δηλαδή οι τάσεις, που αναπτύσσονται στους ακροδέκτες U-V και u-v είναι συμφασικές [σχ. 31.1α(3)].

##### 31.1.2. Συμβολισμός ακροδεκτών στους τριφασικούς Ν/Τ.

Στους τριφασικούς Ν/Τ και σε αλληλένδετο τριφασικό σύστημα, οι συνδέσεις των áκρων των τυλιγμάτων των φάσεων γίνονται μέσα στο Μ/Τ. Τα ελεύθερα áκρα των συνδέσεων αυτών καταλή-

γουν στην πινακίδα ακροδέκτων του Μ/Τ και στους ακροδέκτες U, V, W ή A, B, C ή H<sub>1</sub>, H<sub>2</sub>, H<sub>3</sub> ή αντίστροφα στους X, Y, Z, ανάλογα με τη σύνδεση που έχει πραγματοποιηθεί στο εσωτερικό του Μ/Τ.

Στην περίπτωση που τα τυλίγματα Y.T. ή X.T. ενός Μ/Τ έχουν συνδέθει σε συνδεσμολογία «αστέρα» ο ουδέτερος κόμβος συνδέεται επάνω στην πινακίδα ακροδέκτων σε ιδιαίτερο ακροδέκτη και συμβολίζεται με το N ή M<sub>p</sub> ή H<sub>0</sub> (τυλίγματα Y.T.) και με το n ή m<sub>p</sub> ή x<sub>0</sub> (τυλίγματα X.T.), όπως στο σχήμα 31.1β.



Σχ. 31.1β.

Στους τριφασικούς Μ/Τ οι τάσεις που αναπτύσσονται μεταξύ των αντιστοίχων τυλιγμάτων Y.T. και X.T. μπορεί να είναι συμφασικές, αν τα τυλίγματα αυτά έχουν τυλιχθεί με την ίδια φορά, ή να παρουσιάζουν διαφορά φάσεως 180°, 150° ή 330° ανάλογα με τον τρόπο κατασκευής τους.

Στον πίνακα 31.1.1 φαίνονται οι ομάδες συνδεσμολογιών των τριφασικών Μ/Τ.

Η ομάδα συνδεσμολογιών στην οποία ανήκει ένας τριφασικός Μ/Τ αποτελεί βασικό χαρακτηριστικό γνώρισμά του.

### 31.1.3 Παράλληλη λειτουργία Μ/Τ.

Όταν η ισχύς ενός Μ/Τ δεν είναι αρκετή για την τροφοδότηση ενός φορτίου, τότε πρέπει να θέσσομε σε παράλληλη λειτουργία με αυτόν, ένα δεύτερο Μ/Τ για να αναλάβει μέρος από το φορτίο του.

Για να πραγματοποιηθεί η παράλληλη σύνδεση Μ/Τ πρέπει:

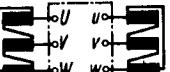
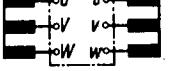
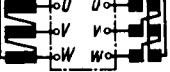
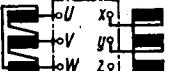
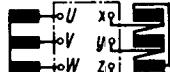
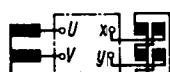
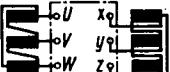
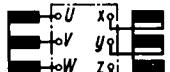
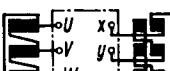
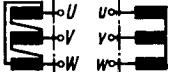
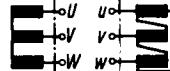
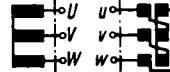
- Τα τυλίγματα του πρωτεύοντος και του δευτερεύοντος του Μ/Τ να είναι κατασκευασμένα για τις ίδιες τάσεις λειτουργίας.
- Να ανήκουν οι Μ/Τ στην ίδια ομάδα συνδεσμολογίας.
- Να έχουν οι Μ/Τ την ίδια περίπου τάση βραχυκυκλώσεως (οι διαφορές τάσεως βραχυκυκλώσεως μέχρι και 10% είναι επιτρέπτες).
- Οι αντίστοιχοι ακροδέκτες των Μ/Τ που πρόκειται να συνδεθούν μεταξύ τους να έχουν την ίδια πολικότητα.

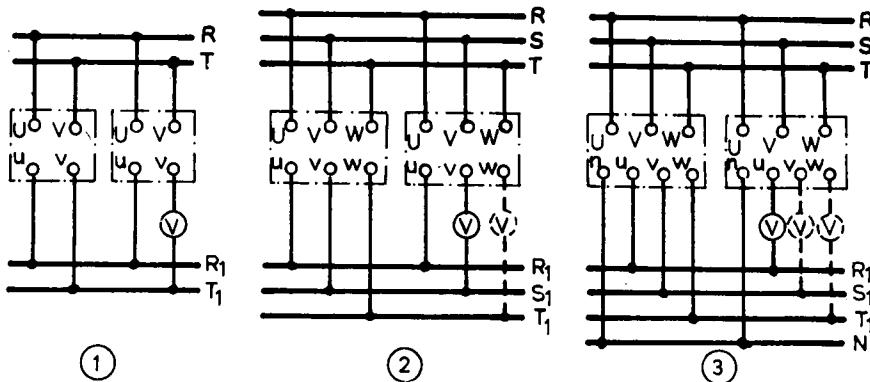
Ο έλεγχος της πολικότητας των ακροδέκτων του δευτερεύοντος τυλίγματος του δεύτερου Μ/Τ, που πρόκειται να συνδεθεί στο ηλεκτρικό δίκτυο του πρώτου Μ/Τ για να αναλάβει μέρος από το φορτίο, γίνεται πριν από τη σύνδεσή του, με ένα βολτόμετρο ή με μια ενδεικτική λυχνία (σχ. 31.1γ).

**Προσοχή:** Το βολτόμετρο που θα χρησιμοποιηθεί πρέπει να μπορεί να μετρήσει τάση διπλάσια από την τάση του δευτερεύοντος του Μ/Τ.

Σε σωστή σύνδεση ακροδέκτη του Μ/Τ με αντίστοιχο ζυγό του ηλεκτρικού δίκτυου, το βολτόμετρο δείχνει (0).

**ΠΙΝΑΚΑΣ 31.1.1**  
**Συνδεσμολογία τριφασικών μετασχηματιστών**

Ομάδα	Συμβολισμός	Διανυσματικό διάγραμμα		Συνδεσμολογία Y.T. X.T.
		Y.T.	X.T.	
0	Dd 0			
	Yy 0			
	Dz 0			
5	Dy 5			
	Yd 5			
	Yz 5			
6	Dd 6			
	Yy 6			
	Dz 6			
11	Dy 11			
	Yd 11			
	Yz 11			



Σχ. 31.1γ.

Ορθή σύνδεση ακροδεκτών.

- 1) Έλεγχος σε μονοφασικό Μ/Τ. 2) Έλεγχος σε τριφασικό Μ/Τ χωρίς ουδέτερο. 3) Έλεγχος σε τριφασικό Μ/Τ με ουδέτερο.

### 31.2 Ασκήσεις.

1. a) Έστω ότι έχετε στη διάθεσή σας μετασχηματιστές τριφασικούς, που ανήκουν στις ομάδες συνδεσμολογιών Dd 6, Yz 5, Dy 5, Dd 0, Dy 11, Dz 0. Τα τυλίγματα αυτών των Μ/Τ (πρωτεύοντος και δευτερεύοντος) έχουν κατασκευασθεί για τις ίδιες τάσεις λειτουργίας και παρουσιάζουν την ίδια περίπου τάση βραχυκυκλώσεως.  
β) Σχεδιάστε στο τετράδιό σας τις συνδεσμολογίες των τυλιγμάτων του Μ/Τ και τα αντίστοιχα διανυσματικά διαγράμματα.  
γ) Ποιοι από τους Μ/Τ μπορούν να συνδεθούν παράλληλα;  
δ) Διατυπώστε περιγραφικά στο τετράδιό σας τι σημαίνουν οι παραπάνω συμβολισμοί των ομάδων συνδεσμολογιών των Μ/Τ.
2. a) Αναγνωρίστε τους ακροδέκτες πρωτεύοντος-δευτερεύοντος του μονοφασικού Μ/Τ που θα σας δοθεί στο εργαστήριο.  
β) Ελέγχετε την πολικότητα των ακροδεκτών του Μ/Τ. Για το σκοπό αυτό πραγματοποιήστε τη συνδεσμολογία του σχήματος 31.2α.



D = σύνδεση τυλιγμάτων Y.T. σε τρίγωνο

Y = σύνδεση τυλιγμάτων Y.T. σε αστέρα

d = σύνδεση τυλιγμάτων X.T. σε τρίγωνο

y = σύνδεση τυλιγμάτων X.T. σε αστέρα

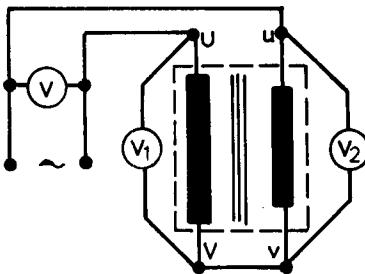
z = σύνδεση τυλιγμάτων X.T. τεθλασμένου αστέρα (zig-zag)

0 = αντίστοιχες τάσεις τυλιγμάτων Y.T. και X.T. συμφασικές

5 = αντίστοιχες τάσεις τυλιγμάτων Y.T. και X.T. με διαφορά φάσεως 150°

6 = αντίστοιχες τάσεις τυλιγμάτων Y.T. και X.T. με διαφορά φάσεως 180°

11 = αντίστοιχες τάσεις τυλιγμάτων Y.T. και X.T. με διάφορα φάσεως 330°



Σχ. 31.2α.

γ) Από κατάλληλη πηγή Ε.Ρ. που θα σας υποδειχθεί, τροφοδοτήστε με ηλεκτρικό ρεύμα τα τυλίγματα του Μ/Τ.

δ) Με τρία βολτόμετρα ( $V$ ), ( $V_1$ ), ( $V_2$ ) μετρήστε τις τάσεις όπως στο σχήμα 31.2α (ο έλεγχος μπορεί να γίνει και με ένα βολτόμετρο, με κατάλληλη όμως κλίμακα).

Αν το αποτέλεσμα της μετρήσεως είναι  $U = U_1 + U_2$ , αντιστρέψτε τη σύνδεση των ακροδεκτών.

ε) Περιγράψτε συνοπτικά στο τετράδιό σας την όλη πορεία της ασκήσεως και διατυπώστε τις παρατηρήσεις και τα συμπεράσματά σας.

3. α) Αναγνωρίστε τους δύο τριφασικούς Μ/Τ που θα σας δοθούν στο εργαστήριο από τα στοιχεία που γράφονται στις πινακίδες τους. Όσα χαρακτηριστικά των Μ/Τ δεν γράφονται στις πινακίδες τους, να τα υπολογίσετε από τα υπόλοιπα δεδομένα. Προσδιορίστε συγκεκριμένα.

- Την ονομαστική ισχύ του Μ/Τ σε kVA.
- Τον αριθμό φάσεων.
- Την ονομαστική συχνότητα σε Hz.
- Την ονομαστική τάση του πρωτεύοντος και του δευτερεύοντος σε V.
- Την τάση βραχυκυκλώσεως σε ποσοστά % από την ονομαστική τάση του πρωτεύοντος του Μ/Τ.
- Την ομάδα που ανήκει ο καθένας Μ/Τ σύμφωνα με τον πίνακα συνδεσμολογιών.
- Τις ονομαστικές εντάσεις πρωτεύοντος και δευτερεύοντος των Μ/Τ.

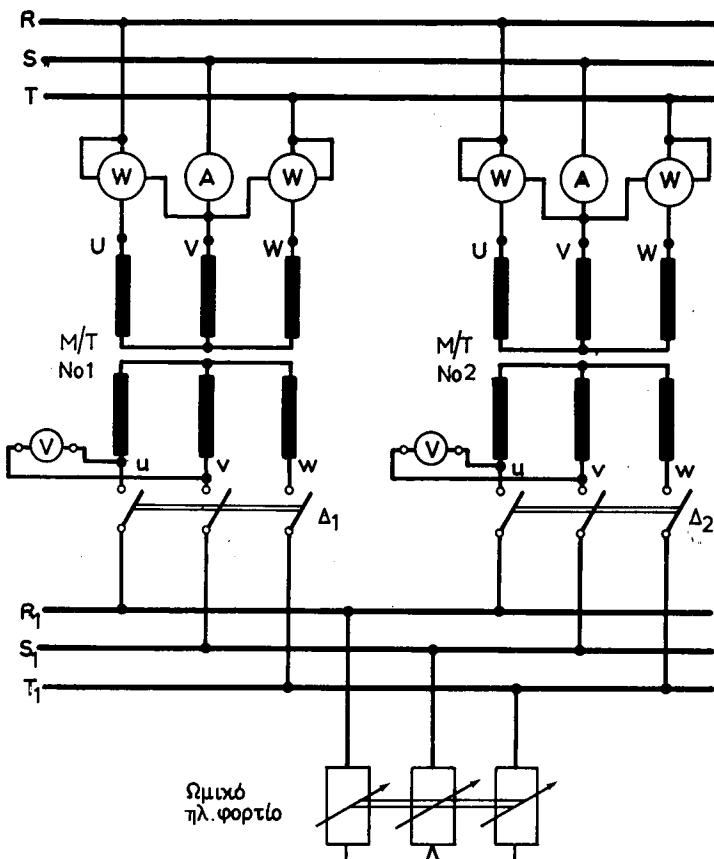
β) Από τη μέλετη των παραπάνω χαρακτηριστικών στοιχείων του Μ/Τ ελέγξετε αν μπορούν αυτοί να τεθούν σε παράλληλη λειτουργία. Δικαιολογήστε συνοπτικά την απάντησή σας.

γ) Στην περίπτωση που μπορεί να γίνει παράλληλη λειτουργία των δύο Μ/Τ, κάνετε τις απαραίτητες ενέργειες για την παράλληλη ζεύξη, όπως έχομε αναφέρει στην παράγραφο 31.1.3.

δ) Πραγματοποιήστε τελικά τη συνδεσμολογία των Μ/Τ No 1 και No 2, όπως στο σχήμα 31.2β, αφού έκλεξετε τα κατάλληλα όργανα ελέγχου και το κοινό μεταβλητό ωμικό φορτίο.

ε) Κλείστε το διακόπτη  $\Delta_1$  και ρυθμίστε το ηλεκτρικό φορτίο στο 60% από το ονομαστικό φορτίο του Μ/Τ No 1. Στη συνέχεια κλείστε και το διακόπτη  $\Delta_2$ .

**Προσοχή:** Για να πραγματοποιήσετε την ενέργεια αυτή πρέπει να έχετε βεβαιωθεί ότι έχουν εκπληρωθεί οι απαραίτητες προϋποθέσεις για την παράλληλη ζεύξη του Μ/Τ.



Σχ. 31.2β.

Ο Μ/Τ No 2 είναι τώρα παραλληλισμένος στο ηλεκτρικό δίκτυο του φορτίου. Παρατηρήστε τη μεταφορά μέρους του φορτίου από το Μ/Τ No 1 στο Μ/Τ No 2.

στ) Αυξήστε το ηλεκτρικό φορτίο σταδιακά και παρακολουθήστε την κατανομή του στους Μ/Τ. Παρατηρήστε ότι η κατανομή του φορτίου είναι αντίστροφη με τις τιμές των τάσεων βραχυκυκλώσεώς τους.

ζ) Ελαπτώστε το ηλεκτρικό φορτίο σταδιακά. Και παρατηρήστε την ανάλογη μείωση του φορτίου κάθε Μ/Τ.

η) Σχεδιάστε στο τετράδιό σας την συνδεσμολογία της ασκήσεως. Σημειώστε σ' αυτό τα χαρακτηριστικά στοιχεία των Μ/Τ, των οργάνων και των συσκευών που χρησιμοποιήσατε. Περιγράψτε τις ενέργειες και τους χειρισμούς σας. Διατυπώστε τις παρατηρήσεις και τα συμπεράσματά σας.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΑΚΟΣΤΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

### ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ – ΑΝΟΡΘΩΤΕΣ

#### 32.1 Γενικά.

Είναι γνωστό πως η ηλεκτρική ενέργεια που χρειάζονται οι καταναλώσεις, παρέχεται από τα δίκτυα διανομής με μορφή εναλλασσόμενου ηλεκτρικού ρεύματος (Ε.Ρ.). Υπάρχουν όμως ηλεκτρικές καταναλώσεις οι οποίες για να λειτουργήσουν, χρειάζονται ηλεκτρική ενέργεια με μορφή συνεχούς ρεύματος (Σ.Ρ.). Όπως π.χ. οι εγκαταστάσεις για τη φόρτιση των συσσωρευτών, την κίνηση των τρόλεϋ και των ηλεκτρικών σιδηροδρόμων κλπ.

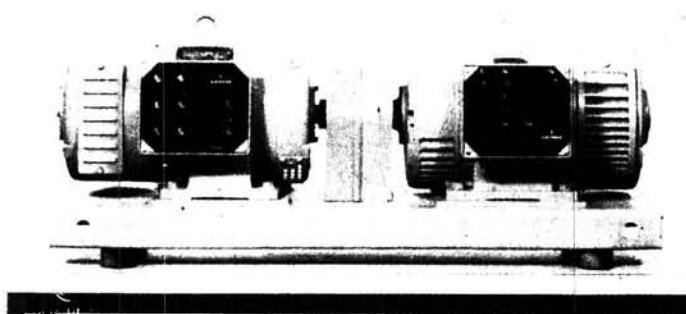
Σε όλες αυτές τις περιπτώσεις που αναφέραμε, είμαστε υποχρεωμένοι να μετατρέψουμε το Ε.Ρ. σε Σ.Ρ. Η διαδικασία της μετατροπής του Ε.Ρ. σε Σ.Ρ. ονομάζεται **ανόρθωση** και οι διατάξεις που πραγματοποιούν την ανόρθωση, ονομάζονται **ανορθωτές**.

Οι ανορθωτές είναι αγώγιμοι μόνο στη μια ημιπερίοδο του Ε.Ρ. Στην άλλη παρουσιάζουν σχεδόν διακοπή (φράγμα στη ροή του ηλεκτρικού ρεύματος).

Η μετατροπή Ε.Ρ. σε Σ.Ρ. μπορεί να πραγματοποιηθεί και με τη βοήθεια **ηλεκτρικού ζεύγους κινητήρα-γεννήτριας**, με τη βοήθεια **στρεφόμενου μετατροπέα** ή **μετατροπέα με μηχανικές επαφές**.

#### 32.2 Ζεύγος κινητήρα Ε.Ρ.-γεννήτριας Σ.Ρ.

Οι μηχανές του ζεύγους είναι συνδεμένες μεταξύ τους μηχανικά (σχ. 32.2).



Σχ. 32.2.  
Ζεύγος κινητήρα-γεννήτριας.

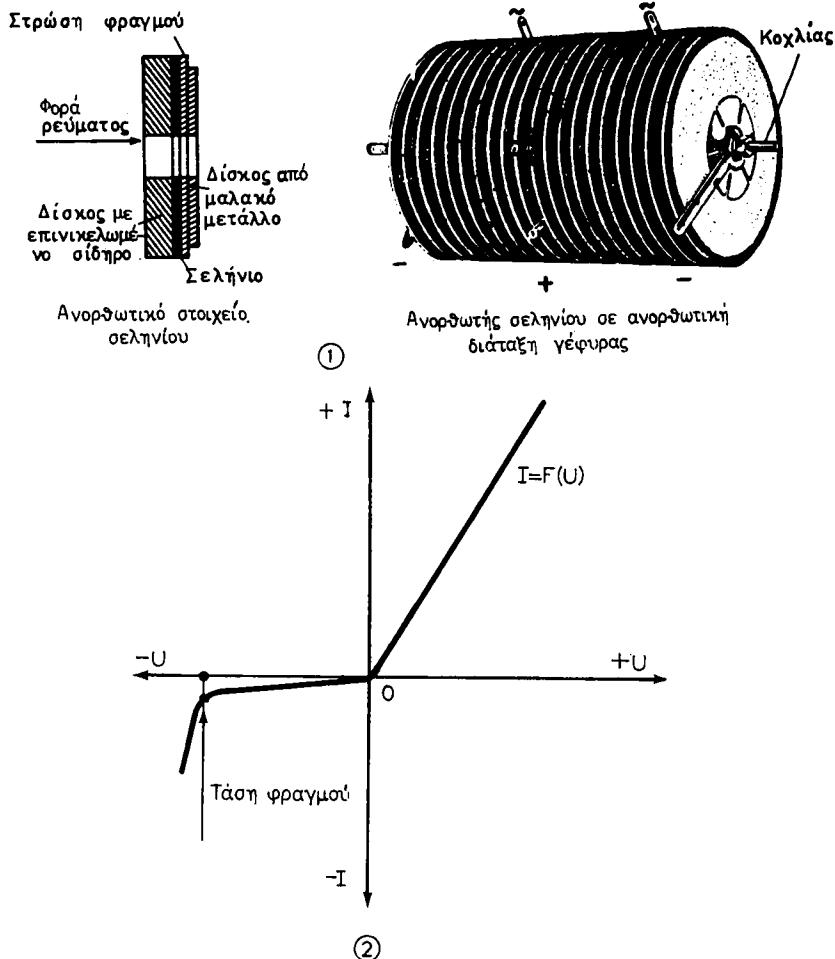
Για μικρές ισχείς χρησιμοποιούνται συνήθως οι ασύγχρονοι κινητήρες. Στις περιπτώσεις που η Ισχύς του φορτίου είναι μεγάλη προτιμούνται οι σύγχρονοι τριφασικοί κινητήρες, γιατί έχουν μεγαλύτερο βαθμό αποδόσεως και γιατί παράλληλα με τη λειτουργία τους επιτυγχάνεται η βελτίωση του συντελεστή ισχύος σε ολόκληρη την εγκατάσταση.

Οπωσδήποτε το ζεύγος κινητήρα Ε.Ρ.-γεννήτριας Σ.Ρ. λειτουργεί με πολύ χαμηλό βαθμό αποδόσεως η (βασικό μειονέκτημα). Και είναι:  $\eta_0 = \eta_k \cdot \eta_y$  δηλαδή  $\eta_0$  ο βαθμός αποδόσεως κινητήρα και  $\eta_y$  ο βαθμός αποδόσεως γεννήτριας.

### 32.3. Ανόρθωση Ε.Ρ. με ξηρούς ανορθωτές.

Για την ανόρθωση του Ε.Ρ. χρησιμοποιούνται τα ανορθωτικά στοιχεία υποξειδίου του χαλκού, σελήνιου, γερμανίου και πυριτίου. Οι ανορθωτές γερμανίου και πυριτίου, χάρη στις εξαιρετικές ιδιότητες που παρουσιάζουν στην ανόρθωση, τείνουν να αντικαταστήσουν τους ανορθωτές σεληνίου, που η χρησιμοποίησή τους ήταν σχεδόν καθολική σε ανορθωτικές διατάξεις με σημαντική ισχύ.

Στο σχήμα 32.3α φαίνεται η συγκρότηση ενός ανορθωτικού στοιχείου και η χαρακτηριστική καμπύλη  $I = F(U)$  της μεταβολής του ηλεκτρικού ρεύματος σε συνάρτηση με τη μεταβολή της τάσεως που εφαρμόζεται σ' αυτό.



Σχ. 32.3α.

- 1) Συγκρότηση ανορθωτικών στοιχείων.
- 2) Χαρακτηριστική καμπύλη  $I = F(U)$  [ $I$  σε αμπέρ (A) και  $U$  σε βολτ (V)].

Είναι γνωστό ότι σε κάθε κύκλωμα ανορθώσεως και κατά την αρνητική ημιπερίοδο της τάσεως κυκλοφορεί μικρή ποσότητα ηλεκτρικού ρεύματος. Δηλαδή δεν έχουμε τέλειο φραγμό στις αρνητικές ημιπεριόδους. Αν όμως η τάση που εφαρμόζεται στο στοιχείο περάσει μια ορισμένη τιμή, τότε επέρχεται διάσπαση στη στρώση φραγμού και το ανορθωτικό στοιχείο χάνει πια τη βασική χαρακτηριστική ιδιότητα της ανορθώσεως.

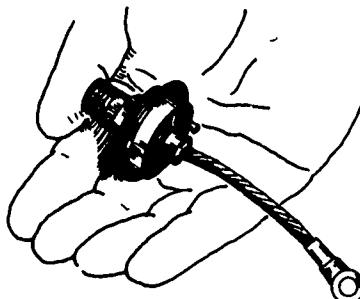
Η τάση, με την οποία πραγματοποιείται η διάσπαση της «στρώσεως φραγμού», ονομάζεται **τάση φραγμού** και αποτελεί χαρακτηριστικό γνώρισμα του ανορθωτή.

Έτσι κάθε είδος ανορθωτικού στοιχείου έχει μια επιτρεπόμενη τάση λειτουργίας.

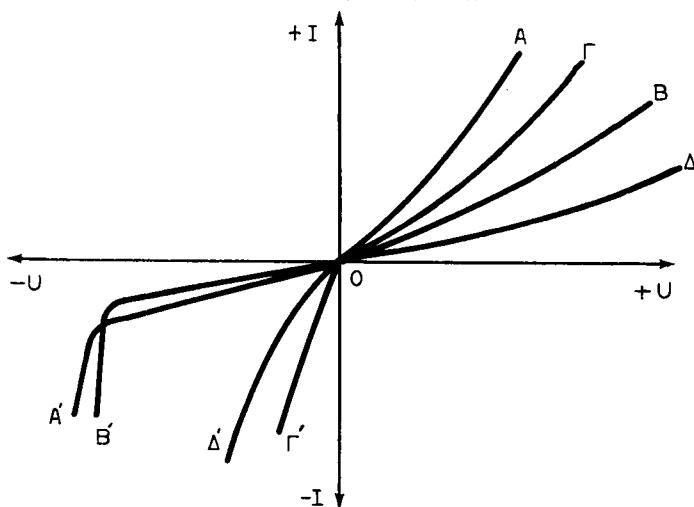
Η επιτρεπόμενη τάση του ανορθωτικού στοιχείου υποξειδίου του χαλκού είναι περίπου 10V, του σεληνίου 20-25 V, του γερμανίου 160V και του πυριτίου 380V. Ένα ακόμη στοιχείο που περιορίζει τη χρήση των ανορθωτών είναι η μέγιστη επιτρεπόμενη ένταση φορτίσεώς τους.

Η μέγιστη φόρτιση στα στοιχεία σεληνίου είναι  $60 \text{ mA/cm}^2$  όταν η ψύξη είναι φυσική και μπορεί να φθάσει στα  $150 \text{ mA/cm}^2$  όταν η ψύξη είναι τεχνητή.

Στα στοιχεία του γερμανίου και πυριτίου η φόρτιση ανέρχεται  $50 \div 150 \text{ A/cm}^2$ . Δηλαδή τα στοιχεία αυτά έχουν ανορθωτική ικανότητα 1000 φορές περίπου μεγαλύτερη από εκείνη των στοιχείων του σεληνίου. Το χαρακτηριστικό αυτού δίνει τη δυνατότητα κατασκευής ανορθωτικών διατάξεων με στοιχεία γερμανίου ή πυριτίου με πολύ μικρότερο όγκο από τα στοιχεία σεληνίου (σχ. 32.3β).



**Σχ. 32.3β.**  
Ανορθωτικό στοιχείο πυριτίου για ισχύ  $10 \text{ kW}$ .



**Σχ. 32.3γ.**  
Οι χαρακτηριστικές καμπύλες  $I = F(U)$  λειτουργίας των ανορθωτών.  
 $A-A'$  :  $I = F(U)$  γερμάνιο.

$B-B'$  :  $I = F(U)$  πυρίτιο.

$\Gamma-\Gamma'$  :  $I = F(U)$  οξείδιο του χαλκού.

$\Delta-\Delta'$  :  $I = F(U)$  σελήνιο.

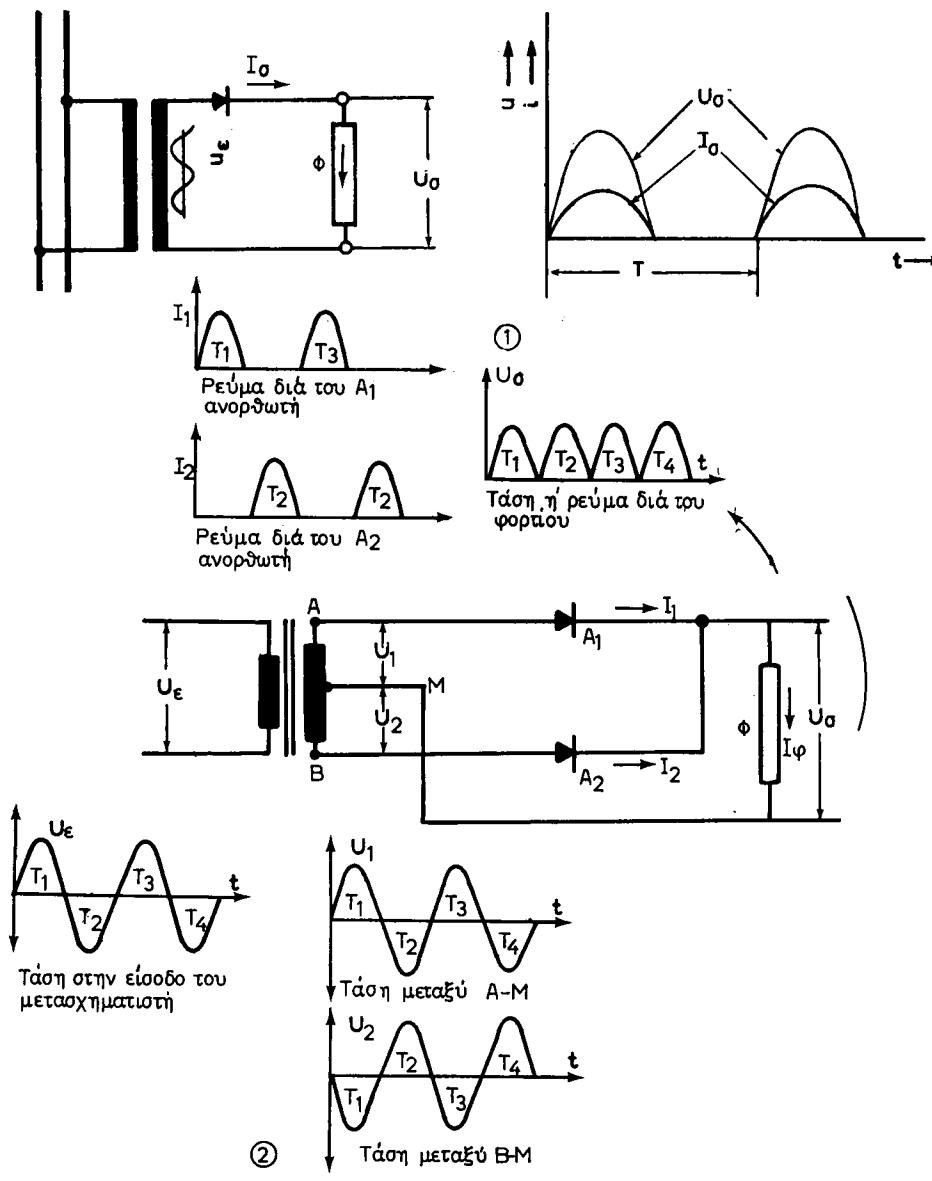
Χαρακτηριστικό επίσης γνώρισμα της λειτουργίας των ανορθωτών, είναι η μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας τους. Για το σελήνιο η θερμοκρασία είναι  $80^\circ\text{C}$ , για το γερμάνιο  $65^\circ\text{C}$  και για το πυρίτιο  $140^\circ\text{C}$ .

Σημειώνομε ότι τα στοιχεία του γερμανίου και του πυριτίου εξ αιτίας των μικρών διαστάσεών τους έχουν μικρή θερμοχωρητικότητα. Έτσι, όταν υπερφορτίζονται πάρουσιάζουν απότομη αύξηση της θερμοκρασίας τους.

Γι' αυτό τα ανορθωτικά αυτά στοιχεία είναι εφοδιασμένα και με **ψυκτικά σώματα**.

Στο σχήμα 32.3γ φαίνονται οι χαρακτηριστικές καμπύλες  $I = F(U)$  λειτουργίας των διαφόρων ειδών ανορθωτών.

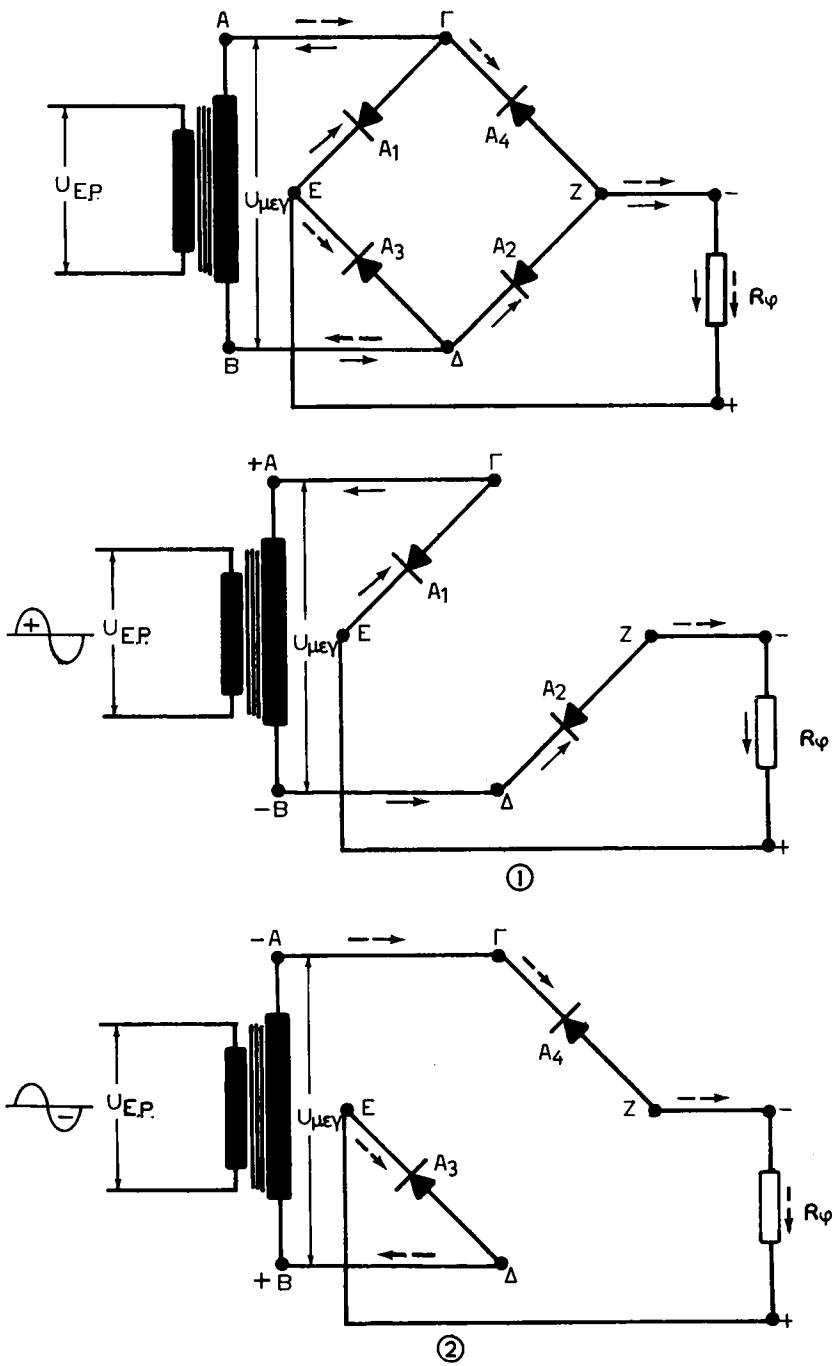
Από την Ηλεκτροτεχνία και τις Ηλεκτρικές Μηχανές είναι γνωστά τα διάφορα κυκλώματα ανορθώσεως. Στα σχήματα 32.3δ και 32.3ε φαίνονται διάφορα κυκλώματα ανορθώσεως.



Σχ. 32.3ε.

Διάφορα κυκλώματα ανορθώσεως.

1) Απλή ανόρθωση ή μίσού κύματος. 2) Διπλή ανόρθωση ή ολόκληρου κύματος.



Σχ. 32.3ε.

Ανόρθωση με μονοφασική γέφυρα.

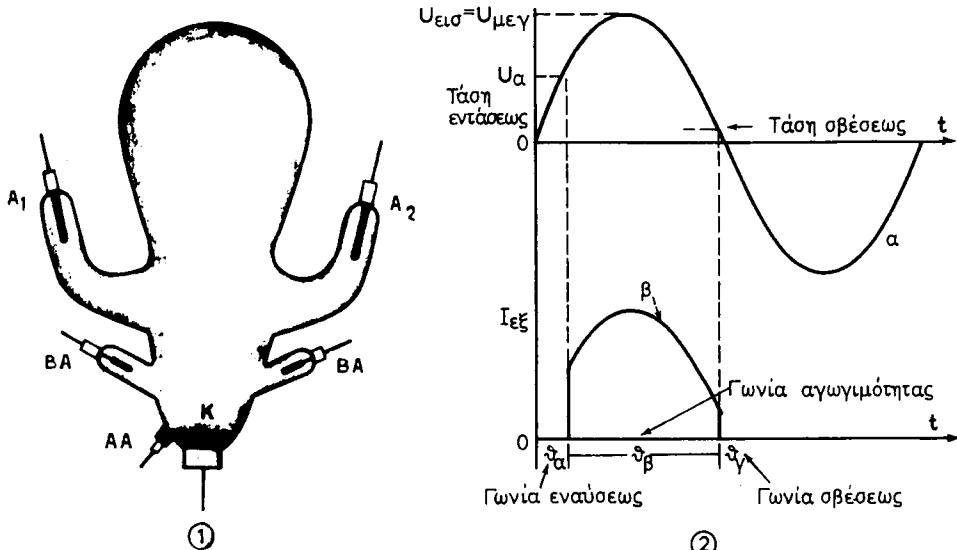
1) Θετική ημιπερίοδος τάσεως  $U_{ep}$ . 2) Αρνητική ημιπερίοδος τάσεως  $U_{ep}$ .

### 32.4 Ανόρθωση Ε.Ρ. με λυχνίες υδράργυρου.

Οι ξηροί ανορθωτές παρουσιάζουν μεγάλη εσωτερική αντίσταση κατά την ορθή φορά του ηλεκτρικού ρεύματος, σε σχέση με τους ανορθωτές που χρησιμοποιούν λυχνίες αερίου ή ατμών υδράργυρου. Στην κατηγορία των λυχνιών με ατμούς υδράργυρου ανήκουν και οι λυχνίες με «τόξο υδράργυρου» ή, όπως είναι γνωστές σε όλους, «λυχνίες υδράργυρου».

Τις κατασκευαστικές λειτουργίεις των λυχνιών αυτών τις γνωρίζομε από την «Ηλεκτροτεχνία» και τις «Ηλεκτρικές Μηχανές».

Ένα είδος λυχνίας υδράργυρου και οι χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας της φαίνονται στοχήμα 32.4a.



Σχ. 32.4a.

Γυάλινη λυχνία υδραργύρου με δύο ανόδους.

1) A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> = Άνοδος λυχνίας.

BA = Βοηθητικές άνοδοι λυχνίας.

AA = Άνοδος αφής.

2) (α) Κυματομορφή τάσεως εισόδου ανορθωτή με λυχνία υδραργύρου.

(β) Κυματομορφή ρεύματος εξόδου ανορθωτή με λυχνία υδραργύρου.

Τα βασικά χαρακτηριστικά των λυχνιών υδράργυρου [σχ. 32.4a (2)] είναι:

– **Τάση εναύσεως ή τάση εκκινήσεως ( $U_\alpha$ ):** Η ηλεκτρική τάση που πραγματοποιεί τον ιονισμό στους ατμούς υδράργυρου.

– **Τάση αποσβέσεως ( $U_\beta$ ):** Η ηλεκτρική τάση που προκαλεί τον αποιονισμό στη λυχνία.

– **Γωνία εναύσεως ( $\Theta_\alpha$ ):** Η γωνία που εκφράζει σε ηλεκτρικές μοίρες το χρόνο από την αρχή της θετικής ημιπεριόδου μέχρι τη στιγμή που αρχίζει ο ιονισμός στη λυχνία.

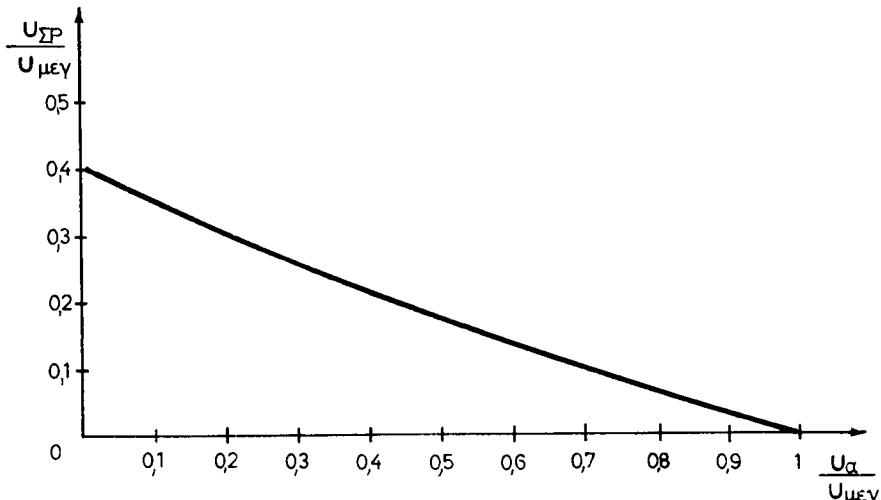
– **Γωνία αγωγιμότητας ( $\Theta_\beta$ ):** Η γωνία που εκφράζει σε ηλεκτρικές μοίρες το χρόνο κατά τον οποίο η λυχνία παραμένει αγώγιμη.

– **Γωνία σβέσεως ( $\Theta_\gamma$ ):** Η γωνία που εκφράζει σε ηλεκτρικές μοίρες το χρόνο από τη στιγμή του αποιονισμού στη λυχνία μέχρι το τέλος της θετικής ημιπεριόδου.

Τα χαρακτηριστικά αυτά είναι σημαντικά στοιχεία για την απόδοση της λυχνίας υδράργυρου σε ανορθωτική διάταξη. Γενικά, μπορούμε να πούμε ότι στα κυκλώματα ανορθώσεων με ανορθωτές λυχνίες υδράργυρου ή αέριου, όλα τα μεγέθη που προκύπτουν από την ανάλυση του παλμορεύματος στην έξοδο της ανορθώσεως εξαρτώνται από το λόγο:

$$\frac{U_a}{U_{μεγ}}$$

Δηλαδή το λόγο της τάσεως εναύσεως ( $U_a$ ) με τη μέγιστη εναλλασσόμενη τάση ( $U_{μεγ}$ ) που εισάγεται στο κύκλωμα για ανόρθωση.



Σχ. 32.4β.

Η καμπύλη στο σχήμα 32.4β δείχνει την επίδραση του λόγου:

$$\frac{U_a}{U_{μεγ}}$$

στην τιμή της ανορθωμένης συνεχούς τάσεως  $U_{ΣP}$ .

### 32.5 Φίλτρα.

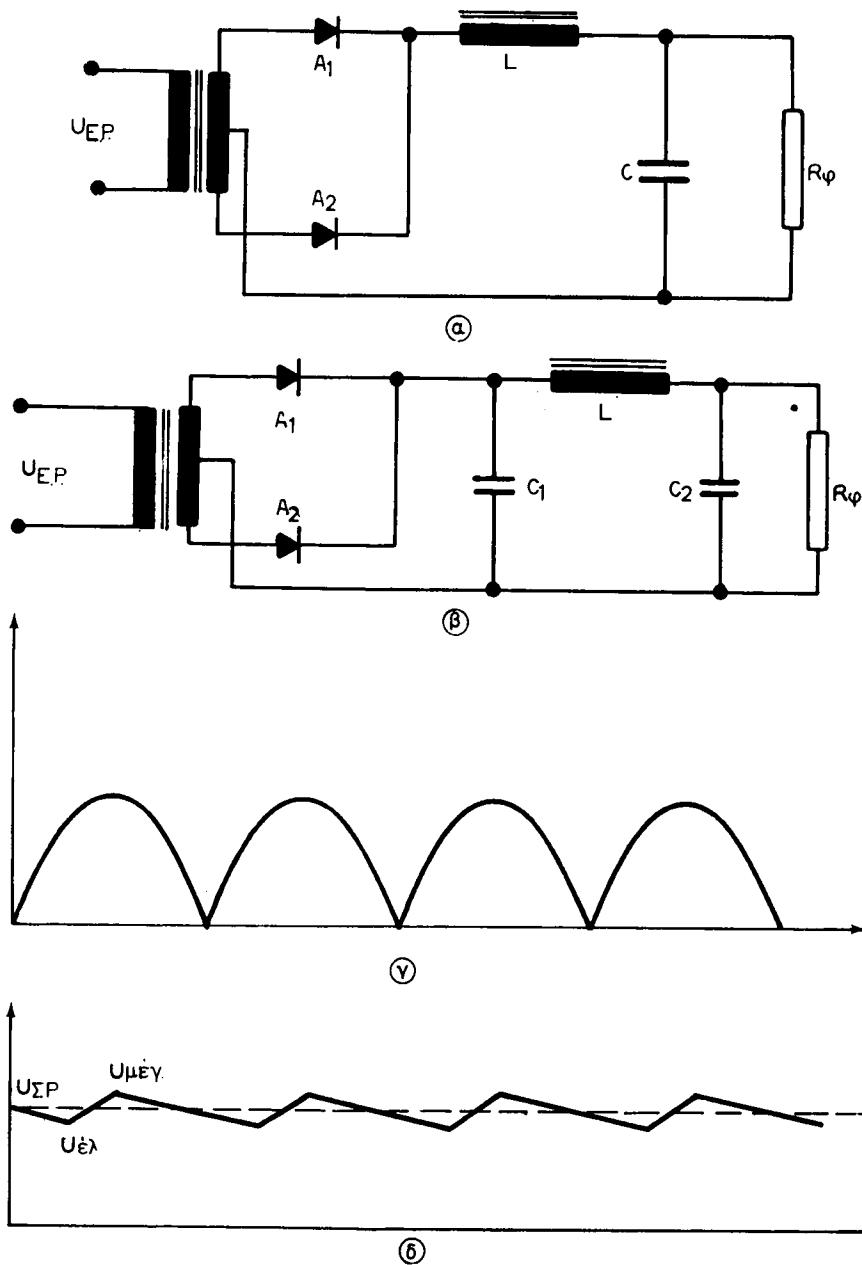
Είναι γνωστό ότι η ανορθωμένη τάση στο φορτίο  $R_f$  παρουσιάζει πολύ μεγάλη κυμάτωση. Η κυμάτωση αυτή εξομαλύνεται όταν μεταξύ του ανορθωτή και του φορτίου τοποθετήσουμε **ειδικά** η-λεκτρικά κυκλώματα, όπως τα **φίλτρα εξομαλύνσεως**.

Τα κυριότερα από τα φίλτρα αυτά, καθώς και η κυματομορφή της τάσεως στην έξοδο του ανορθωτή, φαίνονται στο σχήμα 32.5.

### 32.6 Ασκήσεις.

1. a) Αναγνωρίστε τις μηχανές του ηλεκτρικού ζεύγους που θα σας δοθεί στο εργαστήριο και σημειώστε από την πινακίδα του ζεύγους, τους βαθμούς αποδόσεως, του κινητήρα και της γεννήτριας.

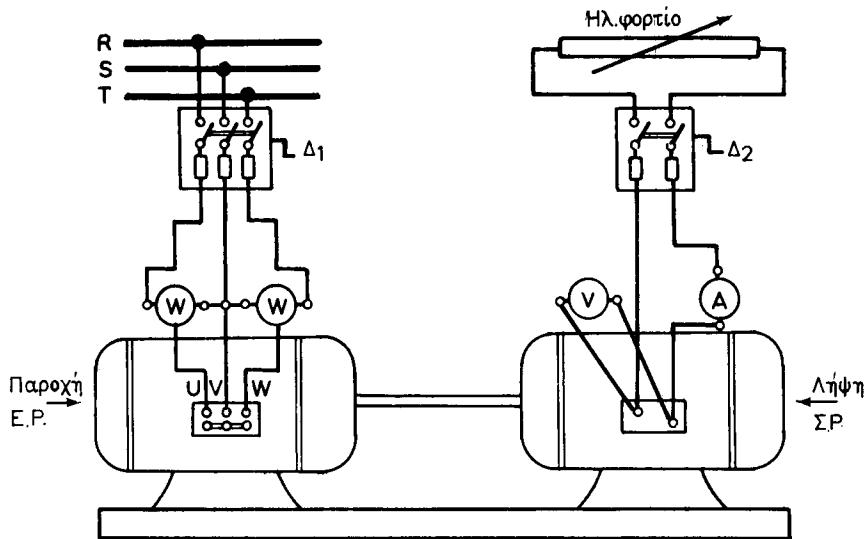
β) Έχοντας υπόψη σας τη συνδεσμολογία του σχήματος 32.6 ζητήστε από τον υπεύθυνο των υλικών και των οργάνων του εργαστηρίου τα κατάλληλα όργανα και τις συσκευές για να πραγματοποιήσετε τη συνδεσμολογία.



Σχ. 32.5.

α) Κύκλωμα διπλής ανορθώσεως με φίλτρο αυτεπαγωγικής εισόδου τύπου L. β) Κύκλωμα διπλής ανορθώσεως με φίλτρο χωρητικής εισόδου. γ) Κυματομορφή τάσεως εξόδου κυκλώματος διπλής ανορθώσεως χωρίς φίλτρο εξομαλύνσεως. δ) Κυματομορφή τάσεως εξόδου φίλτρου χωρητικής εισόδου κυκλώματος διπλής ανορθώσεως.  $U_{\mu \text{εγ}}$  η μέγιστη τάση φορτίσεως του πυκνωτή του φίλτρου.  $U_{\epsilon \lambda}$  η ελάχιστη τάση φορτίσεως του πυκνωτή του φίλτρου.  $U_{\Sigma P}$  η συνεχής συνιστώσα της

$$\text{τάσεως, δηλαδή } U_{\Sigma P} = \frac{U_{\mu \text{εγ}} + U_{\epsilon \lambda}}{2}$$



**Σχ. 32.6.**  
Ζεύγος κινητήρα Ε.Ρ. γεννήτριας Σ.Ρ.

γ) Τροφοδοτήστε τον κινητήρα Ε.Ρ. με ηλεκτρικό ρεύμα σύμφωνα με αυτά που γνωρίζετε από τις αντίστοιχες ασκήσεις και ανάλογα με τον κινητήρα που έχετε στη διάθεσή σας.

δ) Τροφοδοτήστε με ηλεκτρικό ρεύμα το μεταβλητό ηλεκτρικό φορτίο της γεννήτριας κλείνοντας το διακόπτη  $\Delta_2$ .

Σημειώστε σε κάθε μεταβολή του φορτίου αυτού τις ενδείξεις των βαττομέτρων (W), του βολτόμετρου (V) και του αμπερόμετρου (A) στον πίνακα αποτελεσμάτων 32.6.1.

#### ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ 32.6.1

Ισχύς κινητήρα ΕΡ (W)	Τάση Σ.Ρ. γεννήτριας (V)	Ένταση Σ.Ρ. γεννήτριας (A)	Ισχύς γεννήτριας (W)	Συνολικός βαθμός αποδόσεως
.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....

ε) Υπολογίστε σε κάθε περίπτωση μεταβολής του φορτίου της γεννήτριας την αποδιδόμενη ισχύ της και το βαθμό αποδόσεως του ηλεκτρικού ζεύγους.

στ) Σχεδιάστε στο τετράδιό σας τη συνδεσμολογία της ασκήσεως. Σημειώστε τα στοιχεία των μηχανών, οργάνων ελέγχου και συσκευών που χρησιμοποιήσατε. Περιγράψτε την όλη πορεία της ασκήσεως. Συγκρίνετε τους βαθμούς αποδόσεως που υπολογίσατε, με τους βαθμούς της πινακίδας του ηλεκτρικού ζεύγους και διατυπώστε στο τετράδιό τις παρατηρήσεις και τα συμπεράσματά σας.

- 2. a)** Στο εργαστήριο θα σας δοθεί σε «σασσί» ανορθωτικό κύκλωμα όμοιο με εκείνο του σχήματος 32.3δ (1).

Αναγνωρίστε τα στοιχεία του κυκλώματος και ζητήστε να σας δώσουν τα κατάλληλα όργανα για να πραγματοποιήσετε τις παρακάτω συνδέσεις:

- Σε σειρά με το φορτίο της διατάξεως, ένα αμπερόμετρο.
- Παράλληλα με το φορτίο, ένα βολτόμετρο.
- Στο πρωτεύον κύκλωμα του μετασχηματιστή, ένα βαττόμετρο.

**β)** Τροφοδοτήστε το κύκλωμα της ασκήσεως με εναλλασσόμενο ηλεκτρικό ρεύμα (κατάλληλης τάσεως) και σημειώστε τις ενδείξεις των οργάνων ελέγχου.

**γ)** Από το γινόμενο των ενδείξεων του βολτόμετρου και αμπερόμετρου υπολογίστε την ισχύ του συνεχούς ρεύματος Ν<sub>ΣΡ</sub>. Στη συνέχεια υπολογίστε το βαθμό αποδόσεως της ανορθωτικής διατάξεως από την εξής σχέση:

$$\eta\% = \frac{N_{\Sigma P}}{N_{\text{εισ.}}} \cdot 100\% = \frac{(\text{ένδειξη Αμπερόμετρου} \times \text{ένδειξη Βολτόμετρου}}{\text{Ένδειξη Βαττομέτρων}} \cdot 100\%$$

δ) Σχεδιάστε στο τετράδιό σας τη συνδεσμολογία της ασκήσεως και σημειώστε τα στοιχεία των οργάνων και συσκευών που χρησιμοποιήσατε. Περιγράψτε συνοπτικά την πορεία της ασκήσεως και διατυπώστε τις παρατηρήσεις και τα συμπεράσματά σας.

- 3.** Πραγματοποιήστε την ίδια εργασία και τις ίδιες μετρήσεις όπως στην άσκηση 2, αλλά με ανορθωτικές διατάξεις όπως εκείνες του σχήματος 32.3δ (2).

- 4. a)** Τις μετρήσεις των ασκήσεων 2 και 3 πραγματοποιήστε τις με ανορθωτική διάταξη τύπου γέφυρας (σχ. 32.3ε).

β) Συγκρίνετε το βαθμό αποδόσεως της διατάξεως αυτής με εκείνους των ασκήσεων 2 και 3 και διατυπώστε στο τετράδιό σας τις παρατηρήσεις και τα συμπεράσματά σας.

- 5.** Με τη βοήθεια παλμογράφου, που θα σας δοθεί στο εργαστήριο, παρατηρήστε διαδοχικά τις κυματομορφές της τάσεως στα άκρα του φορτίου και στα τρία κυκλώματα των ασκήσεων 2,3 και 4.

Για να χειρισθείτε τον παλμογράφο σας υπενθυμίζομε ότι πρέπει να γνωρίζετε τα κυριότερα ρυθμιστικά «κουμπιά» του και την εργασία που το καθένα κάνει. Δηλαδή:

**Φωτεινότητα** (intensity). Αυξάνει ή ελαττώνει τη φωτεινότητα του σήματος στην οθόνη. Επίσης, συνήθως στο κουμπί της φωτεινότητας είναι και ο διακόπης αποκαταστάσεως και διακοπής του κυκλώματος τροφοδοτήσεως του παλμογράφου.

**Εστίαση του στίγματος** (focus). Καθιστά λεπτότερο και ευκρινέστερο το στίγμα στην οθόνη.

**Κατακόρυφη τοποθέτηση του στίγματος** (vertical position). Ρυθμίζει προς τα πάνω ή κάτω τη θέση του στίγματος στην οθόνη.

**Οριζόντια τοποθέτηση του στίγματος** (horizontal position). Ρυθμίζει προς τα αριστερά ή δεξιά τη θέση του στίγματος.

**Κατακόρυφη ενίσχυση του σήματος** (vertical gain). Ρυθμίζει το πλάτος της εφαρμοζόμενης τάσεως στα πλακίδια κατακόρυφης αποκλίσεως και έτσι κανονίζει το ύψος του παλμογραφήματος στην οθόνη.

**Οριζόντια ενίσχυση** (horizontal gain). Ρυθμίζει το πλάτος της τάσεως στα πλακίδια οριζόντιας αποκλίσεως και έτσι κανονίζει το πλάτος του παλμογραφήματος.

**Επιλογέας συχνότητας σαρώσεως** (sweep frequency selector). Ρυθμίζει χονδρικά την περιοχή στην οποία πρέπει να βρίσκεται η συχνότητα της οριζόντιας ισοταχούς κινήσεως του στίγματος, δηλαδή η συχνότητα της σαρώσεως.

**Λεπτή ρύθμιση της συχνότητας σαρώσεως** (frequency vernier). Ρυθμίζει με περισσότερη ακρίβεια τη συχνότητα της σαρώσεως.

**Επιλογέας συγχρονισμού** (synchronization selector). Διορθώνει τη συχνότητα της σαρώσεως, ώστε το παλμογράφημα που εμφανίζεται στην οθόνη να παραμένει ακίνητο.

Στους διάφορους τύπους παλμογράφων συναντάμε τα ίδια σχεδόν ρυθμιστικά κουμπιά με ελαφρές αλλαγές στην ονομασία. Ακόμα, μια καλή κατασκευή παλμογράφου θα περιλαμβάνει οπωσδήποτε και περισσότερα ρυθμιστικά κουμπιά. Καλή ούμως γνώση ενός απλού παλμογράφου διευκολύνει στον χειρισμό οποιουδήποτε τύπου παλμογράφου συνθετότερης κατασκευής.

Εκτός από τους ρυθμιστές της λειτουργίας του παλμογράφου υπάρχουν στην πρόσωπή του και οι κατάλληλες υποδοχές για τη σύνδεση των σημάτων, που πρόκειται να εμφανισθούν στην οθόνη. Οι κυριότερες από τις υποδοχές αυτές είναι:

**Κατακόρυφη είσοδος** (vertical input). Σ' αυτή την είσοδο συνδέεται το προς παρατήρηση σήμα.

**Οριζόντια είσοδος** (horizontal input). Εδώ συνδέεται εξωτερικό σήμα σαρώσεως, που πρόκειται να εφαρμοσθεί στα πλακίδια οριζόντιας αποκλίσεως, όταν δεν χρησιμοποιείται εσωτερική σάρωση.

Για να θέσετε σε λειτουργία τον παλμογράφο πρέπει να ακολουθήσετε την παρακάτω σειρά εργασιών.

- Να τοποθετηθούν ο «επιλογέας συχνότητας σαρώσεως» (sweep selector) και η «λεπτή ρύθμιση συχνότητας σαρώσεως» (sweep vernier) στο μέσο της διαδρομής τους.

- Να τοποθετηθούν οι ρυθμιστές (τα κουμπιά) οριζόντιας και κατακόρυφης αποκλίσεως (horizontal και vertical position).

- Να τοποθετηθεί στο μέσο της διαδρομής ο επιλογέας συγχρονισμού (synchronization selector στη θέση int. (internal, εσωτερικός), ώστε να λειτουργεί ο εσωτερικός συγχρονισμός. Ο απλός ρυθμιστής συγχρονισμού (sync) να μείνει εντελώς κλειστός.

- Να τοποθετηθεί ο ρυθμιστής φωτεινότητας (intensity) στα  $\frac{3}{4}$  της διαδρομής

του και ο ρυθμιστής κατακόρυφης ενισχύσεως (vertical gain) να τοποθετηθεί σχεδόν στη μέγιστη ένδειξη.

- Να τεθεί ο ρυθμιστής οριζόντιας ενισχύσεως επίσης στα  $\frac{3}{4}$  περίπου της διαδρομής του.
- Να ρυθμισθούν τα κουμπιά κατακόρυφης και οριζόντιας θέσεως έτσι ώστε η φωτεινή ευθεία, η οποία εμφανίζεται οριζόντια στην οθόνη, αφού θερμανθεί για ένα ή δύο λεπτά ο παλμογράφος, να τοποθετηθεί στο μέσο της οθόνης.
- Να γίνει λεπτή και ευκρινής η φωτεινή ευθεία με επέμβαση στους ρυθμιστές φωτεινότητας (intensity) και εστιάσεως (focus).
- Να ρυθμισθεί το πλάτος της ευθείας με επέμβαση στο ρυθμιστή της οριζόντιας ενισχύσεως (horizontal gain).
- Να συνδεθεί διαδοχικά στην κατακόρυφη είσοδο (vertical punt) η τάση του φορτίου της κάθε ανορθωτικής διατάξεως.
- Να ρυθμισθούν ο επιλογέας κατακόρυφης θέσεως (vertical position selector) και ο κατακόρυφος ενισχυτής (vertical gain), ώστε το σήμα να καλύψει το 80% περίπου της οθόνης σε ύψος.
- Να τοποθετηθεί ο επιλογέας συχνότητας σαρώσεως (sweep selector) και να στραφεί το κουμπί λεπτής ρυθμίσεως της συχνότητας σαρώσεως (sweep vernier) έτσι, ώστε να παρουσιασθούν δύο πλήρεις εναλλαγές της τάσεως του σήματος στην οθόνη.
- Να σταθεροποιηθεί με το ρυθμιστή συγχρονισμού (sync) το σήμα στην οθόνη. Για πλήρη σταθεροποίηση ίσως χρειασθεί επέμβαση και στο μικρομετρικό επιλογέα συχνότητας σαρώσεως (sweep vernier).

**6. α)** Αναγνωρίστε το ανορθωτικό κύκλωμα λυχνίας υδράργυρου που θα σας δοθεί στο εργαστήριο και σχεδιάστε το στο τετράδιό σας.

β) Τροφοδοτήστε το κύκλωμα της διατάξεως με την κατάλληλη ηλεκτρική τάση «θερμάνσεως».

Μετά τη θέρμανση της λυχνίας και τη δημιουργία ατμών υδράργυρου, εφαρμόστε την εναλλασσόμενη τάση που θέλετε να ανορθώσετε.

γ) Συνδέστε στην έξοδο της ανορθωτικής διατάξεως (στο φορτίο  $R_\phi$ ) παλμογράφο, όπως κάνατε στην άσκηση 5 και παρατηρήστε τη μορφή του ανορθωμένου κύματος. Σχεδιάστε τη μορφή αυτή στο τετράδιό σας.

δ) Τοποθετήστε, μεταξύ της καθόδου της λυχνίας και του φορτίου  $R_\phi$ , φίλτρο εξομαλύνσεως με αυτεπαγωγική και με χωρητική είσοδο, όπως στο σχήμα 32.5 (α) και 32.5 (β).

Σε κάθε περίπτωση παρακολουθήστε στην οθόνη του παλμογράφου τις κυματομορφές. Σχεδιάστε τις στο τετράδιό σας και συγκρίνετε τις.

Διατυπώστε στο τέτραδιό σας τις παρατηρήσεις και τα συμπεράσματά σας.

ε) Τροφοδοτήστε το κύκλωμα της διατάξεως με μεταβλητή εναλλασσόμενη τάση και ρυθμίστε αυτά μέχρι να διαπιστώσετε την τιμή της τάσεως εναύσεως της λυχνίας.

## ΜΕΡΟΣ ΠΕΜΠΤΟ

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΑΚΟΣΤΟ ΤΡΙΤΟ

#### ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ

##### 33.1 Γενικά.

Εσωτερική Ηλεκτρική Εγκατάσταση (Ε.Η.Ε.) είναι το ηλεκτρικό δίκτυο τροφοδοτήσεως των λαμπτήρων φωτισμού, μηχανημάτων και συσκευών που είναι εγκαταστημένες σε δημόσια ή ιδιωτικά κτίρια ή σε χώρους που περιλαμβάνουν περιφραγμένα γήπεδα, ακάλυπτους χώρους και σε ζωνες σταθμεύσεως οχημάτων. Η αρχή της Ε.Η.Ε. είναι το σημείο που τοποθετείται ο μετρητής ηλεκτρικής ενέργειας, δηλαδή το σημείο που καταλήγει ένα τμήμα του δικτύου διανομής της ΔΕΗ (παροχή).

Σε κάθε χώρα έχουν θεσπισθεί κανονισμοί με σκοπό να εξασφαλίσουν προστασία, σε πρόσωπα, κτίρια κλπ., από τους κινδύνους που προκύπτουν με τη χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας για φωτισμό, κίνηση, θέρμανση, σήμανση κλπ.

Στη χώρα μας ισχύουν για τις Ε.Η.Ε. ειδικοί κανονισμοί, που τους λέμε «κανονισμό Εσωτερικών Ηλεκτρικών Εγκαταστάσεων».

**Προσοχή:** Οι κανονισμοί των Ε.Η.Σ. αποτελούν βασικό βοήθημα και απαραίτητο σύμβουλο γι' αυτόν που εργάζεται στο χώρο του ηλεκτρισμού (μελετητές εγκαταστάσεως, τεχνίτες κλπ.).

##### 33.2 Συνδεσμολογίες βασικών κυκλωμάτων φωτισμού.

Η εσωτερική ηλεκτρική εγκατάσταση (Ε.Η.Ε.) φωτισμού μιας κατοικίας (ή και οποιουδήποτε άλλου χώρου) αποτελεί ένα συνδυασμό βασικών ηλεκτρικών κυκλωμάτων που βρίσκονται εγκαταστημένα στους διάφορους επί μέρους χώρους. Τα κυκλώματα αυτά τροφοδοτούνται με ηλεκτρικό ρεύμα από ηλεκτρικές γραμμές που αναχωρούν από τον κεντρικό πίνακα διανομής, όπως φαίνεται στο σχήμα 33.2α.

Οι βασικότερες συνδεσμολογίες των τοπικών κυκλωμάτων που συνδυάζονται κατάλληλα για να εξυπηρετήσουν συνολικά το φωτισμό μιας Ε.Η.Ε. είναι οι εξης:

###### 33.2.1 Συνδεσμολογία απλού διακόπτη με ένα φως.

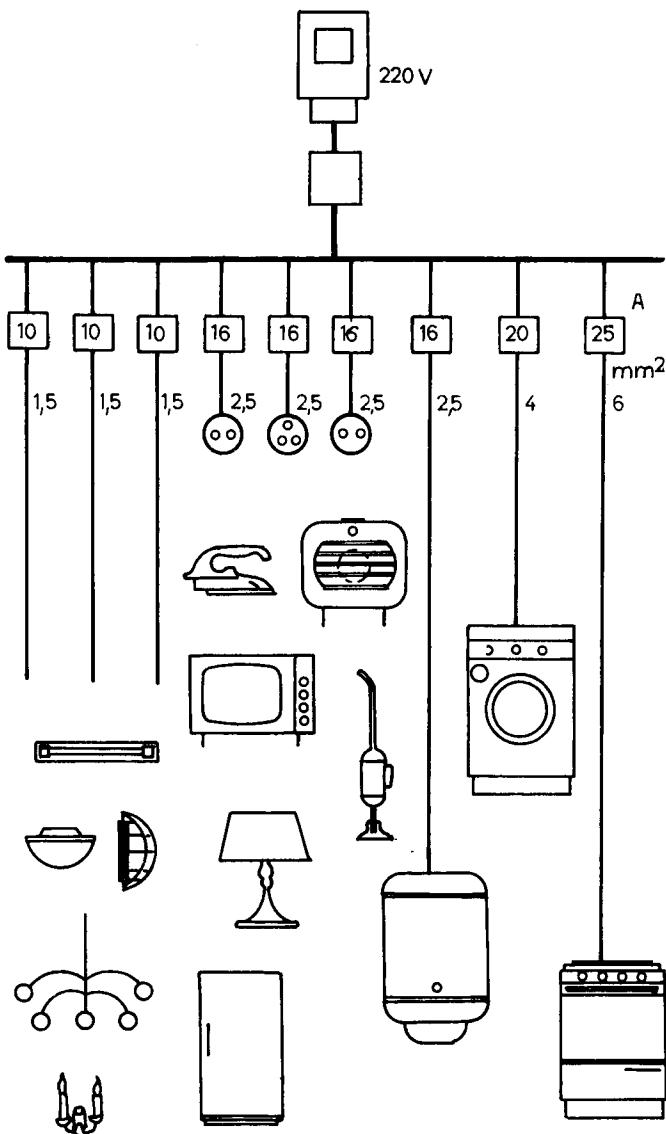
Είναι η πιο απλή συνδεσμολογία που συναντά ο ηλεκτρολόγος στην πράξη. Για την πραγματοποίησή της χρειάζονται μια λυχνιολαβή (ντουΐ), ένας απλός διακόπτης, ένα κουτί διακλαδώσεως και αγωγοί για τη σύνδεσή τους.

Ο απλός διακόπτης έχει δύο ακροδέκτες (σχ. 33.2β). Στον ένα από αυτούς συνδέεται αγωγός που ξεκινάει από τη γραμμή της φάσεως (μαύρο χρώμα). Τον αγωγό αυτό τον χαρακτηρίζουμε **αγωγό της φάσεως** για να τον διακρίνουμε από τους άλλους αγωγούς.

Ο άλλος ακροδέκτης του διακόπτη συνδέεται με αγωγό μαύρου χρώματος που καταλήγει στον ένα ακροδέκτη της λυχνιολαβής (ντουΐ). Ο αγωγός αυτός χαρακτηρίζεται **αγωγός επιστροφής**. Ο δεύτερος ακροδέκτης της λυχνιολαβής συνοδεύεται με αγωγό γκρι χρώματος που καταλήγει στη γραμμή του ουδέτερου.

###### 33.2.2 Συνδεσμολογία απλού φωτός και ρευματοδότη.

Στη συνδεσμολογία αυτή έχουμε συνδεσμολογημένο και ένα ρευματοδότη (σχ. 33.2γ).



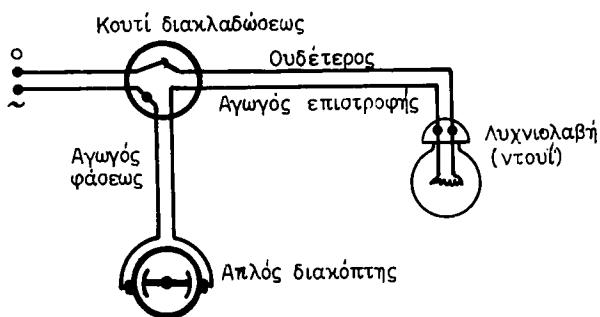
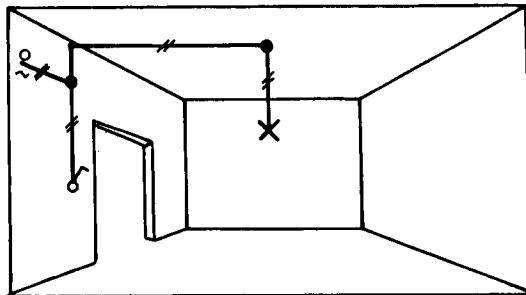
Σχ. 33.2α.

Ο ρευματοδότης μπορεί να είναι διπολικός (χωρίς επαφή γειώσεως) ή τριπολικός (με επαφή γειώσεως).

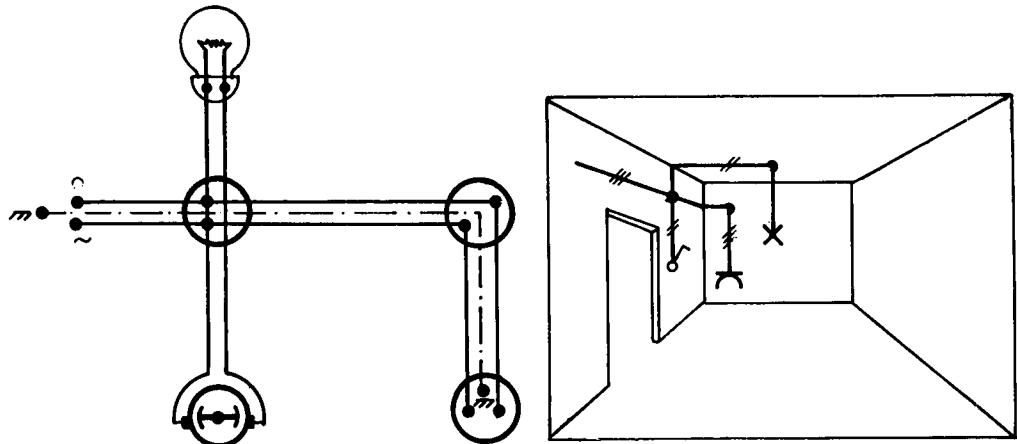
Στην περίπτωση του διπολικού ρευματοδότη ο ένας ακροδέκτης συνδέεται με μαύρο αγωγό που ξεκινάει από τη γραμμή φάσεως της εγκαταστάσεως. Ο άλλος ακροδέκτης του ρευματοδότη συνδέεται με αγωγό γκρι χρώματος που ξεκινάει από τη γραμμή του ουδέτερου.

Τις πιο πολλές φορές όμως χρησιμοποιούνται οι τριπολικοί ρευματοδότες (βλέπε και Κανονισμούς Ε.Η.Ε.), οι οποίοι φέρουν τρεις ακροδέκτες.

Σε αυτούς τους ρευματοδότες ο τρίτος ακροδέκτης, ο μεσαίος στη σειρά, συνδέεται με αγωγό κίτρινου χρώματος και με τη γραμμή γειώσεως της εγκαταστάσεως.



**Σχ. 33.2β.**  
Συνδεσμολογία απλού διακόπτη με ένα φως.

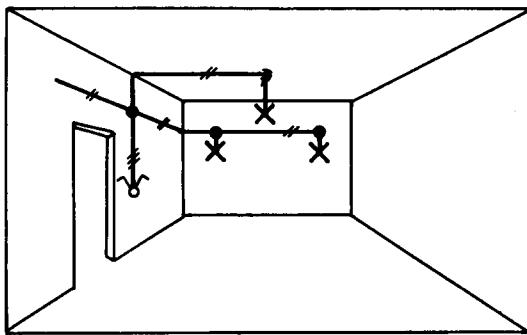
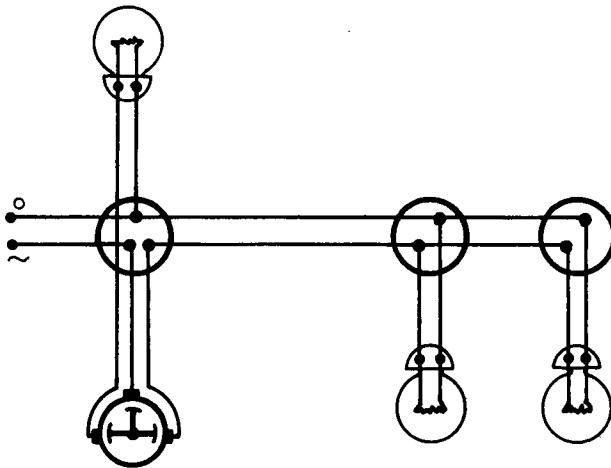


**Σχ. 33.2γ.**  
Απλό φως και ρευματοδότης.

### 33.2.3 Συνδεσμολογία διακόπτη καμπιτατέρ (επιλεκτικός διακόπτης).

Με τη συνδεσμολογία αυτή πραγματοποιούμε ένα κύκλωμα όπου, με ένα διακόπτη μπορούμε να αναβοσβύνομε δύο φώτα ένα-ένα χωριστά ή περισσότερα σε ομάδες ή και όλα μαζί. Για τη συνδεσμολογία ενός τέτοιου κυκλώματος με τρία φώτα χρειαζόμαστε τρεις λυχνιολαβές (ντουΐ) ή ένα πο-

λύφωτο με τρία φωτιστικά στοιχεία, ένα διακόπτη κομμιτατέρ, τρία κουτιά διακλαδώσεως και αγωγούς για τη σύνδεσή τους. Ο διακόπτης αυτού του είδους έχει τρεις ακροδέκτες. Στο μεσαίο ακροδέκτη συνδέεται ο αγωγός (μαύρος) που ξεκινάει από τη γραμμή της φάσεως και οι ακραίοι ακροδέκτες με αγωγούς επιστροφής. Ενώνονται, ο ένας με έναν ακροδέκτη μιας λυχνιολαβής και ο άλλος σε έναν από τους δύο κόμβους που έχουν σχηματισθεί από την παράλληλη σύνδεση των δύο άλλων λυχνιολαβών. Ο ουδέτερος (γκρι χρώμα) συνδέεται με τους ελεύθερους ακροδέκτες των λυχνιολαβών (σχ. 33.2δ).



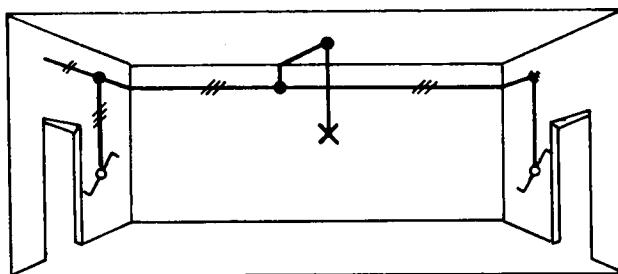
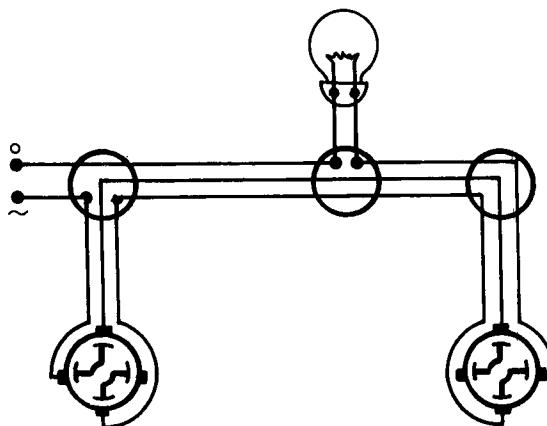
**Σχ. 33.2δ.**  
Διακόπτης Κομμιτατέρ.

### 33.2.4 Συνδεσμολογία δύο ακραίων διακοπών αλλέ-ρετούρ (παλινδρομικός διακόπτης με ένα φως).

Τη συνδεσμολογία αυτή την πραγματοποιούμε όταν θέλομε να αναβοσβύνομε το φως από δύο ή περισσότερα διαφορετικά σημεία.

Τα υλικά που χρειαζόμαστε στην περίπτωση αυτή είναι δύο ακραίοι διακόπτες αλλέ-ρετούρ, μια λυχνιολαβή, τρία κουτιά διακλαδώσεως και αγωγούς για τη σύνδεσή τους.

Οι διακόπτες αλλέ-ρετούρ στο σταθερό τους μέρος μοιάζουν με τους διακόπτες κομμιτατέρ, δηλαδή έχουν τρεις σταθερούς ακροδέκτες. Η διαφορά της κατασκευής τους βρίσκεται στο κινητό τους μέρος (σχ. 33.2ε).



**Σχ. 33.2ε.**  
Διακόπτες ακραίοι αλλέ-ρετούρ.

### 33.3 Απαραίτητα εργαλεία για την κατασκευή κυκλωμάτων φωτισμού.

Στο σχήμα 33.3 φαίνονται τα βασικά και απαραίτητα εργαλεία, που χρειάζονται οι ηλεκτρολόγοι για την κατασκευή κυκλωμάτων φωτισμού. Αυτά είναι:

**α) Πένσες** [σχ. 33.3(1)]:

Κατασκευάζονται από ανοξείδωτο χάλυβα. Η λαβή τους καλύπτεται από πλαστικό μονωτικό μεγάλης διηλεκτρικής αντοχής για προστασία από ηλεκτροπλήξια εκείνου που τη χρησιμοποιεί.

Οι πένσες χρησιμεύουν για να κόβουν και να διαμορφώνουν αγωγάς ηλεκτρικών εγκαταστάσεων μέχρι  $10\text{mm}^2$  (διατομή). Επίσης χρησιμεύουν για να σφίγγουν και να συγκρατούν σωλήνες εγκατάστασεων καθώς και διάφορα τεμάχια εξαρτημάτων τους.

**β) Πλαγιοκόπτες** [σχ. 33.3(2)]:

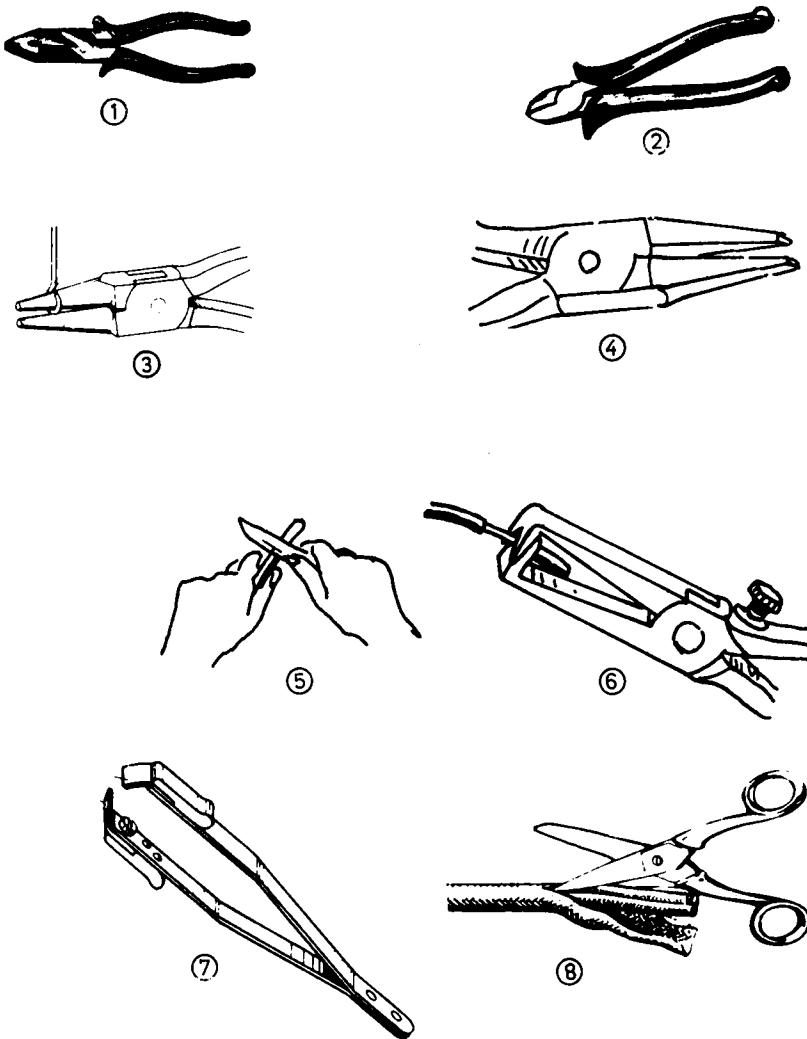
Είναι πιο κατάλληλοι από τις πένσες για το κόψιμο των αγωγών.

**γ) Μυτοτσίμπτα** [(σχ. 33.3(3))].

Χρησιμοποιούνται περισσότερο για τη διαμόρφωση των αγωγών:

**δ) Πλατυτσίμπτα** [σχ. 33.3(4)].

Χρησιμοποιούνται για συγκράτηση και σύσφιξη των αγωγών καθώς για τη διαμόρφωσή τους.



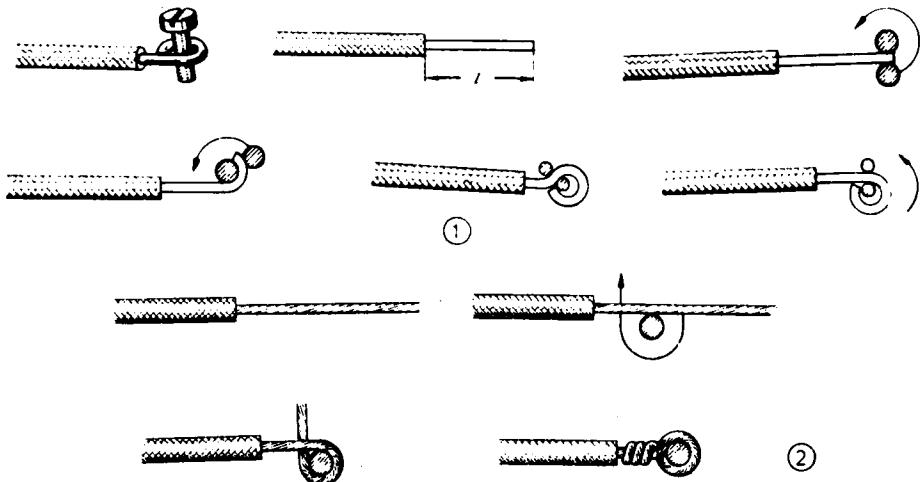
**Σχ. 33.3.**  
Εργαλεια ηλεκτρολόγου.

Για την απογύμνωση των άκρων μονωμένων αγωγών, προκειμένου να συνδεθούν σε ακροδέκτες διακοπών, ρευματοδοτών ή διακλαδωτήρων, χρησιμοποιούνται, ανάλογα με το είδος του μονωτικού και τη διατομή του αγωγού, **το μαχαίρι του ηλεκτρολόγου** [σχ. 33.3(5)], η πένσα απογυμνώσεως [σχ. 33.4(6)], **η πένσα αποξέσεως** [σχ. 33.3(7)] (όταν οι αγωγοί φέρουν εμαγιέ) και **το ψαλίδι του ηλεκτρολόγου** [σχ. 33.3(8)].

#### 33.4 Διαμόρφωση αγωγών.

Μετά την απογύμνωση των άκρων των αγωγών από τη μόνωσή τους, ο ηλεκτρολόγος πρέπει να επιδείξει ιδιαίτερη προσοχή στη διαμόρφωση των άκρων. Και αυτό για να γίνει η σύνδεση των αγωγών με τους ακροδέκτες των διακοπών και των άλλων ηλεκτρικών εξαρτημάτων ενός κυκλώματος σταθερή, καλαίσθητη και προς παντός **ασφαλής**. Μια κακή σύνδεση αγωγού σε ακροδέκτη προκαλεί:

- Υπερθέρμανση στο σημείο συνδέσεως (καταστροφή της συνδέσεως).
  - Πτώση τάσεως στο σημείο της συνδέσεως.
  - Πυρκαϊά από την ανάφλεξη γειτονικών ευφλέκτων υλών.
- Στο σχήμα 33.4 φαίνεται η διαδικασία διαμορφώσεως των áκρων μονόκλωνου και πολύκλωνου αγωγού.



Σχ. 33.4.

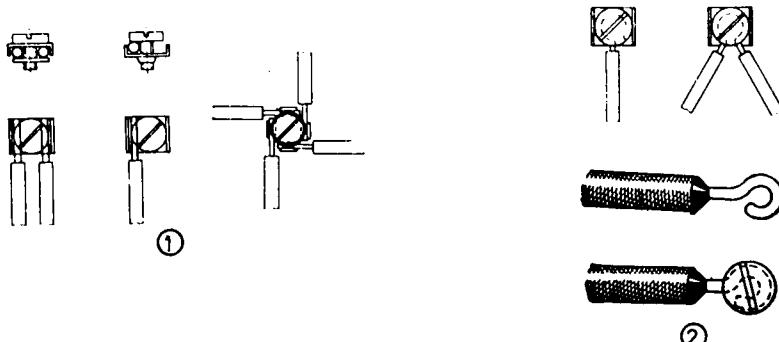
1) Διαδικασία διαμορφώσεως μονόκλωνου αγωγού με μυτοτσίμπιδο. 2) Διαδικασία διαμορφώσεως πολύκλωνου αγωγού σε «Θηλειά» με μυτοτσίμπιδο.

### 33.5 Σύνδεση αγωγών με ακροδέκτες.

Η σύνδεση αυτή πραγματοποιείται με τη βοήθεια των κατσαβίδιων. Ο ηλεκτρολόγος πρέπει πάντοτε να έχει στη διάθεσή του μια σειρά από κατσαβίδια ώστε να είναι δυνατή η εκλογή του κατάλληλου κατσαβίδιού που πρέπει να χρησιμοποιήσομε στην ανάλογη περίπτωση.

Στις ηλεκτρολογικές εργασίες δεν πρέπει να χρησιμοποιούμε οποιοδήποτε κατσαβίδι. Η χρήση καλού κατσαβίδιου επιδρά στην ποιότητα και απόδοση της εργασίας.

Τα ηλεκτρολογικά κατσαβίδια φέρουν στη χειρολαβή τους πλαστική μόνωση για την προστασία του χειριστή από ηλεκτροπλήξια. Η διαδικασία της συνδέσεως των áκρων αγωγών σε ακροδέκτες φαίνεται στο σχήμα 33.5.



Σχ. 33.5.

Σύνδεση αγωγών σε ακροδέκτες.

1) Απ' ευθείας σύνδεση. 2) Σύνδεση τύπου «Θηλειάς».

Προσοχή χρειάζεται στην τοποθέτηση της «θηλειάς» στον ακροδέκτη. Πρέπει να γίνεται έτσι, ώστε όταν βιδώνομε με το κατσαβίδι η θηλειά να κλείνει προς τα μέσα.

### 33.6 Ασκήσεις.

1. Από την αποθήκη υλικού του εργατηρίου και με τη βοήθεια του καθηγητή ξεχωρίστε τα κατάλληλα υλικά (διακόπτες, λυχνιολαβές, κουτιά διακλαδώσεως κλπ.) για την κατασκευή της συνδεσμολογίας του σχήματος 33.2β.

Τοποθετήστε τα υλικά, που ξεχωρίσατε προηγουμένως, στην πινακίδα που θα σας διατεθεί στο εργατήριο και κατασκευάστε τη συνδεσμολογία του σχήματος 33.2β.

Για την κατασκευή της συνδεσμολογίας της ασκήσεως χρησιμοποιήστε τα κατάλληλα εργαλεία και τις οδηγίες που σας έχουν δοθεί.

Αφού τελειώσετε τη συνδεσμολογία, και με τη βοήθεια πάντα του καθηγητή, θέστε το κύκλωμα που κατασκευάσατε σε τάση και ελέγξτε τη λειτουργία του.

Αποσυναρμολογήστε τη συνδεσμολογία που κάνατε και τοποθετήστε τα υλικά στη θέση από όπου τα παραλάβατε.

Σχεδιάστε στο τετράδιό σας τη συνδεσμολογία που κατασκευάσατε σε πολυγραμμικό και μονογραμμικό σχέδιο. Σημειώστε τα υλικά και τα εργαλεία που χρησιμοποιήσατε. Εξηγήστε, γιατί ο διακόπτης πρέπει να τοποθετείται στη γραμμή φάσεως της εγκαταστάσεως.

2. Πραγματοποιήστε συνδεσμολογίες όπως στα σχήματα 33.2γ, 33.2δ και 33.2ε ακολουθώντας τη διαδικασία και τις ενέργειες της ασκήσεως 1.

Κάθε συνδεσμολογία αποτελεί ανεξάρτητη άσκηση.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΑΚΟΣΤΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

### ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΜΑΓΕΙΡΙΟΥ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΘΕΡΜΟΣΙΦΩΝΑ

#### 34.1 Γενικά.

Το ηλεκτρικό μαγειρείο και ο ηλεκτρικός θερμοσίφωνας σε κάθε Ε.Η.Ε. μιας κατοικίας χρησιμοποιούνται ανεξάρτητες ηλεκτρικές γραμμές τροφοδοτήσεως οι οποίες αρχίζουν από το γενικό πίνακα διανομής.

Επειδή η ισχύς και των δύο αυτών συσκευών είναι σχετικά μεγάλη, επιβάλλεται να τροφοδοτούνται ηλεκτρικά μέσω διπολικών διακοπών, ή τετραπολικών σε περίπτωση τριφασικής τροφοδοτήσεως. Δηλαδή να διακόπτονται οι φάσεις και ο ουδέτερος.

Η τοποθέτηση του διακόπτη γίνεται ανάλογα με τη διαρρύθμιση των χώρων της κατοικίας και τη θέση του γενικού πίνακα διανομής. Έτσι ο διακόπτης μπορεί να τοποθετηθεί κοντά στη συσκευή ή επάνω στον κεντρικό πίνακα διανομής.

#### 34.2 Συνδεσμολογία ηλεκτρικού μαγειρείου.

Το μεγαλύτερο μέρος του φορτίου της Ε.Η.Ε. μιας κατοικίας αντιστοιχεί συνήθως στο κύκλωμα του ηλεκτρικού μαγειρείου. Τα ηλεκτρικά μεγειρεία (ηλεκτρικές κουζίνες) που χρησιμοποιούνται σήμερα στις κατοικίες, σε πολλές περιπτώσεις, ξεπερνούν σε ισχύ τα 10 kW.

Στην πράξη, για να υπολογίσουμε την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που απορροφά ένα ηλεκτρικό μαγειρείο κατά τη λειτουργία του, παίρνομε ένα **συντελεστή ταυτοχρονισμού**  $0,7 \div 0,8$ . Δηλαδή θεωρούμε ότι το μαγειρείο εργάζεται με το 70% - 80% από τη συνολική του ισχύ [είναι σπάνιο αν όχι αδύνατο, να λειτουργούν συγχρόνως οι εστίες («μάτια») της κουζίνας και ο φούρνος].

Στον πίνακα 34.2.1 δίνονται ενδεικτικά, τα βασικά στοιχεία για την εγκατάσταση του κυκλώματος των ηλεκτρικών μαγειρείων (διατομή αγωγών τροφοδοτήσεως, ασφάλειες κλπ.).

#### **ΠΙΝΑΚΑΣ 34.2.1.**

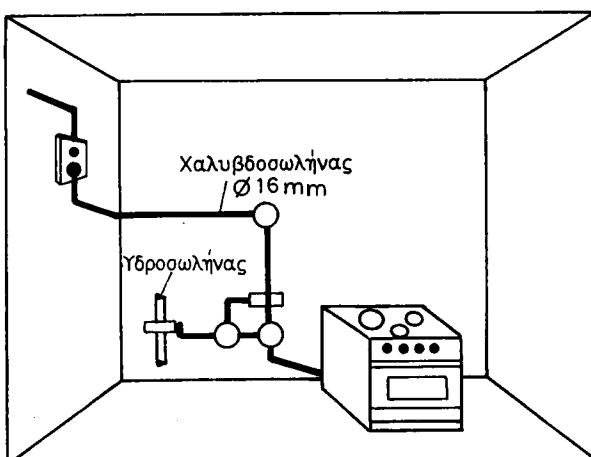
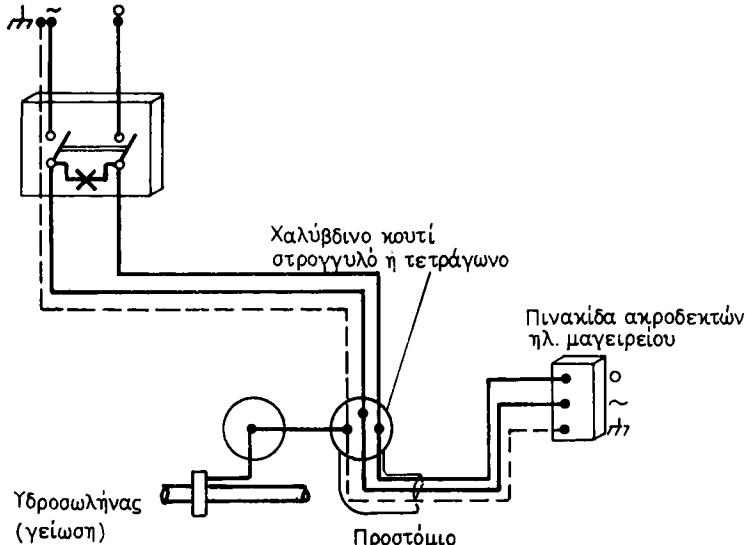
#### *Διατομές και ασφάλειες ανάλογα με την ισχύ του μαγειρείου*

Ισχύς ηλεκτρικού μαγειρείου σε kW	Τάση τροφοδοτήσεως μονοφασικού 220V	
	Διατομή σε mm <sup>2</sup>	Ασφάλειες σε A
μέχρι 2,5	2x 1,5	10
από 2,5 μέχρι 4	2x 2,5	16
από 4 μέχρι 6	2x 4	20
από 6 μέχρι 9,5	2x 6	25
από 7,5 μέχρι 10	2x10	35

Υπενθυμίζομε ορισμένες βασικές αρχές, υποχρεωτικές από τους κανονισμούς Ε.Η.Ε., για την εγκατάσταση κάθε ηλεκτρικού μαγειρείου:

- Ελάχιστη διατομή των αγωγών της γραμμής τροφοδοτήσεως του ηλεκτρικού μαγειρέου  $6\text{mm}^2$ .
- Το κατακόρυφο τμήμα της ηλεκτρικής γραμμής τροφοδοτήσεως εγκαθίσταται σε χαλυβδοσωλήνα με διάμετρο τουλάχιστον  $16\text{mm}$ . Ο χαλυβδοσωλήνας σε χαλύβδινο στρογγυλό ή τετράγωνο κουτί.
- Από το χαλύβδινο κουτί τροφοδοτείται το ηλεκτρικό μαγειρέο με εύκαμπτο καλώδιο.
- Στο σημείο εισόδου του καλωδίου στο χαλύβδινο κουτί τοποθετείται «προστόμιο» από μονωτικό υλικό για την προστασία του από μηχανική βλάβη (γδάρσιμο κλπ).

Στο σχήμα 34.2 φαίνεται η εγκατάσταση και η συνδεσμολογία της γραμμής τροφοδοτήσεως ενός ηλεκτρικού μαγειρέου.



**Σχ. 34.2β.**  
Εγκατάσταση ηλεκτρικού μαγειρέου.

### 34.3 Συνδεσμολογία ηλεκτρικού θερμοσίφωνα.

Οι ηλεκτρικοί θερμοσίφωνες έχουν συνήθως ισχύ μικρότερη από εκείνη του ηλεκτρικού μαγειρέου.

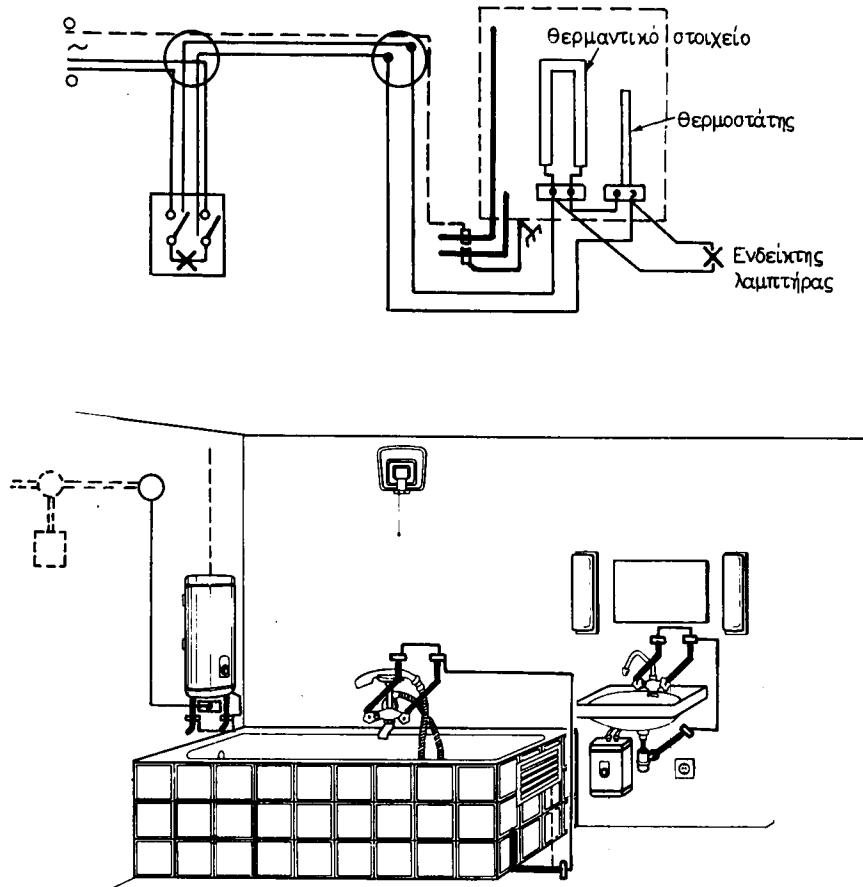
Η ηλεκτρική γραμμή τροφοδοτήσεως κάθε θερμοσίφωνα είναι ανεξάρτητη από τις άλλες γραμμές. Όσον αφορά τώρα την εγκατάσταση της «γειώσεως» χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή.

Έτσι, εκτός από τη σύνδεση του θερμοσίφωνα με το σύστημα γειώσεως της εγκαταστάσεως της κατοικίας πραγματοποιούνται στο λουτρό οι «γεφυρώσεις».

Δηλαδή, με αγωγούς γειώσεως και ειδικά μεταλλικά περιλαίμια, τα «κολλάρα» γειώσεως, γεφυρώνομε ανεξάρτητα τους σωλήνες του ζεστού και κρύου νερού, καθώς και της αποχετεύσεως του νιπτήρα, του «μπιντέ» και του «μπανιού».

Επίσης ο πίνακας χειρισμού λειτουργίας του ηλεκτρικού θερμοσίφωνα τοποθετείται πάντοτε έξω από το χώρο του λουτρού.

Στο σχήμα 34.3 φαίνεται η εγκατάσταση, η συνδεσμολογία της γραμμής τροφοδοτήσεως θερμοσίφωνα και οι γεφυρώσεις λουτρού.



**Σχ. 34.3.**  
Εγκατάσταση θερμοσίφωνα — Γεφυρώσεις λουτρού.

### 34.4 Ασκήσεις.

1. a) Αναγνωρίστε τα διάφορα εξαρτήματα και υλικά που θα σας δοθούν στο εργαστήριο για να πραγματοποιήσετε την ηλεκτρική συνδεσμολογία ενός ηλεκτρικού μαγειρείου.  
 β) Σχεδιάστε στο τετράδιό σας τη συνδεσμολογία ηλεκτρικού μαγειρείου, σύμφωνα με το σχήμα 34.2 σε πολυγραμμικό και μονογραμμικό σχέδιο.  
 γ) Πραγματοποιήστε τη συνδεσμολογία του ηλεκτρικού μαγειρείου.  
 Ζητήστε να την ελέγχει ο υπεύθυνος καθηγητής του εργαστηρίου και τροφοδοτήστε την με ηλεκτρικό ρεύμα. Διαπιστώστε τη σωστή λειτουργία της.  
 δ) Περιγράψτε συνοπτικά στο τετράδιό σας τη διαδικασία που πραγματοποιήσατε για τη συνδεσμολογία της ασκήσεως.
  2. a) Αναγνωρίστε τα υλικά και τα διάφορα εξαρτήματα που θα σας δοθούν στο εργαστήριο και πραγματοποιήσετε τη συνδεσμολογία ηλεκτρικού θερμοσίφωνα.  
 β) Σχεδιάστε στο τετράδιό σας το μονογραμμικό και πολυγραμμικό σχέδιο της συνδεσμολογίας του ηλεκτρικού θερμοσίφωνα σύμφωνα με το σχήμα 34.3. Επαναλάβετε στη συνέχεια τις ενέργειες δύπιστης στην άσκηση 1γ και 1δ.
-

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΑΚΟΣΤΟ ΠΕΜΠΤΟ

### ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΠΙΝΑΚΕΣ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ

#### 35.1 Γενικά.

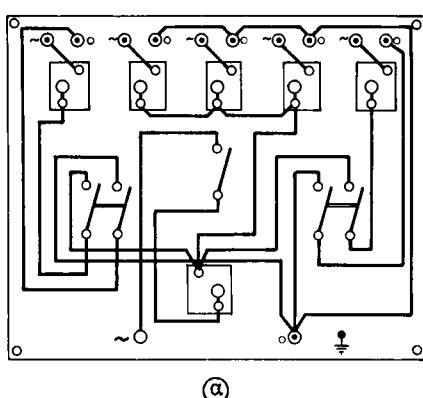
Σήμερα στις Ε.Η.Σ χρησιμοποιούνται οι εντοιχισμένοι πλαστικοί ή μεταλλικοί ηλεκτρικοί πίνακες διανομής.

Οι πίνακες αυτοί, σε σχέση με τους μαρμάρινους ηλεκτρικούς πίνακες οι οποίοι έπαψαν σχεδόν να χρησιμοποιούνται, προσφέρουν μεγαλύτερη ασφάλεια, καλύτερη λειτουργία και είναι περισσότερο ευπαρουσίαστοι. Ακόμα είναι εύκολη η συναρμολόγηση και αποσυναρμολόγησή τους. Καταλαμβάνουν μικρό χώρο (βάθος εντοιχισμού περίπου 10 cm) και εξυπηρετούν σχετικά πολλά ηλεκτρικά κυκλώματα.

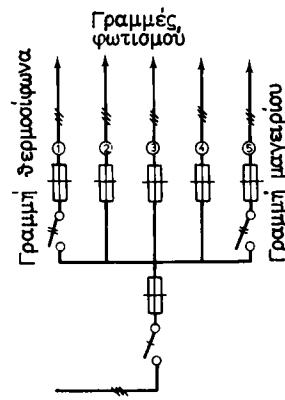
Τα βασικά εξαρτήματα κάθε πίνακα διανομής φωτισμού είναι:

- Οι ακροδέκτες (μπόρνες) εισαγωγής.
- Ο γενικός διακόπτης.
- Η γενική ασφάλεια.
- Οι μερικές ασφάλειες των γραμμών τροφοδοτήσεως (φωτισμού, ρευματοδότη, θερμοσίφωνα κλπ.).
- Οι μερικοί διακόπτες (ηλεκτρικού μαγειρείου, θερμοσίφωνα κ.ά.) και
- οι ακροδέκτες εξαγωγής.

Στη συναρμολόγηση των ηλεκτρικών πινάκων θα πρέπει να προσέχουμε ώστε ο αγωγός φάσεων από τον ακροδέκτη εισαγωγής να περνάει πρώτα από το γενικό διακόπτη και στη συνέχεια να ακολουθεί τη διαδρομή, γενική ασφάλεια – μερικές ασφάλειες (διακλαδώσεις) – ακροδέκτες (μπόρνες) εξαγωγής.



(a)



(b)

**Σχ. 35.1**  
Ηλεκτρικός πίνακας διανομής 5 γραμμών.  
α) Σχέδιο συνδεσμολογίας.  
β) Μονογραμμικό σχέδιο.

Σημειώνομε και πάλι ότι οι μερικοί διακόπτες του ηλεκτρικού μαγειρέου, του θερμοσίφωνα και κάθε ηλεκτρικής συσκευής που βρίσκονται πάνω στον πίνακα διανομής είναι πάντοτε διπολικοί (διακοπή φάσεως και ουδέτερου) για λόγους μεγαλύτερης ασφάλειας (σχ. 35.1).

Οι κανονισμοί των Ε.Η.Σ. αναφέρουν με κάθε λεπτομέρεια την κατασκευή των ηλεκτρικών πινάκων διανομής, τη διάταξη των διακοπών ασφαλειών και ακροδεκτών πάνω σε αυτούς, τη φύση των υλικών που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή τους, την επιλογή ασφαλειών διακοπών κλπ. ανάλογα βέβαια με τα ηλεκτρικά φορτία που έχουν πρετερούν οι πίνακες.

### 35.2 Ασκήσεις.

1. a) Αναγνωρίστε στους ηλεκτρικούς πίνακες που θα σας δοθούν στο εργαστήριο, το είδος του υλικού κατασκευής τους, τα εξαρτήματα που βρίσκονται επάνω τους και το είδος κατασκευής τους.  
β) Αφαιρέστε από τους προηγούμενους πίνακες τα καπάκια τους και αναγνωρίστε τη συνδεσμολογία των εξαρτημάτων τους.  
γ) Σχεδιάστε στο τετράδιό σας την εμπρός όψη κάθε πίνακα και σημειώστε κάτια από κάθε εξάρτημα την ονομασία του και το είδος της κατασκευής του. Σχεδιάστε τη συνδεσμολογία του ηλεκτρικού πίνακα σε μονογραμμικό και πολυγραμμικό σχέδιο.  
Εξηγήστε πώς γίνεται η κατανομή του ηλεκτρικού φορτίου στις ηλεκτρικές γραμμές που αναχωρούν από τους πίνακες και δικαιολογήστε γιατί η γραμμή γειώσεως δεν διακόπτεται από κανένα δργανό ελέγχου του πίνακα διανομής.
  2. Με τη βοήθεια των συνδεσμολογιών ηλεκτρικών πινάκων διανομής, που θα σας δοθούν σε σχέδιο, και των χαρακτηριστικών των εξαρτημάτων τους, διαλέξτε από τα υλικά της αποθήκης του εργαστηρίου τα κατάλληλα και συνδεσμολογήστε τους ηλεκτρικούς πίνακες.
-

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΑΚΟΣΤΟ ΕΚΤΟ

### ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΕΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΚΟΥΔΟΥΝΙΩΝ

#### 36.1 Γενικά.

Είναι γνωστό ότι υπάρχουν πολλά είδη κουδουνιών ανάλογα με τις εφαρμογές τους.

Οι πιο συνηθισμένες περιπτώσεις από τις εφαρμογές τους είναι η εφαρμογή τους στις κατοικίες.

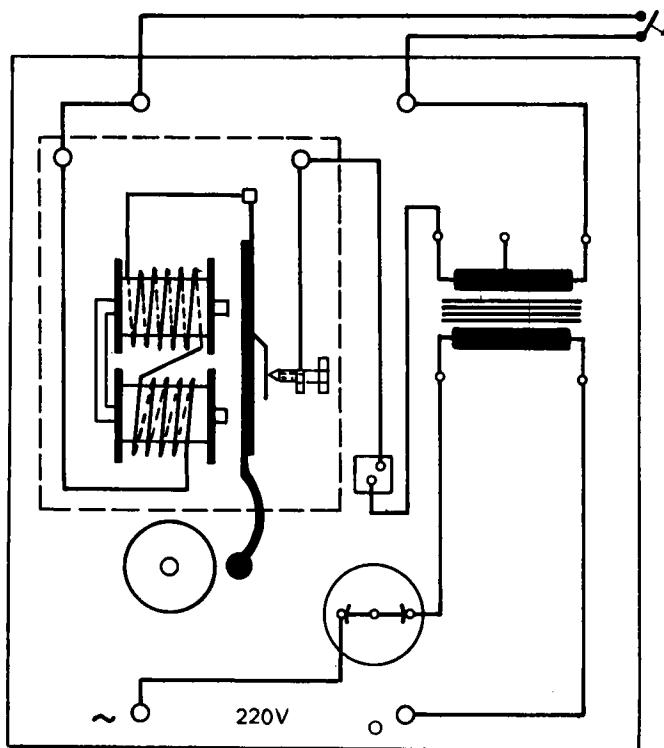
Τα ηλεκτρικά κουδούνια λειτουργούν με χαμηλή συνεχή ή εναλλασσόμενη τάση  $4 \div 12$  V.

Η πιο απλή διάταξη ηλεκτρικού κουδουνιού που χρησιμοποιείται σε μια μικρή μονοκατοικία αποτελείται από ένα κουδούνι, από ένα μετασχηματιστή 220/6 V, από μια ασφάλεια και από έναν απλό διακόπτη.

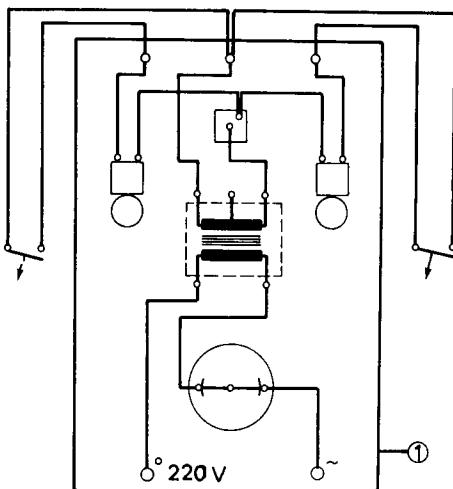
Όλα αυτά είναι τοποθετημένα πάνω σε ένα μικρό πίνακα από μονωτικό υλικό.

Ο έλεγχος της λειτουργίας μιας τέτοιας διατάξεως γίνεται με ένα, ή περισσότερους διακόπτες «μπουτόν».

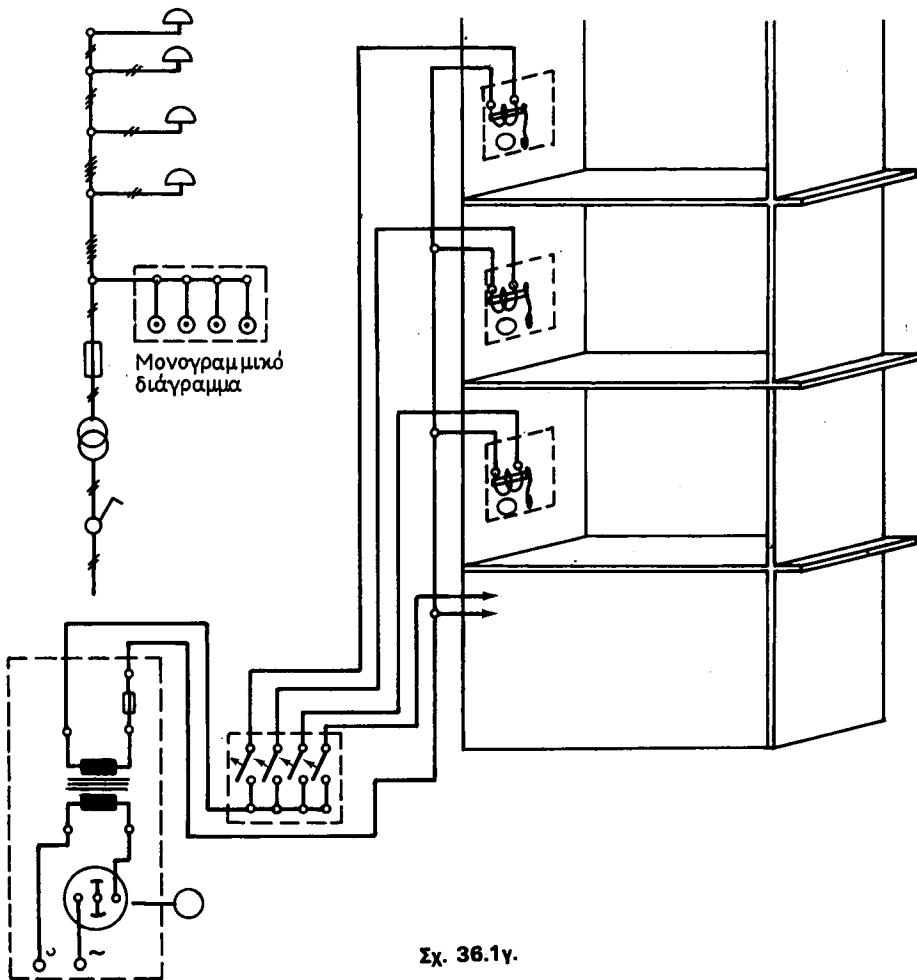
Στο σχήμα 36.1α φαίνεται η συνδεσμολογία μιας απλής διατάξεως ηλεκτρικού κουδουνιού.



Σχ. 36.1α.



Σχ. 36.1β.



Σχ. 36.1γ.

Για να διακρίνεται η κλήση της εξωτερικής κεντρικής πόρτας από εκείνη του διαμερίσματος στις πολυκατοικίες τοποθετούνται στον πίνακα δύο κουδούνια με διαφορετικό ήχο. Το κάθε ένα ελέγχεται από ξεχωριστό διακόπτη «μπουτόν» (σχ. 36.1β).

Στό σχήμα 36.1γ φαίνεται η συνδεσμολογία κεντρικής εγκαταστάσεως ηλεκτρικών κουδουνιών σε μια τριόροφη πολυκατοικία.

Η ηλεκτρική τροφοδότηση των κυκλώματος των κουδουνιών σε κάθε διαμέρισμα γίνεται από κοινή ηλεκτρική πηγή τροφοδοτήσεως.

## 36.2 Ασκήσεις.

1. α) Πραγματοποιήστε διαδοχικά τις συνδεσμολογίες των σχημάτων 36.1α, 36.1β, 36.1γ με υλικά και εξαρτήματα που θα σας δοθούν στο εργαστήριο.
  - β) Τροφοδοτήστε με ηλεκτρικό ρεύμα τις παραπάνω συνδεσμολογίες και ελέγξτε τη λειτουργία τους.
  - γ) Σχεδιάστε στο τετράδιό σας τις συνδεσμολογίες των κουδουνιών που πραγματοποιήσατε σε μονογραμμικό και πολυγραμμικό σχέδιο, με υπόμνημα.
-

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΑΚΟΣΤΟ ΕΒΔΟΜΟ

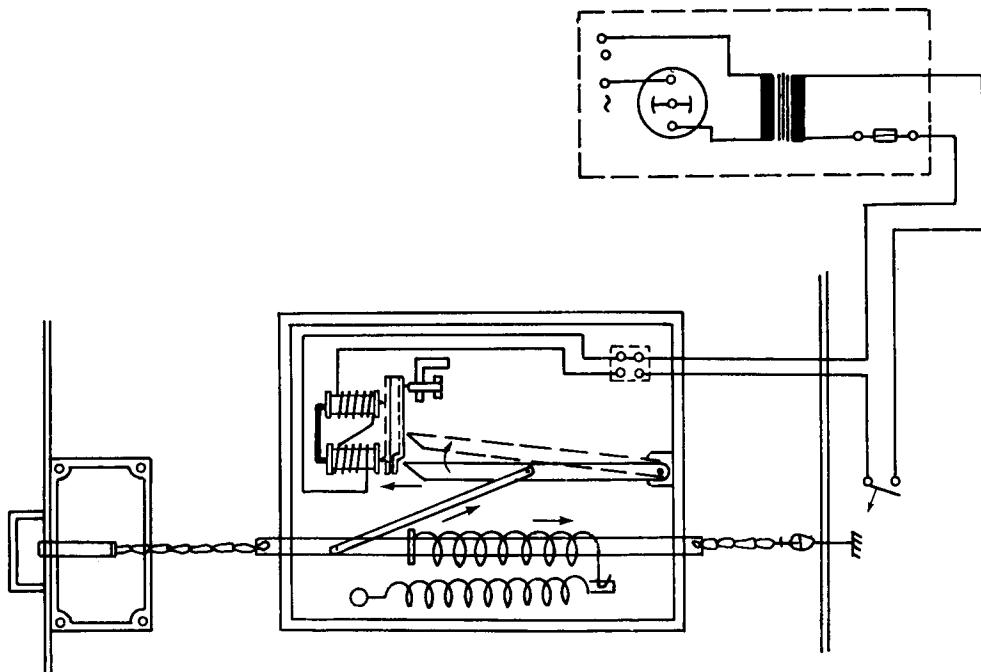
### ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΚΛΕΙΔΑΡΙΑΣ

Οι ηλεκτρικές κλειδαρίες που τοποθετούνται στις εξώθυρες κυρίως των πολυκατοικιών, λειτουργούν σχεδόν με τον ίδιο τρόπο που λειτουργούν τα ηλεκτρικά κουδούνια.

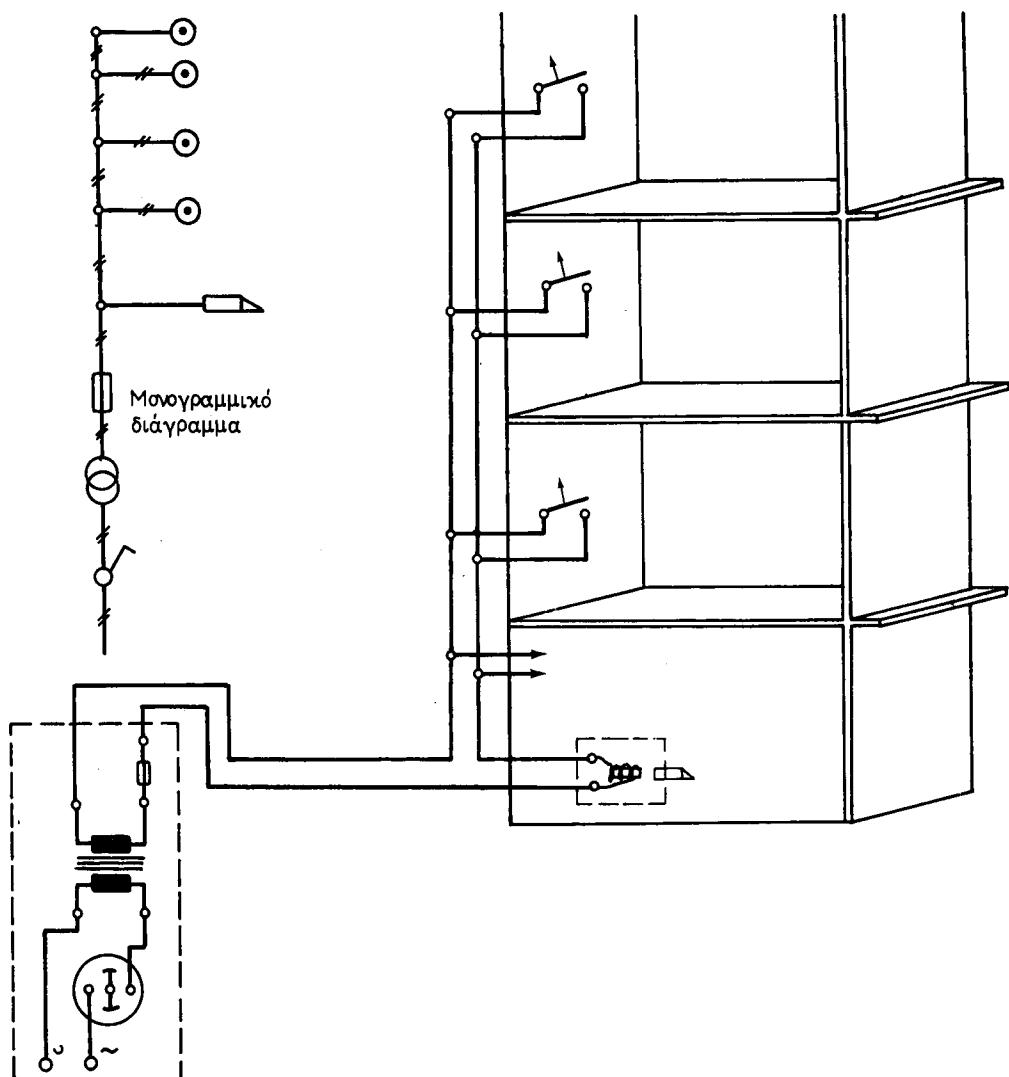
Στο σχήμα 37.1α φαίνεται η διάταξη λειτουργίας του κυκλώματος μιας ηλεκτρικής κλειδαριάς από ένα διαμέρισμα. Στο σχήμα 37.1β φαίνεται η διάταξη του ελέγχου της λειτουργίας του κυκλώματος ηλεκτρικής κλειδαριάς από περισσότερα διαμερίσματα.

#### 37. Άσκηση.

- Πραγματοποιήστε τις συνδεσμολογίες των σχημάτων 37.1α και 37.1β.



Σχ. 37.1α.



2. Τροφοδοτήστε με ηλεκτρικό ρεύμα τα κυκλώματα που κατασκευάσατε και ελέγξτε τη λειτουργία τους.
3. Σχεδιάστε στο τετράδιο σας, σε μονογραμμικό και πολυγραμμικό σχέδιο, με υπόμνημα, τις παραπάνω συνδεσμολογίες.

## **ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ**

### **ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

#### **ΧΡΗΣΙΜΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΣΤΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ**

0.1 Γενικά. Ένα σχέδιο οργανώσεως του μαθητικού προσωπικού .....	1
0.2 Συμπεριφορά των μαθητών στο Εργαστήριο .....	2
0.3 Προετοιμασία – εκτέλεση ασκήσεως .....	2

### **ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ**

#### **ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ (Σ.Ρ.)**

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ**

#### **ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΚΥΚΛΩΜΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ – ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΙ ΠΟΔΟΙ – ΔΙΕΓΕΡΣΗ**

1.1 Γενικά .....	4
1.2 Ασκήσεις .....	8

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ**

#### **ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΓΕΝΝΗΗΡΙΩΝ Σ.Ρ. – ΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ ΞΕΝΗΣ ΔΙΕΓΕΡΣΕΩΣ**

2.1 Λειτουργία χωρίς φορτίο .....	11
2.2 Λειτουργία με φορτίο .....	12
2.3 Εξωτερική χαρακτηριστική .....	12
2.4 Γεννήτριες με ξένη διέγερση .....	13
2.5 Ασκήσεις .....	16

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ**

#### **ΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ ΜΕ ΠΑΡΑΛΛΗΛΗ ΔΙΕΓΕΡΣΗ**

3.1 Γενικά .....	19
3.2 Χαρακτηριστική ευθεία – Κρίσιμος αριθμός στροφών .....	20
3.3 Χαρακτηριστικά φορτίσεως $U = F(I_f)$ .....	22
3.4 Ασκήσεις .....	23

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

### ΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ ΜΕ ΣΥΝΘΕΤΗ ΔΙΕΓΕΡΣΗ

4.1 Γενικά .....	26
4.2 Χαρακτηριστική φορτίσεως $U = F(I_\phi)$ .....	27
4.3 Ασκήσεις .....	27

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ

### ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ Σ.Ρ. – ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΠΑΡΑΛΛΗΛΗΣ ΔΙΕΓΕΡΣΕΩΣ

5.1 Γενικά .....	30
5.2 Κινητήρες παράλληλης διεγέρσεως .....	32
5.2.1 Χάραξη χαρακτηριστικής $n = F(AW_m)$ ή $n = F(I_0)$ .....	32
5.2.2 Χάραξη χαρακτηριστικής $n = F(I_0)$ .....	35
5.2.3 Χάραξη χαρακτηριστικής $T = F(I_\phi)$ .....	36
5.3 Ασκήσεις .....	36

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ

### ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ Σ.Ρ. ΜΕ ΔΙΕΓΕΡΣΗ ΣΕΙΡΑΣ

6.1 Γενικά .....	39
6.1.1 Χάραξη χαρακτηριστικής $n = F(I_\phi)$ .....	40
6.1.2 Χάραξη χαρακτηριστικής $T = F(I_\phi)$ .....	41
6.2 Ασκήσεις .....	42

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΒΔΟΜΟ

### ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΖΕΥΞΕΩΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ WARD-LEONARD

7.1 Γενικά .....	46
7.2 Ασκήσεις .....	47

## ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ

### ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ (Ε.Ρ.)

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΟΓΔΟΟ

### ΜΕΤΡΗΣΗ ΜΕ ΓΕΦΥΡΑ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΑΥΤΕΠΑΓΩΓΗΣ ΠΗΝΙΟΥ (L) ΚΑΙ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΠΥΚΝΩΤΗ (C)

8.1 Γενικά .....	48
8.1.1 Συντελεστής αυτεπαγωγής πηνίου .....	48
8.1.2 Χωρητικότητα πυκνωτή C .....	48
8.1.3 Πώς χρησιμοποιούνται οι γέφυρες για μέτρηση L και C .....	50
8.2 Ασκήσεις .....	50

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΝΑΤΟ

### ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ

9.1 Γενικά .....	53
------------------	----

9.2 Ασκήσεις .....	54
--------------------	----

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ**

#### **ΑΥΤΕΠΑΓΩΓΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΠΗΝΙΟΥ**

10.1 Γενικά .....	55
10.2 Ασκήσεις .....	55

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΝΔΕΚΑΤΟ**

#### **ΧΩΡΗΤΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΠΥΚΝΩΤΗ**

11.1 Γενικά .....	57
11.2 Ασκήσεις .....	57

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΩΔΕΚΑΤΟ**

#### **ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΚΥΚΛΩΜΑ ΜΕ ΩΜΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΠΗΝΙΟ ΣΕ ΣΕΙΡΑ (R,L)**

12.1 Γενικά .....	60
12.2 Ασκήσεις .....	61

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΤΡΙΤΟ**

#### **ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΚΥΚΛΩΜΑ ΜΕ ΩΜΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΠΥΚΝΩΤΗ ΣΕ ΣΕΙΡΑ ΚΑΙ ΠΑΡΑΛΛΗΛΑ (R,C)**

13.1 Γενικά .....	63
13.1.1 Ηλεκτρικό κύκλωμα με R και C σε σειρά .....	63
13.1.2 Ηλεκτρικό κύκλωμα με R και C παράλληλα .....	64
13.2 Ασκήσεις .....	65

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΤΕΤΑΡΤΟ**

#### **ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΣ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ R, L, C ΣΕ ΣΕΙΡΑ**

14.1 Γενικά .....	67
14.2 Ασκήσεις .....	68

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΠΕΜΠΤΟ**

#### **ΠΑΡΑΛΛΗΛΟ ΚΥΚΛΩΜΑ ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΥ**

15.1 Γενικά .....	70
15.2 Ασκήσεις .....	71

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΕΚΤΟ**

#### **ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΣ ΤΑΣΕΩΣ ΚΑΙ ΕΝΤΑΣΕΩΣ**

16.1 Γενικά .....	73
16.1.1 Μετασχηματιστές εντάσεως .....	73
16.1.2 Μετασχηματιστές τάσεως .....	75
16.2 Ασκήσεις .....	77

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΕΒΔΟΜΟ**  
**ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΙΣΧΥΟΣ ΣΤΟ Ε.Ρ.**  
**ΜΕΤΡΗΣΗ ΙΣΧΥΟΣ ΣΕ ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΜΕ ΒΑΤΤΟΜΕΤΡΟ**

17.1 Γενικά .....	78
17.1.1 Μέτρηση πραγματικής ισχύος με βολτόμετρο .....	78
17.1.2 Μέτρηση φαινόμενης ισχύος $P_{\phi}$ με βολτόμετρο και αμπερόμετρο .....	79
17.1.3 Μέτρηση της άργης ισχύος με μετρητή VAR .....	80
17.2 Ασκήσεις .....	81

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΟΓΔΟΟ**  
**ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΙΣΧΥΟΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΗ**

18.1 Γενικά .....	83
18.2 Ασκήσεις .....	85

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΕΝΑΤΟ**  
**ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΙΣΧΥΟΣ (συνφ) ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΣ**

19.1 Γενικά .....	85
19.2 Ασκήσεις .....	86

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ**  
**ΜΕΤΡΗΣΗ ΙΣΧΥΟΣ ΣΕ ΤΡΙΦΑΣΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ**

20.1 Γενικά .....	88
20.1.1 Σύστημα 4 αγωγών .....	88
20.1.2 Σύστημα 3 αγωγών .....	88
20.2 Ασκήσεις .....	89

**ΜΕΡΟΣ ΤΡΙΤΟ**

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ ΠΡΩΤΟ**  
**ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΡΙΦΑΣΙΚΩΝ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗΡΩΝ**

21.1 Γενικά .....	91
21.2 Χαρακτηριστικά στοιχεία λειτουργίας των εναλλακτήρων .....	93
21.2.1 Η ηλεκτρεγερτική δύναμη (ΗΕΔ) .....	93
21.2.2 Η συχνότητα της εναλλασσόμενης ΗΕΔ .....	94
21.2.3 Η λειτουργία του εναλλακτήρα με φορτία .....	94
21.2.4 Η διακύμανση της τάσεως .....	94
21.2.5 Η ισχύς .....	95
21.3 Ασκήσεις .....	95

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ ΔΕΥΤΕΡΟ**

**ΠΑΡΑΛΛΗΛΗ ΖΕΥΞΗ ΤΡΙΦΑΣΙΚΩΝ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗΡΩΝ ή ΠΑΡΑΛΛΗΛΙΣΜΟΙ**

22.1 Γενικά .....	101
22.2 Ασκήσεις .....	103

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ ΤΡΙΤΟ

### ΣΥΓΧΡΟΝΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ (ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΙ)

23.1 Γενικά .....	105
23.2 Ασκήσεις .....	106

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

### ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΙ ΕΠΑΓΩΓΙΚΟΙ ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΜΕ ΒΡΑΧΥΚΥΚΛΩΜΕΝΟ ΔΡΟΜΕΑ

24.1 Γενικά .....	111
24.2 Χαρακτηριστικά γνωρίσματα της λειτουργίας των επαγωγικών τριφασικών κινητήρων ..	111
24.2.1 Η διολίσθηση ή ολίσθηση (S) .....	111
24.2.2 Ροπή στρέψεως (T) .....	111
24.2.3 Μηχανική ισχύς (N) .....	112
24.2.4 Βαθμός αποδόσεως (η) .....	112
24.3 Τριφασικοί κινητήρες με βραχυκυκλωμένο δρομέα .....	112
24.4 Ασκήσεις .....	114

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ ΠΕΜΠΤΟ

### ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΙ ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΜΕ ΔΑΚΤΥΛΙΟΥΣ

25.1 Γενικά .....	123
25.2 Χαρακτηριστικά γνωρίσματα της λειτουργίας των κινητήρων με δακτύλιους ..	123
25.2.1 Η πολική τάση .....	123
25.2.2 Η συχνότητα του ηλεκτρικού ρεύματος στο δρομέα .....	123
25.2.3 Η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος στο δρομέα (I <sub>2</sub> ) .....	124
25.2.4 Η ροπή στρέψεως (T) .....	124
25.2.5 Ο συντελεστής ισχύος (συνφ) του κινητήρα .....	125
25.2.6 Μεταβολή της τάσεως τροφοδοτήσεως .....	125
25.3 Ασκήσεις .....	125

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ ΕΚΤΟ

### ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΟΙ ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΒΡΑΧΥΚΥΚΛΩΜΕΝΟΥ ΔΡΟΜΕΑ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΜΕ ΠΥΚΝΩΤΕΣ ΕΚΚΙΝΗΣΕΩΣ

26.1 Γενικά .....	129
26.2 Κινητήρες με πυκνωτή εκκινήσεως .....	130
26.3 Ασκήσεις .....	132

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ ΕΒΔΟΜΟ

### ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΜΕ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΕΚΚΙΝΗΣΕΩΣ – ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΥΛΙΓΜΑΤΩΝ ΤΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

27.1 Γενικά .....	135
27.2 Ασκήσεις .....	135

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ ΟΓΔΟΟ

### ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΜΕ ΣΥΛΛΕΚΤΗ

28.1 Γενικά .....	139
-------------------	-----

28.2 Μονοφασικοί κινητήρες σειράς με συλλέκτη .....	139
28.3 Κινητήρες αντιδράσεως .....	139
28.4 Ασκήσεις .....	140

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ ΕΝΑΤΟ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ ΙΣΧΥΟΣ

29.1 Γενικά .....	143
29.2 Λειτουργία Μ/Τ χωρίς φορτίο .....	143
29.3 Λειτουργία Μ/Τ με φορτίο .....	144
29.4 Ασκήσεις .....	146

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΑΚΟΣΤΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΙΚΡΟΥ ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΟΥ Μ/Τ

30.1 Γενικά .....	149
30.1.1 Κατασκευή τυλιγμάτων μονοφασικού Μ/Τ .....	149
30.1.2 Υπολογισμός σιδηροπυρήνα και τυλιγμάτων Μ/Τ 10-1000 VA .....	150
30.2 Ασκήσεις .....	153

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΑΚΟΣΤΟ ΠΡΩΤΟ

### ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΕΣ ΤΥΛΙΓΜΑΤΩΝ Μ/Τ – ΠΑΡΑΛΛΗΛΙΣΜΟΣ Μ/Τ

31.1 Γενικά .....	154
31.1.1 Συμβολισμός ακροδεκτών στους μονοφασικούς Μ/Τ .....	154
31.1.2 Συμβολισμός ακροδεκτών στους τριφασικούς Μ/Τ .....	154
31.1.3 Παράλληλη λειτουργία Μ/Τ .....	155
31.2 Ασκήσεις .....	157

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΑΚΟΣΤΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

### ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ – ΑΝΟΡΘΩΤΕΣ

32.1 Γενικά .....	160
32.2 Ζεύγος κινητήρα Ε.Ρ.-γεννήτριας Σ.Ρ. .....	160
32.3 Ανόρθωση Ε.Ρ. με ξηρούς ανορθωτές .....	161
32.4 Ανόρθωση Ε.Ρ με λυχνίες υδράργυρου .....	165
32.5 Φίλτρα .....	166
32.6 Ασκήσεις .....	166

## ΜΕΡΟΣ ΠΕΜΠΤΟ

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΑΚΟΣΤΟ ΤΡΙΤΟ

### ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ

33.1 Γενικά .....	172
33.2 Συνδεσμολογίες βασικών κυκλωμάτων φωτισμού .....	172
33.2.1 Συνδεσμολογία απλού διακόπτη με ένα φως .....	172
33.2.2 Συνδεσμολογία απλού φωτός και ρευματοδότη .....	172
33.2.3 Συνδεσμολογία διακόπτη κομμιτατέρ (επιλεκτικός διακόπτης) .....	174
33.2.4 Συνδεσμολογία δύο ακραίων διακοπτών αλλέ-ρετούρ (παλινδρομικός διακόπτης με ένα φως) .....	175
33.3 Απαραίτητα εργαλεία για την κατασκευή κυκλωμάτων φωτισμού .....	176

33.4 Διαμόρφωση αγωγών .....	177
33.5 Σύνδεση αγωγών με ακροδέκτες .....	178
33.6 Ασκήσεις .....	179

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΑΚΟΣΤΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

### ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΜΑΓΕΙΡΕΙΟΥ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΘΕΡΜΟΣΙΦΩΝΑ

34.1 Γενικά .....	180
34.2 Συνδεσμολογία ηλεκτρικού μαγειρείου .....	180
34.43 Συνδεσμολογία ηλεκτρικού θερμοσίφωνα .....	182
34.4 Ασκήσεις .....	183

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΑΚΟΣΤΟ ΠΕΜΠΤΟ

### ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΠΙΝΑΚΕΣ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ

35.1 Γενικά .....	184
35.2 Ασκήσεις .....	185

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΑΚΟΣΤΟ ΕΚΤΟ

### ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΕΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΚΟΥΔΟΥΝΙΩΝ

36.1 Γενικά .....	186
36.2 Ασκήσεις .....	188

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΑΚΟΣΤΟ ΕΒΔΟΜΟ

### ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΚΛΕΙΔΑΡΙΑΣ

37.1 Ασκηση .....	189
-------------------	-----

---

**COPYRIGHT ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ**

---

