ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΝ ΠΑΤΡΩΝ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΕΡ/ΙΟ ΗΛΕΚΤΡΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ
Καθηγητής Δρ.Μηχαν. Α. Σαφάκας

## ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ ΑΣΚΗΣΗ 3

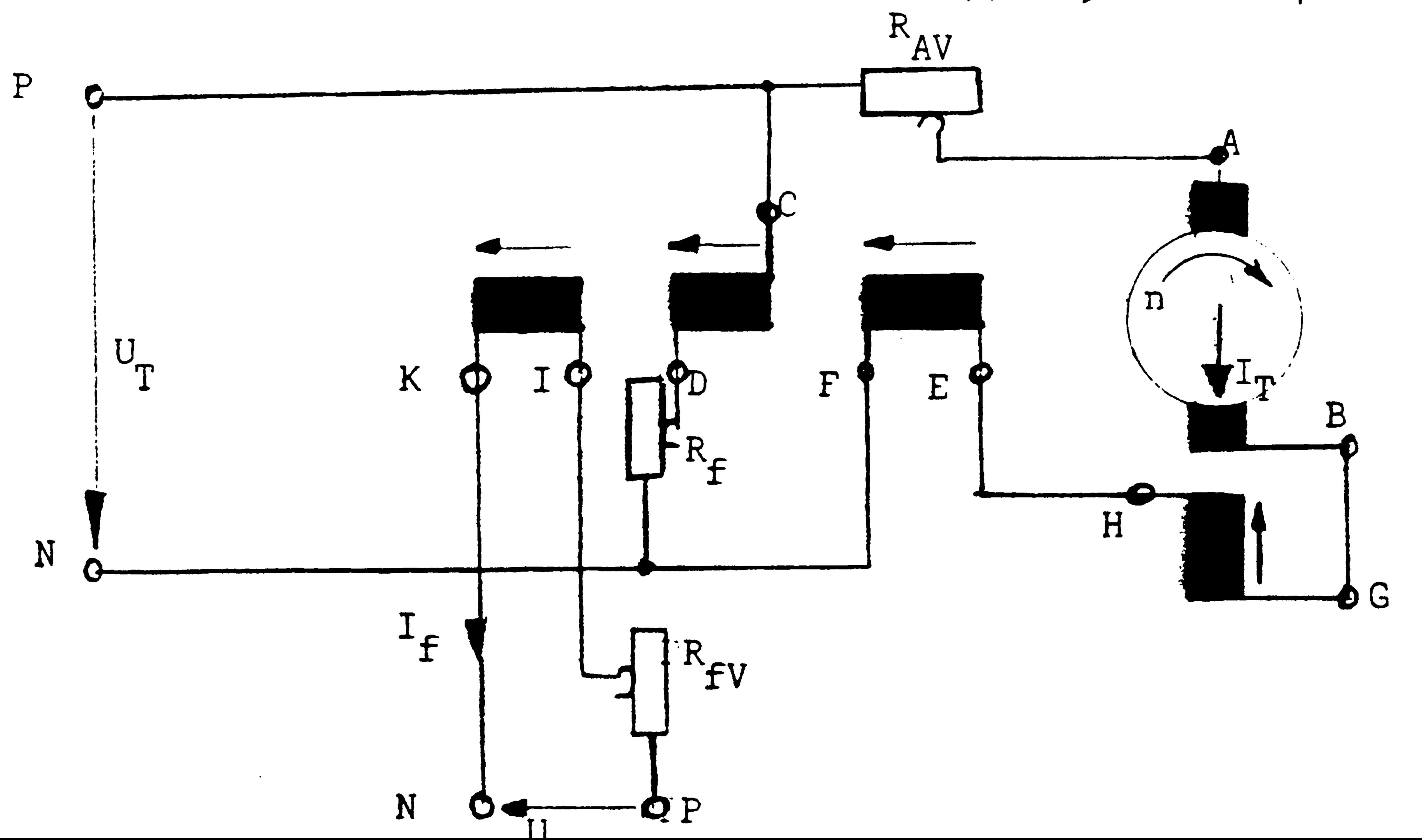
### MHXANEΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ PF.ΥΜΑΤΟΣ (Σ. P.)

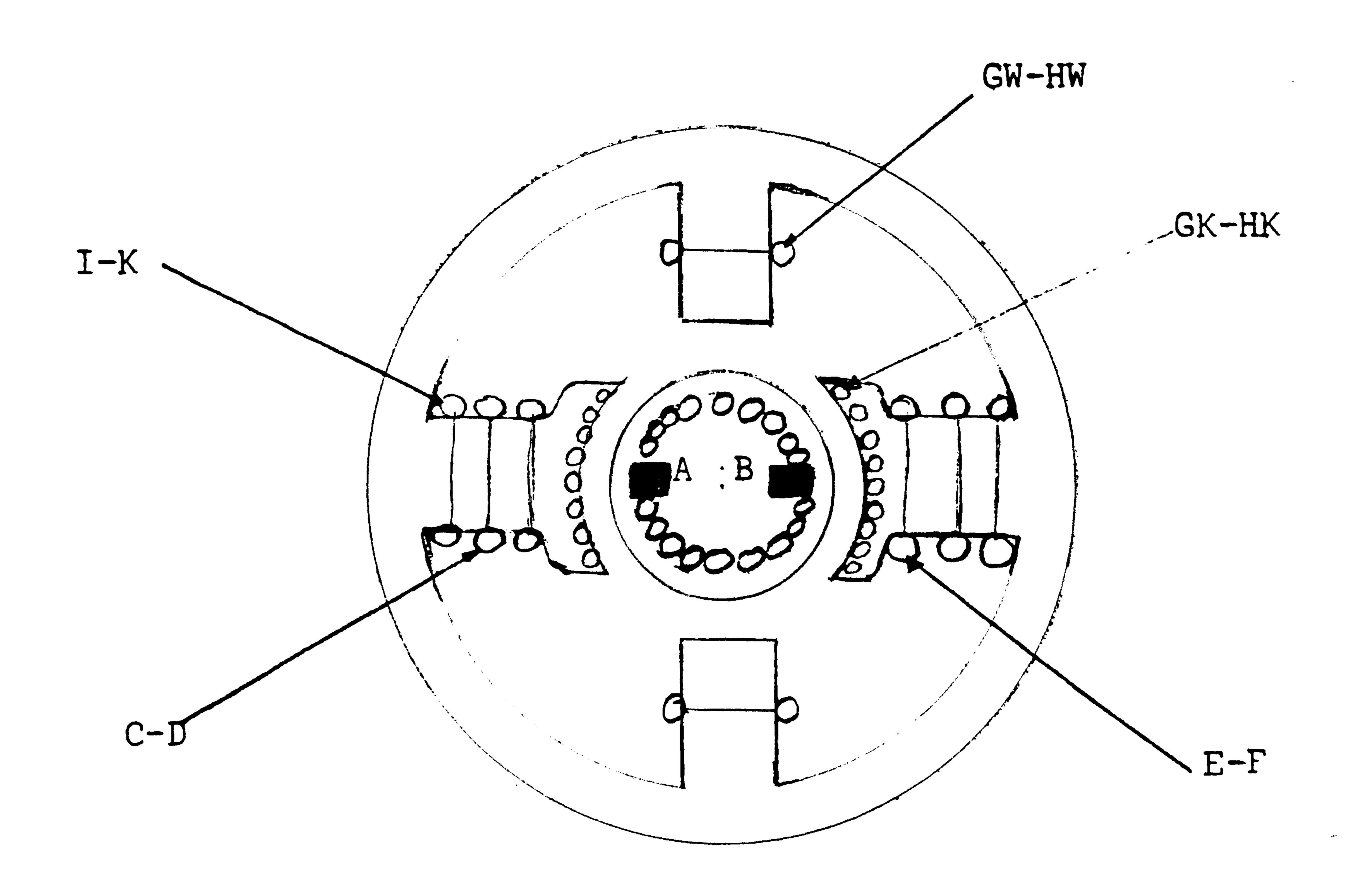
### 1. Επεξηγήσεις

#### 1.1. Κατασκευή

Στό σχήμα 1 βλέπουμε τό κύκλωμα συνδέσεως τῆς μηχανῆς συνεχοῦς ρεύματος γιά δεξιόστροφη κίνηση , καί τό σχήμα 2 δείχνει μία τομή τῆς μηχανῆς μέ ὅλα τά δυνατά τυλίγματα. Οἱ συμβολισμοί στά σχήματα αὐτά ἔχουν τήν ἀκόλουθη σημασία .

- Α Β Τύλιγμα τυμπάνου
- C D Παράλληλο τύλιγμα γιά αὐτοδιέγερση
- Ε Ε Τύλιγμα σειρᾶς γιά διέγερση μέ τό ρεῦμα τυμπάνου
- GK ΗΚ Τύλιγμα άντισταθμίσεως
- GW HW Τύλιγμα βοηθητικῶν πόλων
- G Η Τύλιγμα βοηθητικών πόλων & τύλιγμα άντισταθμίσεως
- Ι Κ Τύλιγμα ξένης διεγέρσεως (ὅταν ἔχει ὑπολογισθεῖγιά
   τήν τάση τυμπάνου μπορεῖ νά συμβολίζεται καί μέ C-D).





Σχήμα 2. Τομή μηχανής συνεχούς ρεύματος.

Οἱ μικρές μηχανές ἔχουν μόνον, τό τύλιγμα τυμπάνου A - B & τό τύλιγμα διεγέρσεως I - K. Αντίθετα στίς μηχανές μεγάλης ἰσχύος  $(P_N > 10 \text{kw})$  ἔχομε καί τό τύλιγμα GW - HW, τό ὁποῖο τοποθετεῖται ἐπί τῶν βοηθητικῶν πόλων. Τοῦτο χαρακτηρίζεται μέ G - H, ὅταν δέν ὑπάρχει τύλιγμα ἀντισταθμίσεως.

Σκοπός τοῦ βοηθητικοῦ τυλίγματος εἶναι ἡ βελτύωσ η τῆς ἀναστροφῆς τοῦ ρεύματος τυμπάνου σέ μία σπεῖρα . Σέ ἀρκετές μηχανές ὑπάρχει ἐπίσης τό τύλιγμα διεγέρσεως σέ σειρά E-F , τό ὁποῖο συμβάλλει περίπου κατά  $5\div 10\%$  στήν διέγερση τῶν τυλιγμάτων παραλλήλου ἤ ξένης διεγέρσεως. Ἡ συμμετοχή αὐτόῦ τοῦ τυλίγματος αὐξάνει τήν εὐστάθεια λειτουργίας , ἰδιαίτέρα δέ ὅταν ἡ ρύθμιση τοῦ ἀριθμοῦ στροφῶν γίνεται διά τῶν μεταβλητῶν ἀντιστάσεων  $R_F$  καί  $R_{FV}$  .

Στίς μηχανές μεγάλης ἰσχύος  $(P_N > 1000 \text{KW})$  ὑπάρχει πάντοτε ενα ἀκόμη τύλιγμα , τό τύλιγμα ἀντισταθμίσεως , τό ὁποῖο συμβολίζεται μέ GK - HK. Όταν ὑπάρχει καί βοηθητικό τύλιγμα καί τύλιγμα ἀντισταθμίσεως, τότε καί τά δύο μαζί συμβολίζονται μέ G - H. Ό σκοπός τοῦ τυλίγματος ἀντισταθμίσεως εἶναι νά ἀντισταθμίζει τήν παραμόρφωση τήν ὁποία ὑφίσταται τό τύλιγμα διεγέρσεως.

μαγνητικό πεδίο, πού προέρχεται ἀπό τό τύλιγμα διέγερσης, ἔνεκα τῆς ἐπιδράσεως τοῦ μαγνητιμοῦ πεδίου τοῦ τυμπάνου. Κατά τή φορτιση τῆς μη-χανῆς, τό ρεῦμα τυμπάνου Ι<sub>Τ</sub>, παράγει ἔνα δεύτερο μαγνητικό πεδίο, τό όποῖο προκαλεῖ παραμόρφωση τοῦ ἀρχικοῦ καί συνεπῶς δυσμενεῖς ἐπιπτώσεις ἀπί τῆς κανονικῆς λειτουργίας τῆς μηχανῆς, οἱ ὁποῖες εἶναι σπινθηρισμοί στόν συλλέκτη καί στίς φῆκτρες καθώς καί ἡ ἀἔξηση τοῦ κορεσμοῦ τοῦ σιδήρου.

Τό βοηθητικό τύλιγμα καί τό τύλιγμα ἀντισταθμίσεως συνδέ-ονται σέ σειρά μέ τό τύλιγμα τοῦ τυμπάνου , ώστε νά διαρρέονται ἀπό τό ἴδιο ρεῦμα  $I_T$ . Έτσι εἶναι δυνατόν τό μαγνητικό πεδίο τῶν βοηθητικῶν πόλων καί τοῦ τυλίγματος ἀντισταθμίσεως νά ἀναιρεῖτό μαγνητικό πεδίο, πού προέρχεται ἀπό τό ρεῦμα τοῦ τυμπάνου  $I_T$ , ὅπως συμβολίζεται καί στό σχῆμα 1.

Έάν ἡ μηχανή πρόκειται νά λειτουργήσει ὑπό σταθερή τάση δικτύου, τότε μπορεῖ. νά χρησιμοποιηθεῖτό τύλιγμα παραλλήλου διεγέρσεως ἀντί τοῦ τυλίγματος ξένης διεγέρσεως καί ἔτσι νά μήν ἔχουμε τήν ἀνάγκη δεύτερης πηγῆς.

Στό σχῆμα 1 οἱ ψῆκτρες ἔχουν σχεδιασθεῖ κάτω ἀπό τούς βοηθητικούς πόλους (τό τύλιγμα Η - G καί οἱ ψῆκτρες βρίσκονται ἐπί τῆς αὐτῆς εὐθείας). Τοῦτο παρατηρεῖται σ' ὅλα τά κυκλώματα , τά ὁ ποῖα παριστοῦν τήν συνδεσμολογία μηχανῆς συνεχοῦς ρεύματος. 'Ανταποκρίνεται ὅμως στήν πραγματικότητα μόνον , ὅταν ἡ μηχανή ἔχει δακτυλοειδές τύλιγμα στόν δρομέα,(ἐχρησιμοποιεῖτο παλαιότερα). Σήμερα χρησιμοποιεῖται μόνον τό τύλιγμα ὑπό μορφή τυμπάνου καί οἷ ψῆκτρες βρίσκονται στή μέση τῶν πόλων διεγέρσεως ὅπως δείχνει τό σχῆμα 2.

## 1.2 θεμελιώδεις σχέσεις των ήλεκτρομαγνητικών μεγεθων

Σύμφωνα μέ τόν νόμον τῆς ἐπαγωγῆς ἡ παραγομένη τάση εἶναι ἀ-νάλογη τῆς χρονικῆς μεταβολῆς τῆς ροῆς, ἡ ὁποία διαρρέει τήν ἐπιφάνεια μιᾶς σπείρας. Όταν ἡ ροἡ εἶναι χρονικῶς σταθερά καί περιστρέφονται οἱ ἀγωγοί τοῦ δρομέα μέ ταχύτητα Ω, τότε ἡ τάση ἐξ ἐπαγωγῆς εἶναι:

(1)

 $E = C \Phi \Omega$ 

Ω = 2πη = γωνιακή ταχύτητα

Φ = μαγνητική ροή

C= σταθερά μηχανῆς

Ή τάση Ε μπορεῖ νά μετρηθεῖ στούς ἀκροδέκτες τῆς μηχανῆς, ὅταν τό ρεῦμα τοῦ δρομέα εἶναι μηδέν, δηλαδή ὅταν ἡ μηχανή λειτουργεῖ χωρίς φορτίο.

Κατά τή φόρτιση ἡ τάση U στούς ἀκροδέκτες εἶναι μεγαλύτερη τῆς Ε κατά τήν πτώση τάσεως, στήν ὡμική ἀντίσταση τοῦ τυμπάνου, ὅταν ἡ μηχανή λειτουρ-γεῖ σάν κινητήρας, ἤ μικρότερη κατά τήν ῗδια ποσότητα, ὅταν αὐτή λειτουργεῖ σάν γεννήτρια:

$$U_{T} = E \pm T_{T} R \pm U_{B}$$
 (2)

$$R = R_T + R_{TV} = \dot{o}$$
λική ἀντίσταση στό τύλιγμα τυμπάνου (3)

U<sub>R</sub> = ἡ πτώση τάσεως στό σημεῖο ἐπαφῆς συλλέκτη καί ψηκτρῶν

I<sub>T</sub> = ρεθμα τυμπάνου+ = Κυνητήρας, - = Γεννήτρυα.

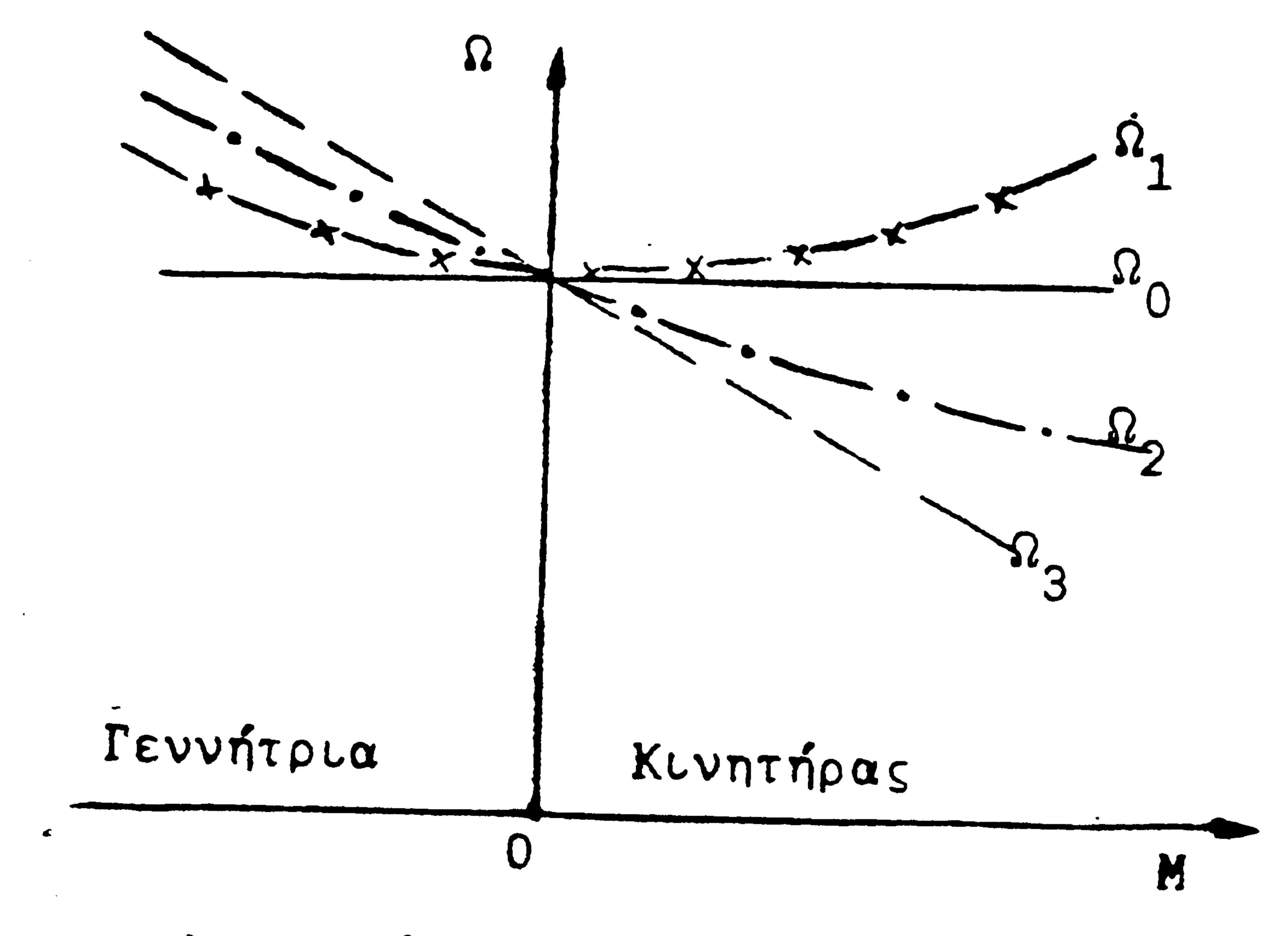
΄Η ροή  $\Phi$  έξαρτᾶται ἀπό τό ρεῦμα διεγέρσεως  $I_f$  καί, ὅταν ὑπάρχει τύλιγμα σέ σειρά, ἀπό τό ρεῦμα τοῦ τυμπάνου  $I_T$ .

$$\Phi = \Phi(I_f, I_T) \tag{4}$$

Στήν περιοχή τῆς καμπύλης μαγνητίσεως, ὅπου δέν ὑπάρχει κορεσμός, μποροῦμε νά θεωρήσουμε τή σχέση μεταξύ ροῆς καί ρεύματος γραμμική:

$$\Phi \sim (I_f + kI_T)$$

$$k = \frac{W_{EF}}{W_{IK}}$$
 λόγος ἀριθμοῦ σπειρῶν



Σχ.3. Χαρακτηριστικές καμπύλες ταχύτητας-ροπης μιας μηχανης Σ.Ρ.

Ή ροπή , ἡ ὁποία ἐπιδρᾶ ἐπί τοῦ δρομέα , εἶναι ἀνάλογη τοῦ ρεύματος Ι<sub>Τ</sub> καί τῆς ροῆς Φ.

$$11 = C\Phi I_{T} \tag{7}$$

΄Η  $U_B$  είναι περίπου της τάξεως 1% της  $U_T$  καί μπορεῖ νά παραληφθεῖ, ὁπότε γιά τή γωνιακή ταχύτητα ἰσχύει:

$$\Omega = \frac{U_{\rm T}}{C\Phi} + \frac{RI_{\rm T}}{C\Phi} = \frac{U_{\rm T}}{C\Phi} + \frac{R}{(C\Phi)^2} = \frac{R}{(C\Phi$$

- = Kunnthpas

 $+ = \Gamma \epsilon \nu \nu \eta \tau \rho \iota \alpha$ 

Σέ μία μηχανή παραλλήλου διεγέρσεως ( $\Phi_{\pi}$  = σταθ.) ὑπό σταθερή τάση  $U_{T}$  ἡ ροπή εἶναι ἀνάλογη τοῦ ρεύματος  $I_{T}$ .

Σέ μία μηχανή διεγέρσεως σέ σειρά ή ροή εἶναι ἀνάλογη τοῦ ρεύματος  $I_{\tilde{T}}$ . Ἐάν παραλείψουμε τήν πτώση τάσεως στήν ἀντίστασης R, τόν χορεσμό καί τήν ἐπίδραση τοῦ ρεύματος  $I_{\tilde{T}}$  ἐπί τοῦ  $\Phi$  προχύπτει:

$$\Phi_{\pi} = \sigma \tau \alpha \vartheta$$
.,  $\Psi_{T} = \sigma \tau \alpha \vartheta$ .,  $\Omega_{\pi} = \sigma \tau \alpha \vartheta$ .,  $M_{\pi} \sim I_{T\pi}$  (9)

$$\Phi_{\Sigma} \sim I_{T\Sigma}$$
,  $U_{T} = \sigma \tau \alpha \vartheta$ .,  $M_{\Sigma} \sim I_{T\Sigma}^{2}$ ,  $\Omega_{\Sigma} \sim \frac{1}{I_{T\Sigma}} \sim \frac{1}{\sqrt{M_{\Sigma}}}$ 

Δείκτης Ι : Παράλληλη διεγέρση Δείκτης Σ : Διέγερση σέ σειρά.

# 1.3 Συνάρτηση ταχύτητας-ροπῆς γιά τήν μηχανή Σ.Ρ. μέ σύνθετη διέγερση.

Στό σχημα 3 φαίνεται ή μεταβολή της γωνιακης ταχύτητας Ω συναρτήσει της ροπης Μ, γιά τίς διάφορες περιπτώσεις διεγέρσε-

ως . Ἡ εὐθεία  $\Omega_0$  ἀντιστοιχεῖ στήν ταχύτητα μιᾶς μηχανῆς παραλλήλου διεγέρσεως , ἐάν παραλείψουμε τήν πτώση τάσεως , τήν ἐπίδραση τοῦ τυμπάνου καί τόν κορεσμό. Ἡ καμπύλη ταχύτητα ροπῆς  $\Omega(M)$  προκύπτει ἄν λάβουμε ὑπ'ὄψη τήν παραμόρφωση τοῦ ἀρχικοῦ μαγνητικοῦ πεδίου ἔνεκα τοῦ ρεύματος τοῦ τυμπάνου. Ἡ ἀνύψωση τῆς καμπύλης  $\Omega_1$  μπορεῖ να ἐλαττωθεῖ αὐξανομένου τοῦ φορτίου, ἐάν χρησιμοποιήσουμε ἕνα βοηθητικό τύλιγμα διεγέρσεως σέ σειρά ὁπότε προκύπτει μία καμπύλη τῆς μορφῆς  $\Omega_2$ . Ἡ καμπύλη  $\Omega_3$  ἀντιστοιχεῖ στήν πραγματική μορφή , λαμβανομένων ὑπ'ὄψη τῶν ἀπωλειῶν .

### 1.4 Έχχίνηση.

Στήν κανονική λειτουργία ἡ πτώση τάσεως  $R_T I_T$  στό κύκλωμα τοῦ τυμπάνου ἀνέρχεται σ' ἔνα μικρό ποσοστό τῆς τάσεως, ἡ ὁποία ἐφαρμόζεται στούς ἀκροδέκτες (%5%). Ἡ τάση Ε εἶναι ἑπομένως λίγο διαφορετική τῆς τάσεως τοῦ δικτύου. ᾿Αντίθετα στήν κατάσταση ἡρεμίας (n=0) ἡ τάση ἐξ ἐπαγωγῆς Ε εἶναι μηδέν. Ἑπομένως μία κατ'εὐθείαν σύνδεση τῆς μηχανῆς στό δίκτυο θά εἶχε σάν ἀποτέλεσμα τό ρεῦμα  $I_T = \frac{UT}{R_T}$ , δηλ. τό

ρεῦμα τοῦ τυμπάνου νά φθάσει τήν 20-πλασια τιμή τοῦ ρεύματος τῆς κανονικῆς λειτουργίας. Έπομένως κατά τήν ἐκκίνηση τῆς μηχανῆς Σ.Ρ. διά συνδέσεως μέ τό δίκτυο , πρέπει νά συνδέσουμε σέ σειρὰ τήν ἀντίσταση  $R_{TV}$  γιά νά περιορίσουμε τό ρεῦμα . Όταν δέ αὐξηθεῖ ὁ ἀριθμός στροφῶν ἐλαττώνομε τήν  $R_{TV}$  καί στήν κανονική λειτουργία τή μηδενίζομε .

Έαν ἡ μηχανή Σ.Ρ. ἀποτελεῖ μέρος τοῦ συστήματος Ward-Leonard, τότε ἡ ἐκκίνηση ἐπιτυγχάνεται ρυθμίζοντας τήν τάση τῆς γεννή-τριας, ἡ ὁποία τροφοδοτεῖ τήν μηχανή μας. Ἡ τάση αὐτή ξεκινα ἀπό τήν τιμή: μηδέν καί αὐξάνεται σιγά-σιγά μέχρι τήν κανονική τιμή της.

Για να γίνειἡ ἐκκίνηση ὑπό μεγάλη ροπή , δίνουμε στό ρεῦμα διεγέρσεως  $I_{\rm f}$  τήν μεγίστη δυνατή τιμή .

## 1.5 Ενέργειες για την έχχίνηση

r 1

## α) Έκκινηση διά συνδέσεως μέ τό δίκτυο.

Έξετάζομε ἐάν ἡ ἀντίσταση  $R_{TV}$  βρίσκεται στήν μεγίστη τιμή της καί ἐάν τό ρεῦμα διεγέρσεως ἔχει τήν μεγίστη τιμή του. Ἐφ'όσον πληροῦνται οἱ προϋποθέσεις αὐτές , συνδέομε τήν μηχανή μέ τό δίκτυο . Παρατηροῦμε τήν ἔνδειξη τοῦ ἀμπερομέτρου Υιά τό ρεῦμα τοῦ τυμπάνου καί ἐλαττώνομε σιγά τήν ἀντίσταση ἐκκινήσεως  $R_{TV}$  ἔως ὅτου μηδενισθεῖ. Πιθανῶς νά χρειασθεῖ νά ἐλαττώσουμε λίγο τήν διέγερση για να λάβει ὁ ἀριθμός στροφῶν τήν κανονική τιμή του.

#### β) Έκκύνηση διά γεννητρίας Ward-Leonard

Κατ'ἀρχάς ἐλέγχομε ἐάν ἡ τάση τῆς γεννήτριας αὐτῆς εἶναι μηδέν καί ἐάν ἡ διέγερση τῆς μηχανῆς, τήν ὁποία θέλομε νά ἐξετάσουμε, ἔχει τήν μεγίστη τιμή της. Κατόπιν συνδέομε τήν μηχανή αὐτή μέ τήν γεννήτρια καί παρατηροῦμε τό ἀμπερόμετρο,
τό ὁποῖο δείχνει τό ρεῦμα τοῦ τυμπάνου, ἐνῶ παραλλήλα αὐξάνομε τήν τάση τῆς γεννήτριας, διά τῆς διεγέρσεως της, μέχρι τήν
ὀνομαστική της τιμή (ἔνδειξη ἐνός βολτομέτρου). Πιθανῶς νά χρειασθεῖ ἐλάττωση τῆς διεγέρσεως, τῆς πρός ἐξέταση μηχανῆς, γιά
νά πάρρυμε τόν κανονικό ἀριθμό στροφῶν.

#### 1.6 Ενέργειες γιά τήν ἀποσύνδεση

Ἡ μηχανή πού ἐξετάζομε πρέπει κατά τό δυνατόν νά ἀπαλλαγέῖ ἀπό τό φορτίο . Κατόπιν ἀποσυνδέομε τήν μηχανή ἀπό τό δίκτυο ἤ ἀπό τήν γεννήτρια Ward-Leonard. Ἐπαναφέρομε τήν ἀντίσταση ἐκκινήσεως στήν μεγίστη τιμή της , ἤ μηδενίζομε τήν τάση τῆς γεννήτριας. Τήν ρυθμεστική ἀντίσταση  $R_f$  τήν ἐπαναφέρομε στήν ἀρχική της τιμή , δηλαδή τήν ἐλαχίστη , ὥστε τό ρεῦμα  $I_f$  καί μέσω αὐτοῦ ἡ ροή Φ νά λάβει κατά τήν ἐπόμενη σύνδεση τήν μεγίστη τιμή της.

#### 1.7 Δυνατότητες ρυθμίσεως τοῦ άριθμοῦ στροφῶν

Από την εξίσωση

$$\Omega = \frac{U - |I(R + R) - U_B|}{T T T T V}$$
(10)

διαπιστώνουμε ότι ή ταχύτητα Ω είναι δυνατόν νά ρυθμιστεῖ κατά τούς ἐξῆς τρόπους:

- α) Διά μεταβολης της τάσεως υπού έφαρμόζεται στό τύμπανο.
- β) Διά μεταβολης της μαγνητικης ροης Φ.
- γ) Διά μεταβολῆς τῆς ώμικῆς ἀντίστασης  $R_{TV}$  πού συνδέεται σέ σειρά μέ τό τύμπανο.

Ή καλλίτερη μέθοδος εἶναι ἡ ρύθμιση διά μεταβολῆς τῆς τάσεως, διότι δέν ἔχουμε ἀπώλειες καί ἡ περιοχή ρυθμίσεως εἶναι μεγάλη,  $-U_N \leqslant U_{\widetilde{\Gamma}} \leqslant U_N$ , ὁπότε ἡ  $\Omega$  μεταβάλλεται στήν περιοχή  $-\Omega_0 \leqslant \Omega \leqslant \Omega_0$ .


Μέ τήν δεύτερη μέθοδο μποροῦμε νά αὐξήσουμε τήν ταχύτητα πέρα τῆς ὀνομαστικῆς, διότι πρέπει ἀντίστοιχα νά ἐλλαττώσουμε τήν ροή, δηλ. τό ρεῦμα διεγέρσεως. Αὖξηση τοῦ ρεύματος αὐτοῦ δέν ἐπιτρέπεται, διότι θά ὑπερθερμανθεῖ τό τύλιγμα διεγέρσεως.

Ή τρίτη μέθοδος είναι ἀσύμφορη διότι ἀπό τήν ἀντίσταση RTV περνάει τό ρεθμα τοθ τυμπάνου καί ἔτσι ἔχουμε μεγάλες ἀπώλειες. Χρησιμοποιεῖται γιά μικρές μηχανές.

#### 2. Διεξαγωγή της ασχήσεως.

Να γίνουν οι συνδεσμολογίες και να ληφθούν δεδομένα από την προσομοίωση ώστε να σχεδιαστούν οι χαρακτηριστικές ροπής – στροφών για τις συνδεσμολογίες (για κάθε συνδεσμολογία να επιλεγεί το κατάλληλο τύλιγμα διέγερσης):

- Κινητήρας ξένης διέγερσης
- Κινητήρας παράλληλης διέγερσης
- Κινητήρας διέγερσης σε σειρά
- Κινητήρας μικτής διέγερσης
- Να σχολιαστεί η μορφή των καμπυλών για κάθε μια από τις παραπάνω περιπτώσεις.
- Για κάθε μια από τις παραπάνω περιπτώσεις να υπολογιστεί ο συντελεστής απόδοσης όταν το τύμπανο της μηχανής τροφοδοτείται από ονομαστικό ρεύμα.



Συνδεσμολογία μηχανών συνεχούς ρεύματος γιά τήν μελέτη τῆς λει.τομονίας των