ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΝ ΠΑΤΡΩΝ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
Ε[/ΙΟ ΗΛΕΚΤΡΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ
ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ
Καθηγητής Δρ. Μηχ. Α. Σαφάκας.

#### ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ

ΣΥΓΧΡΟΝΗ MHXANH

#### ΕΠΕΞΗΓΗΣΕΙΣ

#### 1. Είσαγωγή:

Ή σύγχρονη μηχανή τριφασικοῦ ρεύματος ἔχει ἀποκτήσει μεγάλη σημασία σάν γεννήτρια. 'Ο χαρακτηρισμός "σύγχρονη" φανερώνει, ὅτι ὁ ἀριθμός στροφῶν καί ἡ συχνότητα βρίσκονται πάντοτε σέ μία σταθερή ἀναλογία μεταξύ τους. Έχει πόλους πού διεγείρονται μέ συνεχές ρεῦμα καί ἔνα τύλιγμα τριφασικοῦ ρεύματος. Σύμφωνα μέ τήν θέση τῶν πόλων αὐτῶν τῆς διεγέρσεως οἰ ὁποῖοι μποροῦν νά βρίσκονται ἐπί τοῦ στάτη ἢ ἐπί τοῦ δρομέα διακρίνομε ἀντίστοιχα μηχανές μέ ἐξωτερικούς ἢ ἐσωτερικούς πόλους. Μικρές μηχανές κατασκευάζονται κυρίως μέ ἐξωτερικούς πόλους, ἐπειδή οἰ ἀρκετά ἐνισχυμένοι μέ συνεχές ρεῦμα τροφοδοτούμενοι πόλοι διεγέρσεως τοποθετοῦνται εὐκολότερα ἐπί τού στάτη. Μεγάλες γεννήτριες κατασκευάζονται μέ ἐσωτερικούς πόλους. Σ'αὐτόύς μεγάλη σημασία ἔχει ἡ κατάλληλη τοποθέτηση τοῦ τριφασικοῦ τυλίγματος, τό ὁποῖο διαρρέεται ἀπό ἰσχυρά ρεύματα.

Τά ρεύματα αὐτά σέ μεγάλες μηχανές π.χ. 200 ΜΥΑ εἶναι τῆς τάξεως τῶν 5ΚΑ καί τοῦτο διότι ἡ τάση στούς ἀκροδέκτες γιά λόγους μονώσεως δέν μπορεῖ νά ὑπερβαίνει τά 30 ΚV, τό ρεῦμα διεγέρσεως ἐπίσης ἀποκτᾶ μεγάλες τιμές καί τοῦτο γιά κατασκευαστικούς καί λειτουργικούς λόγους. Ἡ σύγχρονη μηχανή χαρακτηρίζεται ἀπό τό μεγάλο μέγεθός της καί συνεπῶς ἀπό τήν μεγάλη ὁνομαστική ἰσχύ της. Τά σημερινά ὅρια βρίσκονται περί τά 1600 ΜΥΑ. Μέ τήν αὕξηση τῆς ἰσχύος μεγαλώνουν καί τά προβλήματα ψύξεως, ἡ ἴδια δέ ψύξη θέτει ὅρια στήν ἰσχύ τῶν μεγάλων ἡεννήτριῶν.

Παράλληλα πρός τήν χρήση της σάν πηγή παραγωγής τριφασικοῦ ρεύματος ὑπάρχουν δύο ἀκόμη περιπτώσεις ἐφαρμογής γιά τήν σὕγχρονη μηχανή. Χρησιμοποιεῖται σάν κινητήρας σέ κινητήρια σύστήματα, τῶν ὁποίων ὁ ἀριθμός στροφῶν δέν πρέπει νά μεταβάλλεται μεταβαλλομένου τοῦ φορτίου. Εφ'όσον δέ παραμένει σταθερή ἡ συχνότητα ἔτσι & ὁ ἀριθμός στροφῶν παραμένει σταθερός, διότι αὐτός ἰσοῦται μέ τόν λόγον f/p(p=ζεύγη πόλων). Μία ἄλλη σπουδαία περίπτωση ἐφαρμογῆς εἶναι ἡ παραγωγή ἀέργου ἰσχύος χυρίως πρός τροφοδότηση δικτύων ὑψηλῆς ἰσχύος. Ἡ ἀντιστάθμιση τῆς ἀέργου ἰσχύος ἔχει σήμερα μεγάλη σημασία για τα βαρέως φορτισμένα δίχτυα, για να καταστεῖ ἡ μεταφορά ἐνεργείας οἰκονομική. Ἔναντι τῶν πυχνωτῶν ἡ σύγχρονη μηχαννή ἔχει τό πλεονέκτημα μιᾶς καλύτερης ρύθμισης, ἐπί πλέον δέ παρέχει τήν δυνατότητα να παράγει ἄεργο ρεῦμα ἀνάλογο μέ ἐκεῖνο ἑνός πηνίου ἡ ἑνός πυχνωτῆ.

## 2. Βασικά κατασκευαστικά χαρακτηριστικά.

Όπως ήδη ἐλέχθη διακρίνομε δύο εἴδη κατασκευῶν στίς συγχρονες μηχανές.

#### α) Μηχανή έσωτερικῶν πόλων:

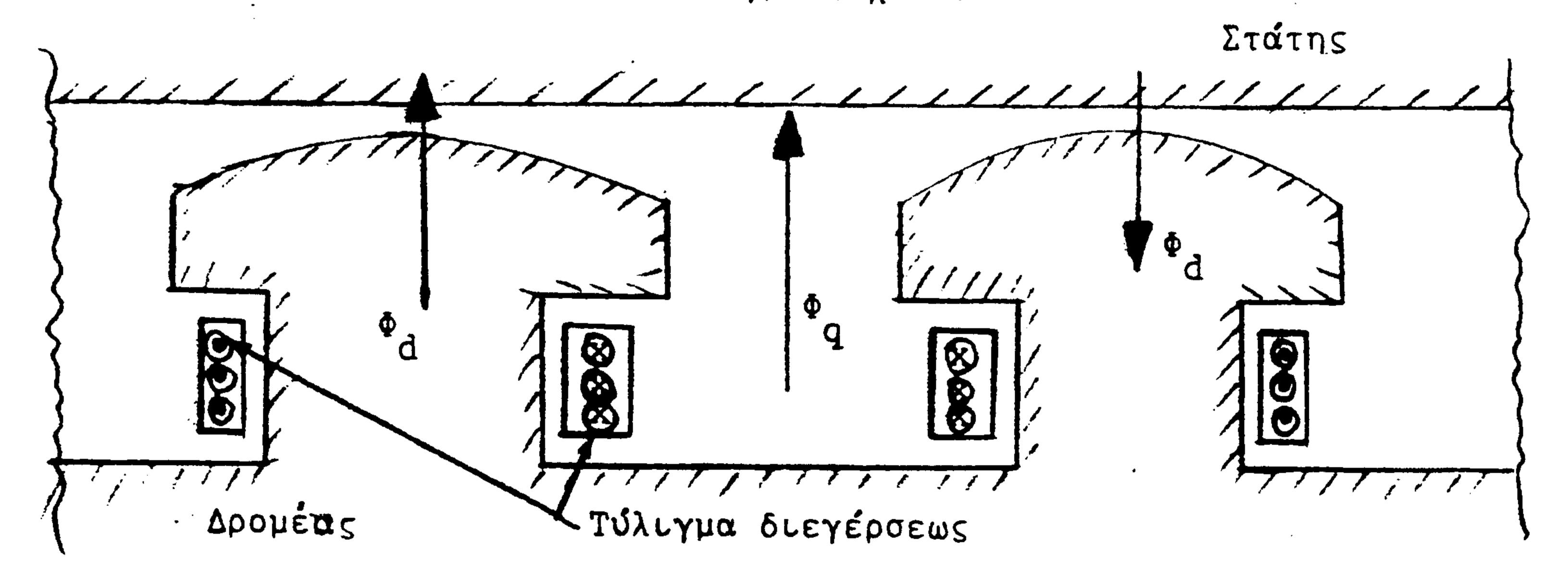
Τό τύλιγμα διεγέρσεως, τό ὁποῖο τροφοδοτεῖται μέ συνεχές ρεῦμα, βρίσκεται ἐπί τοῦ δρομέα (Rotor). Τό ρεῦμα λαμβάνεται ἀπό μία ἐξωτερική πηγή καί μέσω δύο δακτυλίων καί ψηκτρών ρέει πρός τόν δρομέα. Στόν στάτη βρίσκεται τό τριφασικό τύλιγμα, ὅπου δημιουργεῖται ἡ τάση ἐξ ἐπαγωγῆς καί προσφέρεται ἡ ἡλεκτρική ἰσχύς.

#### β) Μηχανή έξωτερικῶν πόλων:

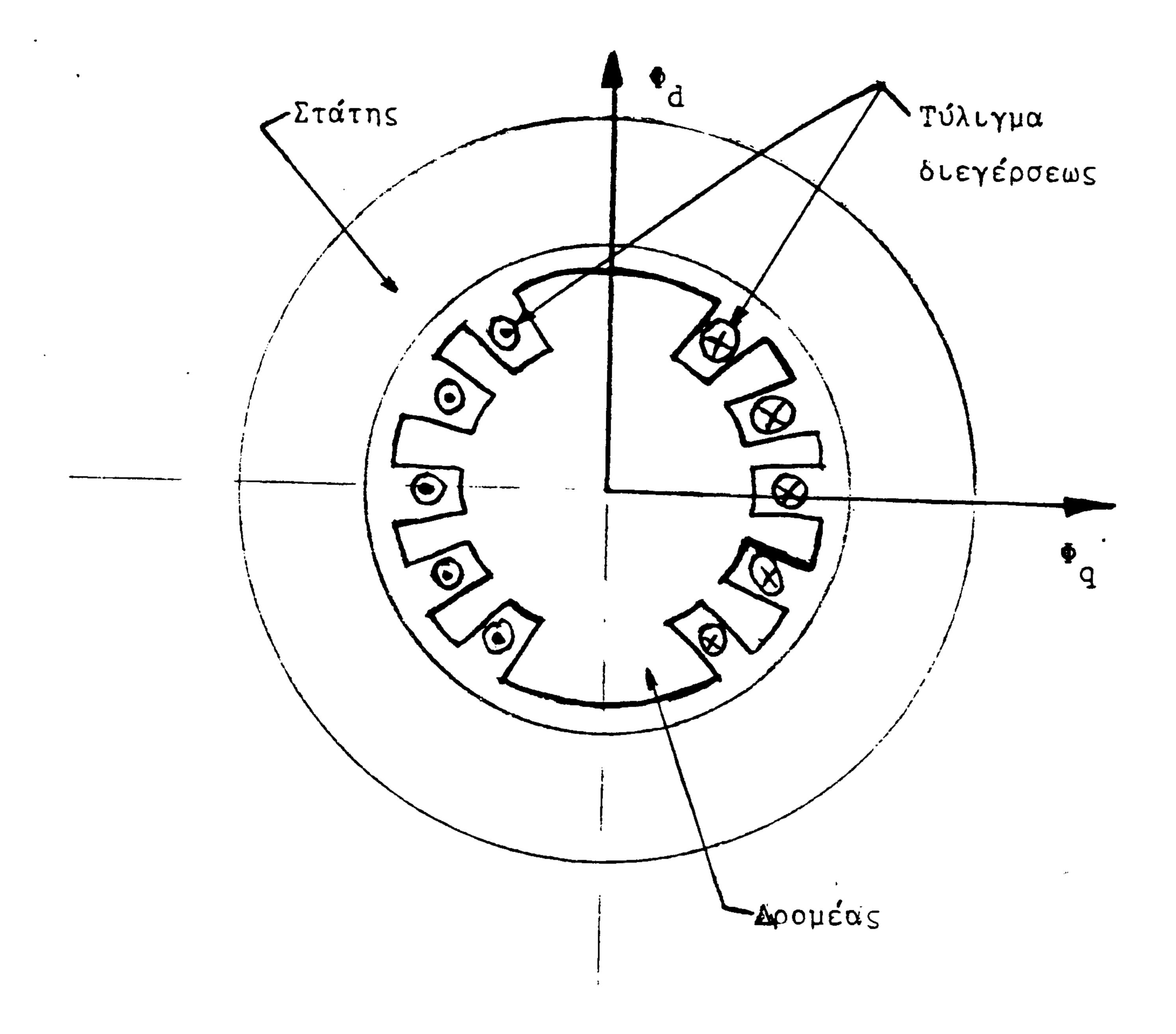
Τό τύλιγμα διεγέρσεως βρίσκεται στόν στάτη (Stator), ἐνῶ τό τριφασικό τύλιγμα βρίσκεται στόν δρομέα καί στέλνει ρεῦμα μέσω τριῶν
δακτυλίων καί ψηκτρῶν πρός τό τριφασικό δίκτυο.

'Ανάλογα πρός τήν κατασκευή τοῦ δρομέα διακρίνει κανείς δύο εἴδη μηχανῶν στήν περίπτωση α):

- α) Μηχανές με έκτύπους πόλους όπως φαίνεται στό σχημα 1.
- β) Μηχανές μέ κατανεμημένο τύλιγμα (σχ. 2).



Σχημα 1. Μηχανή μέ έκτύπους πόλους



Σχ. 2 Μηχανή μέ κατανεμημένο τύλιγμα διεγέρσεως.

Μηχανές μέ ἐκτύπους πόλους χρησιμοποιοῦνται στίς περιπτώσεις πού ὁ ἀριθμός τῶν στροφῶν τοῦ δρομέα εἶναι μικρός π.χ. 250 ΣΑΛ.

Στίς μηχανές μέ κατανεμημένο τύλιγμα διεγέρσεως τοῦτο βρίσκεται μέσα σέ αὐλακώσεις. Ὁ ἀριθμός τῆς αὐλακώσεως εἶναι τέτοιος , ὧστε νά καλύπτονταιἀπό αὐτές τά δύο τρίτα τῆς περιμέτρου τοῦ δρομέα. Μητανές τοῦ τύπου αὐτοῦ φέρουν συνήθως δύο πόλους , δηλ. δύο περιοχές , ὅπου οἱ μαγνητικές γραμμές ἔχουν στό σύνολό τους τήν ιὅια φορά. Αὐτές χρησιμεύουν γιά μεγάλο ἀριθμό στροφῶν (π.χ. 3000 ΣΑΛ).

Έξετάζοντας τήν μαγνητική κατάσταση της μηχανης διαπιστώνομε ότι ὑπάρχουν δύο περιοχές μέ διαφορετική μαγνητική ἀντίσταση καί συνεπῶς ἔχομε δύο μαγνητικές ροές ήτοι τίς  $\Phi_{\rm d}$  καί  $\Phi_{\rm q}$ . Τοῦτο ὀφείλεται στήν κατασκευή της μηχανης, καθ'όσον στήν περιοχή τοῦ  $\Phi_{\rm d}$  τό διάκενο μεταξύ δρομέα καί στάτη εἶναι μικρότερο ἀπό ἐκεῖνο της περιοχης τοῦ  $\Phi_{\rm q}$ .

Γτά τίς μηχανές μέ κατανεμημένο τύλιγμα ἰσχύει περίπου  $\mathbf{B}_{\mathbf{d}} \sim \mathbf{B}_{\mathbf{q}}$ . Συνήθως έχομε  $\mathbf{B}_{\mathbf{d}} = \mathbf{1}, \mathbf{2} \, \mathbf{B}_{\mathbf{q}}$ . Γιά τίς μηχανές μέ ἐκτύπους πόλους ἰσχύει συνήθως  $\mathbf{B}_{\mathbf{d}} = \mathbf{2} \, \mathbf{B}_{\mathbf{q}}$ . Τό μέγεθος  $\mathbf{B}$  εΐναι ἡ μαγνητική ἐπαγωγή . Έτσι συχνά μιλᾶμε γιά δύο μαγνητικούς ἄξονες ἥτοι τόν ἄξονα  $\mathbf{d}$  καί τόν ἄξονα  $\mathbf{q}$ , οἱ ὁποῖοι γιά μηχανές μέ δύο πόλους εἶναι μεταξύ των κάθετοι.

## 3. Τάση εν κενῷ καί συχνότητα

Τό μαγνητικό πεδίο τοῦ δρομέα εἶναι συνεχές ἐπομένως ἔχει σταθερή τιμή. Ἐπειδή ὁ δρομέας περιστρέφεται , τό τύλιγμα τοῦ στάτη διαρρέεται ἀπό ἔνα περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο. Τοῦτο ἔχει σάν ἀποτέλεσμα τή δημιουργία τάσεων ἐξ ἐπαγωγῆς στίς τρεῖς φάσεις τοῦ στάτη.

Έαν μετρήσουμε τήν ένταση του μαγνητικού πεδύου κατά μῆκος τῆς έσωτερικῆς περιφερεύας τοῦ στάτη δά βροῦμε μία ἡμιτονοειδή κατα-νομή αὐτῆς. Τοῦτο ὀφεύλεται στούς ἀλληλοδιαδεχομένους ἀντιθέτους πόλους καί στέων κατάλληλη μορφή τῶν πόλων.

Τό πεδίο τοῦτο σέ κάθε φάση τοῦ στάτη ἐπάγει τήν τάση:

$$E = \omega_{S} w_{S} \xi_{S1} \cdot \frac{\Phi_{1}}{\sqrt{2}}$$

Τά διάφορα μεγέθη έχουν τήν ἀκόλουθη σημασία:

$\omega_{S} = 2\pi f_{S}$	ή κυκλική συχνότητα τόῦ στάτη.
$f_S = pn$	ή συχνότητα
n	ό ἀριμθός στροφῶν
P	ό ἀρυθμός ζευγῶν πόλων
ξ <sub>S1</sub>	ό συντελεστής τυλίγματος για τήν πρώτη αρμονική τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου στό διάκενο.
<b>w</b> <sub>S</sub>	ό άριθμός τῶν σπειρῶν μιᾶς φάσεως τοῦ στάκη
Φ 1	ή μεγίστη τιμή τῆς πρώτης άρμονικῆς τῆς μαγνητι- κῆς ροῆς τοῦ διακένου.

---

'Ο ἀριθμός στροφῶν τη γιά μία γεννήτρια καθορίζεται ἀπό τήν κινητήριο μηχανή (π.χ. ἀτμοστρόβιλος). Γιά ἔνα κινητήρα καθορίζεται

άπό τήν σχέση  $\frac{f_S}{p}$ , όπου  $f_S$  τώρα είναι ή συχνότητα τοῦ δικτύου.

### 4. Καταστάσεις λειτουργίας.

## 4.1. Η σύγχρονη μηχανή σέ λειτουργία σάν κινητήρας.

Σύγχρονες μηχανές χρησιμοποιοῦνται σάν κινητῆρες σέ συστήματα ὑψηλῆς ἰσχύος π.χ. μέχρι 10 ΜW , διότι ἔνεκα τῆς ἀρχῆς λειτουργίας του,
διατηρεῖ σταθερό ἀριθμό στροφῶν ἀνεξάρτητα ἀπό τό φορτίο . Δεύτερο
πλεονέκτημα εἶναι τό γεγονός , ὅτι δέν ἀπορροφᾶ ἄεργο ἰσχύ ἀπό τό
δίκτυο ἐπειδή αὐτή προσφέρεται ἀπό τήν πηγή συνεχοῦς ρεύματος ἡ ὁποία παρέχει τό ρεῦμα διεγέρσεως.

Ο σύγχρονος κυνητήρας όμως παρουσιάζει τό μειονέκτημα, ότι στήν κατάσταση ήρεμίας ἀκόμη και ὑπό πλήρη τάση δικτύου δέν εἶναι σέ θέση νά παράγει ήλεκτρομαγνητική ροπή, ἐάν βέβαια ἐξαιρέσουμε μία μικρ ή ροπή δημιουργουμένη ἀπό τό μαγνητικό πεδίο τοῦ στάτη καί ἀπό τά δινορρεύματα τοῦ δρομέα. Τό μαγνητικό πεδίο τοῦ στάτη δημιουργεῖ στόν δρομέα, ὁ ὁποῖος ἀποτελεῖται ἀπό σίδηρο, δινορρεύματα ἐξ ἐπαγωγῆς, συνεπῶς μπορεῖ νά δημιουργηθεῖ κάποια ροπή, ἡ ὁποία γενικά δέν ἀρκεῖ νά θέσεισέ περιστροφική κίνηση τόν δρομέα.

Τιά νά καταστεῖδυνατή ἡ ἐκκίνηση χρησιμοποιεῖται ἡ ἰδια ἀρχή ὅπως καί στήν ἀσύγχρονη μηχανή . Τοποθετοῦμε δηλ. στόν δρομέα ἐκτός τοῦ τυλίγματος διεγέρσεως καί ἔνα βραχυκυκλωμένο τύλιγμα. Ἐάν συνδέσουμε τόν στάτη μέ τό δίκτυο , τό τριφασικόν τύλιγμα αὐτοῦ διαρρέεται ἀπό ρεῦμα , τό ὁποῖο δημιουργεῖ ἔνα περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο . Τό πεδίο αὐτό ἐπάγει μία τάση καί συνεπῶς ρεῦμα στό βραχυκυκλωμένο τύλιγμα τοῦ δρομέα. Τό ρεῦμα αὐτό καί τό περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο δημιουργοῦν τήν ροπή ἐκκινήσεως μέ ἀποτέλεσμα ὁ δρομέως νά ἐπιταχυνθεῖμέχρι τόν σύγχρονο ἀριθμό στροφῶν , ὁπότε τό ρεῦμα τοῦ βραχυκυκλωμένου τυλίγματος μηδενίζεται .

Τό βραχυκυκλωμένο τύλιγμα ἐπίσης ἔχει σκοπό κατά τήν σύγχρονη περιστροφή τοῦ δρομέα να ἀποσβένειτυχόν ἐμφανιζόμενες ταλαντώσεις.

'Από εδω προέρχεται τό ὄνομά του "Κλωβός ἀποσβέσεως".

Κατά τήν ἐκκίνηση τῆς μηχανῆς τό τύλιγμα διεγέρσεως πρέπει νά βραχυκυκλωθεῖ ἐπειδή τοῦτο ἔχει μεγάλο ἀριθμό σπειρῶν καί δημιουργεῖται, στήν περίπτωση πού θά παραμείνειἀνοικτό, μεγάλη τάση ἐξ ἐπαγωγῆς προερχομένη ἀπό τό ἤδη ὑπάρχον μαγνητικό πεδίο Ἡ μεγάλη τάση μπορεῖ νά προκαλέσειβλάβες στίς μονώσεις τοῦ τυλίγματος διεγέρσεως.

Μόλις φθάσουμε τόν σύγχρονο ἀριθμό στροφῶν, ὁπότε μηδενίζεται τό στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο τοῦ δρομέα τό προερχόμενο ἀπό τό ρεῦμα τοῦ προαναφερθέντος κλωβοῦ, συνδέομε τό τύλιγμα διεγέρσεως μέ τήν πηγή συνεχοῦς ρεύματος. Τοῦτο σημαίνει τή δημιουργία ἑνός συνεχοῦς μαγνητικοῦ πεδίου δηλ. χρονικά σταθεροῦ.

Ρυθμίζοντας τό ρεῦμα διεγέρσεως ρυμίζομε τήν ἔνταση τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου. ἔΕτσι μποροῦμε νά ρυθμίσουμε τόν συντελεστή ἰσχύος cosφ, διότι αὐξάνοντας τό ρεῦμα διεγέρσεως αὐξάνει καί τό συνεχές πεδίο ἀλλά συγχρόνως αὐξάνει καί ἡ τάση ἐξ ἐπαγωγῆς στά τυλίγματα τοῦ στάτη. ἐπειδή ὅμως ἡ τάση τοῦ δικτύου παραμένει σταθερή, μεταβάλλεται τό ρεῦμα τοῦ στάτη κατά μέγεθος καί κατά φάση ὡς πρός τήν τάση αὐτή. Τοῦτο σημαίνει μεταβολή τοῦ cosφ. Ἐάν αὐξήσουμε τήν διέγερση ὁ συντελεστής ἰσχύος cosφ γίνεται ἴσος μέ τήν μονάδα καί τελικά χωρητικός. Ἐάν ἐλαττώσουμε τή διέγερση, τό cosφ γίνεται ἐπαγωγικό δηλ. ἔχομε πρόσληψη ἀέργου ἰσχύος ἀπο τό δίκτυο, ἐνῶ προηγούμενα εἰχαμε προσφορά ἀέργου ἰσχύος στό δίκτυο. Στήν περίπτωση τῆς προσφορᾶς ἀέργου ἰσχύος λέμε ὅτι ἡ μηχανή λειτουργεῖ σάν "ὀλισθητής φάσεως".

Έαν ὁ σύγχρονος κινητήρας φορτίζεται στόν ἄξονά του διαρκῶς περισσότερο μένῶ ἡ διέγερση εἶναι μικρή, ἐπέρχεται ἀποσυγχρονισμός και ὁ κινητήρας συμπεριφέρεται σάνἀσύγχρονος. Τοῦτο γίνεται ἀντιληπτό ἀφ'ἐνός μέν ἀπό τήν πτώση τοῦ ἀριθμοῦ στροφῶν ἀφ'ἐτέρου δέ ἀπό τόν ἰσχυρό θόρυβο τοῦ κλωβοῦ ἀποσβέσεως.

## 4.2. Σύγχρονη μηχανή κατά τήν λειτουργία σάν μηχανή άντιδράσεως.

Έάν ἡ διέγερση ἐνός συγχρόνου κινητήρα κατά τήν σύγχρονη περιστροφή του διακοπεῖ, ἡ μηχανή μπορεῖ νά παράγει μία ροπή, ἐφ'ὅσον ὑπάρχει μαγνητική ἀσυμμετρία καί νά συνεχισθεῖ ἡ περιστροφή. Τό φορτίο

βέβαια δέν πρέπει νά ὑπερβαίνει τό μέγεθος τῆς ἀναπτυσσομένης ἐσωτερικῆς ροπῆς , ἡ ὁποία λέγεται "ροπή ἀντιδράσεως".

Από τήν ἀνάλυση τῆς σύγχρονης μηχανῆς χρησιμοποιώντας τήν θεωρία τῶν δύο ἀξόνων προκύπτει ἡ ἀκόλουθη ἐξίσωση γιά τήν ροπή:

$$M = i_q L_{hd} i_F + i_d i_q (L_d - L_q)$$

Οἱ δεῖκτες ἀ καί ᾳ σημαίνουν τήν ἀντίστοιχ.η συνιστῶσα ἐνός μεγέθους στό σύστημα ἀ - ᾳ . Τοῦτο καθορίζεται ἀπό τούς δύο διαφορετικούς μαγνητικούς ἄξονες ἀ καί ᾳ , ὅπου ἐ-πικρατοῦν δύο διαφορετικές μαγνητικές καταστάσεις . Τά διάφορα με-γέθη τῆς ἐξισώσεως ἔχουν τήν ἀκόλουθη σημασία :

ήλεκτρομαγνητική ροπή

i<sub>d</sub>, i<sub>q</sub> συνιστώσες τοῦ ρεύματος τοῦ στάτη στούς ἄξονες d καί q.

ρεῦμα διεγέρσεως

L κύρια ή άμοιβαία ἐπαγωγιμότητα στόν ἄξονα d

L<sub>d</sub>, L<sub>f</sub> συντελεστές αὐτεπαγωγιμότητας στάτη καί δρομέα στόν ἄξονα d.

Έαν λοιπόν i<sub>F</sub> = 0 ἡ ἀναπτυσσομένη ροπή είναι:

$$M = i_d i_q (L_d - L_q)$$

Γιά μηχανές μέ έκτύπους πόλους ἔχομε περύπου  $L_{\rm d} \sim 2L_{\rm q}$  όπότε προκύπτει ἀξιόλογη (ροπή ἀντιδράσεως.

Ττά μηχαν ές μέ κατανεμημένο τύλιγμα ἰσχύει  $L_{\rm d} \sim 1.2 L_{\rm q}$  καί ἐπομένως ἡ ροπή ἀντιδράσεως είναι μικρή.

4.3 Λειτουργία τῆς σύγχρον ης μηχανῆς σάν συγχρόν η γεννήτρια , κύκλωμα συγχρονισμοῦ , ρύθμιση τῆς ἀέργου ἰσχύος.

Ή σύγχρονη μηχανή λειτουργεῖ ὡς ἐπί το πλεῖστον σάν γεννήτρια. Εἴναι δυνατόν νά λειτουργεῖ μόνη της σάν μετατροπέας ἡλεκτρομηχανικῆς ἐνεργείας ἥ νά εἶναι συνδεδεμένη μέ τό δίκτυο. Σάν κινητήρια μηχανή χρησιμοποιεῖται ἀτμοστρόβιλος ἥ ὑδροστρόβιλος. Ύπάρχουν μικρές μονάδες παραγωγῆς ἡλεκτρικῆς ἐνεργείας,οπου ὁ δρομέας περιστρέφεται ἀπό μία μηχανή ἐσωτερικῆς καύσεως. Στό παρόν πείραμα ἡ Σ.Μ. περιστρέφεται ἀπό ἕνὰ κινητήρα συνεχοῦς ρεύματος Σ.Ρ. Ὁ ἀριθμός στροφῶν τοῦ κινητήρα αὐτοῦ μεταβάλλεται διά ρυθμίσεως τοῦ μαγνητικοῦ του πεδίου μέσω τῆς μεταβλητῆς ἀντιστάσεως  $R_3$ , ἔως ὅτου ἡ σύγχρονη γεννήτρια περιστραφεῖμέ σύγχρονὸ ἀριθμό στροφῶν δηλ. μέ 1500 Σ.Α.Λ. Κατόπιν ἀκολουθεῖ ἡ διαδικασία τοῦ συγχρονισμοῦ.

Γιά νά συνδέσουμε μία σύγχρονη μηχανή μέ τό δίκτυο πρέπει νά πληροῦνται τρεῖς προϋποθέσεις:

- α) Ἡ τάση τῆς μηχανῆς νά εἶναι ἴση μέ τήν τάση τοῦ δικτύου.
- β) Ἡ συχνότητα τῆς μηχανῆς νά εἶναι ἔση μέ τήν συχνότητα τοῦ δικτύου.
- γ) Ἡ σειρά τῶν φάσεων νά εἶναι ἡ ῗδια μέ τή σειρά τῶν φάσεων τοῦ δικτύου.

Στήν προκειμένη περίπτωση γιά τόν συγχρονισμό μέ τό δίκτυο χρησιμοποιεῖται τό κύκλωμα τῶν λυχνιῶν φάσεων  $\mathbf{L}_{\overline{1}}\mathbf{L}_{3}$ , οἱ ὁποῖες ἀνάβουν μέ ἔνα ρυθμό πού ἀντιστοιχεῖ στό περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο, πού παρουσέάζει ὡς πρός τήν συχνότητα τοῦ δικτύου μία συχνότητα όλισθήσεως. Όταν ἐκπληρωθοῦν οἱ συνθῆκες συγχρονισμοῦ ἔχουμε σβέστη ὅλων τῶν λυχνζων, ὁπότε μπορεῖ ὁ διακόπτης  $\mathbf{S}_{2}$  νά κλέίσει.

Ένῶ ἡ σύγχρονη συχνότπα ρυθμίζεται μέ τήν ἀντίσταση  $R_{13}$  ἡ ὁποία ἐπηρεάζει ἄμεσα τήν ταχύτητα τῆς μηχανῆς Σ.Ρ., τό ὕψος τῆς τάσεως πρέπει νά ρυθμισθεῖ μέ τήν ἀντίσταση  $R_{1}$ , ἡ ὁποία ἐπηρεάζει τό συνεχές μαγνητικό πεδίο τῆς σύγχρονης μηχανῆς. Ἐφ ὅσον ὁ διακόπτης  $S_{2}$  ἔχει κλείσει ὁ ἀριθμός τῶν στροφῶν δέν ἐπηρεάζεται πλέον καί ἐξαρτᾶται ἀποί τήν συχνότητα τοῦ δικτύου καθ'οσον ἰσχύει ἡ σχέση

 $n_s = \frac{f}{p}$  (f:συχνότης δικτύου, p:ζεύγη κόλων).

Τώρα μπορεῖ διά μεταβολῆς τῆς ἀντιστάσεως  $R_{3}$  νά μεταβληθεῖ μότο ἡ προσφορά ἢ ἡ πρόσληψη τῆς ἐνεργοῦ ἰσχύος. Ἡ σύγχρονη μηχανή μεταβαίνει αὐτόματα στήν κατάσταση λειτουργίας σάν κινητήρας ἐάν ἡ μηχανή συνεχοῦς ρεύματος Σ.Ρ. μέ σταθερή διέγερση συνδεθεῖ ὑπό ἀντίστροφη πολικότητα μέ τό δίκτυο συνεχοῦς ρεύματος, ὁπότε αὐτή λειτουργεῖ ὡς γεννήτρια. Μέ τήν ἀντίσταση  $R_{1}$  μπορεῖ νά ρυθμιστεῖ ἡ προσφορά ἢ ἡ πρόσληψη της ἀέργου ἰσχύος τῆς σύγχρονης μηχανῆς, καθ'οσον ρυθμίζουμε τήν διέγερση. Ἡ ἐνεργός ἰσχύς, τήν ὁποίαν ἀποδίδει ἡ γεννήτρια, ρυθμίζεται μόνο μέ τήν κινητήριο μηχανή.

### 5. Έξισώσεις τάσεων, ίσοδύναμο κύκλωμα, διανυσματικό διάγραμμα.

Στή μόνιμη κατάσταση λειτουργίας γιά τόν στάτη ἰσχύει ἡ ἀκόλουθη ἐξίσωση τάσεων:

$$\mathbf{U}_{i} = \dot{\mathbf{U}}_{S} + R_{S}\dot{\mathbf{I}}_{S} + j X_{S\sigma}\dot{\mathbf{I}}_{S} = j X_{hd}\dot{\mathbf{I}}_{\mu}$$

$$\dot{I}_{u} = -\dot{I}_{S} + \dot{I}_{f}$$

Τά διάφορα μεγέθη στίς σχέσεις αὐτές ἔχουν τήν ἀκόλουθη μόρφή:

τάση ἐξ΄ ἐπαγωγῆς στό τύλιγμα τοῦ στάτη λόγω τῆς περιστροφῆς τοῦ σταθεροῦ μαγνητικοῦ πεδίου τοῦ δρομέα.

ύς τάση στούς άκροδέκτες της Σ.Μ.

Τ΄ς ρεῦμα μιᾶς φάσεως τοῦ στάτη

R<sub>S</sub> αντίσταση μιᾶς φάσεως τοῦ στάτη

Χ<sub>Sσ</sub> αντίσταση σχεδάσεως μιᾶς φάσεως

Ϊ ρεῦμα μαγνητίσεως

Τ΄ ρευμα δρομέα άνηγμένο στό στάτη

Στή θεωρία τῆς σύγχρονης μηχανῆς ἔχει ἐπικρατήσει ἔνας ὁρισμός, σύμφωνα μέ τόν ὁποῖον ἡ τάση πού προκαλεῖ τό μαγνητικό πεδίο τοῦ δρομέα στό στάτη δίνεται ἀπό τήν σχέση

$$E_p = j X_{hd} t_{F}$$

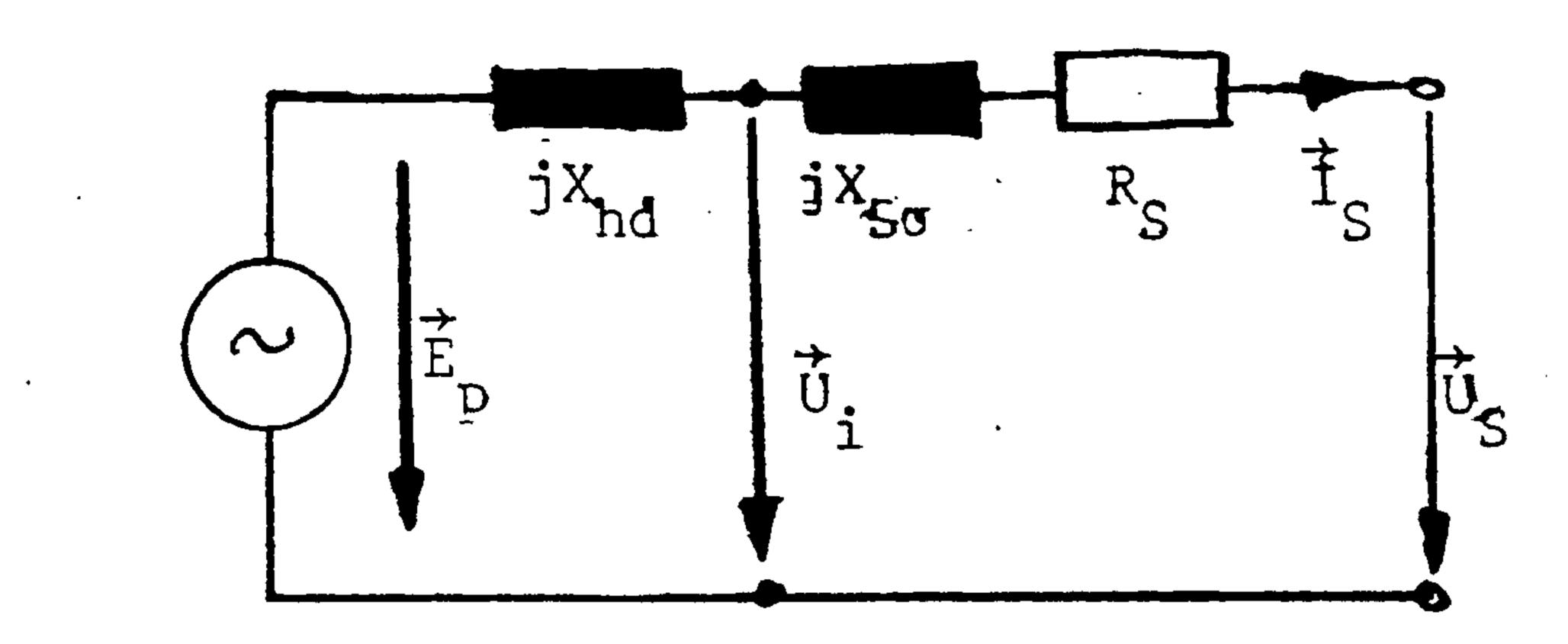
καί ονομάζεται πολική τάση. Είναι δέ ή τάση πού άναπτύσσεται στό στάτη στήν εν κενω κατάσταση καί έχει άναφερθεί στό κεφάλαιο 3. Έτσι ἡ ἐξίσωση τάσεων παίρνει τήν μορφή:

$$\dot{\vec{E}}_{p} = \dot{\vec{U}}_{S} + \left\{ R_{S} + j(X_{hd} + X_{S\sigma}) \right\} \dot{\vec{I}}_{S}$$

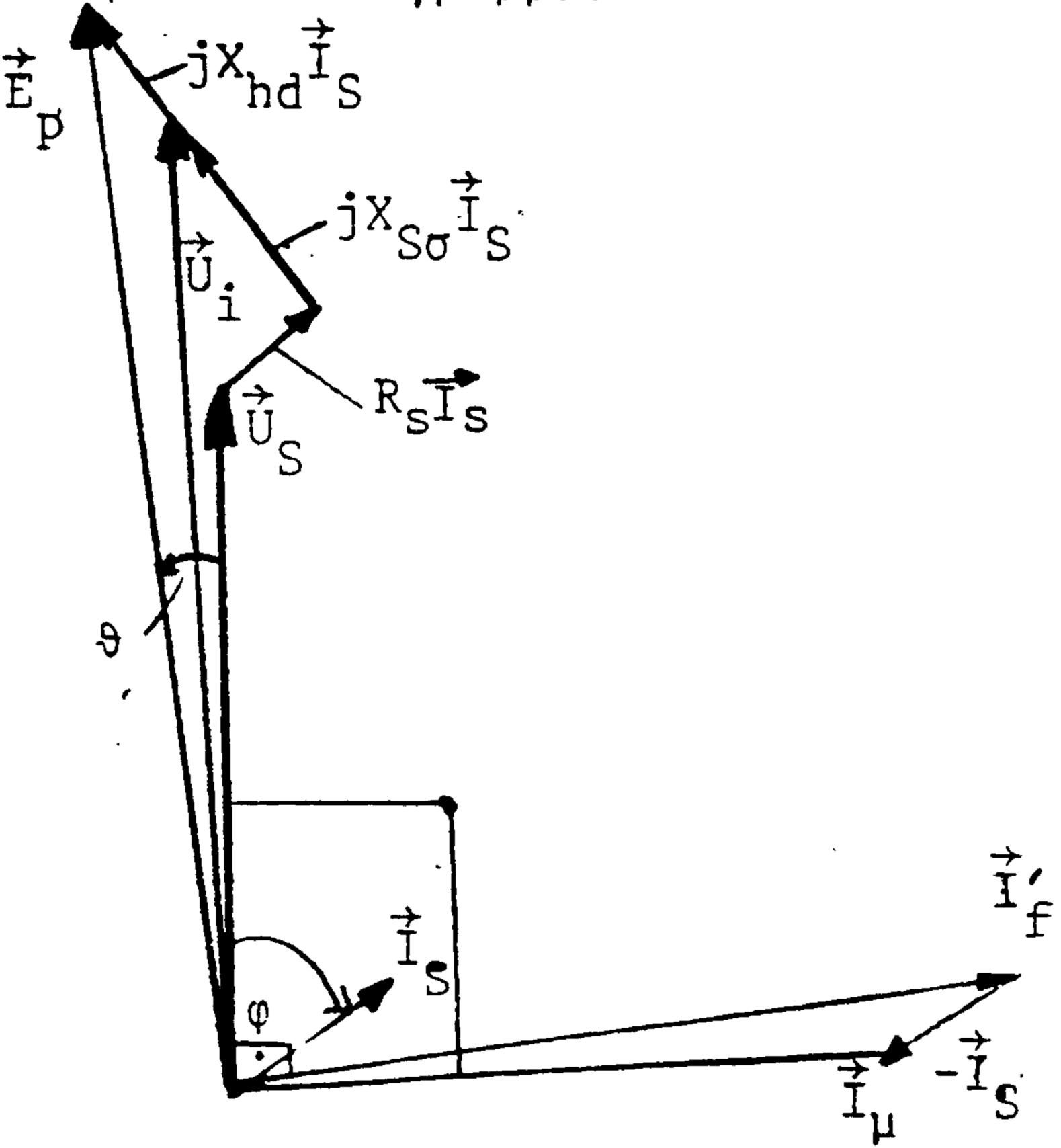
. .

τό άθροισμα  $X_d = X_{hd} + X_{S\sigma}$  λέγεται σύγχρονη έπαγωγική άντίσταση.

Από τίς παραπάνω σχέσεις προκύπτει τό ἀκόλουθο ἰσοδύναμο κύκλωμα.



Τήν έξίσωση τῶν τάσεων μποροῦμε ἐπίσης νά τήν ἀπεικονίσουμε γραφικά παίρνοντας ἔτσι τό διανυσματικό διάγραμμα:



Ή γωνία μεταξύ τῶν τάσεων  $\overrightarrow{U}_S$  καί  $\overrightarrow{E}_p$  λέγεται πολική γωνία καί εἶναι ενα μέτρο γιά τό μέγεθος τῆς ἐνεργοῦ ἰσχύος πού ἀποδίδει ἡ μηχανή. Τό μέγεθος τῆς θ εἶναι κριτήριο εὐστάθειας τοῦ συστήματος, σύγχρονη μηχανή – δίκτυο. Θεωρητικά ἡ μεγίστη τιμή τῆς θ γιά μηχανή μέ κατανεμημένο τύλιγμα διεγέρσεως εἶναι  $90^\circ$ . Πέραν αὐτῆς ἔχουμε ἀστάθεια καί καταστροφή τῆς μηχανῆς. Στήν πράξη ἡ ὀνομαστική τιμή φθάνει τίς  $45^\circ$ .

## 6. Γεωμετρικός τόπος των ρευμάτων.

Έάν λύσουμε τήν ἐξίσωση τῶν τάοεων ὡς πρός τό ρεθμα τοθ στάτη καί παραλείψουμε τήν ὡμική ἀντίσταση  $(R_S$ εἴναι πράγματι πολύ μικρή σέ σύγκριση μέ τό  $X_{\overline{d}}$ ), θά πάρουμε τήν ἑξῆς σχέση:

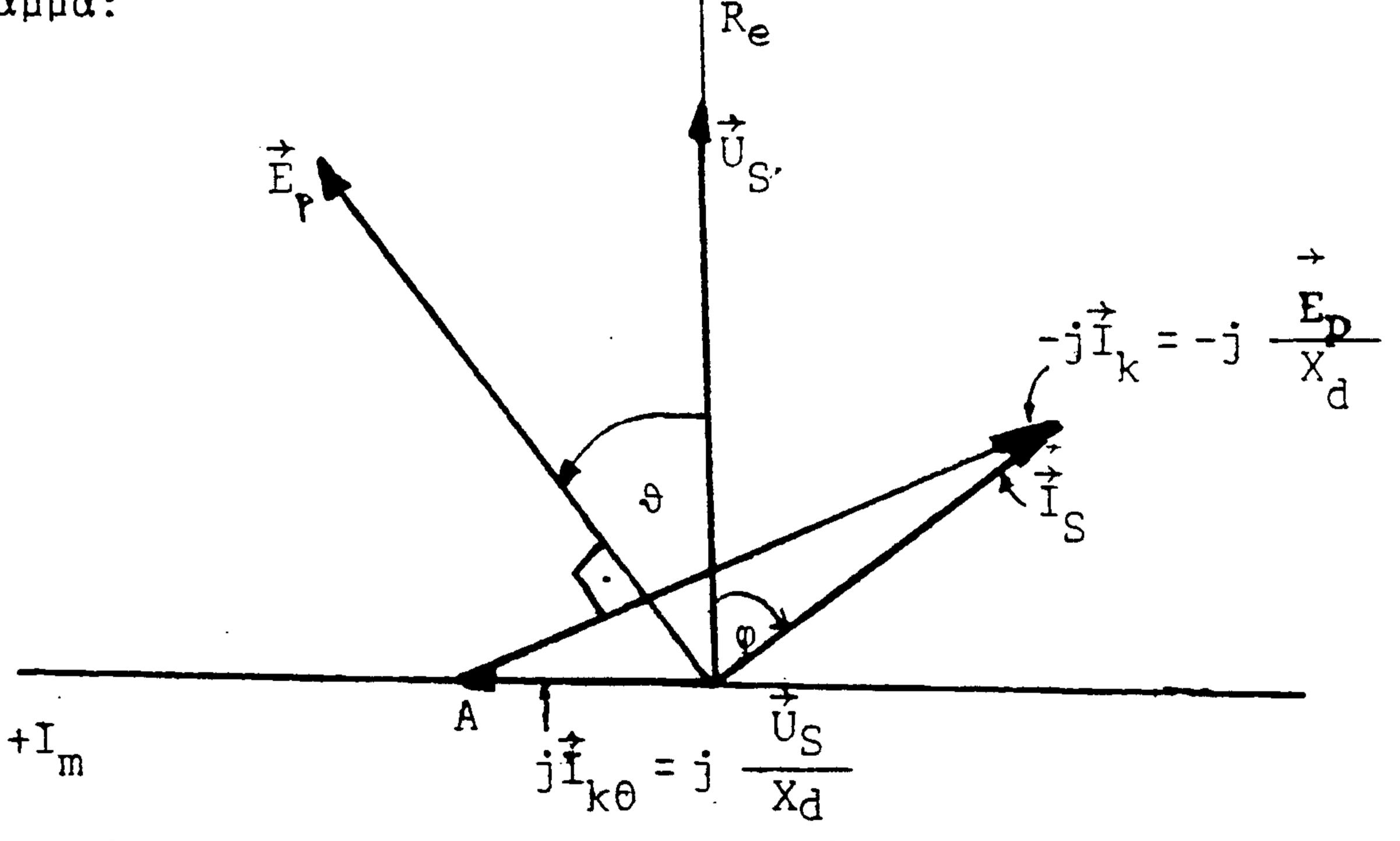
$$\dot{\vec{I}}_{S} = j \frac{\dot{\vec{v}}_{S}}{X_{A}} - j \frac{\dot{\vec{E}}_{D}}{X_{A}}$$

'Ορισμοί:

α)  $\frac{\vec{U}_S}{X_d} = \vec{I}_{k0}$  ρεῦμα βραχυκυκλώσεως στό στάτη, ὅταν ἡ διέγερση τοῦ δρομέα εἶναι τέτοια, ὤστε ἐν κενῶ νά μετρᾶμε στό στάτη τήν ὀνομαστική τάση αὐτοῦ, δηλ. στήν περίπτωση αὐτή εἶναι  $\vec{E}_p = \vec{U}_S = \vec{U}_N$ 

β)  $\frac{\vec{E}_p}{X_d} = \vec{I}_k$  ρεῦμα βραχυκυκλώσεως (βραχυκύκλωμα στούς ἀκροδέκτες τοῦ στάτη).

Ή παραπάνω ἐξίσωση μπορεῖ νά παρασταθεῖ μέ τό ἀκόλουθο διανυσματικό διάγραμμα:



Έάν λοιπόν θεωρήσουμε τό ρεθμα δεεγέρσεως σταθερό,  $I_F$  = σταθ, τότε θά είναι καί ή πολική τάση σταθερή δηλ. E = σταθ. Μεταβαλλομένου τοθ φορτίου θά μεταβάλλὲται καί ή γωνία φ. Τό διάνυσμα  $\vec{I}_S$  θά διαγράφει κάποια καμπύλη πού λέγεται γεωμετρικές τόπος τοθ  $\vec{I}_S$  γιά σταθερή δίέγερση. Στή προκειμένη περίπτωση ὁ γεωμετρικός τόπος είναι κύκλος μέ κέντρο τό σημεῖο A καί ἀκτῖνα ἴση μέ  $I_k$ . Κατά τόν ἴδιο τρόπο προκύπτουν καί ἄλλοι γεωμετρικοί τόποι.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΉ ΣΧΟΛΗ
ΕΕΙΟ ΗΛΕΚΤΡΟΜΗΧΑΝΙΚΉΣ
ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ
Καθ. Δρ. -Μηχ. Α. Σαφάκας.

#### ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ

ΑΣΚΗΣΗ

ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΜΗΧΑΝΗ ΜΕ ΕΚΤΥΠΟΥΣ ΠΟΛΟΥΣ

#### ΕΠΕΞΗΓΗΣΕΙΣ

•

#### 1. Είσαγωγή

Τά κύρια χαρακτηριστικά τῶν συγχρόνων μηχανῶν ἀπό λειτουργικῆς καί ἀπό κατασκευαστικῆς πλευρᾶς περιγράφονται στήν ἄσκηση 9, μέ τίτλο "Σύγχρονη μη-χανή μέ κατανεμημένους πόλους". Έδῶ θά μελετήσουμε ὁρισμένα ἄλλα λειτουρ-γικά χαρακτηριστικά καί σάν πειραματική μηχανή θά χρησιμοποιήσουμε μία Σ.Μ. μέ ἐκτύπους πόλους, ἐνῶ ἡ μηχανή τῆς ἀσκήσεως ξ ἔχει κυλινδρικό δρομέα μέ κατανεμημένο τύλιγμα.

Οἱ μηχανές μέ ἐκτύπους πόλους ἔχουν συνήθως μεγάλο ἀριθμό ἀπό ζεύγη πόλων καί εἶναι κατάλληλες γιά μικρές ταχύτητες, χρησιμοποιοῦνται δέ γιά τήν παραγωγή ἡλεκτρικοῦ ρεύματος ἀπό τήν κίνηση τοῦ νεροῦ. 'Ο ἄξονάς των συνδέεται μέ ὑδροστρόβιλους, ρἱ ὁποῖοι συνήθως στρέφονται ἀργά καί ἀναπτύσσουν μεγάλη ροπή. Τό κύριο χαρακτηριστικό αὐτῶν τῶν μηχανῶν, εἶναι τό γεγονός, ὅτι ὑπάρχουν δύο περιοχές μέ διαφορετική μαγνητική ἀντίσταση καί συνεκῶς μέ διαφορετική τιμή τῶν πεδιακῶν μεγεθῶν. 'Η ἀπόσταση μεταξύ στάτη καί δρομέα ἔχει μία μικρή τιμή στήν περιοχή μεταξύ πέλματος ἐνός πόλου καί ἐσωτερικῆς περιφέρειας τοῦ στάτη, μεγάλη δέ στό διάκενο μεταξύ δύο γειτονικῶν πόλων. Έτσι ἡ περιγραφή μέ ἐξισώσεις καί διαγράμματα εἶναι δυσκολότερη σέ σύγκριση μέ

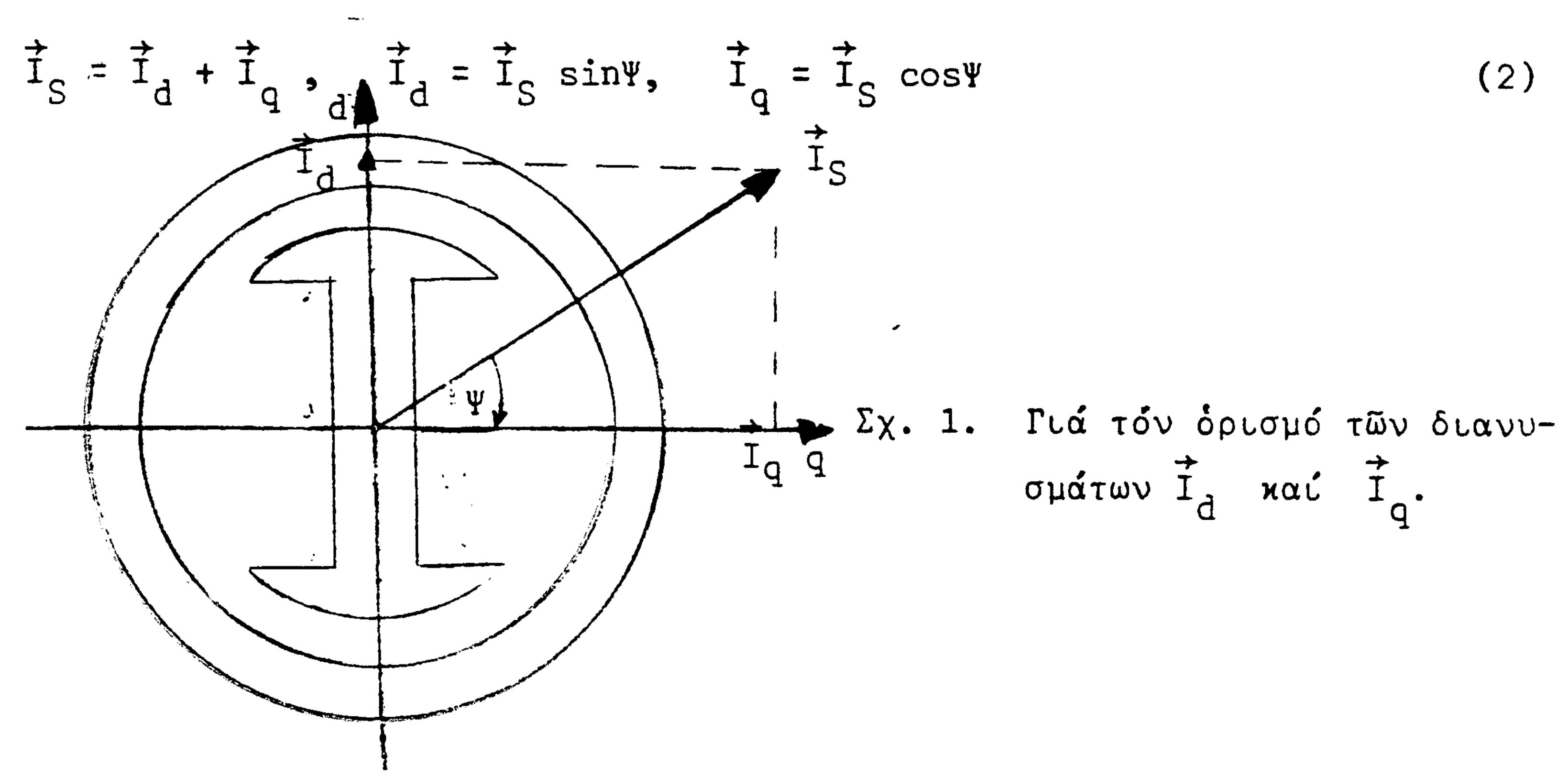
τήν μηχανή πού έχει κατανεμημένο τύλιγμα διεγέρσεως. Ή θεωρία τῶν δύο ἀξόνων προσφέρει μία καλή μεθοδολογία γιά ἀναλυτική περιγραφή.

#### 2. Έξισωση τάσεων καί διανυσματικό διάγραμμα.

Στή μόνιμη κατάσταση λειτουργίας, δηλαδή όταν ἡ Σ.Μ. στρέφεται μέ σύγχρονη ταχύτητα καί τά μεγέθη τοῦ στάτη είναι ἡμιτονοειδή, ἰσχύει ἡ ἀκόλουθη ἐξίσωση γιά τίς τάσεις σέ μία φάση τοῦ στάτη ὑπό τήν προϋπόθεση ὅτι ἡ μηχανή λειτουργεῖ σάν γεννήτρια:

$$\vec{U}_{S} = \vec{E}_{p} + R_{S}\vec{I}_{S} + jX_{S}\vec{\sigma}\vec{I}_{S} + \vec{U}_{\varepsilon\pi d} + \vec{U}_{\varepsilon\pi d}$$
(1)

Ἡ τάση στούς ἀκροδέκτες  $\overrightarrow{U}_S$ , εἶναι ἴση μέ τό ἄθροισμα τῆς πολικῆς τάσεως  $\overrightarrow{E}_p$ , τῆς πτώσης τάσεως  $\overrightarrow{I}_S(R_S+jX_{S\sigma})$  στή μιγαδική ἀντίσταση μιᾶς φάσεως καί δύο ἄλλων τάσεων ἐξ ἐπαγωγῆς  $\overrightarrow{U}_{\text{Eπd}}$  καί  $\overrightarrow{U}_{\text{Eπq}}$  πεόύ ἀντιστοιχοῦν στούς μαγνητικούς ἄξονες  $\overrightarrow{a}$  καί  $\overrightarrow{q}$ . Οἱ τάσεις αὐτές προέρχονται ἀπό τίς κύριες αὐτεπαγωγές στούς δύο ἄξονες καί ἀπό τίς ἀντίστοιχες συνιστῶσες τοῦ ρεύματος τοῦ στάτη. Ἡ ἀνάλυση τοῦ ρεύματος αὐτοῦ φαίνεται στό σχῆμα  $\overrightarrow{I}_S$  σχηματίζει μία γωνία  $\overrightarrow{V}$  μέ τόν ἄξονα  $\overrightarrow{q}$ , ὁπότε γιά τίς συνιστῶσες ἰσχύει:



Στόν ἄξονα d ἀντιστοιχεῖ ἡ κύρια αὐτεπαγωγή  $L_{hd}$  καί στόν ἄξονα q ἡ  $L_{hq}$ . Έτσι γιά τίς τάσεις μποροῦμε νά γράψουμε:

$$\vec{U}_{\varepsilon\pi d} = j\omega L_{hd}\vec{I}_{d} = jx_{hd}\vec{I}_{d}$$
 (3)

Ή σχεδίαση τοῦ διανυσματικοῦ διαγράμματος μιᾶς σύγχρονης γεννήτριας μέ ἐκτύπους πόλους γίνεται λοιπόν κατά τόν ἐξῆς τρόπο:

Σχῆμα 2. Διανυσματικό διάγραμμα μιᾶς σύγχρονης γεννήτριας μέ ἐκτύπους πόλους

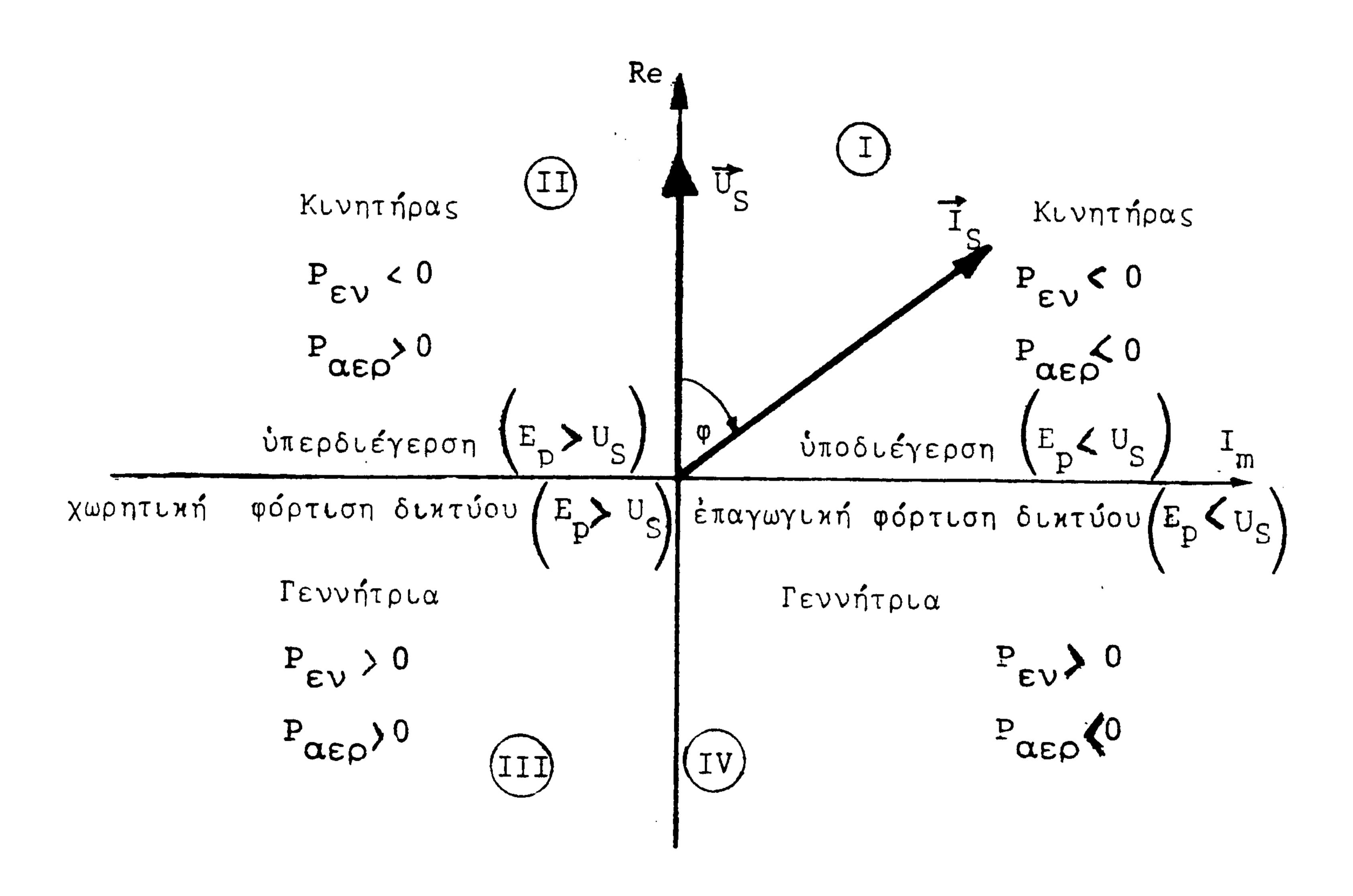
Τοποθετοῦμε πρῶτα τά γνωστά διανύσματα  $\vec{U}_S$ ,  $\vec{I}_S$ ,  $R_S\vec{I}_{S\sigma}$  και  $jX_{S\sigma}\vec{I}_S$ , τά ὁποῖα βρίσκουμε μετρώντας τή τάση, τό ρεῦμα και τήν ἰσχύ και γνωρίζοντας τά  $R_S$  και  $X_{S\sigma}$ . Έτσι στό διάγραμμα φθάνουμε μέχρι τό σημεῖο R και παίρνουμε τήν τάση έξ ἐπαγωγῆς  $\vec{U}_{E\pi}$ . Από ἐδῶ και πέρα ἡ σχεδίαση εἶναι κάπως δυσκολότερη ἀπ΄ ὅτι στή μηχανή μέ κυλινδρικό δρομέα.

'Από τό σημεῖο R καί στήν εὐθεία τοῦ διανύσματος  $j X_{S} \vec{I}_{S}$  τοποθετοῦμε τό διάνυσμα  $j X_{hq} \vec{I}_{S}$  ( $X_{hq}$  πρέπει νά εἶναι γνωστό) καί φθάνουμε στό σημεῖο P. 'Η εὐθεία AP μᾶς δηλώνει τή διέὐθυνση τῆς πολικῆς τάσεως  $\vec{E}_{p}$  καί μᾶς βοηθάει νά ἀναλύσουμε τό ρεῦμα  $\vec{I}_{S}$  στίς κάθετες συνιστῶσες  $\vec{I}_{d}$  καί  $\vec{I}_{q}$ , ἀπό τίς ὁποῖες ἡ διεύθυνση τῆς  $\vec{I}_{q}$  συμπίπτει μέ ἐκείνη τῆς  $\vec{E}_{p}$ . Έχοντας ὅμως τώρα τό διάνυσμα  $\vec{I}_{d}$  μποροῦμε ἀπό τό σημεῖο R καί παράλληλα πρός τήν εὐθεία AP νά τοποθετήσουμε τό διάνυσμα  $j X_{hd} \vec{I}_{d}$ . 'Από τό σημεῖο Ο φέρομε κάθετο πρός τήν εὐθεία AP καί παίρνουμε πλέον ὁλόκληρη τή πολική τάση  $\vec{E}_{p}$  (κατά διεύθυνση καί κατά

μέγεθος). Ἡ τάση  $U_1$ ,πού ἰσοῦται μέ τήν διαφορά  $\vec{E}_p$ - $\vec{U}_{\text{Emd}}$ , ἀντιστοιχεῖ στό συνιστάμενο μαγνητικό πεδύο πού ἐπικρατεῖ στό διάκενο κατά τήν διεύθυνση τοῦ ἄξονα d μετά ἀπό τήν ἐπίδραση τῆς συνιστώσας  $\vec{I}_d$  ἐπί τοῦ ρεύματος διεγέρσεως  $I_f$ . Τά μαγνητικά πεδία πού προκαλοῦνται ἀπό τά ρεύματα αὐτά ἔχουν τήν διεύθυνση τοῦ ἄξονα d. Τά μεγέθη  $X_d = X_{hd} + X_{S\sigma}$  καί  $X_q = X_{hq} + X_{S\sigma}$  λέγονται σύγχρονες ἐπαγωγικές ἀντιστάσεις τῶν ἀξόνων d καί q.

## 3. Ανταλλαγή ίσχύος μέ τό δίκτυο.

Όπως στή σύγχρονη μηχανή μέ κατανεμημένο τύλιγμα διεγέρσεως ἔτσι καί έδῶ στή μηχανή μέ ἐκτύπους πόλους ἡ ἐνεργός ἰσχύς ἐπηρεάζεται διά μεταβολῆς τῆς ἀποδιδομένης ἤ προσλαμβανομένης μηχανικῆς ἰσχύος στόν ἄξονά της. Ἡ ἄεργος ἰσχύς ἐπηρεάζεται διά μεταβολῆς τοῦ ρεύματος διεγέρσεως. Ἡ ἀπόδοση ἤ ἡ πρόσληψη ἐνεργοῦ ἤ ἀέργου ἰσχύος χαρακτηρίζει τήν κατάσταση λειτουργίας, διακρίνουμε δέ 4 καταστάσεις λειτουργίας, τίς ὁποῖες βλέπουμε παραστατικά στό σχῆμα 3.



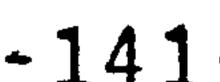
Σχημα 3. Τεταρτημόρια ένεργειακης καταστάσεως μιας σύγχρονης μηχανης.

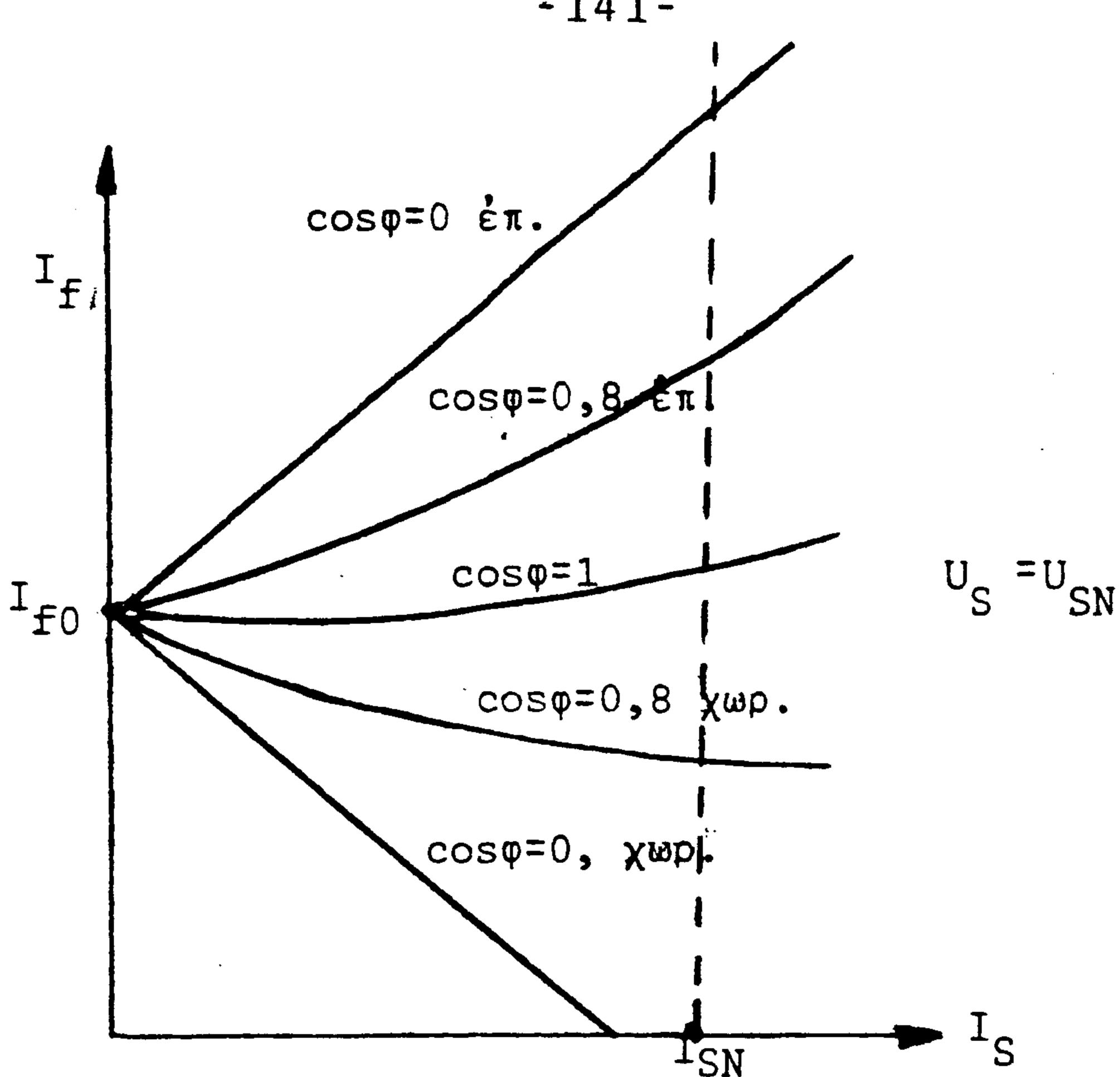
Στό τεταρτημόριο ΙΙΙ ή μηχανή λειτουργεί σάν γεννήτρια καί προσφέρει ἄεργο καί ένεργό ίσχύ. Στό τεταρτημόριο ΙΥ δίνει ένεργό ίσχύ άλλά παίρνει ἄεργο ίσχύ καί λειτουργεῖ σάν γεννήτρια. Στό τεταρτημόριο Ι ή μηχανή προσλαμβάνει ένεργό καί ἄεργο ἰσχύ ἀπό τό δίκτυο καί λειτουργεζ σάν κινητήρας. Τέλος στό τεταρτημόριο ΙΙ προσλαμβάνει ένεργό ίσχύ άλλά δίνει ἄεργο καί λειτουργεῖ έπίσης σάν κινητήρας. Κατά τή λειτουργία σάν γεννήτρια δίνουμε ἄεργο ἰσχύ έάν δώσουμε τέτοιο ρεῦμα διεγέρσεως, ώστε ἡ τάση  $\stackrel{7}{E}_{
m D}$  νά γίνει μεγαλύτερη ἀπό τήν τάση  $\overline{U}_{\mathrm{S}}$  τοῦ δικτύου, ἡ ὁποία ἀναγκαστικά παραμένει σταθερή. Ἐάν μειώσουμε τό ρεῦμα  $\mathbf{I}_{\mathbf{f}}$  θά μειωθεῖ καί ἡ  $\mathbf{E}_{\mathbf{D}}$ , στήν περίπτωση δέ  $\mathbf{E}_{\mathbf{D}}$ <br/>Ο $\mathbf{U}_{\mathbf{S}}$  ἔχουμε πρόσληψη ἀέργου ἰσχύος. Όταν λειτουργεζ σάν κινητήρας καί παίρνει ἀπό τό δίκτυο τόσο ἄεργο ἰσχύ ὄσο καί ἐνεργό, ἡ σύγχρονη μηχανή συμπεριφέρεται ἐνεργειακά όπως ένας ασύγχρονος κινητήρας. Όταν παίρνει ένεργό ίσχύ καί δίνει ἄεργο σημαίνει ότι το ρεύμα διεγέρσεως  $\mathbf{I}_{\mathbf{f}}$  είναι μεγαλύτερο ἀπό το  $\mathbf{I}_{\mathbf{f}0}$  στήν έν κενώ κατάσταση. Αντίθετα στήν ὑποδιέγερση ἰσχύει  $I_f < I_{f0}$ . Αὐξάνοντας  $\stackrel{\leftarrow}{E}_D$  πέρα τοῦ  $\widetilde{\mathbf{U}}_{\mathrm{S}}$  μέσω τοῦ  $\mathbf{I}_{\mathrm{f}}$  ὀπότε δίνουμε ἄεργο ἰσχύ στό δίκτυο σημαίνει ὅτι ἀναγκάζουμε τό ρετμα στό στάτη νά προπορεύεται της τάσεως. Μειώνον $\mathbf{r}$ ας τό  $\mathbf{I}_{\mathbf{f}}$  κάτω ἀπό  $I_{f0}$  μειώνεται καί ἡ τάση  $\vec{E}_{p}$  ὡς πρός τήν  $\vec{U}_{S}$  καί τό ρεῦμα  $\vec{I}_{S}$  ἐπιπορεύεται της Úς.

# 4. Χαρακτηριστικές καμπύλες $I_f=f(I_s)$ ὑπό cosφ=σταθ. καί $I_s=f(I_f)$ ὑπό $P_{\epsilon \nu}$ =σταθ.

Εἶναι σημαντικό νά γνωρίζουμε τήν ἐξάρτηση τοῦ ρεύματος διεγέρσεως ἀπό τό ρεῦμα τοῦ στάτη, ὅταν ἡ τάση στούς ἀκροδέκτες παραμένει σταθερή καί τό cosφ μεταβάλλεται παραμετρικά. Ἡ ἀναλυτική σχέση προκύπτει ἀπό τίς σχέσεις (1), (3) καί (4), ἐάν λάβουμε ὑπ'οψη μας ὅτι μεταξύ ὑς καί İς σχηματίζεται ἡ γωνία φ καί ἐπίσης ἰσχύει ἡ σχέση  $I_f/I_{f0}=E_p/U_{SN}$ . Στήν κατάσταση ἐν κενῶ, δηλ.  $I_s=0$ , τό τύλιγμα διεγέρσεως διαρρέεται ἀπό τό ρεῦμα  $I_{f0}$  καί στούς ἀκροδέκτες τοῦ στάτη ἐπικρατεῖ ἡ τάση  $U_{SN}$ . Ὑπό φορτίο δηλ.  $I_s\neq 0$  στούς ἀκροδέκτες ἔχουμε πάντα  $I_{SN}$  ἀλλά τό  $I_f$  καί μαζί του ἡ τάση  $I_f=1$  μεταβάλλεται. Στό σχήμα 4 βλέπουμε τή σχέση  $I_f=1$  γιά χωρητική, ὡμική καί ἐπαγωγική φόρτιση.

Γιά νά διατηρήσουμε τήν τάση στούς ἀκροδέκτες σταθερή πρέπει νά μεταβάλλουμε τό ρεῦμα διεγέρσεως κατάλληλα, διότι ἀνάλογα μέ τό ἐκάστοτε  $\mathbf{I}_S$  ἔχουμε ἀντίσοτοιχα μία τάση  $\mathbf{E}_D$  καί μία ἀντίδραση τυμπάνου. Όταν ἡ Σ.Μ. εἶναι παραλλη-

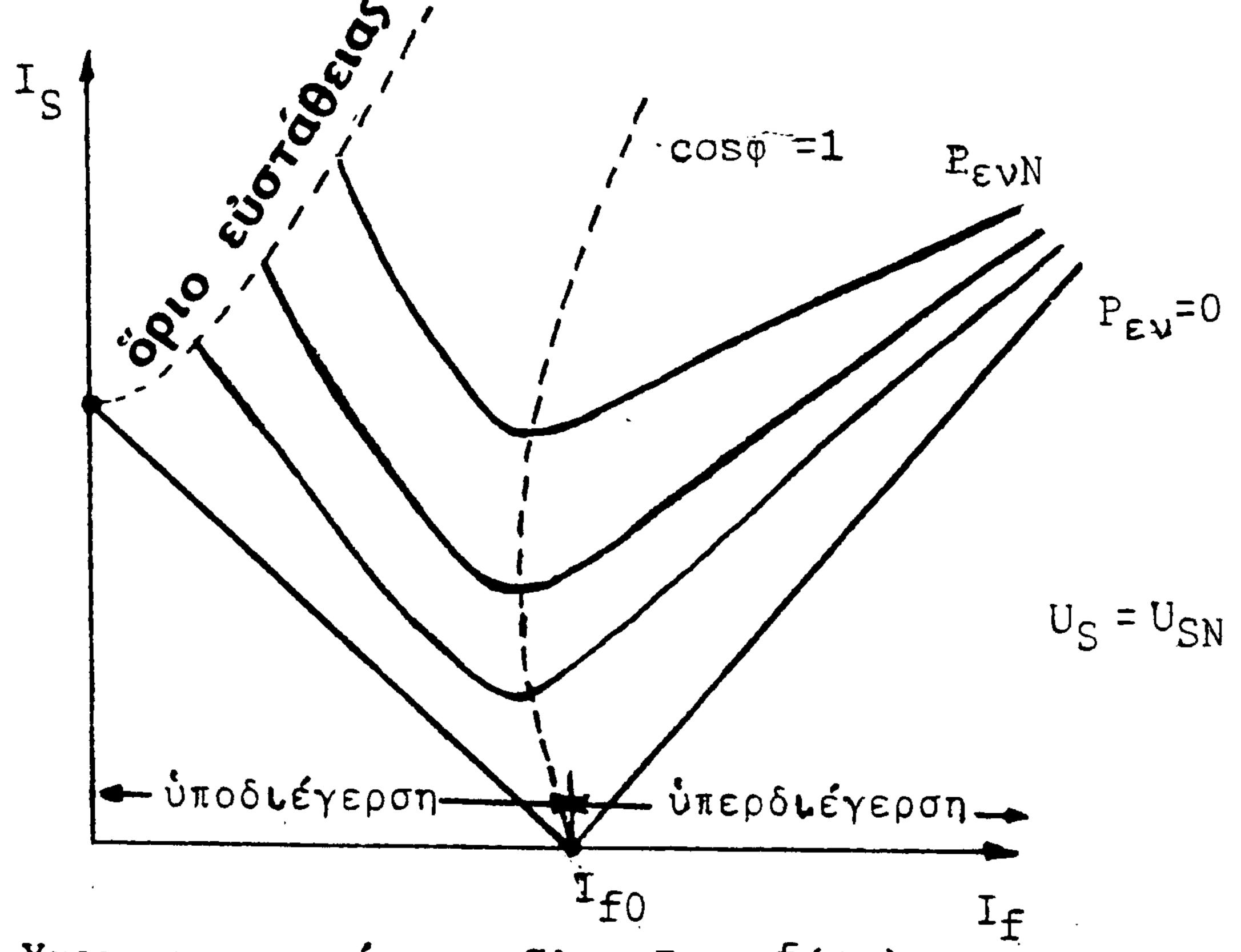




Σχῆμα 4. Καμπύλη  $I_f = f(I_S)$  μιας Σ.Μ.

λισμένη μέ τό δίκτυο, ή μεταβολή τοῦ  $I_{f}$  ἐπηρεάζει τήν ἄεργο ἴσχύ καί ἔτσι διακρίνουμε την ὑποδιέγερση καί ὑπερδιέγερση.

Όταν ἡ Σ.Μ. εἶναι παραλληλησμένη μέ τό δίκτυο, μία ἄλλη οἰκογένεια καμπύλῶν εἶναι χρήσιμη γιά τήν κατανόηση τῆς λειτουργικῆς συμπεριφορᾶς. Πρόκειται γιά τίς χαρακτηριστικές  $\mathbf{I}_S = \mathbf{f}(\mathbf{I}_f)$  ὅταν ἡ ἐνεργός ἰσχύς παραμένει σταθερή. Ἡ μορφή τους φαίνεται στό σχῆμα  $\mathbf{5}$  καί ἔχει τό σχῆμα  $\mathbf{V}$ .



Σχῆμα 5. Χαρακτηριστικές καμπῦλες  $I_S = f(I_f)$ 

 $^{\circ}$ Η μεταβολή τοῦ  $I_{\hat{\mathbf{f}}}$  ἐπιφέρει μεταβολή τῆς ἀέργου ἰσχύος. Τό ἐλάχιστο τῶν καμπυλῶν αὐτῶν βρέσκεται στό σημεῖο  $\cos \varphi = 1$  δηλ. ὅταν ἡ ἄεργος συνιστῶσα τοῦ  $I_{\hat{\mathbf{f}}}$  εἶναι μηδέν καί συνεπῶς ἡ μαγνήτιση γίνεται μόνον μέ τό ρεῦμα  $I_{\hat{\mathbf{f}}}$ . Τό ὅριο

εὐστάθειας ἀντιστοιχεῖ στή γωνία  $\theta = 90^\circ$ , ὅταν ἔχουμε μηχανή μέ κυλινδρικό δρομέα, ἐνῶ  $\theta < 90^\circ$  ὅταν ἔχουμε Σ.Μ. μέ ἐκτύπους πόλους.

#### 5. Βραχυκύκλωμα

Διακρίνουμε τρία εἴδη βραχυκυκλώματος δηλ. τριπολικό, διπολικό καί μονοπολικό βραχυκυκλώμα. Στή μόνιμη κατάσταση ἀποκαθίσταται τό ρεῦμα διαρκοῦς βραχυκυκλώματος, τό ὁποῖο ἐξαρτᾶται ἀπό τό ρεῦμα  $\mathbf{I}_f$  καί ἀπό τόν ἀριθμό στροφῶν. Ἐνδιαφέρον παρουσιάζει ὁ λόγος τῶν ρευμάτων κατά τα τρία εἴδη βραχυκυκλώματος. Αὐτά ὑπολογίζονται μέ τήν βοήθεια τῶν συμμετρικῶν συνιστωσῶν. Μέ τήν μέθοδο αὐτή ἀναλύουμε τό σύστημα τῶν μή συμμετρικῶν ρευμάτων σέ τρία συμμετρικά. Ἔστω ὅτι τά τρία ρεύματα  $\vec{\mathbf{I}}_{\mathbf{U}}$ ,  $\vec{\mathbf{I}}_{\mathbf{V}}$ ,  $\vec{\mathbf{I}}_{\mathbf{W}}$  εἴναι τυχαῖα. Τα ρεύματα αὐτά μποροῦν νά ἀναλυθοῦν σέ τρία ἄλλα συμμετρικά ρεύματα  $\vec{\mathbf{I}}_{\mathbf{U}}$ ,  $\vec{\mathbf{I}}_{\mathbf{V}}$ ,  $\vec{\mathbf{I}}_{\mathbf{W}}$  τά ὁποῖα σέ ἔνα ἐπίπεδο μιγαδικῶν ἀριθμῶν στρέφονται πρός μία κατέύθυνση, σέ τρία ἄλλα ἐπίσης συμμετρικά  $\vec{\mathbf{I}}_{\mathbf{U}2}$ ,  $\vec{\mathbf{I}}_{\mathbf{V}2}$ ,  $\vec{\mathbf{I}}_{\mathbf{W}2}$ , τά ὁποῖα στρέφονται πρός ἀντίθετη κατεύθυνση σέ σχέση μέ τα προηγούμενα καί σέ τρία συμμετρικά συμφασικά ρεύματα  $\vec{\mathbf{I}}_{\mathbf{U}0}$ ,  $\vec{\mathbf{I}}_{\mathbf{V}0}$ ,  $\vec{\mathbf{I}}_{\mathbf{W}0}$ . Τά μή συμμετρικά ρεύματα συνδέονται μέ τα συμμετρικά μέσω τῶν ἀκολούθων ἑξισώσεων:

$$\vec{I}_{U} = \vec{I}_{U1} + \vec{I}_{U2} + \vec{I}_{U0} 
\vec{I}_{V} = a^{2} \vec{I}_{V1} + a \vec{I}_{V2} + \vec{I}_{V0} 
\vec{I}_{W} = a \vec{I}_{W1} + a^{2} \vec{I}_{W2} + \vec{I}_{W0}$$

$$\vec{\delta}_{\pi \circ V} = e^{\frac{1}{3} \frac{2\pi}{3}} \qquad a^{2} = e^{\frac{1-4\pi}{3}}$$
(5)

Γιά τά ρεύματα κάθ' ενός συστήματος ίσχύει:

$$\vec{I}_{U1} = a \vec{I}_{V1} = a^2 \vec{I}_{W1} 
\vec{I}_{U2} = a^2 \vec{I}_{V2} = a \vec{I}_{W2} 
\vec{I}_{U0} = \vec{I}_{V0} = \vec{I}_{W0}$$
(6)

Από τίς σχέσεις (5) καί (6) προκύπτει τό ἀκόλουθο σύστημα:

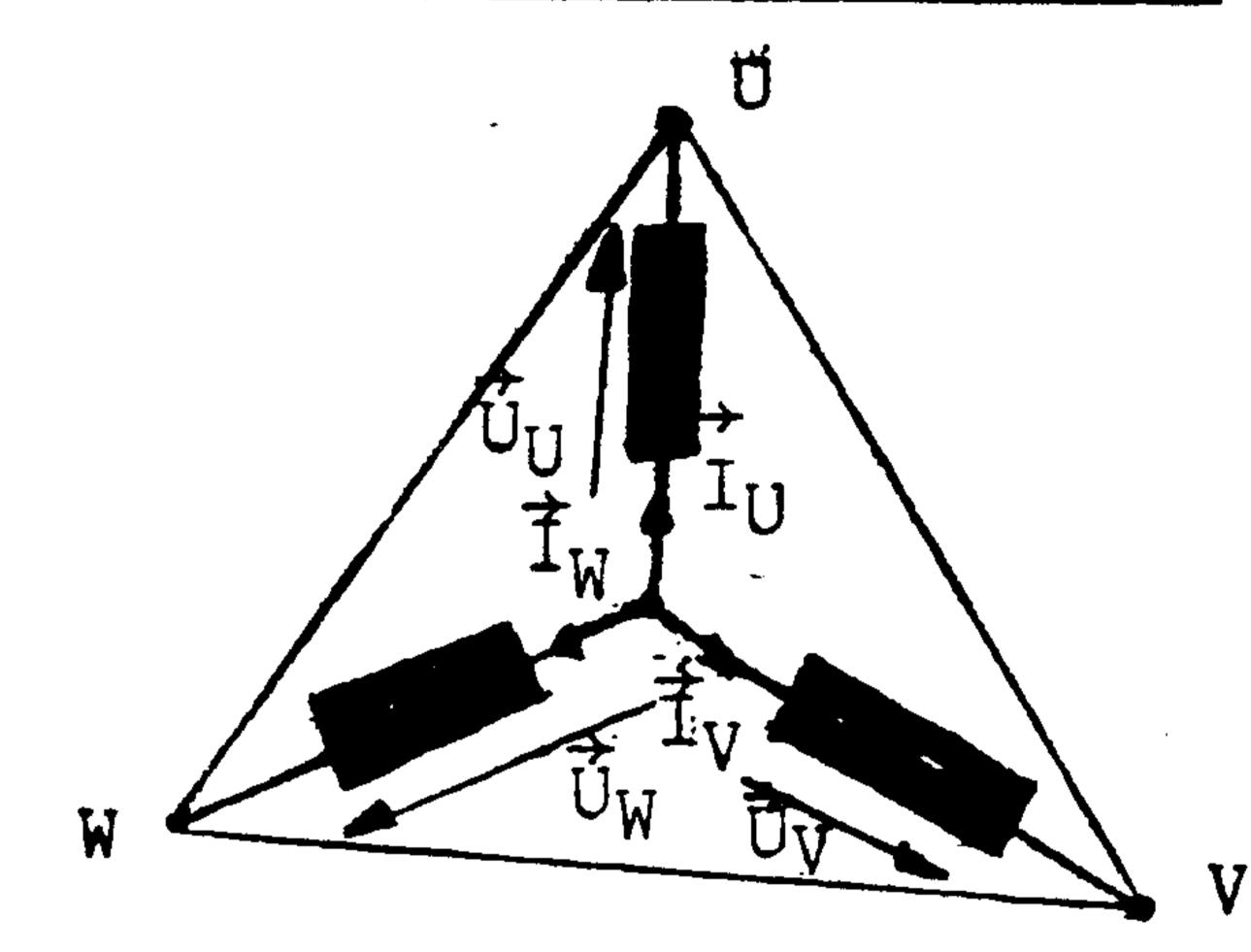
$$\vec{I}_{U1} = \frac{1}{3} (\vec{I}_{U} + a \vec{I}_{V} + a^{2} \vec{I}_{W})$$

$$\vec{I}_{U2} = \frac{1}{3} (\vec{I}_{U} + a^{2} \vec{I}_{V} + a \vec{I}_{W})$$

$$\vec{I}_{U0} = \frac{1}{3} (\vec{I}_{U} + \vec{I}_{V} + \vec{I}_{W})$$
(7)

Γνωρίζοντας τά  $\vec{I}_{U1}$ ,  $\vec{I}_{U2}$ ,  $\vec{I}_{U0}$  μπορούμε νά ὑπολογίσουμε τά ὑπόλοιπα ρεύματα μέ τήν βοήθεια τῶν σχέσεων (6).

## 6. Τριπολικό Βραχυκύκλωμα



Τό τριπολικό βραχυκύκλωμα είναι μία περίπτωση συμμετρικής φόρτισης. Οἱ τρεῖς ἀκροδέκτες τοῦ στάτη βραχυκυκλώνονται καί στίς τρεῖς φάσεις ἔχουμε συμμετρικά ρεύματα. Ἡπό αὐτές τίς συθθή-κες τό κύκλωμα περιγράφεται μέ τίς σχέσεις:

$$\vec{\mathbf{I}}_{\mathbf{U}} = \vec{\mathbf{U}}_{\mathbf{V}} = \vec{\mathbf{U}}_{\mathbf{W}} 
\vec{\mathbf{I}}_{\mathbf{U}} + \vec{\mathbf{I}}_{\mathbf{V}} + \vec{\mathbf{I}}_{\mathbf{W}} = 0$$
(8)

Σχῆμα 6.

Σύμφωνα μέ τις προηγούμενες σχέσεις γιά τις συμμετρικές συνιστώσες ίσχύει:

$$\vec{I}_{U1} = \vec{I}_{U}, \quad \vec{I}_{U2} = 0, \quad \vec{I}_{U0} = 0$$
 (9)

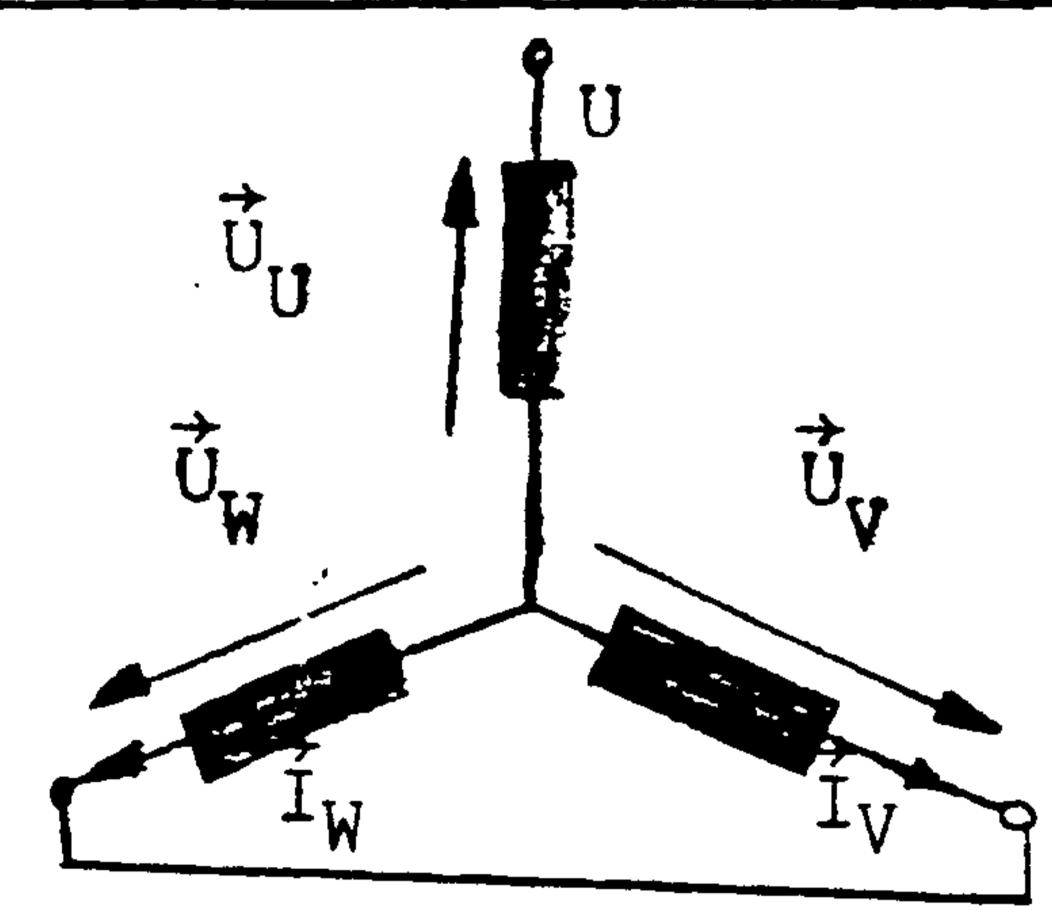
$$\vec{U}_{U1} = 0, \quad \vec{U}_{U2} = 0, \quad \vec{U}_{U0} = \vec{U}_{U} = 0$$
 (10)

Τά τρία ρεύματα  $\vec{I}_U$ ,  $\vec{I}_V$  καί  $\vec{I}_W$  είναι συμμετρικά καί γι'αὐτό τόν λόγο ἰσχύει  $\vec{I}_{U2} = 0$ . Έπειδή δέ  $\vec{I}_{U0} = 0$  λόγω (8), ἰσχύει  $\vec{U}_{U0} = 0$ , διότι στή μόνιμη κατάσταση λειτουργίας γιά τήν μηδενική συνιστώσα ἰσχύει:

$$\vec{U}_{UO} = - \vec{Z}_0 \vec{I}_{UO} = -(R_0 + jx_0) \vec{I}_{UO}$$
 (11)

Είναι σαφές ὅτι γιά τριπολικό συμμετρικό βραχυκύκλωμα πῶν τριῶν φάσεων πρέπει νά ἰσχύει  $\vec{U}_{U1} = \vec{U}_{U2} = \vec{U}_{U0} = 0$ , ἀφοῦ οἱ ἐπιβαλόμενες τάσεις είναι μηδέν.

#### 7. Διπολικό βραχυκύκλωμα



Οἱ ἀκροδέκτες δύο φάσεων βραχυκυκλώνονται μεταξύ των, ἐνῶ ἡ τρίτη φάση μένει ἐν κενῶ.

Οἱ συνθῆκες αὐτές ἐκφράζονται μέ τίς ἐξισώσεις:

$$\vec{U}_{V} = \vec{U}_{W}, \quad \vec{I}_{U} = 0, \quad \vec{I}_{V} = -\vec{I}_{W}$$
 (12)

Σχημα ΄

Γιά τίς συμμετρικές συνιστωσες των ρευμάτων ίσχύει:

$$\vec{I}_{U1} = \frac{1}{3} (\vec{I}_{U} + a\vec{I}_{V} + a^{2}\vec{I}_{W}) = \frac{1}{3} (a - a^{2}) \vec{I}_{V} = \frac{1}{3} j \vec{I}_{V}$$

$$\vec{I}_{U2} = \frac{1}{3} (a^{2} - a)\vec{I}_{V} = -\frac{1}{3} j \vec{I}_{V} = -\vec{I}_{U1}$$

$$\vec{I}_{U0} = \frac{1}{3} (\vec{I}_{V} + \vec{I}_{W}) = \frac{1}{3} (\vec{I}_{V} - \vec{I}_{V}) = 0$$
(13)

Συμμετρικές συνιστώσες τών τάσεων:

$$\vec{\mathbf{U}}_{U0} = -\vec{\mathbf{Z}}_{0} \vec{\mathbf{I}}_{U0} = 0$$

$$\vec{\mathbf{U}}_{U1} = \frac{1}{3} (-2\vec{\mathbf{U}}_{\mathbf{V}} + a\vec{\mathbf{U}}_{\mathbf{V}} + a\vec{\mathbf{U}}_{\mathbf{V}} + a\vec{\mathbf{U}}_{\mathbf{V}}) = \frac{1}{3} \vec{\mathbf{U}}_{\mathbf{V}} (-2+a+a^{2}) = -\vec{\mathbf{U}}_{\mathbf{V}} = -\vec{\mathbf{U}}_{\mathbf{W}}$$

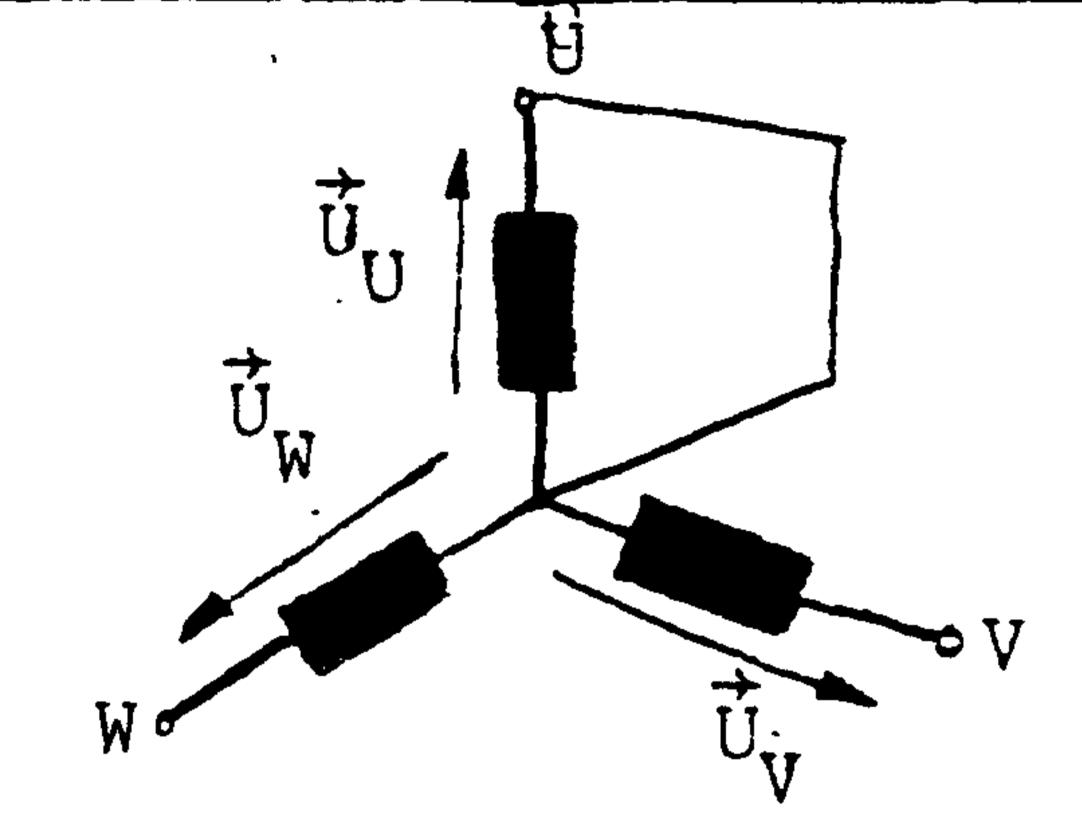
$$\vec{\mathbf{U}}_{U2} = -\frac{1}{3} (-2\vec{\mathbf{U}}_{\mathbf{V}} + a^{2}\vec{\mathbf{U}}_{\mathbf{V}} + a\vec{\mathbf{U}}_{\mathbf{V}}) = \vec{\mathbf{U}}_{U1} = -\vec{\mathbf{U}}_{\mathbf{V}} = -\vec{\mathbf{U}}_{\mathbf{W}}$$

$$\vec{\mathbf{U}}_{U0} = 0 = \frac{1}{3} (\vec{\mathbf{U}}_{\mathbf{U}} + \vec{\mathbf{U}}_{\mathbf{V}} + \vec{\mathbf{U}}_{\mathbf{W}}) = -\frac{1}{3} (\vec{\mathbf{U}}_{\mathbf{U}} + 2\vec{\mathbf{U}}_{\mathbf{V}})$$

$$\vec{\mathbf{U}}_{U} = -2\vec{\mathbf{U}}_{\mathbf{V}}$$

$$(15)$$

### 8. Μουοπολικό βραχυκύκλωμα:



. .

'Ο ἀκροδέκτης μιᾶς φάσεως βραχυκυκλώνεται μέ τό κοινό σημεῖο, ὁπότε ἰσχύουν οὶ συνθῆκες:

$$\vec{U}_{U} = 0, \qquad \vec{I}_{V} = \vec{I}_{W} = 0 \tag{16}$$

Συμμετρικές συνιστώσες τών ρευμάτων:

$$\vec{I}_{U1} = \vec{I}_{U2} = \vec{I}_{U0} = \frac{1}{3} = \vec{I}_{U}$$
 (17)

Συμμετρικές συνιστώσες τών τάσεων:

$$\vec{U}_V = a\vec{U}_W \rightarrow \vec{U}_{U1} = -\frac{2}{3} - a^2\vec{U}_W$$

$$\vec{\dot{U}}_{U2} = \frac{1}{3} (a^3 + a) \vec{\dot{U}}_W = \frac{1}{3} (1 + a) \vec{\dot{U}}_W, \quad \vec{\dot{U}}_{U0} = \frac{1}{3} (1 + a) \vec{\dot{U}}_W = \vec{\dot{U}}_{U2}$$
 (18)

Αξιόλογη είναι ἡ σύγκριση τῶν ρευμάτων μεταξύ των γιά τά διάφορα βραχυκυκλώματα. "Έτσι παίρνοντας σάν ρεύματα γιά σύγκριση τίς συμμετρικές συνιστῶσες τοῦ πρώτου συστήματος, δηλαδή αὐτοῦ τοῦ ὁποίου ἡ σειρά τῶν φάσεων είναι ἴδια μέ ἐκείνη τοῦ πραγματικοῦ συστήματος, διαπιστώνεται ἡ ἑξῆς ἀναλογία:

$$I_{KII}:I_{KI}:I_{KI}$$
 1:  $\sqrt{3}:3$  (19)

Ή σχέση αὐτή ἰσχύει ὑπό τήν προϋπόθεση ὅτι οἱ ὡμικές ἀντιστάσεις καθώς καί οἱ ἐπαγωγιμότητες τῶν δύο ἄλλων συμμετρικῶν συστημάτων ἐκτός τοῦ πρώτου εἶναι μηδέν. Σημαίνει δέ ὅτι τό μεγαλύτερο ρεῦμα βραχυκυκλώσεως σἔ μία φάση ἐμφανίζεται κατά τό μονοπολικό βραχυκύκλωμα.

## 7. Διεξαγωγή της ασχήσεως.

## 7.1. Μέτρηση των άντιστάσεων του στάτη καί του δρομέα.

Στάτης: Τροφοδοτῆστε κάθε φάση χωριστά μέ συνεχή τάση καί ἀποκαταστήσατε το τό ἴδιο ρεῦμα  $I_{UX} = I_{VY} = I_{WZ} = I$ 

Μετρήστε τίς τάσεις U<sub>UX</sub>, U<sub>VY</sub>, U<sub>WZ</sub> καί τά ἀντίστοιχα ρεύματα.

Δρομέας: Ἐφαρμόστε ονομαστική τάση  $U_{FN}$  καί μετρήστε τό ρεθμα  $I_{F}$ 

Υπολογίστε: R<sub>UX</sub>, R<sub>VY</sub>, R<sub>WZ</sub>, R<sub>F</sub>.

## 7.2. Χαρακτηριστική έν κενω.

$$\Sigma \tau \alpha \vartheta \epsilon \rho \dot{\alpha}$$
:  $I_S = 0$ ,  $n = n_S$ ,  $\frac{4}{5} \dot{n}_S$ ,  $\frac{6}{5} \dot{n}_S$ 

Μεταβάλλετε: Το Ιτ ετσερώστε ή τάση εν κενῶ U<sub>so</sub> νά μεταβάλλεται ἀνά 50 V καί μέχρι τελική τιμή 400 V.

Mετρηστε: I<sub>F</sub>, U<sub>S0</sub>

Σχεδιᾶστε  $U_{S0} = f(I_{F})$ 

#### 7.3. Χάρακτηριστική τριπλοῦ βραχυκυκλώματος.

Σταθερά: n= n<sub>S</sub>

Μεταβάλλετε: 04 I 4 I Fmax.

I<sub>Fmax</sub> ὅταν 
$$I_{SK} = 1,2$$
  $I_{SN}$ .

Μετρήσιε: n, I<sub>F</sub>, Ι<sub>Κ</sub> (είδικά νά μετρηθεί τό ζεῦγος Ι<sub>Γ</sub>, Ι<sub>ΚΟ</sub>)

Σχεδιάστε:  $I_{SK} = f(I_F)$ 

Υπολογίστε:  $\lambda = \frac{I_{K0}}{I_{N}}$ ,  $X_{d}$ 

## 7.4. Συγχρονισμός μέ τό δίκτυο.

 $n=n_S = \sigma \tau \alpha \vartheta$ .  $U_S = U_{\delta i \times \tau \cup 0}$ .

Νά γίνει ὁ συγχρονισμός μέ τήν βοήθεια τῶν τρ ιῶν λυχνιῶν καί νά περιγραφοῦν οἱ χειρισμοί.

Προσοχή: Νά γίνει ἔλεγχος ἐάν πληροῦται ἡ συνθήκη συγχρονισμοῦ "ἴδια διαδοχή τῶν φάσεων γεννήτριας - δίκτυου".

## 7.5. Λειτουργία μετά του παραλληλισμο

α) γεννήτρια

. .

β) κινητήρας.

Νά ἀποκατασταθοῦν οἱ καταστάσεις ὑποδιεγέρσεως καί ὑπερδιεγέρσεως. Γιά  $\cos \varphi = 1$  καί  $\cos \varphi = 0$  νά μετρηθοῦν  $I_S$ ,  $U_S$ ,  $I_F$ ,  $U_F$ ,  $P_{\text{ev}}$ . καί νά σχολιασθοῦν.

# 7.6. Γεωμετρικός τόπος τοῦ $\vec{I}_S$ γιά $\vec{U}_S = \vec{U}_N$

Διατηρήστε σταθερά:  $U_S$ ,  $I_F$ , n,  $(I_F \approx I_{FO})$ 

μεταβάλλετε: Ρευ μέ την μηχανή συνεχούς ρεύματος.

μετρήστε:  $U_S$ , n,  $I_F$ ,  $I_S$ , cos φ,  $P_{εν}$ 

Σχεδιάσετε: Γεωμετρικό τόπο τοῦ Ις γιά Ι = σταθ.

#### 7.7. Διανυσματικό διάγραμμα.

Νά σχεδιαστεῖ τό διανυσματικό διαγράμμα γιά  $U_S = U_N$ ,  $I_S = 0.7I_N$  καί  $\cos \varphi_N$ .

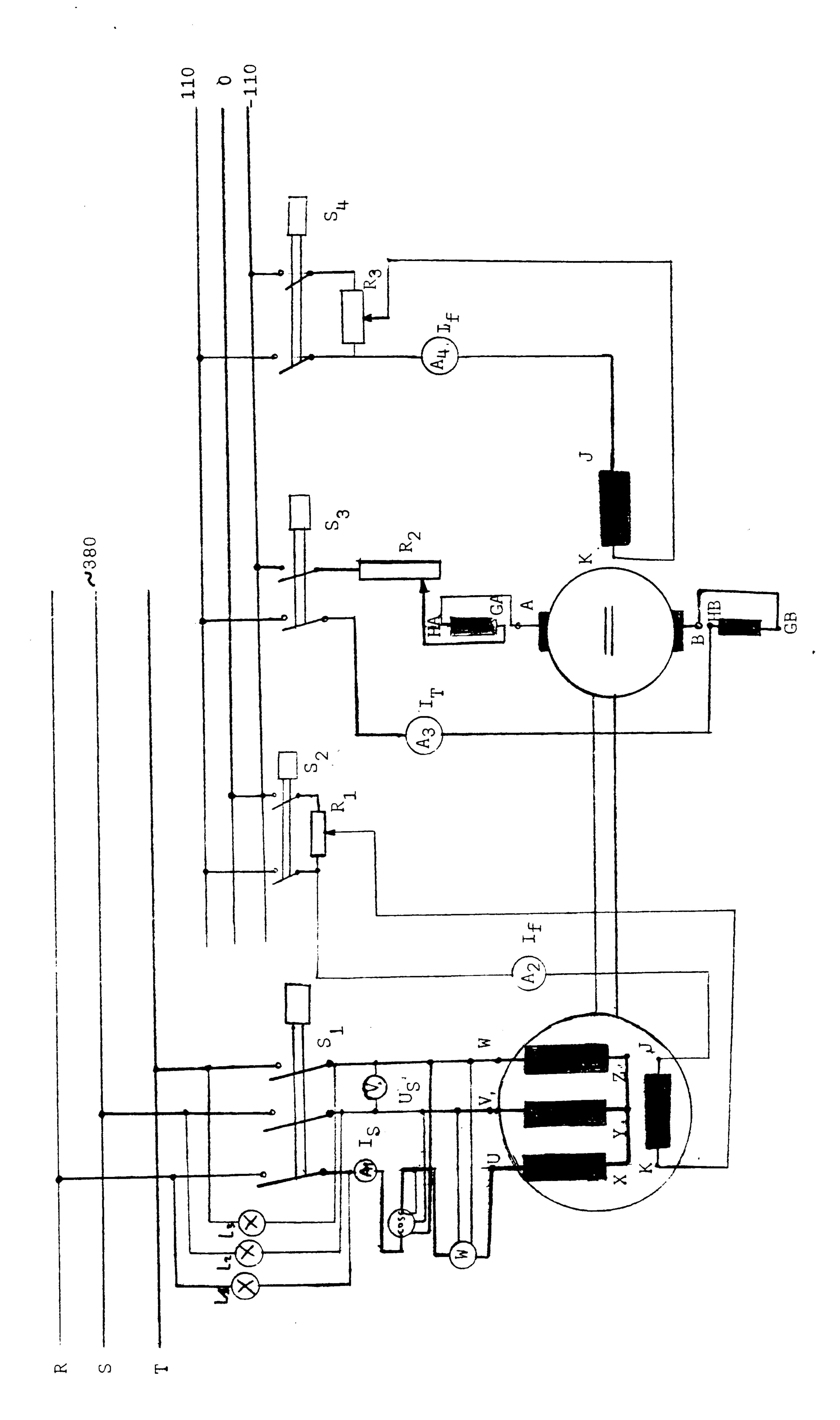
Νά ὑπολογιστοῦν Ε καί θ. ΡΝ Ν΄

•

•

. . .

. •



νδεσμολογία Σύγχρονης Μηχανῆς μέ ἐκτύπους πόλους.