



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά
μαθήματα ΠΠ

Ηλεκτρικές Μηχανές Ι

Ενότητα 3: Μηχανές Συνεχούς Ρεύματος

Επ. Καθηγήτρια Τζόγια Χ. Καππάτου

Πολυτεχνική Σχολή

Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και
Τεχνολογίας Υπολογιστών



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Άδειες Χρήσης

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



Χρηματοδότηση

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



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



Περιεχόμενα

Μηχανή Συνεχούς Ρεύματος (ΣΡ)

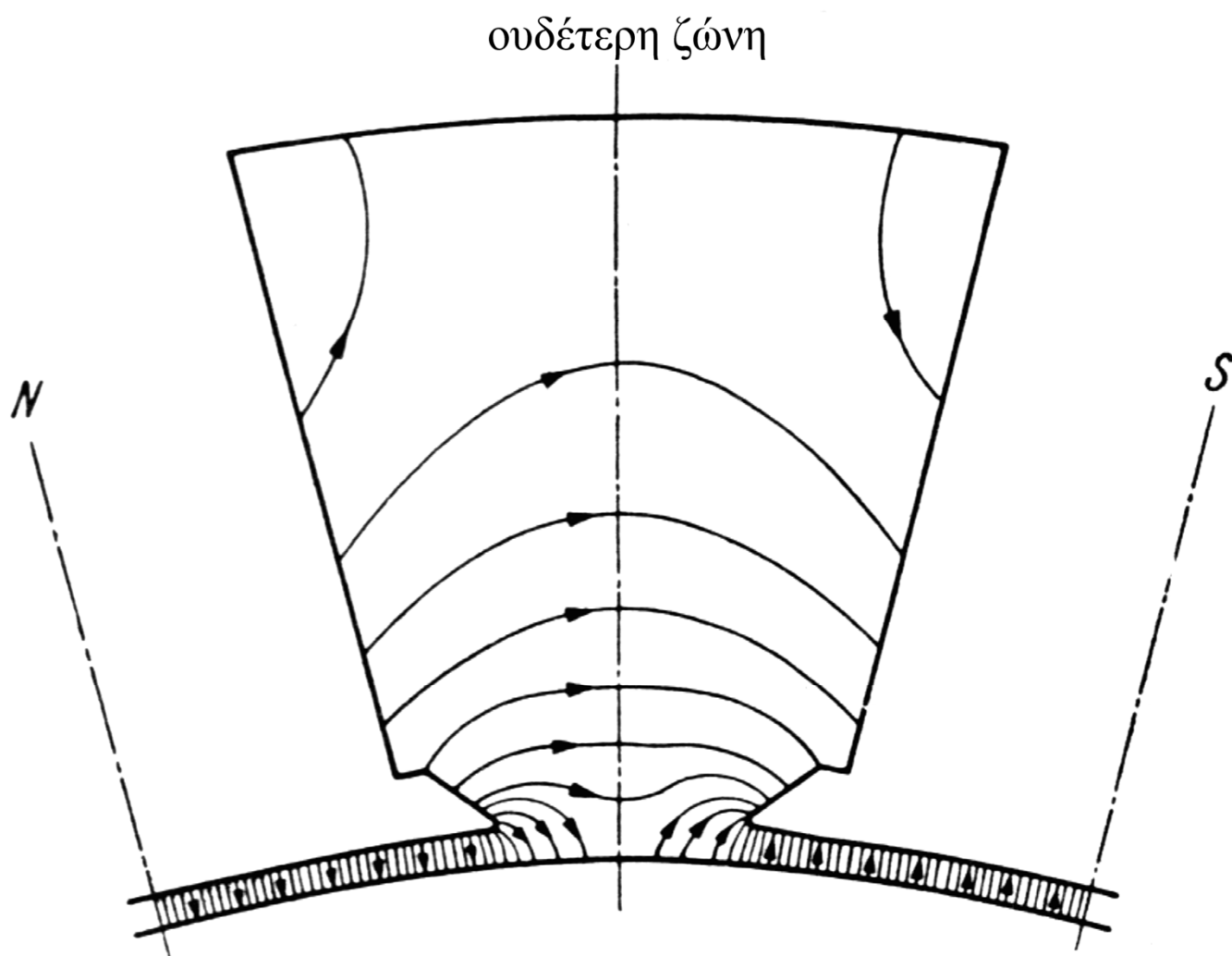
- ***Αντίδραση τυμπάνου***
- ***Αναστροφή ρεύματος τυμπάνου***
- ***Συνδεσμολογίες και μόνιμη λειτουργία μηχανών Σ.Ρ.***
- ***Πέδηση κινητήρων Σ.Ρ.***
- ***Εκκίνηση κινητήρων Σ.Ρ.***

3.5 Αντίδραση τυμπάνου

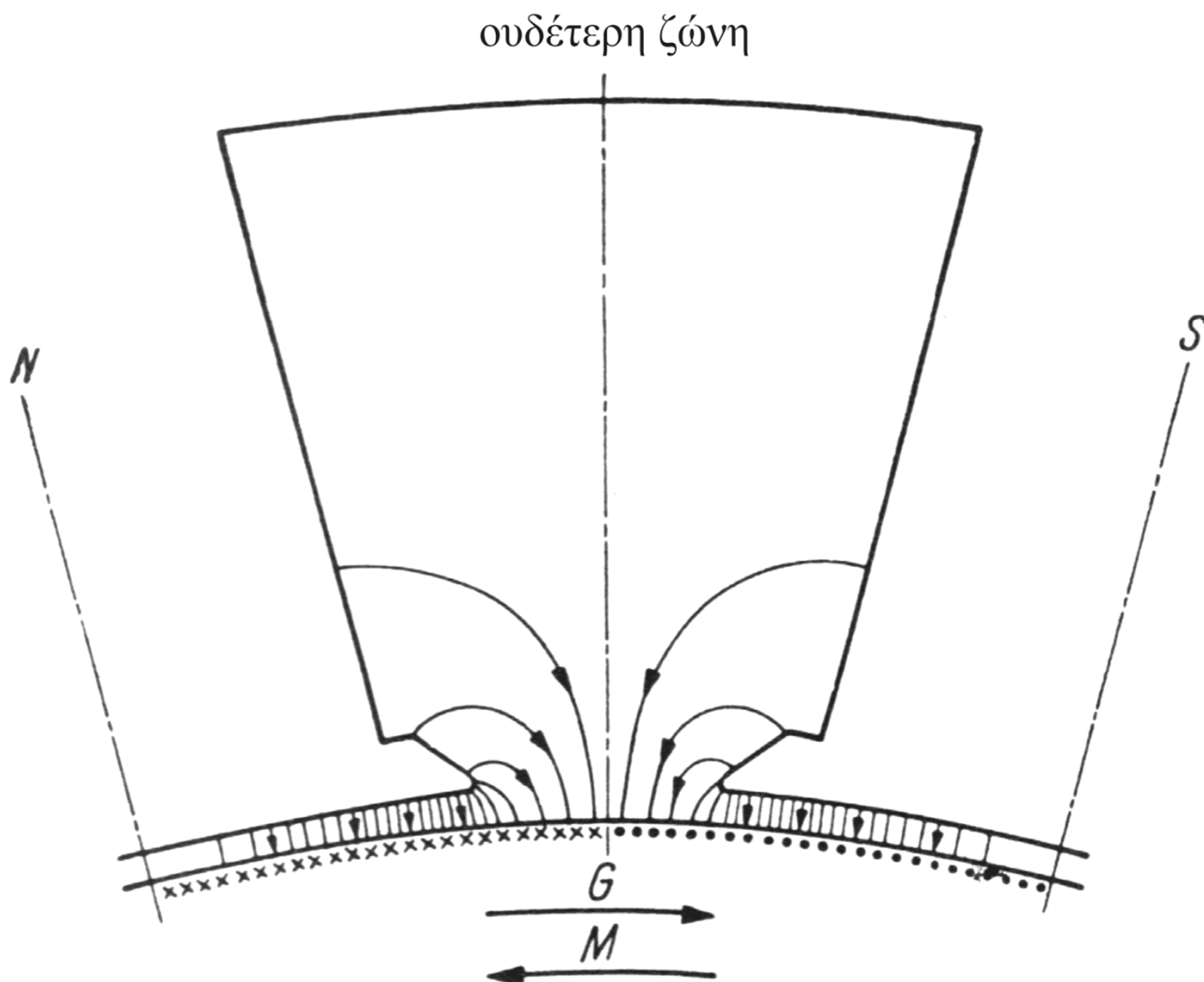
3.5.1 Επίδραση του πεδίου του τυμπάνου επί του πεδίου των πόλων

Αντίδραση τυμπάνου λέγεται η επίδραση του ρεύματος του τυμπάνου επί του μαγνητικού πεδίου των κύριων πόλων.

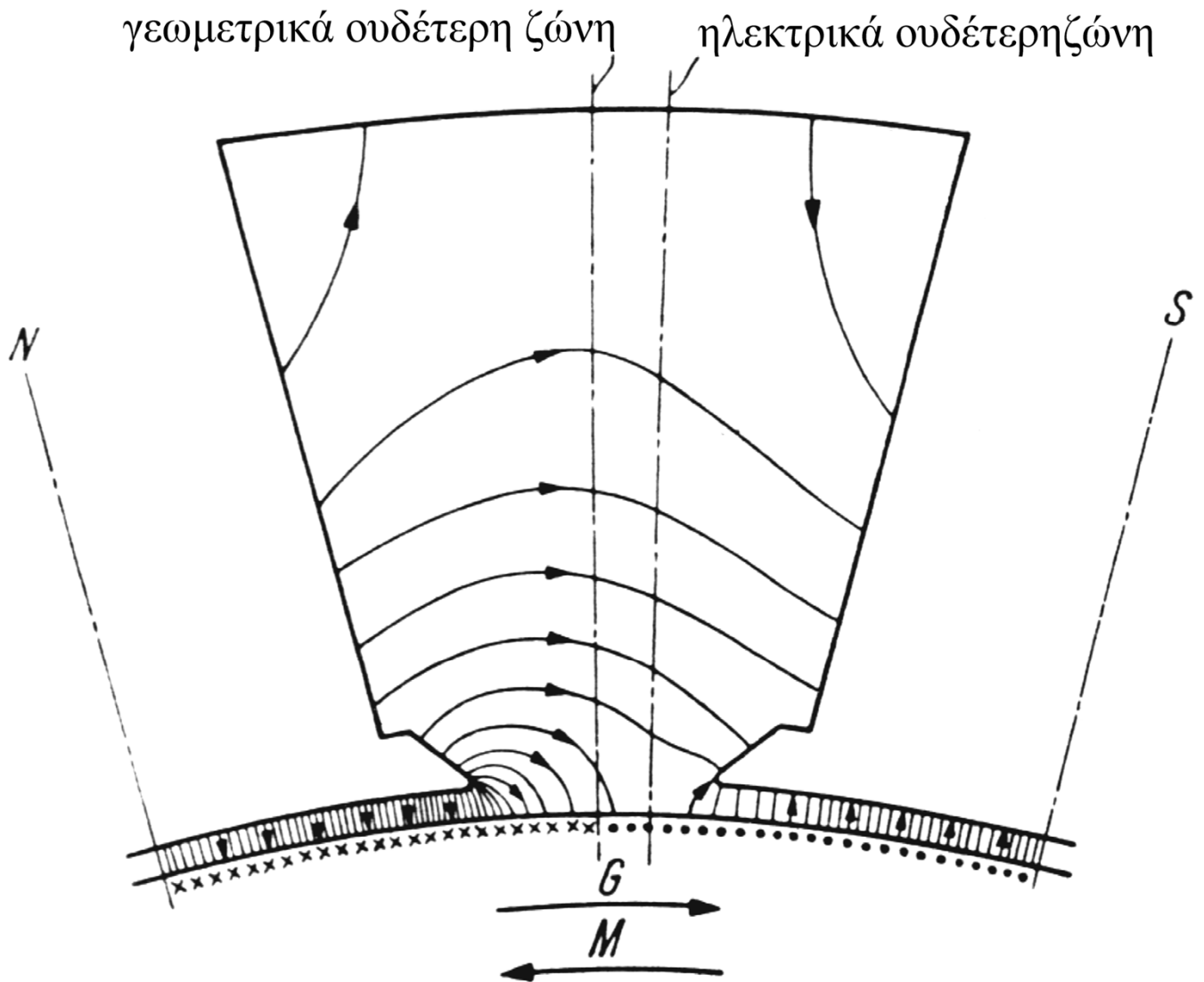
Το ρεύμα αυτό δημιουργεί ένα δεύτερο μαγνητικό πεδίο, το οποίο προστίθεται διανυσματικά στο ήδη υπάρχον από τη διέγερση. Για να διασαφηνίσουμε την μορφή του μαγνητικού πεδίου σε μια μηχανή συνεχούς ρεύματος παρατηρούμε τα σχήματα (3.44), (3.45) και (3.46). Στο σχήμα (3.44) σχεδιάστηκε το μαγνητικό πεδίο, όταν δεν υπάρχει διέγερση. Το σχήμα (3.46) παρουσιάζει το ολικό μαγνητικό πεδίο όταν υπάρχει διέγερση και ο δρομέας διαρρέεται από ρεύμα, δηλαδή η μηχανή βρίσκεται υπό φορτίο.



Σχήμα 3.44. Πεδίο διεγέρσεως χωρίς φορτίο



Σχήμα 3.45. Πεδίο τυμπάνου χωρίς διέγερση.



Σχήμα 3.46: Ολικό μαγνητικό πεδίο μίας μηχανής χωρίς βοηθητικούς πόλους.

Από αυτά τα σχήματα διαπιστώνουμε τα εξής:

Το πεδίο των πόλων προστίθεται στο πεδίο του τυμπάνου και το ολικό πεδίο παρουσιάζεται παραμορφωμένο όσον αφορά τη συμμετρία στην περιοχή μεταξύ των αξόνων N και S. Ειδικά εάν πρόκειται περί γεννήτριας G, το μαγνητικό πεδίο υφίσταται ενίσχυση (συμπύκνωση των δυναμικών γραμμών) στο πέλμα που ακολουθεί, ενώ μειώνεται το πέλμα που προπορεύεται.

Εάν η μηχανή λειτουργεί ως κινητήρας M, τότε συμβαίνει το αντίθετο. Έτσι η ουδέτερη ζώνη μετατοπίζεται και μάλιστα για τη γεννήτρια κατά τη φορά περιστροφής, ενώ για τον κινητήρα κατά την αντίθετη φορά προς την περιστροφή. Αυτό σημαίνει ότι το σημείο, όπου το μαγνητικό πεδίο είναι μηδέν, μετατοπίζεται σε σχέση με το σημείο που έχουμε όταν ο δρομέας δεν διαρρέεται από ρεύμα.

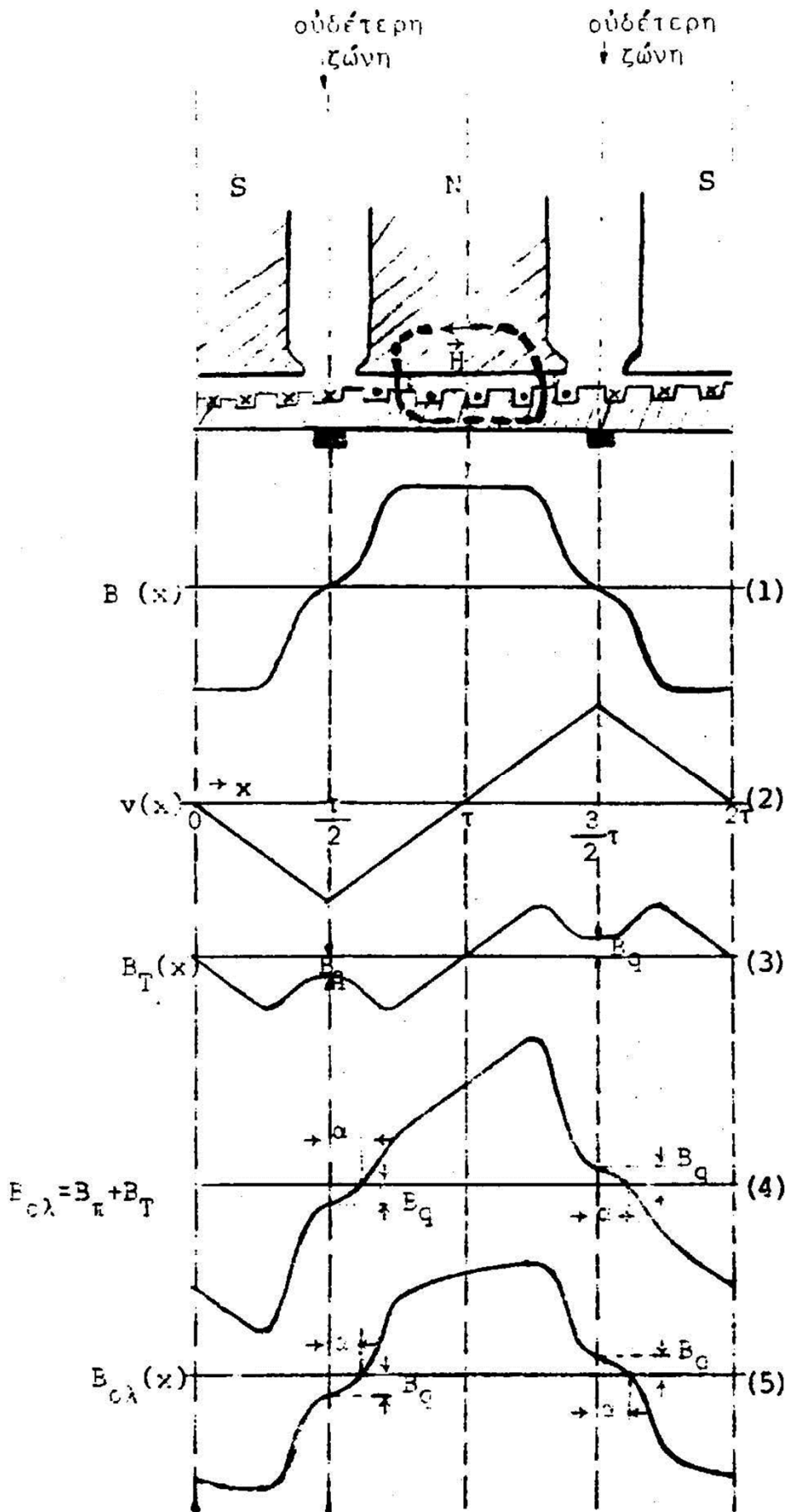
Η μετατόπιση αυτή είναι ανάλογη του ρεύματος του δρομέα, όταν η διέγερση είναι σταθερή, δηλαδή εξαρτάται από το φορτίο. Λέγοντας φορτίο εννοούμε μηχανική φόρτιση του άξονα, η οποία συνοδεύεται από ηλεκτρική φόρτιση δηλαδή από ρεύμα στο τύμπανο.

Παρατηρούμε λοιπόν ότι το πεδίο του τυμπάνου προκαλεί κάποια παραμόρφωση του αρχικού πεδίου των πόλων, το οποίο αποτελεί το κύριο μαγνητικό πεδίο για τη λειτουργία της μηχανής. Οι ψήκτρες πρέπει να βρίσκονται διαρκώς σε περιοχή στην οποία το μαγνητικό πεδίο είναι μηδέν. Έτσι για να αποφύγουμε τις συνέπειες τις οποίες έχει το πεδίο για τις ψήκτρες, πρέπει αυτές να μετακινηθούν στην περίπτωση της γεννήτριας κατά τη φορά περιστροφής ή κατά την αντίθετη φορά εάν πρόκειται για κινητήρα.

Εάν θέλουμε να αποφύγουμε την μετακίνηση αυτή πρέπει να χρησιμοποιήσουμε βοηθητικούς πόλους, οι οποίοι αναιρούν την παραμόρφωση.

3.5.2 Καμπύλη ολικού μαγνητικού πεδίου

Για να διαπιστώσουμε την παραμόρφωση του μαγνητικού πεδίου, η οποία προκαλείται από την αντίδραση του τυμπάνου, εξετάζουμε τις καμπύλες του σχήματος (3.47), οι οποίες παριστάνουν τα μαγνητικά μεγέθη στο διάκενο συναρτήσει του τόπου δηλαδή της απόστασης x .



Σχήμα 3.47 :

Παραμόρφωση μαγνητικού πεδίου κατά τη φόρτιση
 Καμπύλη μαγνητικού πεδίου πόλων (1), καμπύλη διέγερσης του πεδίου του τυμπάνου (2), καμπύλη πεδίου του τυμπάνου (3), καμπύλη ολικού πεδίου άνευ κορεσμού (4) και με κορεσμό (5).

χωρίς κορεσμό

μέ κορεσμό

Η καμπύλη 1 παριστάνει την μαγνητική επαγωγή B_{π} των πόλων, όταν το ρεύμα του τυμπάνου είναι μηδέν. Τούτο είναι μια περιοδική συνάρτηση του τόπου x ($x =$ απόσταση τυχόντος σημείου κειμένου στην περιφέρεια του στάτη από ένα καθορισμένο σημείο), η οποία προσεγγίζει την μορφή τραπεζίου. Η περιοδικότητα αυτή είναι αυτονόητη εάν προσέξουμε ότι οι μαγνητικοί πόλοι γίνονται εναλλάξ θετικοί και αρνητικοί. Η μορφή του πεδίου $B(x)$ επηρεάζεται από τη μορφή που έχει δώσει ο κατασκευαστής στο πέλμα του πόλου. Η απόσταση του πέλματος από τον δρομέα είναι σταθερή και έτσι όταν έχουμε μια εγκάρσια τομή η εσωτερική καμπύλη του πέλματος είναι τόξο ενός κύκλου.

Κάτω από τους πόλους το πεδίο είναι σταθερό και στις άκρες του πέλματος μειώνεται μέχρι να μηδενιστεί στη θέση της ουδέτερης ζώνης. Όταν το τύλιγμα του τυμπάνου διαρρέεται από ρεύμα, τότε στο δρομέα δημιουργείται ένα ρευματικό στρώμα, το οποίο προκαλεί το μαγνητικό πεδίο του τυμπάνου. Για να βρούμε την κατανομή του πεδίου αυτού, χρησιμοποιούμε την καμπύλη διεγέρσεως, η οποία ορίζεται ως εξής:

$$v(x) = \int_0^x A(x) dx \quad (3.24)$$

Επειδή στην προκειμένη περίπτωση το ρευματικό στρώμα $A(x)$ είναι σταθερό, η $v(x)$ είναι ανάλογη του x , δηλαδή, μπορούμε να γράψουμε:

$$v(x) = Ax \quad (3.25)$$

Όταν μεταβάλλεται το x αλλάζει απλώς το πρόσημο του A και ειδικά μόλις περάσουμε από την ουδέτερη ζώνη. Εάν χρησιμοποιήσουμε τον νόμο του διαρρεύματος για έναν κλειστό δρόμο, όπως φαίνεται στο σχήμα (3.47) θα προκύψει:

$$H\delta = Ax = v(x) \longrightarrow H = \frac{v(x)}{\delta} \quad (3.26)$$

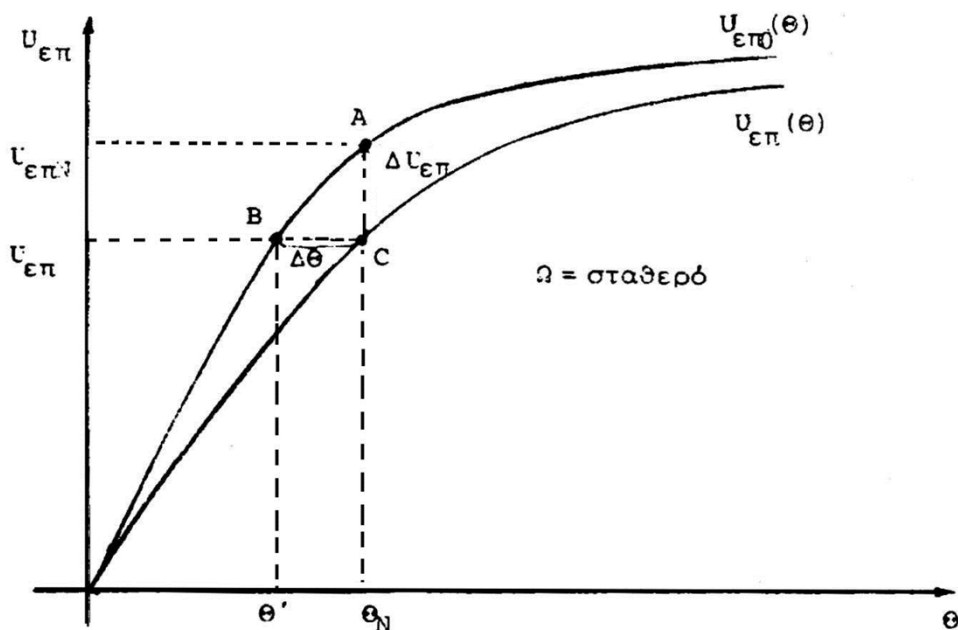
Το μέγεθος H είναι η ένταση του μαγνητικού πεδίου στο διάκενο και δ είναι το πλάτος αυτού. Θεωρούμε ότι ο σίδηρος έχει $\mu = \infty$ και συνεπώς η ένταση H στο σίδηρο είναι μηδέν. Επομένως για τη μαγνητική επαγωγή που προέρχεται από το ρεύμα του τυμπάνου ισχύει η σχέση:

$$B_T = \mu_0 v(x) \quad (3.27)$$

Όταν το πλάτος του διακένου δ είναι σταθερό (κάτω από τους πόλους) τότε το B_T παίρνει την ίδια μορφή την οποία δείχνει η καμπύλη (3) στο σχήμα (3.47). Για να βρούμε την καμπύλη του ολικού μαγνητικού πεδίου $B_{ολ} = B_{\pi} + B_T$ προσθέτουμε γραφικά τις καμπύλες B_{π} και B_T και παίρνουμε την καμπύλη (4).

Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι ο κορεσμός του σιδήρου λόγω της μαγνητικής χαρακτηριστικής αυτού παίζει κάποιο ρόλο. Ειδικά η ολική καμπύλη δεν είναι ακριβώς το γεωμετρικό άθροισμα των δύο άλλων, αλλά παρουσιάζεται πεπλατυσμένη όπως δείχνει η καμπύλη (5) του σχήματος (3.47). Από την καμπύλη $B_{ολ}$ διαπιστώνουμε ότι, πρώτον το μαγνητικό πεδίο υφίσταται παραμόρφωση κάτω από τους πόλους και δεύτερον η ουδέτερη ζώνη μετατοπίζεται κατά ένα τόξο α .

Όσον αφορά την παραμόρφωση, παρατηρούμε ότι κάτω από το αριστερό ήμισυ του πέλματος το ολικό μαγνητικό πεδίο είναι μικρότερο του πεδίου των πόλων, ενώ κάτω από το δεξιό ήμισυ αυτού έχουμε αύξηση του ολικού πεδίου. Η αύξηση αυτή είναι μικρότερη από την ελάττωση στο αριστερό ήμισυ, ώστε συνολικά η αντίδραση του τυμπάνου να προκαλεί εξασθένηση του αρχικού μαγνητικού πεδίου και κατά συνέπεια η μέση τιμή της τάσης εξ επαγωγής στους ακροδέκτες του τυμπάνου να υφίσταται ελάττωση. Η κατάσταση αυτή φαίνεται στο σχήμα (3.48)



Σχήμα 3.48.

Τάση εξ επαγωγής $U_{επ0}(\theta)$ εν κενώ και υπό φορτίο $U_{επ}(\theta)$ για ορισμένο ρεύμα τυμπάνου.

Το σχήμα αυτό απεικονίζει την τάση εξ επαγωγής στο δρομέα ως συνάρτηση του διαρρέυματος διέγερσης Θ ή, όπως διαφορετικά λέγεται, των αμπερελιγμάτων διεγέρσεως $w_f \dot{i}_f$. Στην κατάσταση εν κενώ, δηλαδή όταν το ρεύμα του τυμπάνου είναι μηδέν ($I_T=0$), η διέγερση Θ_N των πόλων δημιουργεί την τάση $U_{\varepsilon\pi N}$ στο δρομέα για έναν ορισμένο αριθμό στροφών n_N . Εάν φορτίσουμε το δρομέα, δηλαδή στους αγωγούς αυτού περάσει ρεύμα ($I_T \neq 0$), τότε η τάση εξ επαγωγής λόγω της αντίδρασης του τυμπάνου θα υποστεί μείωση κατά $\Delta U_{\varepsilon\pi}$ και θα προκύψει η τάση $U_{\varepsilon\pi}$. Αυτό σημαίνει ότι, ενώ το διάρρευμα διεγέρσεως παραμένει $\Theta_N = w_f \dot{i}_{fN}$, εν τούτοις η ενεργός δηλαδή η αποτελεσματική διέγερση έχει την μικρότερη τιμή Θ' . Το Θ' είναι ίσο με:

$$\Theta' = \Theta_N - \Delta\Theta ,$$

όπου $\Delta\Theta$ μπορούμε να πούμε ότι είναι η ισοδύναμη εξασθένηση της αρχικής διέγερσης λόγω της αντίδρασης του τυμπάνου. Μπορούμε δηλαδή να ανάγουμε την εξασθένηση του αρχικού πεδίου σε μια ισοδύναμη μείωση του διαρρέυματος.

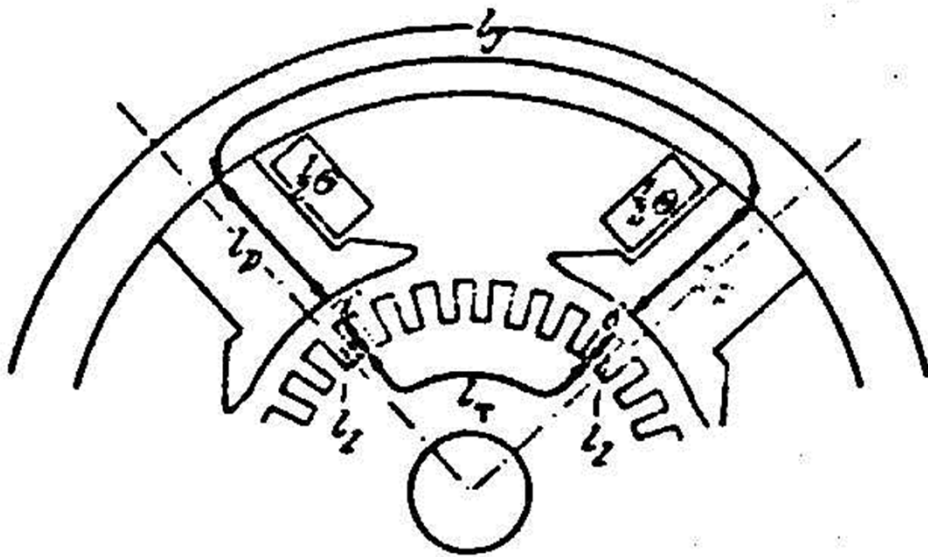
Για να έχουμε την ίδια τάση $U_{\varepsilon\pi N}$ κατά τη φόρτιση πρέπει να αυξήσουμε την διέγερση Θ_N κατά $\Delta\Theta$, ώστε να προκύψει η ίδια ενεργός διέγερση όπως και στην κατάσταση εν κενώ. Στην πράξη αυτό δεν είναι εύκολο, διότι στο τύλιγμα διεγέρσεως υπό κανονική λειτουργία, δηλαδή ονομαστική, ρέει το ονομαστικό ρεύμα. Αύξηση του ρεύματος αυτού πέρα από το ονομαστικό δεν επιτρέπεται, για να μην έχουμε υπερθέρμανση του τυλίγματος διεγέρσεως.

Επίσης δεν είναι σίγουρο ότι αυξάνοντας το I_F , που είναι ανάλογο του Θ , θα αυξήσουμε το πεδίο οπωσδήποτε, διότι κάτι τέτοιο δεν συμβαίνει όταν είμαστε κοντά στον κορεσμό. Έτσι προκύπτει η αναγκαιότητα να βρούμε τρόπους, με τους οποίους θα αντιμετωπίσουμε την αντίδραση του τυμπάνου. Παρακάτω θα δούμε ότι τούτο είναι δυνατόν με ένα τέχνασμα, τοποθετώντας δηλαδή μεταξύ των κυρίων πόλων άλλους πόλους πιο μικρούς, επάνω στους οποίους τοποθετούμε τυλίγματα κατάλληλα συνδεδεμένα για την αντιμετώπιση του μαγνητικού πεδίου του τυμπάνου (δρομέα).

3.5.3 Χαρακτηριστική εν κενώ, υπό φορτίο, μαγνητικό κύκλωμα

Η καμπύλη $U_{\varepsilon\pi 0}=f(\Theta)$ που είδαμε στο σχήμα (3.48) λέγεται *χαρακτηριστική εν κενώ* και εκφράζει τη σχέση τάσης εξ επαγωγής στο τύλιγμα του δρομέα, όταν αυτός περιστρέφεται με σταθερή ταχύτητα και δεν διαρρέεται από ρεύμα, και του διαρρεύματος Θ της διέγερσης. Η καμπύλη $U_{\varepsilon\pi}=f(\Theta)$ εκφράζει το ίδιο πράγμα, αλλά όταν ο δρομέας διαρρέεται από ρεύμα. Η καμπύλη αυτή ονομάζεται *χαρακτηριστική φορτίου*. Η πρώτη καμπύλη προκύπτει εύκολα από μετρήσεις διότι μπορούμε άνετα να μετράμε το ρεύμα διέγερσης και την τάση του τυμπάνου χωρίς να φορτίζεται η μηχανή. Τότε η τάση στους ακροδέκτες είναι ίδια με την τάση εξ επαγωγής στο εσωτερικό του τυμπάνου. Όταν φορτιστεί το τύμπανο με ρεύμα, τότε η τάση στους ακροδέκτες είναι διαφορετική από την τάση εξ επαγωγής λόγω της πτώσης τάσης στην ωμική αντίσταση αυτού.

Οι μετρήσεις φυσικά γίνονται όταν υπάρχει η μηχανή. Για να έχουμε τη σχέση τάσεως εξ επαγωγής και διέγερσης πριν προχωρήσουμε στην κατασκευή, καταφεύγουμε στους υπο-λογισμούς. Ο υπολογισμός της χαρακτηριστικής εν κενώ $U_{επ0}=f(\Theta)$ γίνεται κατά τον εξής τρόπο:



Σχήμα 3.49.

Μαγνητικό κύκλωμα μιας μηχανής συνεχούς ρεύματος.

Μια ορισμένη τάση εξ επαγωγής προέρχεται από ένα ορισμένο διάρρευμα Θ , το οποίο αντιστοιχεί σε ένα ορισμένο μαγνητικό πεδίο H που επικρατεί στο διάκενο δ . Τη σχέση μεταξύ διαρρεύματος Θ και εντάσεως H του μαγνητικού πεδίου βρίσκουμε με τη βοήθεια του νόμου της διαρροής, σύμφωνα με την οποία ισχύει :

$$\Theta = \oint_{\vec{l}} \vec{H} \cdot d\vec{l}$$

Εάν εφαρμόσουμε το ολοκλήρωμα αυτό για το μαγνητικό κύκλωμα του σχήματος 3.49 θα πάρουμε:

$$\Theta = H_T l_T + 2H_z l_z + 2H_\delta \delta + 2H_p l_p + H_J l_J \quad (3.28)$$

Στη σχέση αυτή H είναι η ένταση του πεδίου και ο δείκτης που τη συνοδεύει δηλώνει το μέρος της μηχανής όπου επικρατεί αυτή η ένταση. Το l σημαίνει το μήκος της μαγνητικής γραμμής, όπου η ένταση θεωρείται σταθερή. Έτσι χρησιμοποιούνται οι εξής συμβολισμοί:

T = τύμπανο, z = δόντια τυμπάνου, δ = διάκενο αέρα μεταξύ στάτη και δρομέα, p = πόλοι διεγέρσεως, J = ζύγωμα.

Στο μαγνητικό κύκλωμα του σχήματος (3.49) δεν λάβαμε υπ' όψη μας το πεδίο σκεδάσεως, δηλαδή δυναμικές γραμμές που ξεκινούν από ένα πόλο και καταλήγουν στον διπλανό χωρίς να περάσουν από το δρομέα. Το πεδίο αυτό προέρχεται προφανώς από το Θ . Εάν θέλουμε να λάβουμε υπ' όψη τις αυλακώσεις, τότε στη θέση του δ χρησιμοποιούμε το $\delta' = \delta K_C$ όπου K_C είναι ο συντελεστής του Carter ($K_C > 1$).

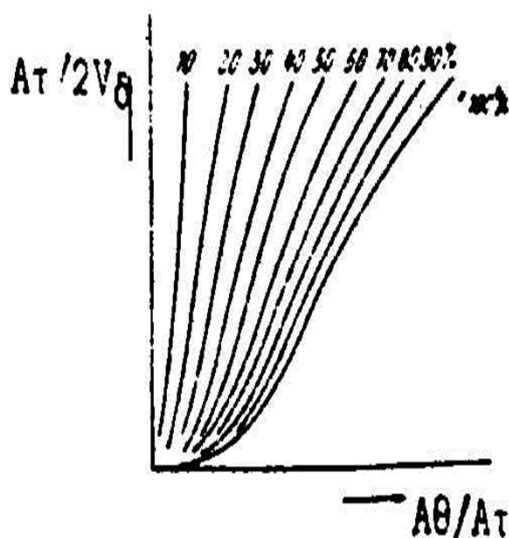
Για να φτάσουμε τελικά στη σχέση $U_{\varepsilon\pi} = f(\Theta)$ πρέπει για κάθε τιμή της $U_{\varepsilon\pi}$ να βρούμε τη ροή σε κάθε τμήμα της μηχανής από την γνωστή σχέση $U_{\varepsilon\pi} = C\Omega\Phi$. Κατόπιν με τη βοήθεια των διατομών από τις οποίες περνάει η ροή Φ ή τμήματα αυτής μπορούμε να βρούμε τη μαγνητική επαγωγή B . Στη συνέχεια με τη βοήθεια της μαγνητικής χαρακτηριστικής $B = f(H)$, που πρέπει να είναι γνωστή για κάθε περιοχή του κλειστού δρόμου που είδαμε στο μαγνητικό κύκλωμα (σχήμα 3.49), μπορούμε να βρίσκουμε την αντίστοιχη ένταση H . Έτσι η σχέση (3.28) μπορεί να μας χρησιμεύσει για τον υπολογισμό του Θ . Από τη σχέση $\Theta = w_f i_f$, όπου w_f είναι ο αριθμός σπειρών του τυλίγματος διέγερσης, μπορούμε να υπολογίσουμε το απαραίτητο ρεύμα διεγέρσεως.

Για να πάρουμε την καμπύλη $U_{\text{επ}}(\Theta)$ που ισχύει για τη φόρτιση, πρέπει να γνωρίζουμε το $\Delta\Theta$ δηλαδή την μείωση του διαρρέυματος των πόλων, ώστε να αφαιρεθεί από το διάρρευμα διέγερσης και να βρεθεί η νέα τάση εξ επαγωγής, όπως φαίνεται στο σχήμα (3.48). Το $\Delta\Theta$ που βλέπουμε στο σχήμα αυτό είναι εντελώς καθορισμένο για ένα ορισμένο ρεύμα τυμπάνου και για μια ορισμένη μαγνητική ροή των πόλων.

Στο σχήμα (3.50) βλέπουμε μια οικογένεια καμπυλών [1], οι οποίες απεικονίζουν τη σχέση του $\Delta\Theta$ και του διαρρέυματος του τυμπάνου A . Στο διάγραμμα αυτό ως ανεξάρτητη μεταβλητή εμφανίζεται ο λόγος $\Delta\Theta/A\tau$, όπου τ είναι η πολική απόσταση και ως εξαρτημένη μεταβλητή ο λόγος $A\tau/2V_{\delta}$, όπου $V_{\delta}=H_{\delta}\delta$ είναι η μαγνητική τάση στο διάκενο, όταν εκεί υπάρχει η κανονική μαγνητική ροή των πόλων (100%). Οι διάφορες καμπύλες αντιστοιχούν σε παραμετρική μεταβολή της ροής αυτής, εκφράζεται δε η κάθε νέα διαφορετική ροή σε ποσοστά της κανονικής. Πρακτικά η παραμετρική αυτή μεταβολή εμφανίζεται, όταν ρυθμίζουμε την ταχύτητα με την βοήθεια της ροής των πόλων.

Με τη βοήθεια των καμπυλών αυτών και με τη χαρακτηριστική εν κενώ, η οποία προσδιορίζεται εύκολα με μετρήσεις ή με υπολογισμούς, μπορούμε να χαράξουμε την χαρακτηριστική φορτίου $U_{\varepsilon\pi} = f(\Theta)$, όπως φαίνεται στο σχήμα (3.48), η οποία ισχύει για ένα ορισμένο ρεύμα τυμπάνου και ασφαλώς για ορισμένη ταχύτητα.

Για μια άλλη τιμή του ρεύματος αυτού προκύπτει μια διαφορετική καμπύλη $U_{\varepsilon\pi}(\Theta)$, δηλαδή το ρεύμα τυμπάνου υπεισέρχεται ως παράμετρος. Το τρίγωνο ABC λέγεται χαρακτηριστικό τρίγωνο και χαρακτηρίζει ποσοτικά τη σχέση της πτώσης τάσης $\Delta U_{\varepsilon\pi}$ και της μεταβολής $\Delta\Theta$ της ενεργούς διεγέρσεως για μια ορισμένη τιμή του ρεύματος του τυμπάνου.



ποσοστιαία παραμετρική μεταβολή του Φ .

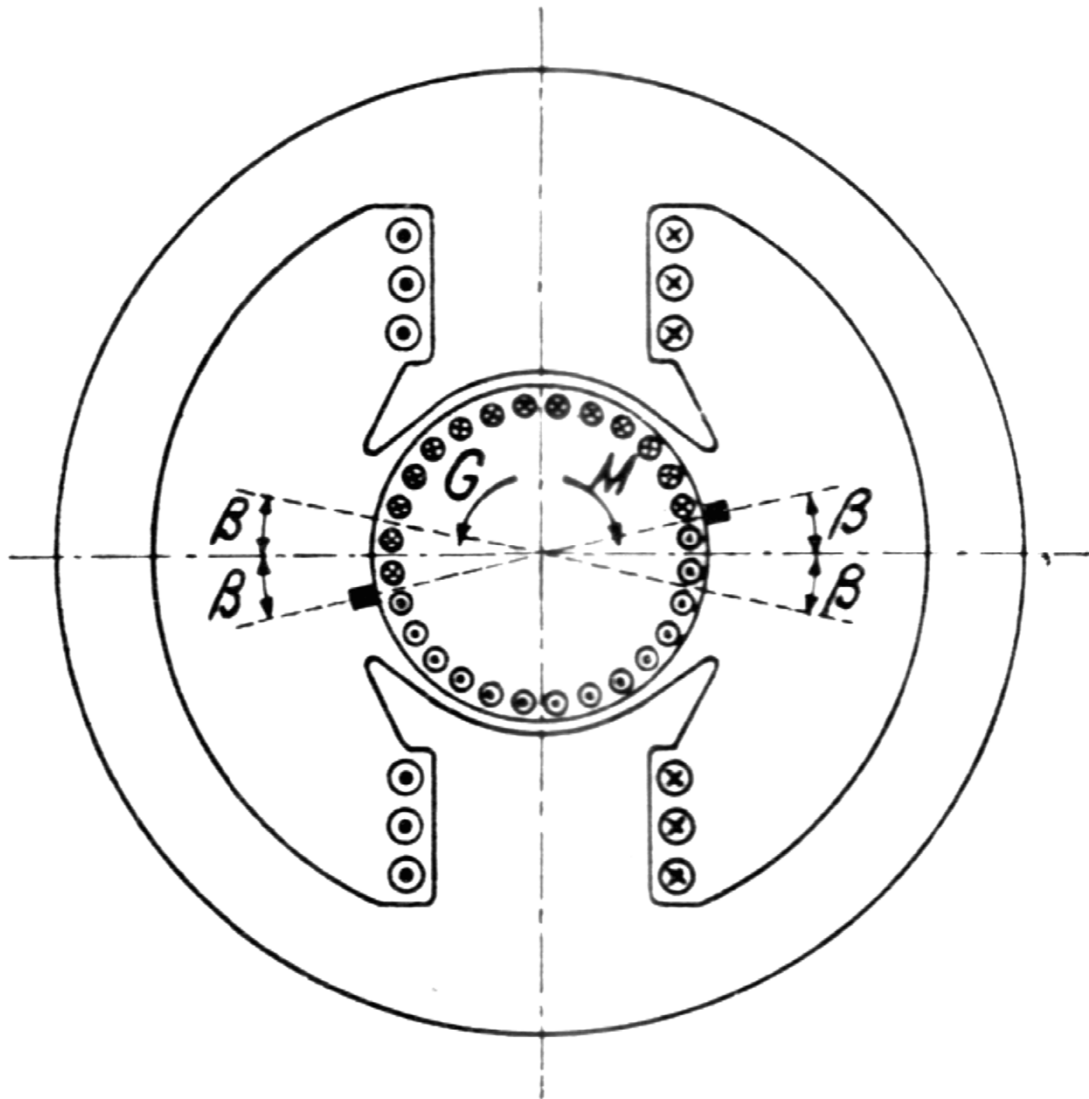
Σχήμα 3.50. Για τον προσδιορισμό του $\Delta\Theta$ για διάφορες τιμές του Φ και του $A\tau/V\delta$ (Μέθοδος L.Greenwood).

3.5.4 Αντίδραση τυμπάνου κατά τη μετατόπιση των ψηκτρών

Μια ιδέα για την αντιμετώπιση της αντίδρασης του τυμπάνου σχετικά με τα επακόλουθά της επί της αναστροφής του ρεύματος του τυμπάνου είναι η μετατόπιση των ψηκτρών στη θέση όπου μηδενίζεται το πεδίο.

Εάν μετατοπίσουμε τις ψηκτρες από τη γεωμετρικά ουδέτερη ζώνη κατά τη γωνία β , τότε μπορούμε να διασπάσουμε το διάρρευμα του τυμπάνου σε δύο μέρη. Το διάρρευμα το οποίο προέρχεται από το ρευματικό στρώμα του τόξου 2β , όπως δείχνει το σχήμα (3.51), λέγεται διάρρευμα μήκους Θ_1 . Το διάρρευμα του τυμπάνου που προέρχεται από το ρευματικό στρώμα του τόξου $(\pi-2\beta)$ λέγεται εγκάρσιο διάρρευμα Θ_q . Ο διαχωρισμός αυτός ευνοείται από το γεγονός ότι υπάρχουν δύο ξεχωριστές μαγνητικές περιοχές λόγω της κατασκευής της μηχανής συνεχούς ρεύματος.

Η περιοχή των πόλων παρουσιάζει μικρό και σταθερό διάκενο, η δε περιοχή μεταξύ αυτών χαρακτηρίζεται από μεγάλο διάκενο και συνεπώς μεγάλη μαγνητική αντίσταση.



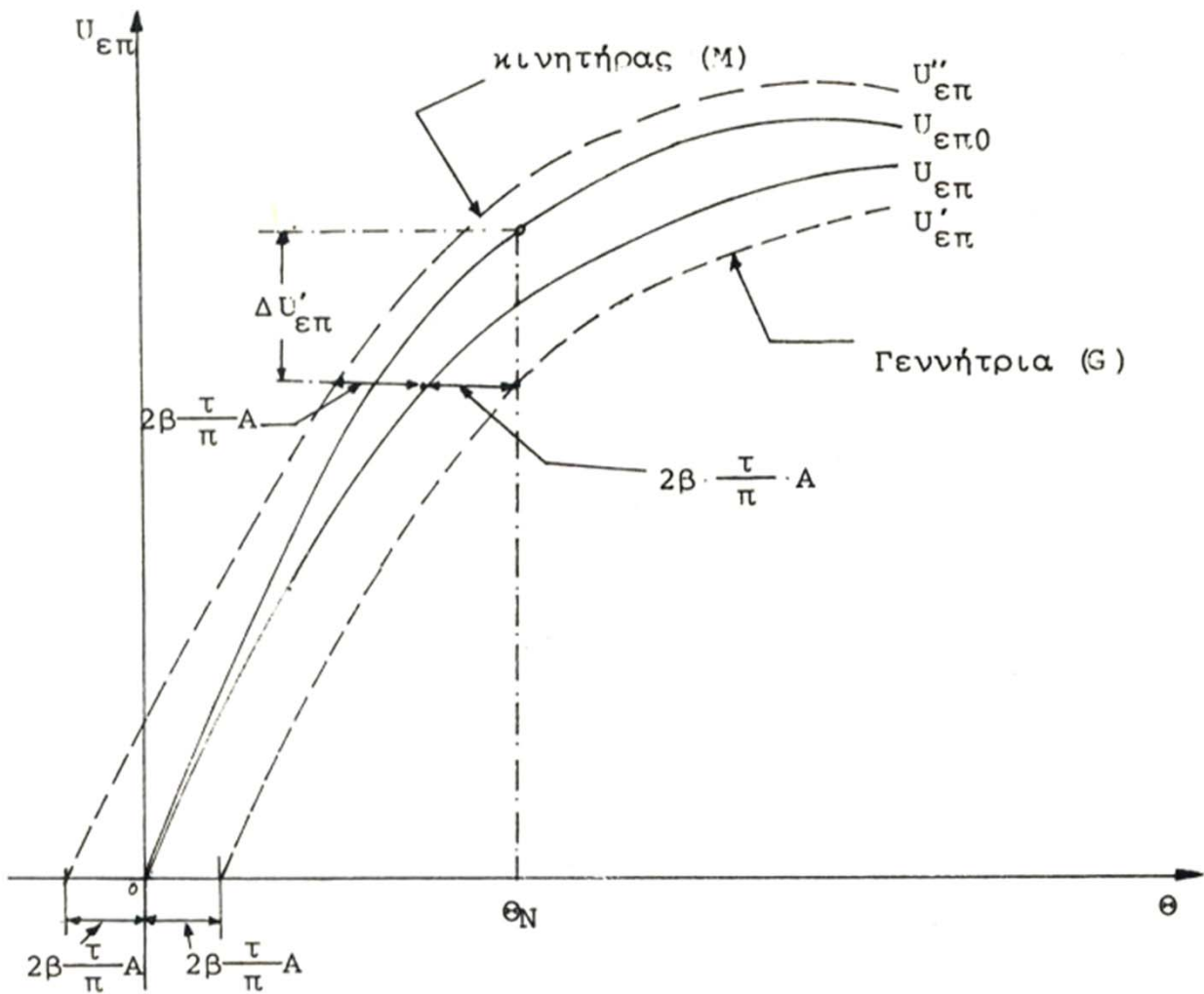
Σχήμα 3.51. Εγκάρσιο διάρρευμα και διάρρευμα μήκους.

Το διάρρευμα Θ_{\perp} που ορίσαμε κατά μήκος του μαγνητικού άξονα των πόλων ισούται με:

$$\Theta_{\perp} = 2\beta \frac{\tau}{\Pi} A \quad (3.29)$$

Στη σχέση αυτή τ είναι το πολικό βήμα και A το ρευματικό στρώμα του τυμπάνου. Όπως φαίνεται στο σχήμα (3.51) το διάρρευμα Θ_{\perp} είναι αντιθέτου φοράς ως προς το διάρρευμα διεγέρσεως Θ , ώστε το ολικό διάρρευμα στην διεύθυνση των πόλων να είναι ίσο με την διαφορά :

$$\Theta_{\text{ολ}} = \Theta - 2\beta \frac{\tau}{\Pi} A \quad (3.30)$$



Σχήμα 3.52. Σχέση τάσης εξ επαγωγής $U_{\epsilon\pi}$ και διεγέρσεως (διαρρέυματος) κατά τη μετατόπιση των ψηκτρών.

Εάν οι ψήκτρες μετακινηθούν κατά την αντίθετη φορά τότε θα έχουμε:

$$\Theta_{\text{ολ}} = \Theta + \Theta_1 \quad (3.31)$$

Το ολικό διάρρευμα κατά μήκος των πόλων δημιουργεί το ολικό μαγνητικό πεδίο, από το οποίο προέρχεται η τάση εξ επαγωγής στο τύμπανο. Τη σχέση δε μεταξύ ολικού διαρρεύματος και τάσης δείχνει το σχήμα 3.52.

Το μέγεθος $U_{\varepsilon\pi 0}(\Theta)$ παριστάνει την καμπύλη τάσης εν κενώ, $U_{\varepsilon\pi}(\Theta)$ την καμπύλη υπό φορτίο όταν οι ψήκτρες βρίσκονται στην ουδέτερη ζώνη. Όταν έχουμε μετατόπιση των ψηκτρών σε μία γεννήτρια, προκύπτει η καμπύλη $U'_{\varepsilon\pi}(\Theta)$ η οποία βρίσκεται δεξιά των προηγούμενων επειδή τα δύο διαρρεύματα Θ_N και Θ_1 αφαιρούνται. Εάν η μηχανή λειτουργεί ως κινητήρας, τότε προκύπτει η αριστερή καμπύλη $U''_{\varepsilon\pi}(\Theta)$.

Για ένα ορισμένο ρευματικό στρώμα A του τυμπάνου και για μια ορισμένη διαρροή Θ_N προκύπτει η πτώση τάσης $\Delta U'_{\text{επ}}$, η οποία δημιουργείται λόγω της αντίδρασης του τυμπάνου κατά την μετακίνηση των ψηκτρών. Η μετακίνηση δε των ψηκτρών είναι αναγκαία, όταν η μηχανή στερείται βοηθητικών πόλων.

Οι ψήκτρες πρέπει διαρκώς να βρίσκονται σε μια θέση, στην οποία το μαγνητικό πεδίο είναι μηδέν. Και τούτο διότι διαφορετικά θα αναπτυσσόταν στις σπείρες, οι οποίες στιγμιαία βραχυκυκλώνονται από τις ψήκτρες, μια τάση εξ επαγωγής, η οποία θα μπορούσε να προκαλέσει σπινθηρισμούς. Οι καμπύλες $U'_{\text{επ}}(\Theta)$ και $U''_{\text{επ}}(\Theta)$ εξαρτώνται από το ρεύμα του τυμπάνου. Όταν έχουμε μεταβλητή φόρτιση δηλαδή μεταβολή του ρεύματος τυμπάνου, όπως συμβαίνει στα αυτοματοποιημένα κινητήρια συστήματα, τότε είμαστε αναγκασμένοι να μετατοπίζουμε διαρκώς τις ψήκτρες. Γι' αυτό η μέθοδος αυτή δεν έχει πρακτική σημασία, βρέθηκαν δε άλλοι τρόποι αντιμετώπισης του προβλήματος.

3.5.5 Επακόλουθα της αντίδρασης του τυμπάνου

Η αντίδραση του τυμπάνου επιφέρει ανεπιθύμητες συνέπειες στη λειτουργία της μηχανής συνεχούς ρεύματος, οι οποίες μπορούν να ταξινομηθούν ως εξής: Η πρώτη συνέπεια σχετίζεται με το γεγονός ότι η αντίδραση τυμπάνου κυρίως προκαλεί παραμόρφωση του αρχικού μαγνητικού πεδίου και μάλιστα κάτω από το ένα ήμισυ των πόλων δημιουργείται μια συμπύκνωση των μαγνητικών γραμμών ενώ στο άλλο αραίωση, δηλαδή εμφανίζεται αύξηση ή ελάττωση του πεδίου. Η συμπύκνωση μπορεί να προκαλέσει κυκλικό σπινθηρισμό. Ο κυκλικός σπινθηρισμός εμφανίζεται, όταν μεταξύ δύο γειτονικών τομέων του συλλέκτη η τάση υπερβεί τα 30V (σύμφωνα με τις διάφορες μελέτες). Η υπέρβαση αυτή συμβαίνει λόγω αύξησης του πεδίου.

Η σκόνη που προέρχεται από την τριβή των ψηκτρών και συγκεντρώνεται επάνω στο μονωτικό υλικό μεταξύ των τομέων, μπορεί να ευνοήσει τη δημιουργία σπινθηρισμών υπό μορφή βολταιϊκού τόξου. Το τόξο αυτό σχηματίζεται μεταξύ δύο τομέων, μπορεί δε να επεκταθεί και να σχηματιστεί ένας ολόκληρος δακτύλιος (κυκλικός σπινθηρισμός) και τελικά να δημιουργηθεί ένα τόξο μεταξύ των ψηκτρών διαφορετικής πολικότητας. Τότε το αποτέλεσμα είναι να βραχυκυκλωθεί η πηγή τροφοδοσίας του τυμπάνου, διότι η αντίσταση του τόξου είναι πολύ μικρή. Η τάση μεταξύ δύο γειτονικών τομέων κατά τη λειτουργία της μηχανής χωρίς φορτίο είναι:

$$e_{S0} = \frac{Zp}{k\alpha} l v_T B_{\pi} \quad (3.32)$$

Τα διάφορα σύμβολα έχουν την εξής σημασία:

Z = αριθμός αγωγών τυμπάνου, k = αριθμός τομέων, p = αριθμός ζευγών πόλων, α = αριθμός ζευγών παράλληλων κλάδων, l = μήκος δρομέα, v_T = γραμμική ταχύτητα τυμπάνου και B_{π} = η μέγιστη τιμή του μαγνητικού πεδίου των πόλων.

Το μέγεθος $\frac{z}{k} \cdot \frac{p}{\alpha}$ παριστάνει τον αριθμό των ενεργών αγωγών, μεταξύ δύο γειτονικών τομέων. Από τη σχέση (3.32) προκύπτει ότι, εάν αυξηθεί το B_{π} λόγω παραμόρφωσης από την αντίδραση του τυμπάνου, σε κάποια περιοχή η τάση e_{s0} θα αυξηθεί όταν ο εν λόγω τομέας διέρχεται από την περιοχή αυτή με αποτέλεσμα να δημιουργηθούν σπινθηρισμοί. Αυτό είναι και το πρώτο μειονέκτημα της αντίδρασης τυμπάνου. Η τάση e_{s0} είναι πολύ σημαντικό μέγεθος, διότι είναι καθοριστικό για την οριακή ισχύ μιας μηχανής συνεχούς ρεύματος. Η μέγιστη επιτρεπτέα τιμή της εξαρτάται από την αντίσταση του κυκλώματος που κλείνει μέσω δύο γειτονικών τομέων. Για μεγάλες μηχανές η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή κυμαίνεται περί τα 30V, για μηχανές μεσαίας ισχύος περί τα 35V και για μηχανές ελάχιστης ισχύος περί τα 60V.

Η ισχύς των μηχανών γενικά δίνεται από μια σχέση που έλαβε την ονομασία εξίσωση του ESSON και έχει την ακόλουθη μορφή:

$$P = CD^2 \ln \quad (3.33)$$

C είναι ο συντελεστής εκμετάλλευσης κατά ESSON και η μονάδα μέτρησης του είναι $C = \text{Watt sec} / \text{m}^3$. D είναι η διάμετρος του διάκενου μεταξύ στάτη και δρομέα, l είναι το ενεργό μήκος της μηχανής και n ο αριθμός των στροφών του δρομέα.

Ο συντελεστής C εξ ορισμού περιέχει τα ακόλουθα μεγέθη:

$$C = \frac{\pi^2}{60} \alpha_{\pi} B_{\pi} A \quad (3.34)$$

με B_{π} σε Gauss, A σε A/cm, $\alpha_{\pi} = 0,6 \dots 0,75$ είναι ένας συντελεστής που έχει σχέση με την διαμόρφωση των πόλων.

Εάν λάβουμε υπ' όψη μας ότι $V_T = \pi D n / 60$ με n σε στροφές ανά λεπτό και συμπτύξουμε τις σχέσεις (3.31), (3.32) και (3.33), θα καταλήξουμε στη σχέση:

$$P = e_{s0} \frac{D\pi}{2000} \alpha_{\pi} A \quad \text{σε kW} \quad (3.35)$$

όπου e_{s0} πρέπει να εκφράζεται σε V, A σε A/cm και D σε cm.

Παρατηρούμε λοιπόν ότι η μέγιστη ισχύς εξαρτάται από τη μέγιστη τάση e_{s0} .

Η δεύτερη συνέπεια είναι η πτώση τάσεως εξ επαγωγής, η οποία εμφανίζεται στο εσωτερικό του τυμπάνου σύμφωνα με την καμπύλη $U'_{\text{επ}}(\Theta)$ ή $U'_{\text{επ}}(\Theta)$ του σχήματος (3.52). Είπαμε παραπάνω ότι κατά μέσο όρο η μαγνητική ροή ελαττώνεται με αποτέλεσμα να ελαττωθεί η τάση εξ επαγωγής σύμφωνα με τον τύπο (3.14).

Η τρίτη ανεπιθύμητη συνέπεια είναι η αύξηση των απωλειών σιδήρου κατά τη φόρτιση σε σύγκριση με τις απώλειες σιδήρου στην εν κενώ λειτουργία. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η παραμόρφωση δημιουργεί κατά τόπους αύξηση του τελικού πεδίου, κυρίως αυτό συμβαίνει στα δόντια. Όπως δε γνωρίζουμε οι απώλειες σιδήρου είναι ανάλογες του τετραγώνου της μαγνητικής επαγωγής, επομένως είναι δυνατόν να έχουμε σε ορισμένες περιοχές και περισσότερο στα δόντια, μεγάλες τιμές αυτού του τετραγώνου με αποτέλεσμα τοπική υπερθέρμανση.

Είναι σαφές ότι πρέπει να ληφθούν μέτρα για την αντιμετώπιση της αντίδρασης του τυμπάνου. Τα μέτρα αυτά περιγράφονται παρακάτω.

3.5.6 Εξουδετέρωση της αντίδρασης του τυμπάνου

Η αντίδραση του τυμπάνου εξουδετερώνεται με τρεις τρόπους ήτοι, με τους βοηθητικούς πόλους επάνω στους οποίους τυλίγεται το βοηθητικό τύλιγμα, με το τύλιγμα αντιστάθμισης και με άλλες ειδικές κατασκευαστικές μεθόδους.

Τον σημαντικότερο ρόλο παίζουν οι βοηθητικοί πόλοι, οι οποίοι υπάρχουν σε όλες τις μηχανές συνεχούς ρεύματος και διεγείρομενοι από το βοηθητικό τύλιγμα δημιουργούν ένα κατάλληλο πεδίο τυμπάνου. Μόνο πολύ μικρές μηχανές, περίπου κάτω των **500 Watt**, κατασκευάζονται χωρίς βοηθητικούς πόλους.

3.5.6.1 Βοηθητικοί πόλοι

Όπως αναφέρθηκε, οι ψήκτρες βρίσκονται σε περιοχές όπου το μαγνητικό πεδίο είναι διάφορο του μηδενός, όταν φορτίζεται η μηχανή ένεκα της μετατόπισης της ουδέτερης ζώνης. Εξάλλου οι ψήκτρες διαρκώς βραχυκυκλώνουν ορισμένα πηνία μέσω του συλλέκτη. Τα βραχυκυκλωμένα αυτά πηνία κινούνται μέσα στο μαγνητικό πεδίο, το οποίο δημιουργείται από την αντίδραση του τυμπάνου. Σε κάθε βραχυκυκλωμένο πηνίο από την κίνηση αυτή αναπτύσσεται τάση εξ επαγωγής, η οποία μπορεί να προκαλέσει σπινθηρισμούς. Για να αποφύγουμε τη δημιουργία αυτής της ανεπιθύμητης τάσης, πρέπει να μετακινήσουμε τις ψήκτρες και να τις τοποθετήσουμε στη νέα θέση της γεωμετρικής ζώνης. Όμως η θέση αυτή εξαρτάται από το εκάστοτε ρεύμα, το οποίο διαρρέει το τύλιγμα του τυμπάνου. Συνεπώς επιβάλλεται να βρούμε άλλο τρόπο διαφυγής από την δυσμενή επίδραση του πεδίου του τυμπάνου. Η λύση δίνεται με τους βοηθητικούς πόλους, οι οποίοι τοποθετούνται στην γεωμετρική ουδέτερη ζώνη.

Το τύλιγμα επί των βοηθητικών πόλων συνδέεται σε σειρά με το τύλιγμα του τυμπάνου. Το διάρρευμα (αμπερελίγματα) του βοηθητικού τυλίγματος πρέπει να έχει τέτοια τιμή, ώστε πρώτα να εξουδετερωθεί το εγκάρσιο μαγνητικό πεδίο στη γεωμετρική ουδέτερη ζώνη και δεύτερο στην περιοχή αυτή να αναπτύσσεται ένα πεδίο, ικανό να δημιουργήσει στο υπό των ψηκτρών βραχυκυκλωμένο πηνίο μια τάση εξ επαγωγής, η οποία καθιστά δυνατή την ομαλή αναστροφή του ρεύματος τυμπάνου, όπως θα δούμε παρακάτω. Ο ρόλος δηλαδή του βοηθητικού τυλίγματος είναι διπλός.

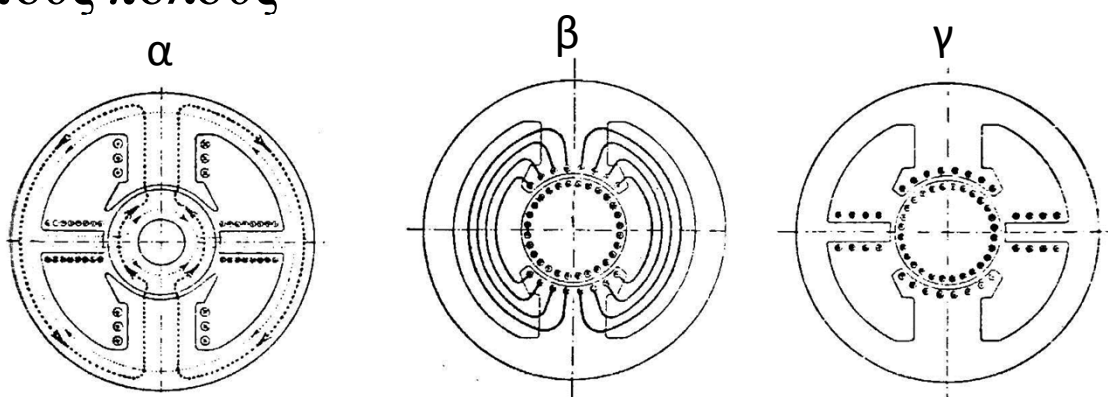
Η πολικότητα των βοηθητικών πόλων καθορίζεται ως εξής: Εάν ακολουθούμε τη φορά περιστροφής, σε μια γεννήτρια ο βοηθητικός πόλος πρέπει να έχει την αντίθετη πολικότητα εκείνης, την οποία έχει ο αμέσως προηγούμενος κύριος πόλος. Εάν η μηχανή λειτουργεί ως κινητήρας, τότε μετά από ένα κύριο πόλο ακολουθεί ένας βοηθητικός πόλος της ίδιας πολικότητας κινούμενοι κατά τη φορά περιστροφής.

Η παραμόρφωση του πεδίου κάτω από τους κύριους πόλους, μπορεί να εξουδετερωθεί, εάν επί της επιφάνειας του πέλματος υπάρχει διάρρευμα ίσο με το διάρρευμα μήκους Θ_1 του τυμπάνου, που αναφέρθηκε προηγουμένως στην ανάλυση της αντίδρασης του τυμπάνου. Αυτό επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση ενός τυλίγματος επάνω στα πέλματα, το οποίο διαρρέεται από το ρεύμα τυμπάνου, δηλαδή συνδέεται σε σειρά με το τύλιγμα του τυμπάνου και λέγεται τύλιγμα αντιστάθμισης.

Στο σχήμα 3.53, φαίνεται η τομή μιας μηχανής με βοηθητικούς πόλους και τυλίγματα αντιστάθμισης. Στο σχήμα 3.53.α φαίνονται οι κύριοι και οι βοηθητικοί πόλοι με τα αντίστοιχα τυλίγματα, στο 3.53.β φαίνεται το τύλιγμα αντιστάθμισης μαζί με το τύλιγμα του τυμπάνου και στο 3.53.γ παρουσιάζεται το βοηθητικό, το τύλιγμα αντιστάθμισης και το τύλιγμα του τυμπάνου.

Συνήθως το τύλιγμα αυτό αποτελείται από ράβδους, οι οποίες τοποθετούνται στις αυλακώσεις και λυγίζοντας έτσι, ώστε να σχηματίζουν σπείρες.

Στο σχήμα (3.54) φαίνεται ότι με την διαρροή του τυλίγματος αντιστάθμισης Θ_A αναιρείται κάτω από τους πόλους η διαρροή του τυμπάνου Θ_T ($\Theta_T - \Theta_A$). Στο διάκενο μεταξύ των πόλων δεν υφίσταται τέτοιου είδους εξουδετέρωση, αλλά εκεί επενεργούν οι βοηθητικοί πόλοι. Οι αυλακώσεις για την τοποθέτηση των τυλιγμάτων αντιστάθμισης και τυμπάνου έχουν διαφορετικό σχήμα και διαφορετικές αποστάσεις τ_{nT} και τ_{nA} , για να έχουμε όσο γίνεται μικρότερες διακυμάνσεις του μαγνητικού πεδίου κάτω από τους πόλους

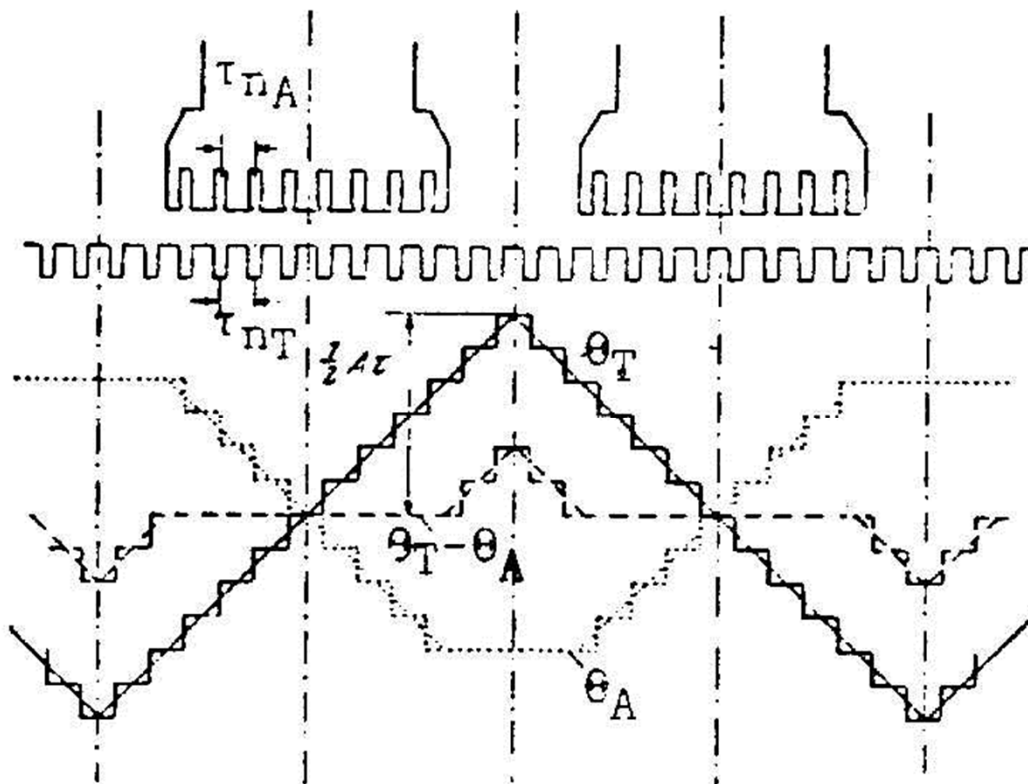


Σχήμα 3.53 . Μηχανή συνεχούς ρεύματος με βοηθητικούς πόλους (α) και τύλιγμα αντιστάθμισης (β).

Για να έχουμε απόλυτη αντιστάθμιση του διαρρέυματος μήκους θα πρέπει τα ρευματικά στρώματα τυμπάνου και αντιστάθμισης να είναι ίσα, δηλαδή $A_T = A_A$. Τότε μεταξύ των διαρρευμάτων των επιμέρους αυλακώσεων και των αποστάσεων αυτών των αυλακώσεων, δηλαδή μεταξύ ηλεκτρικών και γεωμετρικών στοιχείων, πρέπει να ισχύει: $\Theta_{nT} / \tau_{nT} = \Theta_{nA} / \tau_{nA}$.

Σχετικά με την αντιμετώπιση των συνεπειών του πεδίου του τυμπάνου μπορούμε να πούμε συνοπτικά τα εξής:

Το τύλιγμα αντιστάθμισης αναιρεί την παραμόρφωση του μαγνητικού πεδίου κάτω από τους πόλους και οι βοηθητικοί πόλοι αναιρούν το μαγνητικό πεδίο μεταξύ των πόλων στη γεωμετρική ζώνη, το οποίο προέρχεται από το ρεύμα του τυμπάνου. Επί πλέον οι βοηθητικοί πόλοι μαζί με το βοηθητικό τύλιγμα δημιουργούν το αναγκαίο πεδίο για μια κανονική αναστροφή του ρεύματος στο εκάστοτε πηνίο, που κατά την περιστροφή του τυμπάνου βραχυκυκλώνεται από τις ψήκτρες. Μικρές μηχανές συνήθως έχουν μόνο βοηθητικούς πόλους οι οποίοι είναι περισσότερο απαραίτητοι, έτσι δε έχουμε απλούστερη κατασκευή και μικρότερο κόστος.

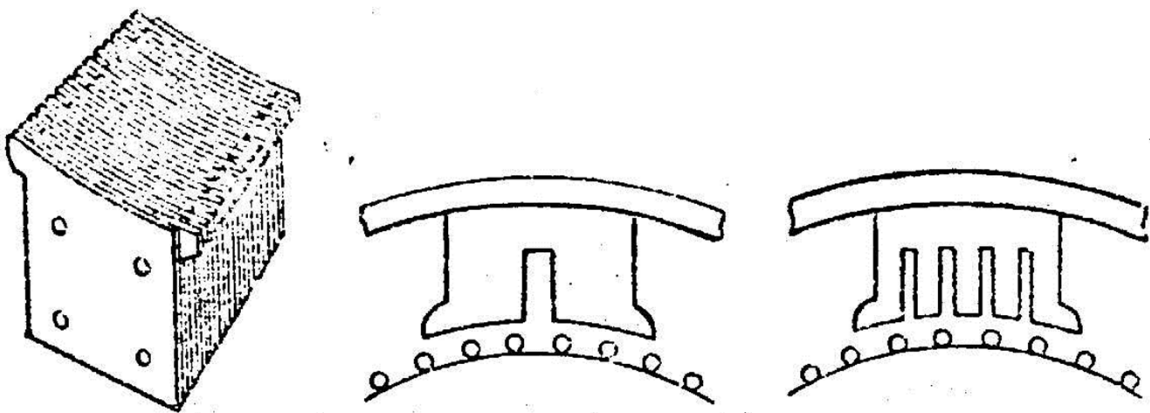


Σχήμα 3.54. Εξουδετέρωση του διαρρέυματος του τυμπάνου Θ_T κάτω από τους πόλους με το τύλιγμα αντιστάθμισης.

3.5.6.3 Άλλες μέθοδοι για την αντιμετώπιση της αντίδρασης του τυμπάνου

Εάν οι πόλοι κατασκευαστούν καταλλήλως από ελάσματα, όπως βλέπουμε στο σχήμα 3.55, τότε το πέλμα βρίσκεται στο μαγνητικό κορεσμό (αύξηση της μαγνητικής επαγωγής B λόγω μείωσης της επιφάνειας διέλευσης της μαγνητικής ροής του τυμπάνου) και έτσι η μαγνητική διαπερατότητα ελαττώνεται. Αυτό συνεπάγεται ελάττωση της παραμόρφωσης του πεδίου, όπως είδαμε στο σχήμα 3.47, καμπύλη 5.

Επίσης με μία ή περισσότερες αυλακώσεις στους πόλους (σχήμα 3.55) παρέχεται η δυνατότητα εξασθένησης του πεδίου του τυμπάνου, επειδή έτσι αυξάνεται η μαγνητική αντίσταση για τη μαγνητική ροή του τυμπάνου, η οποία ρέει διαμέσου των κυρίων πόλων.



Σχήμα 3.55.

Διάφοροι τρόποι για την ελάττωση της παραμόρφωσης του μαγνητικού πεδίου.

3.6 Αναστροφή ρεύματος τυμπάνου

Λέγοντας αναστροφή ρεύματος, εννοούμε την αλλαγή της φοράς του ρεύματος του τυμπάνου σε ένα πηνίο μόλις αυτό περάσει μπροστά από μία ψήκτρα (δημιουργία εναλλασσόμενου ρεύματος). Το ρεύμα μιας ψήκτρας διέρχεται προηγουμένως από ένα τομέα, ο οποίος είναι συνδεδεμένος με ένα πηνίο (ομάδα) του τυλίγματος και περιστρέφεται. Η ροή του ρεύματος διαμέσου αυτού του τομέα διαρκεί τόσο χρόνο, όσο αυτός ο τομέας έρχεται σε επαφή με την ψήκτρα.

Βασικό χαρακτηριστικό της αναστροφής είναι το γεγονός ότι κατά το χρονικό διάστημα που συμβαίνει αυτή βραχυκυκλώνεται το πηνίο από μια ή περισσότερες ψήκτρες. Εάν έχουμε βροχοτύλιγμα τα άκρα ενός πηνίου καταλήγουν σε διπλανούς τομείς και βραχυκυκλώνονται από μία θετική ή αρνητική ψήκτρα.

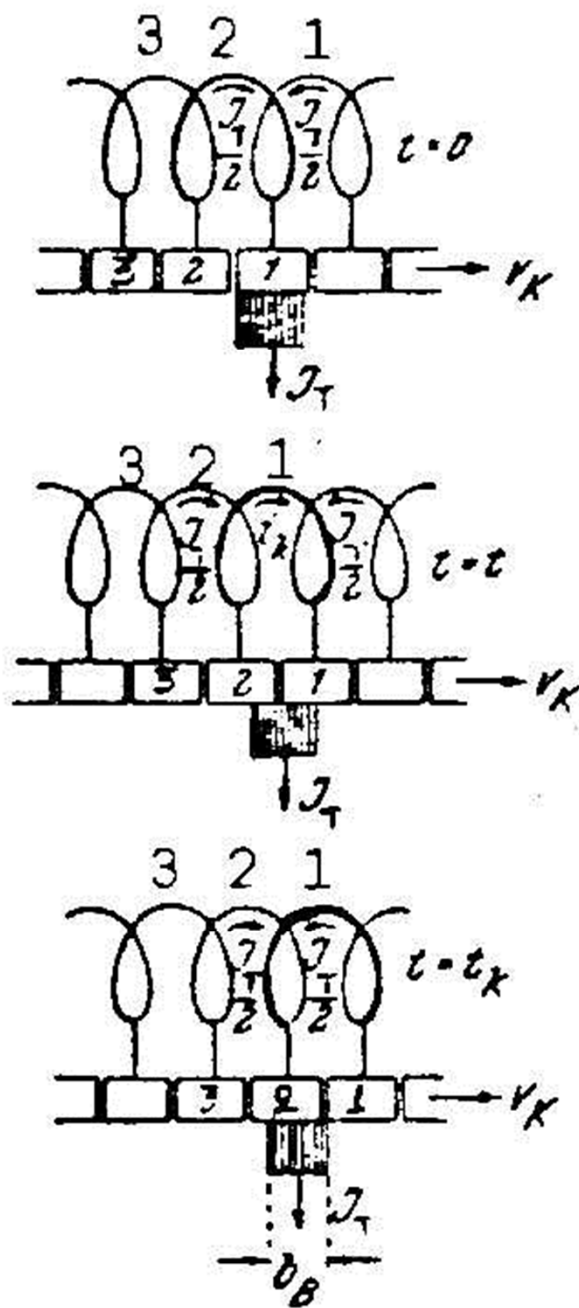
Εάν πρόκειται για κυματούλιγμα βραχυκυκλώνονται από δύο ψήκτρες της ίδιας πολικότητας μέσω της εξωτερικής συνδεσμολογίας. Κατά την αναστροφή παίζουν σημαντικό ρόλο μηχανικοί, ηλεκτρομαγνητικοί, ηλεκτρομηχανικοί και θερμικοί παράγοντες.

Ένας ακριβής αναλυτικός υπολογισμός είναι αδύνατος, διότι οι παράγοντες αυτοί είναι μεταβλητοί και δεν μπορούν να συνυπολογιστούν. Εδώ θα παρουσιασθεί η βασική θεώρηση αυτού του φαινομένου.

3.6.1 Χρονική συνάρτηση ρεύματος κατά την αναστροφή

Για να κατανοηθεί το φαινόμενο της αναστροφής παρακολουθούμε το σχήμα 3.56. Το πηνίο 1, το οποίο για να διακρίνεται έχει σχεδιαστεί με εντονότερη γραμμή, κινείται μαζί με το συλλέκτη μπροστά από τις ψήκτρες με γραμμική ταχύτητα v_k . Κατά τη χρονική στιγμή $t=0$ το εξωτερικό ρεύμα I_T , το οποίο θεωρείται χρονικά σταθερό, καθώς διέρχεται μέσα από την ψήκτρα και τον τομέα 1, χωρίζεται σε δύο ίσα μέρη. Το ήμισυ διαρρέει το πηνίο 1 κατά τη φορά του βέλους.

Κατά τη δεύτερη φάση ($t=t_1$), η ψήκτρα εφάπτεται δύο τομέων 1 και 2. Έτσι το πηνίο 1 βραχυκυκλώνεται και εντός αυτού ρέει το **ρεύμα βραχυκύκλωσης i_k** . Μετά από χρόνο $t=t_k$ η ψήκτρα εφάπτεται μόνο του τομέα 2, εν τω μεταξύ το ρεύμα έχει αλλάξει φορά στο πηνίο 2, ενώ στον τομέα 1 δεν ρέει πλέον ρεύμα παρά μόνο στον τομέα 2.



Σχήμα 3.56. Αναστροφή ρεύματος τυμπάνου.

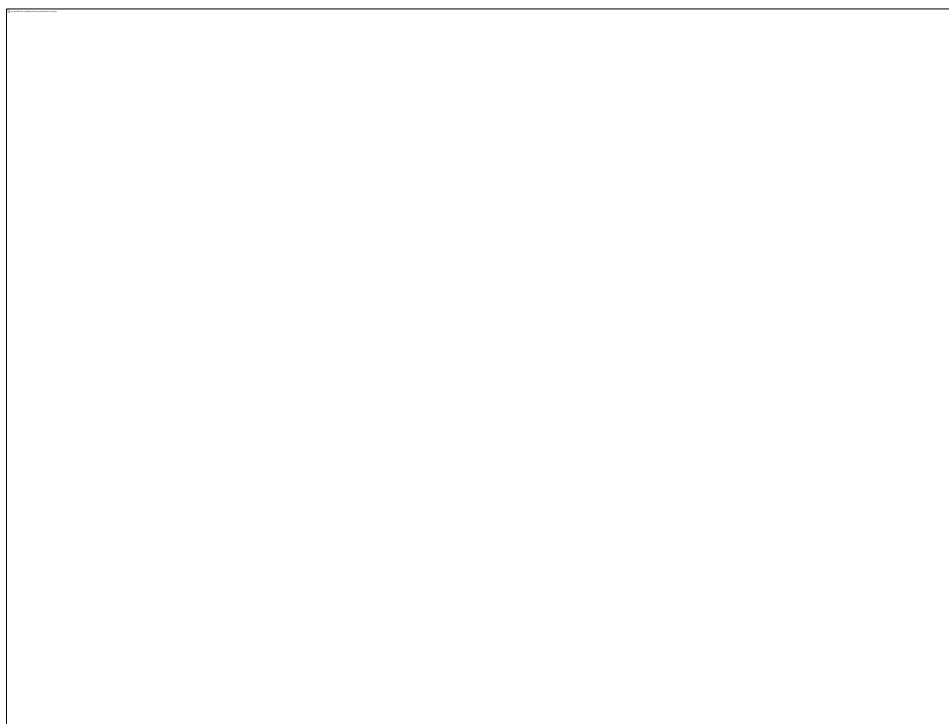
Κατά την αλλαγή της φοράς του ρεύματος σ' ένα πηνίο ενδιαφέρον παρουσιάζει η φορά του ρεύματος i_k ως συνάρτηση του χρόνου. Για να βρούμε τη χρονική συνάρτηση του ρεύματος i_k , παρακολουθούμε το κύκλωμα που σχηματίζεται κατά τον χρόνο του βραχυκυκλώματος, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.57.

Για το βραχυκυκλωμένο πηνίο ισχύει η ακόλουθη εξίσωση τάσεων:

$$i_1 R_1 + i_k R_\pi - i_2 R_2 - i_2 R_3 + i_1 R_4 = -L_\pi \frac{di_k}{dt} + e_k \quad (3.35)$$

Στη σχέση αυτή R_1 και R_2 είναι οι αντιστάσεις των αγωγών, οι οποίοι συνδέουν το πηνίο με τους τομείς του συλλέκτη και διαρρέονται αντίστοιχα από τα ρεύματα i_1 και i_2 . Επίσης R_π είναι η αντίσταση του βραχυκυκλωμένου πηνίου και R_3 είναι η αντίσταση την οποία συναντά το ρεύμα, όταν διέρχεται από την ψήκτρα και τον τομέα 2. R_4 είναι η αντίσταση κατά τη διάβαση του ρεύματος από τον τομέα 1 προς την ψήκτρα.

Οι αντιστάσεις R_3 και R_4 είναι συναρτήσεις του χρόνου, διότι οι επιφάνειες επαφής της ψήκτρας με τους τομείς 1 και 2 μεταβάλλονται κατά την περιστροφή του συλλέκτη. Αυτή η χρονική εξάρτηση των αντιστάσεων καθιστά την διαφορική εξίσωση (3.35) μη γραμμική και συνεπώς δυσχεραίνει τη λύση της. Επίσης είναι δυνατόν λόγω φθοράς ή συσσώρευσης σκόνης να μη γίνεται τέλεια η επαφή ψήκτρας και τομέα και έτσι να μην είναι σίγουρη οποιαδήποτε σχέση γράψουμε για τη χρονική συνάρτηση του R_3 και R_4 . Για την εύρεση αποδεκτής λύσης έχουνε γίνει διάφορες εργασίες. Στην ιδανική περίπτωση για τον υπολογισμό τους ισχύουν τα ακόλουθα:



Σχήμα 3.57 .

Για τον υπολογισμό του ρεύματος i_k κατά την αναστροφή.

Εάν T είναι ολόκληρος ο χρόνος της αναστροφής, v_k η ταχύτητα του συλλέκτη και b_B το πλάτος της ψήκτρας, τότε μπορούμε να γράψουμε:

$$v_k T = b_B, \quad b_2 = v_k t, \quad b_1 = v_k (T - t) \quad (3.36)$$

Οι ζώνες επαφής έχουν τα πλάτη b_1 και b_2 .

Εάν R είναι η αντίσταση επαφής ολόκληρης της ψήκτρας, τότε οι αντιστάσεις R_3 και R_4 προκύπτουν από τις σχέσεις:

$$R_3 = R - \frac{b_B}{b_2} = R \frac{T}{t} \quad (3.37)$$

Στην εξίσωση (3.35) το μέγεθος L_{π} παριστάνει τον συντελεστή αυτεπαγωγιμότητας του βραχυκυκλωμένου πηνίου. Ένεκα αυτής της αυτεπαγωγιμότητας δημιουργείται κατά τη μεταβολή του ρεύματος τάση εξ επαγωγής

$$-L_{\pi} \frac{di_k}{dt}$$

κατά μήκος του πηνίου. Η αυτεπαγωγιμότητα L_{π} καθορίζεται από το πεδίο σκέδασης του πηνίου ή των πηνίων που συμμετέχουν στην αναστροφή. Το πεδίο σκέδασης αναπτύσσεται εντός της αυλακώσεως, μεταξύ των οδοντώσεων στο διάκενο και στις μετωπικές συνδέσεις. Είναι αυτονόητο ότι η αναστροφή επηρεάζεται και από το πεδίο σκεδάσεως άλλων πηνίων, τα οποία τυχόν βρίσκονται στην ίδια αυλάκωση και υπόκεινται σε αναστροφή την ίδια χρονική στιγμή.

Η λεγόμενη τάση αναστροφής $e_A = -L_{\pi} \frac{di_k}{dt}$ επιβραδύνει την αναστροφή του ρεύματος στο πηνίο, διότι το πηνίο αυτό και τυχόν άλλα λόγω μαγνητικής αδράνειας αντιδρούν στην αλλαγή αυτή. Και αυτό ακριβώς είναι το πρόβλημα, ότι πρέπει να επηρεάσουμε την εξέλιξη της αναστροφής, ώστε μετά από χρόνο t_k το ρεύμα του πηνίου να αποκτήσει ακριβώς την τιμή $-\frac{I_T}{2}$. Εάν η ψήκτρα εγκαταλείψει τον τομέα 2 και το ρεύμα δεν έχει πάρει ακόμη την τιμή αυτή, τότε θα δημιουργηθεί φωτεινό τόξο, όπως συμβαίνει σε άλλα διακοπτικά φαινόμενα. Όμως εκτός της e_A δημιουργείται επί πλέον μια τάση e_k κατά μήκος του βραχυκυκλωμένου πηνίου ένεκα της κίνησης αυτού εντός του μαγνητικού πεδίου, το οποίο επικρατεί στη θέση όπου συμβαίνει η αναστροφή του ρεύματος. Η τάση e_k επηρεάζεται από τους βοηθητικούς πόλους, καθ' όσον αυτοί καθορίζουν το μαγνητικό πεδίο στην περιοχή μεταξύ των κυρίων πόλων. Η αναστροφή γίνεται ακριβώς όταν το πηνίο που βραχυκυκλώνεται βρίσκεται στην περιοχή αυτή.

Εκτός από τις παραπάνω σχέσεις έχουμε ακόμη δύο εξισώσεις για τα ρεύματα i_1 και i_2 :

$$i_1 = \frac{I_T}{2} + i_k, \quad i_2 = \frac{I_T}{2} - i_k \quad (3.38)$$

Έτσι από τις σχέσεις (3.35) και (3.38) προκύπτει η εξίσωση:

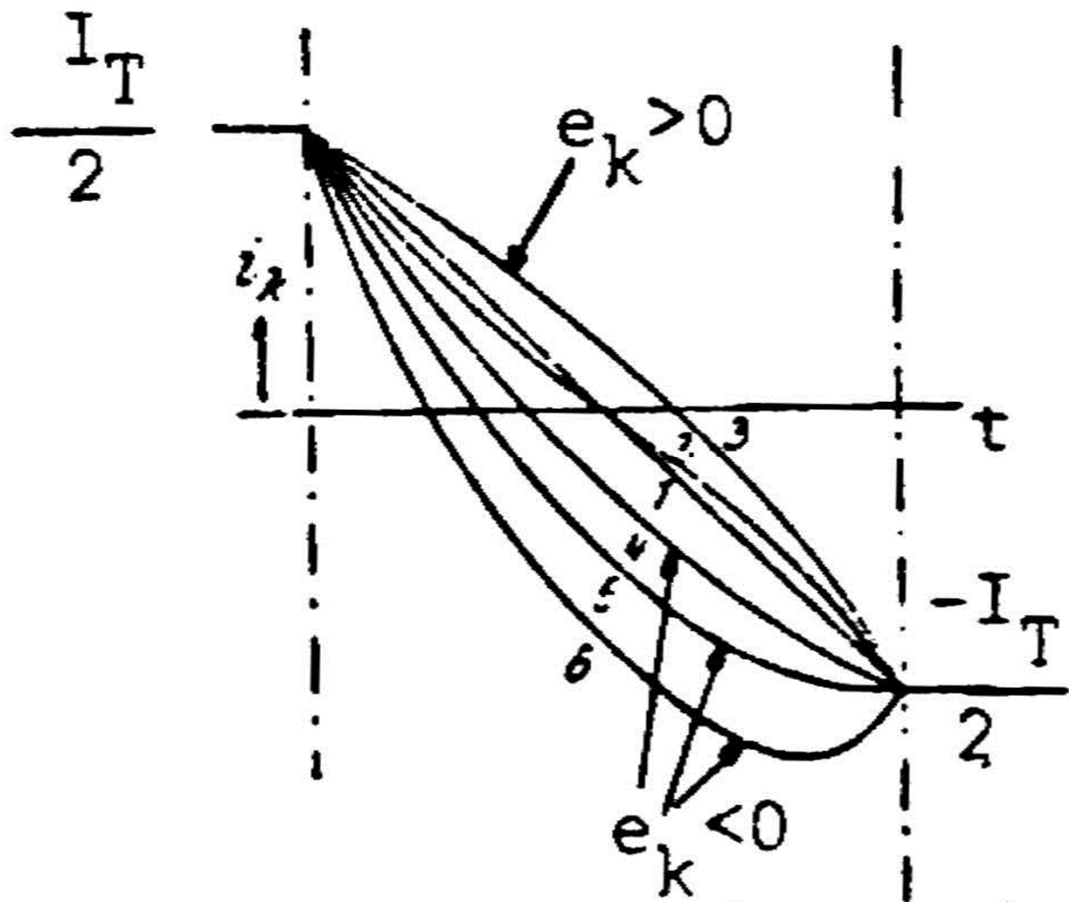
$$\left. \begin{aligned} & \left(\frac{I_T}{2} + i_k \right) R \frac{T}{T-t} - \left(\frac{I_T}{2} - i_k \right) R \frac{T}{t} + \\ & + \left(R_1 + R_2 + R_{\pi} \right) i_k + \left(R_1 - R_2 \right) \frac{I_T}{2} = - L_{\pi} \frac{di_k}{dt} + e_k \end{aligned} \right\} \quad (3.39)$$

Μια γενική αναλυτική λύση της εξίσωσης 3.39 είναι αδύνατη, γι' αυτό με γνωστές τις παραμέτρους $R, R_1, R_2, R_3, L_{\pi}, i_T$ και e_k καταφεύγουμε σε προσεγγιστικές λύσεις χρησιμοποιώντας γνωστές μεθόδους.

Η μορφή του ρεύματος $i_k(t)$ έχει μεγάλη σημασία για τη δημιουργία σπινθηρισμών στην περιοχή ψήκτρας και τομέων που συμμετέχουν στην αναστροφή, διότι η χρονική μεταβολή $\frac{di_k}{dt}$ παίζει σημαντικό ρόλο για το μέγεθος της τάσης αναστροφής, η οποία επηρεάζει την εξέλιξη του φαινομένου της αναστροφής.

Η λύση της εξίσωσης (3.39) δηλαδή η χρονική συνάρτηση του i_k με παράμετρο την τάση e_k απεικονίζεται στο σχήμα (3.58).

Εάν παραλείψουμε τις τάσεις εξ επαγωγής και τις αντιστάσεις του πηνίου και των αγωγών σύνδεσης, τότε παίρνουμε την καμπύλη 1, η οποία είναι μια ευθεία γραμμή. Στην περίπτωση αυτή λέμε ότι έχουμε ευθύγραμμη αναστροφή, η οποία σημαίνει ότι κατά το διάστημα του βραχυκυκλώματος οι πυκνότητες ρεύματος και οι τάσεις επαφής των ψηκτρών είναι σταθερές και ίσες.



Σχήμα 3.58.

Ρεύμα στο βραχυκυκλωμένο πηνίο κατά την αναστροφή με παράμετρο την τάση e_k .

Εάν ληφθούν υπ' όψη όλες οι αντιστάσεις αλλά παραλείψουμε την τάση αναστροφής και την τάση e_k , θα πάρουμε καμπύλες της μορφής 2 και η αναστροφή αυτού του τύπου ονομάζεται ωμική αναστροφή. Μέχρι $\frac{T}{2}$ παρατηρούμε μικρή επιτάχυνση, κατόπιν δε μικρή επιβράδυνση της αναστροφής. Εάν ληφθούν υπ' όψη οι αντιστάσεις και οι τάσεις εξ απαγωγής τότε θα προκύψουν οι καμπύλες 3 έως 6, ανάλογα προς την τιμή της e_k η οποία εξαρτάται από το μαγνητικό πεδίο και την ταχύτητα. Το πεδίο προκύπτει από την αντίδραση του τυμπάνου και τους βοηθητικούς πόλους, με τους οποίους μπορούμε να καθορίσουμε το μέγεθος αυτού εκλέγοντας κατάλληλο βοηθητικό τύλιγμα. Εάν η e_k είναι μεγαλύτερη του μηδενός, τότε η αναστροφή επιβραδύνεται, ενώ αντίθετα για $e_k < 0$ έχουμε επιτάχυνση αυτής. Εάν η e_k πάρει μεγάλες τιμές, τότε η αναστροφή δεν τελειώνει μετά από χρόνο $t = T = \frac{b_B}{v_k}$ και το ρεύμα i_k μεταβαίνει απότομα στην τιμή $-\frac{I_T}{2}$. Αυτό όμως προκαλεί σπινθηρισμό. Αποδεικνύεται ότι για να γίνει η αναστροφή γενικά χωρίς σπινθηρισμούς, πρέπει να πληρούται η σχέση:

$$\frac{TR}{L_{\Pi}} > 1 \quad (3.40)$$

Η διαπίστωση αυτή προκύπτει από τη σχέση (3.39) μετά από τον εξής συλλογισμό: Θεωρούμε $R_1=R_2$, πράγμα που είναι κατασκευαστικώς δυνατό. Όταν ο χρόνος t τείνει προς την τιμή T , τότε το ρεύμα i_k τείνει στην τιμή $-\frac{I_T}{2}$. Για την πρώτη παράγωγο του i_k μπορούμε τότε να γράψουμε:

$$\lim_{t \rightarrow T} \frac{\frac{I_T}{2} + i_k}{T-t} = - \frac{di_k}{dt} \quad (3.41)$$

Έτσι η σχέση (3.36) παίρνει τώρα την ακόλουθη μορφή:

$$- RT \frac{di_k}{dt} - RI_T - (R_1+R_2+R_{\pi}) \frac{I_T}{2} = - L_{\pi} \frac{di_k}{dt} + e_k \quad (3.42)$$

Λύνουμε ως προς $\frac{di_k}{dt}$ και πολλαπλασιάζουμε με $-L_{\pi}$, οπότε παίρνουμε το όριο της τάσης εξ επαγωγής μεταξύ ψήκτρας και απομακρυνόμενου τομέα:

$$\lim_{t \rightarrow T} \left(- L_{\pi} \frac{di_k}{dt} \right) = \frac{e_k + \frac{(2R+R_1+R_{\pi}) I_T}{2}}{\frac{TR}{L_{\pi}} - 1} \quad (3.43)$$

Για την τιμή $\frac{RT}{L_{\pi}}=1$ η τάση αυτή γίνεται άπειρη κατά την στιγμή $t=T$, υπό την προϋπόθεση ότι ο αριθμητής είναι διάφορος του μηδενός. Εάν η e_k είναι αρνητική και η απόλυτη τιμή της είναι ίση με $\frac{(2R+R_1+R_2+R_{\pi}) I_T}{2}$, η πρώτη παράγωγος του i_k είναι μηδέν για την τιμή $i_k=-\frac{I_T}{2}$. Εάν η e_k αποκτήσει μεγαλύτερη αρνητική τιμή και συγχρόνως ισχύει η σχέση (3.40), η τάση αναστροφής γίνεται αρνητική για $t \rightarrow T$ δηλαδή η πρώτη παράγωγος του i_k γίνεται θετική (καμπύλη 6 στο σχήμα 3.58).

Αφού λοιπόν αυξανομένης της αρνητικής τιμής της e_k επιταχύνεται η αναστροφή του i_k δηλαδή στο σχήμα (3.58) η καμπύλη $I_k(t)$ μετατοπίζεται προς τα κάτω και επειδή δεχτήκαμε ότι για $t \rightarrow T$ πρέπει $i_k \rightarrow -\frac{I_T}{2}$, πρέπει ο παρονομαστής της σχέσης (3.43)

να είναι θετικός, ήτοι $\frac{RT}{L_{\pi}} > 1$, ώστε η πρώτη

παράγωγος $\frac{di_k}{dt}$ να είναι θετική. Για θετική e_k η παράγωγος αυτή είναι αρνητική (καμπύλη 3 στο σχήμα 3.58) και γίνεται άπειρη για $\frac{RT}{L_{\pi}}=1$.

Εάν ο λόγος γίνει μικρότερος της μονάδας, τότε δεν είναι δυνατόν υπό την επίδραση της e_k θετικής ή αρνητικής να οδηγηθεί το ρεύμα ομαλά στην τιμή $-\frac{I_T}{2}$ για $t=T$. Αυτή τη στιγμή η τιμή του είναι διάφορη της τιμής $-\frac{I_T}{2}$ και γι' αυτό πρέπει αναγκαστικά να κάνει ένα άλμα για να πάει στην τιμή αυτή. Τούτο όμως σημαίνει ότι η πρώτη παράγωγος του ρεύματος και μαζί της η τάση αναστροφής $e_A = -L_{\pi} \frac{di_k}{dt}$ γίνεται άπειρη με αποτέλεσμα τη δημιουργία σπινθηρισμών.

Από αυτές τις διαπιστώσεις διαφαίνεται ότι η επιτάχυνση της αναστροφής, (σ' αυτή την περίπτωση λέμε ότι έχουμε υπεραναστροφή) είναι ευνοϊκή μέχρι ενός ορίου. Απ' εκεί και πέρα διατρέχουμε τον κίνδυνο να μην τελειώσει ομαλά η αναστροφή τη στιγμή που απομακρύνεται η ψήκτρα από τον τομέα και να έχουμε σπινθηρισμό. Όταν έχουμε επιβράδυνση της αναστροφής (λέμε ότι έχουμε υποαναστροφή) συμβαίνουν περίπου τα ίδια, δηλαδή η καμπύλη 3 στο σχήμα (3.58) ακόμα δεν μας ενοχλεί, ενώ για περαιτέρω επιβράδυνση διατρέχουμε τον κίνδυνο των σπινθηρισμών.

3.6.2 Δυνατότητες επηρεασμού της αναστροφής

Οι δυνατότητες επηρεασμού του φαινομένου της αναστροφής γίνονται αντιληπτές από την εξίσωση (3.39) των τάσεων του βραχυκυκλωμένου πηνίου. Η ωμική αναστροφή όπου το άθροισμα των τάσεων εξ επαγωγής είναι

μηδέν, δηλαδή $-L_{\pi} \frac{di_k}{dt} + e_k = 0$, προφανώς

επηρεάζεται από τις ωμικές αντιστάσεις του βραχυκυκλωμένου πηνίου. Εύκολα αποδεικνύεται ότι όσο μεγαλύτερη είναι η αντίσταση επαφής μιας ψήκτρας ως προς το άθροισμα των υπολοίπων αντιστάσεων, τόσο πιο γραμμική μεταβολή παρουσιάζει το ρεύμα i_k . Από τη σχέση (3.39) προκύπτει η ακόλουθη εξίσωση:

$$i_k(t) = \frac{I_T \frac{R_2 - R_1}{R} - T \left(\frac{1}{T-t} - \frac{1}{t} \right)}{2 \frac{R_1 + R_2 + R_{\pi}}{R} + T \left(\frac{1}{T-t} + \frac{1}{t} \right)} \quad (3.44)$$

Εάν υποθέσουμε $R_2=R_1=R^*$, η σχέση αυτή απλοποιείται και μετατρέπεται στην ακόλουθη μορφή:

$$i_k(t) = \frac{I_T}{2} \frac{1 - 2\frac{t}{T}}{1 + \frac{2R^* + R_{\Pi}}{R} \frac{t}{T} \left(1 - \frac{t}{T}\right)} \quad (3.45)$$

Διαπιστώνουμε ότι για $\frac{2R^* + R_{\Pi}}{R}$ τείνοντας στο μηδέν, η καμπύλη του ρεύματος τείνει να γίνει μια ευθεία. Για άλλες τιμές αυτού του κλάσματος παίρνουμε καμπύλες της μορφής 2 στο σχήμα (3.58).

Στο προηγούμενο κεφάλαιο έγινε η διερεύνηση των παραγόντων που επηρεάζουν την τάση $e_A = -L_{\pi} \frac{di_k}{dt}$. Είδαμε ότι η προϋπόθεση για να έχουμε αναστροφή απαλλαγμένη από σπινθηρισμούς είναι η σχέση $\frac{RT}{L_{\pi}} > 1$, οπότε η τάση αναστροφής παίρνει μια πεπερασμένη τιμή κατά τη χρονική στιγμή $t=T$. Τα μεγέθη T και R καθορίζονται εύκολα. Αντίθετα ο συντελεστής αυτεπαγωγιμότητας L_{π} υπολογίζεται πολύ δύσκολα. Πάντως μπορούμε να διατυπώσουμε κατ' αρχήν ορισμένες απόψεις για το L_{π} και να προχωρήσουμε στην παραπέρα διερεύνηση της e_A και στις επιπτώσεις της.

Σύμφωνα με τη σχέση (1.28) ισχύει $L_{\Pi} = w_{\Pi}^2 \Lambda_{\Pi}$, όπου Λ_{Π} είναι η μαγνητική αγωγιμότητα. Εάν ορίσουμε μια μέση τιμή λ ανά cm αξονικού μήκους για το πεδίο σκεδάσεως του βραχυκυκλωμένου πηνίου, τότε μπορούμε να γράψουμε:

$$\Lambda_{\Pi} = 2\mu_0\lambda l \quad (3.46)$$

Ο συντελεστής 2 υπεισέρχεται διότι πρέπει να περιληφθούν οι δύο πλευρές του πηνίου. Το μήκος των πλευρών που είναι μέσα στις αυλακώσεις και το μήκος των μετωπικών συνδέσεων εκφράζεται με l . Η γραμμική ταχύτητα του τυμπάνου υπολογίζεται από την ταχύτητα v_k του συλλέκτη σύμφωνα με τη σχέση $v_T = v_k \frac{D}{D_k}$, όπου D είναι η διάμετρος του δρομέα και D_k η διάμετρος του συλλέκτη. Οι δύο πλευρές του πηνίου περιστρέφονται με τη γραμμική ταχύτητα v_T . Το ρευματικό στρώμα του τυμπάνου δίνεται από τη σχέση $A = \frac{w_{\Pi} k I_T}{\pi D}$, όπου k είναι ο αριθμός των τομέων, $2w_{\Pi}k$ ο αριθμός των αγωγών συνολικά, $\frac{I_T}{2}$ το ρεύμα που διαρρέει κάθε αγωγό και πD η περίμετρος του τυμπάνου. Μετά από αυτά, για την απόλυτη τιμή της τάσης e_A προκύπτει:

$$e_A = L_{\Pi} \frac{di_k}{dt} = w_{\Pi}^2 2\mu_0\lambda l \frac{di_k}{dt} \quad (3.47)$$

Στη θέση της παραγώγου $\frac{di_k}{dt}$ μπορούμε να γράψουμε την μέση τιμή της μεταβολής του ρεύματος i_k . Επειδή στο χρόνο T το ρεύμα μεταβάλλεται από $+\frac{I_T}{2}$ σε $-\frac{I_T}{2}$, η μέση μεταβολή του ρεύματος είναι $\frac{I_T}{T}$, οπότε η e_A γίνεται:

$$\begin{aligned}
 e_A &= 2\mu_0 \lambda l w_{\Pi}^2 \cdot \frac{I_T}{T} = 2\mu_0 \lambda l w_{\Pi} w_{\Pi} I_T \frac{1}{\frac{b_B}{v_k}} = \\
 &= 2\mu_0 \lambda l w_{\Pi} w_{\Pi} I_T \frac{\frac{V_T D_k}{D}}{\frac{D_k \Pi}{k}} = 2\mu_0 \lambda l w_{\Pi} v_T \frac{w_{\Pi} I_T k}{\Pi D} \\
 e_A &= 2\mu_0 \lambda l w_{\Pi} A v_T
 \end{aligned}
 \tag{3.48}$$

Στην παραπάνω σχέση υποθέσαμε ότι το πλάτος μιας ψήκτρας είναι ίσο με το πλάτος ενός τομέα δηλαδή $b_k = \Gamma v_k = \pi \frac{D_k}{k}$. Έτσι καταλήγουμε στον τύπο για την τάση αναστροφής:

$$e_A = 2\zeta l w_{\pi} v_T A \quad (3.49)$$

Η έκφραση αυτή ονομάζεται τύπος του Pichelmayer όπου $\zeta = \mu_0 \lambda$. Οι τιμές του ζ υπολογίζονται ή διαπιστώνονται πειραματικά και κυμαίνονται μεταξύ 4 και 8. Για να πάρουμε την τάση e_A σε V χρησιμοποιούμε τον τύπο:

$$e_A \{V\} = 2\zeta l \{cm\} w_{\pi} v_T \left\{ \frac{cm}{sec} \right\} A \left\{ \frac{Ampere}{cm} \right\} \times 10^{-8} \quad (3.50)$$

Για να μην έχουμε αναστροφή με σπινθηρισμούς πρέπει η μέση τιμή της τάσης e_A να μην υπερβεί τα 10V ($e_A \leq 10V$).

Όπως δείχνει ο τύπος (3.49), η τάση e_A εξαρτάται από το ρευματικό στρώμα A που είναι ανάλογο του φορτίου, από την ταχύτητα v_T που εξαρτάται από τον εκάστοτε αριθμό στροφών και από κατασκευαστικές παραμέτρους της μηχανής. Για να μην υπερβούμε την κρίσιμη τιμή της e_A , πέρα της οποίας έχουμε σπινθηρισμό, πρέπει ούτε η ταχύτητα ούτε το ρεύμα τυμπάνου να υπερβούν ορισμένα όρια. Αυτό έχει ιδιαίτερη σημασία σε κινητήρες που υπόκεινται σε έλεγχο, όπως συμβαίνει στην βιομηχανική παραγωγή. Επίσης το όριο της e_A έχει ως συνέπεια μια οριακή τιμή της ισχύος που μπορεί να δώσει η μηχανή συνεχούς ρεύματος. Εάν συσχετίσουμε τη σχέση (3.50) με την εξίσωση Esson (3.32), θα καταλήξουμε σε μια σχέση, που είναι παρόμοια με τη σχέση (3.34).

$$P = e_A \frac{\pi D}{2000} \alpha_{\pi} B_{\pi} \frac{1}{\zeta} \text{ σε kW} \quad (3.51)$$

Εφόσον λοιπόν η τάση e_A είναι περιορισμένη, η ισχύς της μηχανής δεν μπορεί να υπερβεί μια μέγιστη τιμή για ορισμένη μαγνητική επαγωγή των κυρίων πόλων. Η σωστή λειτουργία της μηχανής προϋποθέτει την ικανοποίηση και των δύο εξισώσεων (3.34) και (3.51).

Όπως είδαμε η αναστροφή του ρεύματος επηρεάζεται και από τη τάση e_k , η οποία παράγεται λόγω της κίνησης των πλευρών του πηνίου μέσα σε ένα μαγνητικό πεδίο κατά τη στιγμή της αναστροφής. Το πεδίο αυτό είναι η συνισταμένη του πεδίου των πόλων και του τυμπάνου. Όπως είδαμε η συνισταμένη αυτή επηρεάζεται από το πεδίο των βοηθητικών πόλων.

Γίνεται δε λόγος για τους βοηθητικούς πόλους μόνον, διότι η αναστροφή συμβαίνει όταν το πηνίο βρίσκεται στην περιοχή όπου η επιφάνειά του τέμνει κάθετα το μαγνητικό πεδίο των πόλων. Η τάση e_k επηρεάζει το ρεύμα i_k κατά τον ίδιο τρόπο όπως και η E_A εάν δεν υπάρχουν βοηθητικοί πόλοι, τότε το πεδίο του τυμπάνου ενεργεί ακριβώς όπως και το πεδίο σκέδασης. Εάν η e_k αναιρεί εν μέρει την e_A , τότε έχουμε επιτάχυνση της αναστροφής.

Εάν την αναιρεί συνολικά, τότε έχουμε ωμική αναστροφή. Εάν δε αναιρεί την e_A και περισσεύει ένα μέρος, τότε έχουμε μεγαλύτερη επιτάχυνση. Αυτό επιτυγχάνεται στη γεννήτρια στρέφοντας τις ψήκτρες κατά τη φορά περιστροφής, στον δε κινητήρα κατ' αντίθετη φορά, ώστε να μπούμε σε ένα πεδίο αρκετό να παράγει την κατάλληλη τάση e_k .

Μια καλή αναστροφή προϋποθέτει ελαφρή επιτάχυνση, ώστε να παίρνουμε την καμπύλη 4 στο σχήμα (3.58). Αυτή δεν επιτυγχάνεται εύκολα με την μετακίνηση των ψηκτρών, σε μηχανές δε με ρυθμιζόμενη φόρτιση δεν έχει κανένα νόημα η μετακίνηση. Η λύση εδόθη με τους βοηθητικούς πόλους οι οποίοι διεγυριόμενοι κατάλληλα δημιουργούν ένα πεδίο με διπλή αποστολή. Αφ' ενός να εξουδετερωθεί το πεδίο του τυμπάνου, αυτό θα σήμαινε ωμική αναστροφή, αφ' ετέρου να δημιουργηθεί ένα επί πλέον πεδίο, ώστε να έχουμε μια e_k για την επιτάχυνση της αναστροφής.

Το θέμα τώρα είναι, πόσο μεγάλο πρέπει να επιλεγεί το μαγνητικό πεδίο B_β των βοηθητικών πόλων, το οποίο στη συνέχεια θα προσδιορίσει τις διαστάσεις του βοηθητικού τυλίγματος. Εάν B_β είναι η μέση τιμή της κάθετης συνιστώσας της μαγνητικής επαγωγής των βοηθητικών πόλων, τότε στο βραχυκυκλωμένο πηνίο που κινείται εντός αυτού παίρνουμε την τάση:

$$e_\beta = 2B_\beta v_T l w_\Pi \quad (3.52)$$

Εάν η e_β πρέπει να αναιρεί την e_A , τότε από την σχέση $e_\beta = e_A$ και από τις σχέσεις (3.49) και (3.52) προκύπτει:

$$B_\beta = \zeta A \quad (3.53)$$

Η σχέση αυτή δηλώνει, ότι το B_β εξαρτάται από το ρεύμα του τυμπάνου, επομένως το τύλιγμα των βοηθητικών πόλων πρέπει αν συνδεθεί σε σειρά με το τύλιγμα του τυμπάνου. Η συνδεσμολογία πρέπει να είναι έτσι, ώστε η δημιουργούμενη πολικότητα των βοηθητικών πόλων να είναι η ακόλουθη: Όταν πρόκειται για γεννήτρια, μετά από ένα κύριο πόλο, ακολουθεί ένας βοηθητικός της αντίθετης πολικότητας, όταν ακολουθούμε την φορά περιστροφής. Αντίθετα στον κινητήρα μετά από ένα κύριο πόλο ακολουθεί ένας βοηθητικός πόλος της ίδιας πολικότητας, εάν ακολουθούμε την φορά περιστροφής.

Το πλάτος του πέλματος των βοηθητικών πόλων πρέπει να είναι τόσο, ώστε κατά τον χρόνο που οι δύο πλευρές ενός πηνίου βραχυκυκλώνονται από μία ψήκτρα, οι πλευρές αυτού του πηνίου να κινούνται κάτω από τους βοηθητικούς πόλους. Αυτό το πλάτος b_β υπολογίζεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$\left. \begin{aligned}
 b_\beta &= b_\beta \frac{D_T}{D_K} + t_{nT} \left(1 + \delta - \frac{\alpha}{u_p} \right) \\
 \delta &= \left| \frac{N}{2p} - \frac{Y1}{u} \right|
 \end{aligned} \right\} \quad (3.54)$$

Στη σχέση αυτή τα διάφορα σύμβολα έχουν την ακόλουθη σημασία:

b_β = πλάτος ψηκτρών

D_T = διάμετρος δρομέα

D_k = διάμετρος συλλέκτη

α = μισός αριθμός παραλλήλων κλάδων

u = αριθμός πλευρών πηνίων τοποθετημένων παραπλεύρως σε μία αυλάκωση

N = αριθμός αυλακώσεων

y_1 = πρώτο πολικό βήμα

p = αριθμός ζευγών πόλων

τ_{nT} = απόσταση αυλακώσεων

Το πεδίο που πρέπει να δημιουργηθεί κάτω από το πέλημα των βοηθητικών πόλων πρέπει να είναι τουλάχιστον ίσο με το B_β που ορίζει η σχέση (3.53). Για να έχουμε καλή αναστροφή επιλέγουμε το πεδίο λίγο μεγαλύτερο, ώστε να υπερτερεί η τάση e_k έναντι της e_A για να έχουμε ελαφρά επιτάχυνση της μεταβολής (μείωσης) του \dot{i}_k .

Αυτό το πεδίο πρέπει να δημιουργηθεί από ένα διάρρευμα, το οποίο υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$V_{\beta} = \Theta_{\beta} + \Theta_k - \Theta_T \quad (3.55)$$

V_{β} είναι η μαγνητική τάση που υπολογίζουμε κατά μήκος της τροχιάς του μαγνητικού πεδίου που προέρχεται από το βοηθητικό τύλιγμα, όπως φαίνεται στο σχήμα (3.53). $\Theta_{\beta} = 2w_{\beta}i_T$ είναι το άθροισμα των διαρρευμάτων δύο βοηθητικών πόλων, εάν το τύλιγμα κάθε πόλου έχει w_{β} σπείρες. Θ_T είναι το διάρρευμα του τυμπάνου που περικλείει η εν λόγω μαγνητική τροχιά και Θ_k το διάρρευμα του τυλίγματος αντιστάθμισης. Εάν γνωρίζουμε την V_{β} , μπορούμε να υπολογίζουμε το Θ_{β} και συνεπώς τον αριθμό των σπειρών w_{β} , διότι για μια ορισμένη φόρτιση είναι γνωστά τα Θ_T και Θ_k . Περισσότερα γύρω από τον υπολογισμό του μαγνητικού κυκλώματος των βοηθητικών πόλων βρίσκουμε στη βιβλιογραφία.

3.6.3 Σπινθηρισμοί μηχανών Σ.Ρ.

Οι σπινθηρισμοί είναι δυνατόν να προκληθούν μεταξύ μιας ψήκτρας και του συλλέκτη και να διατηρηθούν εκεί ή να διαδοθούν γύρω από ολόκληρο το συλλέκτη σαν ένα φωτοστέφανο. Τα αίτια για τη δημιουργία των σπινθηρισμών είναι μηχανικής και ηλεκτρικής φύσεως.

Οι ψήκτρες σπινθηρίζουν κυρίως στη γωνία που απομακρύνεται από τον τομέα του συλλέκτη, ο οποίος πέρασε κάτω από μια ψήκτρα.

Εάν σχηματίζονται μικρές κυκλικές φλόγες χρώματος ανοιχτού μπλε ή ελαφρού κόκκινου, τότε ο συλλέκτης δεν διατρέχει κίνδυνο. Εάν το χρώμα είναι κίτρινο και οι φλόγες πιο ισχυρές, τότε ο συλλέκτης μαυρίζει και με τον καιρό υφίσταται βλάβες.

Εάν σχηματίζονται σπινθηρισμοί, οι οποίοι να ξεκινούν από την επιφάνεια του συλλέκτη και να διαδίδονται ακτινικά, τότε ο συλλέκτης θα υποστεί βλάβη σε σύντομο χρονικό διάστημα.

Εάν οι φωτεινές ακτίνες έχουν μια κίτρινη απόχρωση, τότε ο σπινθηρισμός προ-έρχεται από ηλεκτρική αιτία.

Εάν η απόχρωση είναι πρασινωπή, τότε πρόκειται για μηχανική αιτία. Το πρασινωπό χρώμα είναι ένδειξη ότι έχουμε καμένο χαλκό.

Οι μηχανικές αιτίες για τη δημιουργία σπινθηρισμών είναι μηχανικές ταλαντώσεις των ψήκτρων, οι οποίες οφείλονται στις ίδιες τις ψήκτρες ή στον ψηκτροφορέα ή στο συλλέκτη ή ακόμα και σε ξένες ταλαντώσεις. Οι σπουδαιότερες αιτίες για τη δημιουργία μηχανικών ταλαντώσεων είναι:

Το κέντρο βάρους του συλλέκτη δεν βρίσκεται στο κέντρο του άξονα, οι τομείς δεν εφάπτονται όλοι της ίδιας νοητής επιφάνειας παρά άλλοι βρίσκονται λίγο πιο έξω και άλλοι λίγο πιο μέσα, ο συλλέκτης έχει υποστεί φθορές και δεν είναι εντελώς λείος ή δεν είναι εντελώς κυκλικός. Οι ψήκτρες δεν εφάπτονται κανονικά, δηλαδή πηγαινοέρχονται ή εφάπτονται εν μέρει, η πίεση του ελατηρίου δεν είναι η κανονική δηλαδή μικρότερη ή μεγαλύτερη απ' ό,τι χρειάζεται. Τούτο μπορεί να οφείλεται σε άσχημο ελατήριο ή άσχημο ψηκτροφορέα ή να έχουν φθαρεί οι ψήκτρες λόγω τριβής και μακροχρονίου χρήσεως.

Αιτίες ηλεκτρικής φύσεως για τη δημιουργία σπινθηρισμών αποτελούν τα εσωτερικά ρεύματα και η κακή αναστροφή του ρεύματος του τυμπάνου. Εάν το ρεύμα σε ένα βραχυκυκλωμένο από μια ψήκτρα και ένα τομέα πηνίο δεν αναστραφεί ομαλά μετά από χρόνο , τότε έχουμε σπινθηρισμό στην πλευρά της ψήκτρας που εγκαταλείπει τον τομέα που συμμετείχε στο βραχυκύκλωμα. Τα σχετικά ζητήματα γύρω από το θέμα αυτό αναπτύχθηκαν διεξοδικά στο προηγούμενο κεφάλαιο.

3.7 Συνδεσμολογίες και μόνιμη λειτουργία μηχανών Σ.Ρ.

Για τη λειτουργία των μηχανών συνεχούς ρεύματος χρησιμοποιούμε χαρακτηριστικές καμπύλες, οι οποίες εκφράζουν τη σχέση μεταξύ βασικών λειτουργικών μεγεθών. Έτσι για τις γεννήτριες έχουμε χαρακτηριστικές καμπύλες τάσεως-ρεύματος και για τους κινητήρες τις καμπύλες ταχύτητας - ροπής.

3.7.1 Γεννήτριες συνεχούς ρεύματος

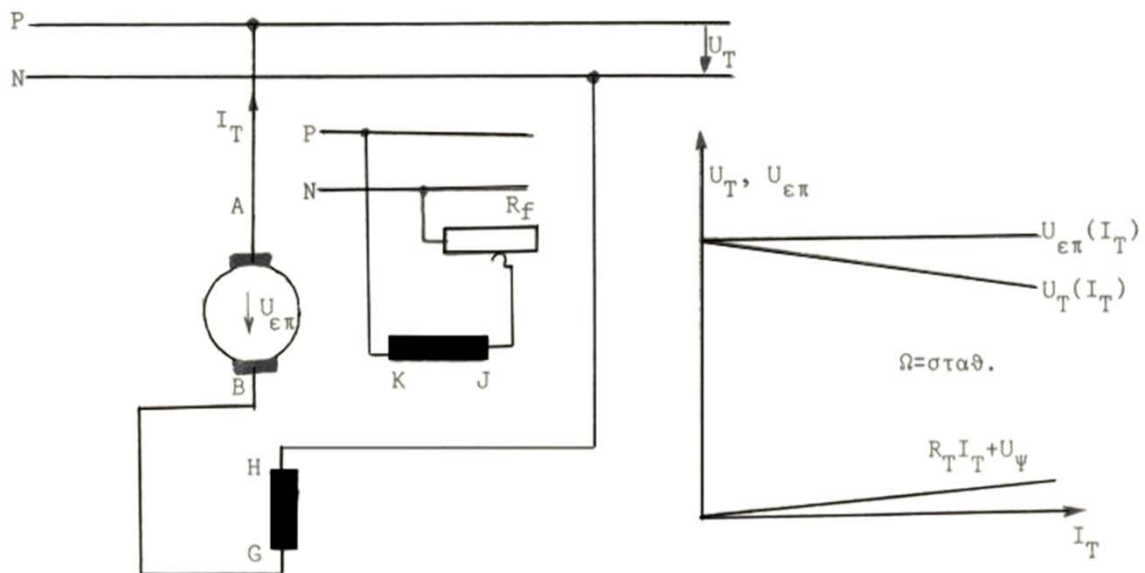
Η σπουδαιότερη χαρακτηριστική καμπύλη από την οποία μπορούν να διαπιστωθούν οι ιδιότητες της λειτουργίας μιάς γεννήτριας είναι η καμπύλη που παριστάνει τη σχέση της τάσης U_T ως προς το ρεύμα I_T στους ακροδέκτες, η οποία ονομάζεται και εξωτερική χαρακτηριστική $U_T(I_T)$. Η καμπύλη η οποία παριστάνει τη συνάρτηση της τάσης εξ επαγωγής και του ρεύματος φορτίου I_T λέγεται εσωτερική χαρακτηριστική $U_{επ}(I_T)$. Η εσωτερική χαρακτηριστική δεν μπορεί να προσδιοριστεί με μετρήσεις αντίθετα προς την εξωτερική. Μπορούμε όμως να τη σχεδιάσουμε χρησιμοποιώντας την εξίσωση:

$$U_{επ} = R_T I_T + U_{\Psi} + U_T \quad (3.56)$$

Όπου U_{Ψ} είναι η τάση στις ψήκτρες ένεκα της αντίστασης επαφής και R_T η αντίσταση του τυλίγματος του τυμπάνου. Η τάση U_{Ψ} είναι μικρή και συνήθως παραλείπεται.

3.7.1.1 Γεννήτρια ξένης διέγερσης

Στο σχήμα (3.59) βλέπουμε τη συνδεσμολογία της γεννήτριας ξένης διέγερσης. Το τύλιγμα διεγέρσεως **KJ** τροφοδοτείται από ένα ξένο δίκτυο με τη βοήθεια της ρυθμιζόμενης αντίστασης R_F . Η αντίσταση του τυλίγματος διέγερσης είναι πολύ μεγαλύτερη σε σύγκριση με την αντίσταση R_T του τυμπάνου εκ κατασκευής. Με το πηνίο **HG** συμβολίζουμε το τύλιγμα αντιστάθμισης, προφανώς όταν αυτό υπάρχει.

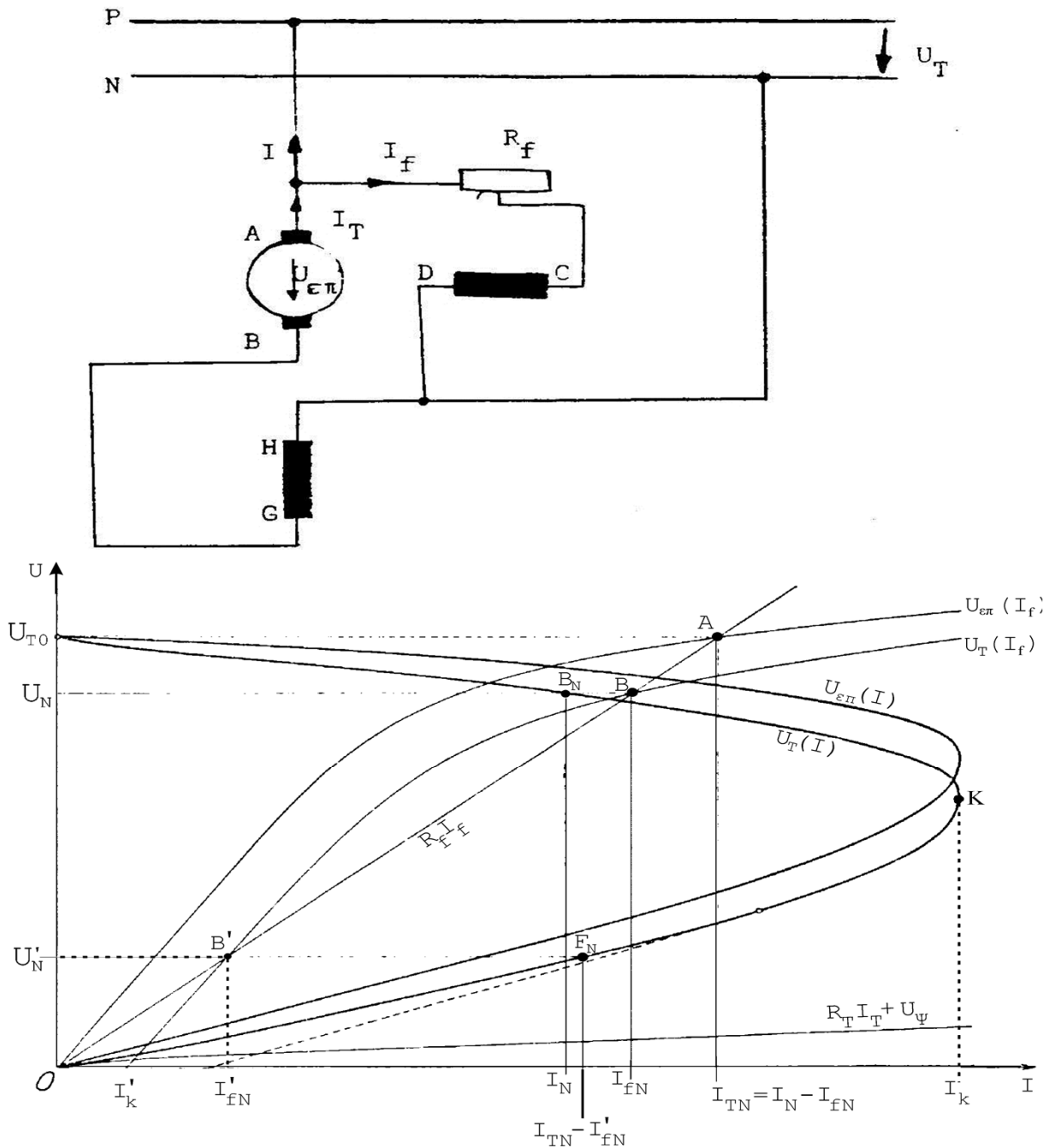


Σχήμα 3.59. Συνδεσμολογία γεννήτριας ξένης διέγερσης και χαρακτηριστικές καμπύλες.

Επίσης στο ίδιο σχήμα απεικονίζονται οι χαρακτηριστικές καμπύλες. Η $U_{\varepsilon\pi}(I_T)$ παριστάνει την εσωτερική τάση λαμβάνοντας υπ' όψη και την αντίδραση του τυμπάνου.

Η μηχανή αυτή χαρακτηρίζεται από μεγάλη σταθερότητα τάσης, επειδή η διέγερση μπορεί να διατηρηθεί εντελώς σταθερή με την βοήθεια του ξένου δικτύου και της R_f . Εάν βραχυκυκλωθούν οι ακροδέκτες, το ρεύμα τυμπάνου αποκτά πολύ μεγάλη τιμή, επειδή η εσωτερική τάση $U_{\varepsilon\pi} = C\Phi\Omega$ παραμένει μεγάλη και η αντίσταση του τυμπάνου εκ κατασκευής είναι πολύ μικρή. Η τάση μπορεί να ρυθμιστεί σε μια ευρεία περιοχή μεταβάλλοντας το ρεύμα διέγερσης με τη βοήθεια της μεταβλητής αντίστασης R_f . Η μηχανή αυτή είναι ιδιαίτερα κατάλληλη για τη λειτουργία σε δίκτυο σταθερής τάσης. Βέβαια σήμερα δεν χρησιμοποιείται σχεδόν ποτέ μηχανή Σ.Ρ. κανενός τύπου ως γεννήτρια, εκτός από πολύ ειδικές περιπτώσεις.

3.7.1.2 Γεννήτρια παραλλήλου διεγέρσεως



Σχήμα 3.60. Συνδεσμολογία και χαρακτηριστικές καμπύλες γεννήτριας παραλλήλου διεγέρσεως [2].

Στο σχήμα (3.60) απεικονίζεται η συνδεσμολογία και οι χαρακτηριστικές καμπύλες μιας γεννήτριας παραλλήλου διεγέρσεως. Εδώ το ρεύμα διεγέρσεως παρέχεται από τη ίδια την γεννήτρια, καθ' όσον το τύλιγμα διεγέρσεως συνδέεται παράλληλα προς την τάση των ακροδεκτών του τυμπάνου U_T . Τούτο έχει ως επακόλουθο, το ρεύμα διέγερσης και συνεπώς η μαγνητική ροή των πόλων να εξαρτάται άμεσα από την τάση U_T . Για τα ρεύματα ισχύει η σχέση:

$$I_T = I + I_F \quad (3.57)$$

Για τις τάσεις έχουμε την εξίσωση:

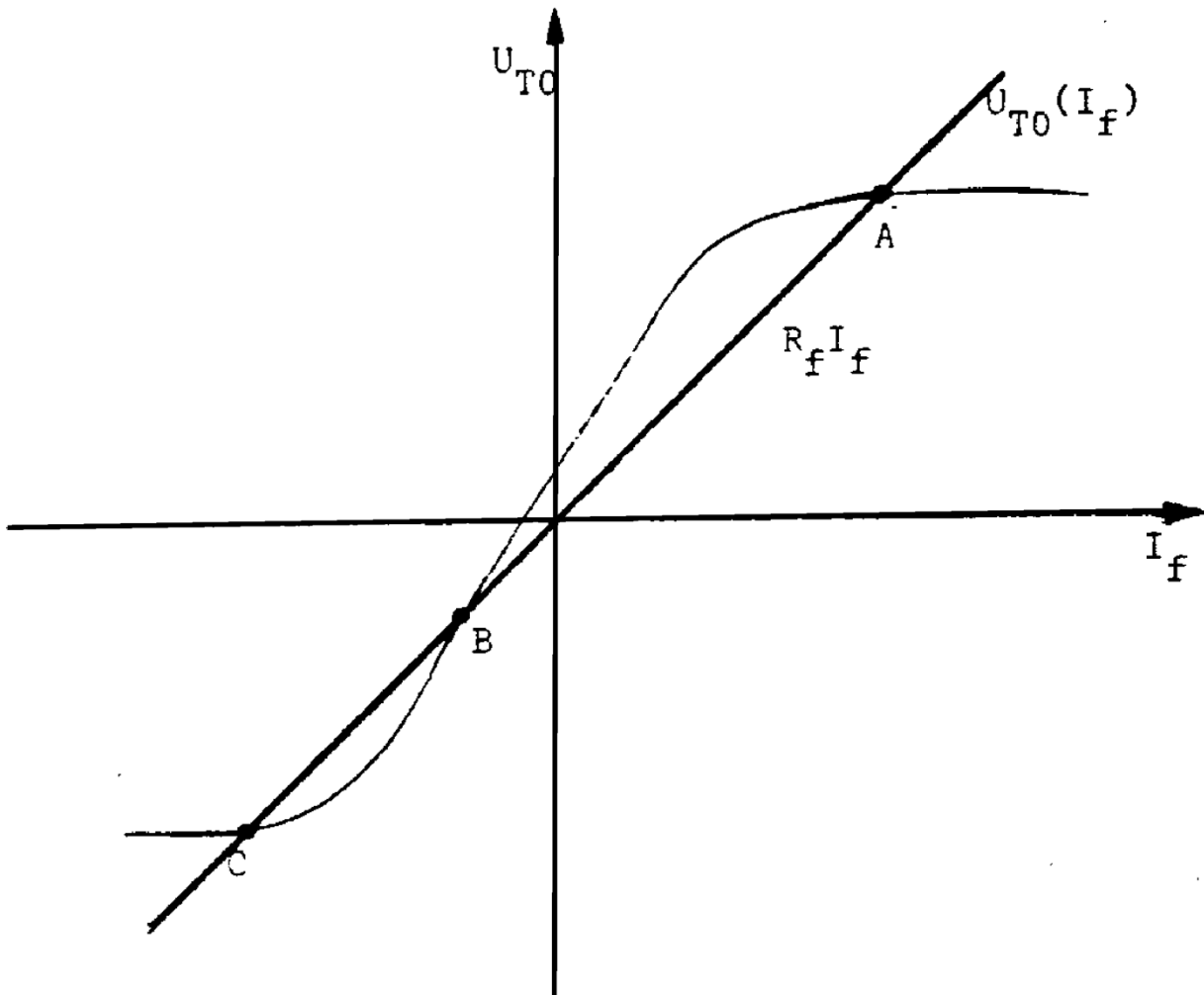
$$U_{\varepsilon\Pi} = U_T + R_T I_T + U_{\Psi} \quad (3.58)$$

Για να μελετήσουμε τη συμπεριφορά της μηχανής αυτής πρέπει πρώτα να εξετάσουμε τις ιδιότητες που σχετίζονται με τη διέγερση. Η μαγνητική ροή αναπτύσσεται σύμφωνα με την δυναμοηλεκτρική αρχή του Werner Von Siemens. Οι πόλοι, όταν ακόμα το ρεύμα διεγέρσεως είναι μηδέν, έχουν κάποιο παραμένοντα μαγνητισμό. Όταν περιστρέψουμε το τύμπανο μέσω μιας κινητήριας μηχανής, η παραμένουσα ροή δημιουργεί στο κύκλωμα τύμπανο - τύλιγμα διέγερσης ένα ρεύμα λόγω της τάσης εξ επαγωγής στο τύμπανο. Το ρεύμα αυτό δημιουργεί στη συνέχεια ένα μαγνητικό πεδίο, το οποίο ενισχύει την παραμένουσα ροή (ή και την αναιρεί ανάλογα με τη συνδεσμολογία). Έτσι το μαγνητικό πεδίο των πόλων δηλαδή η μαγνητική ροή αυξάνεται και κατά συνέπεια αυξάνεται και η τάση εξ επαγωγής στο τύμπανο.

Ένεκα της καμπύλης διεγέρσεως θα επέλθει μια στατική κατάσταση όταν φτάσουμε στον κόρο όπου η καμπύλη $R_f I_f$ τέμνει την καμπύλη $U_T(I_F)$, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.61. Για το κύκλωμα τύμπανο-κλάδος διεγέρσεως μπορούμε να γράψουμε, όταν δεν υπάρχει εξωτερικό φορτίο, τις ακόλουθες σχέσεις:

$$\left. \begin{aligned} (R_T + R_f) I_F + U_\Psi &= U_{\varepsilon\Pi} (I_F) \\ R_f I_F &= U_{\varepsilon\Pi} (-I_F) - (R_T I_F + U_\Psi) = U_{T0} (I_F) \end{aligned} \right\} \quad (3.59)$$

Η τάση $U_{T0}(I_F)$ μπορεί να μετρηθεί στους ακροδέκτες, η δε συνάρτηση αυτή φαίνεται στο σχήμα (3.61).

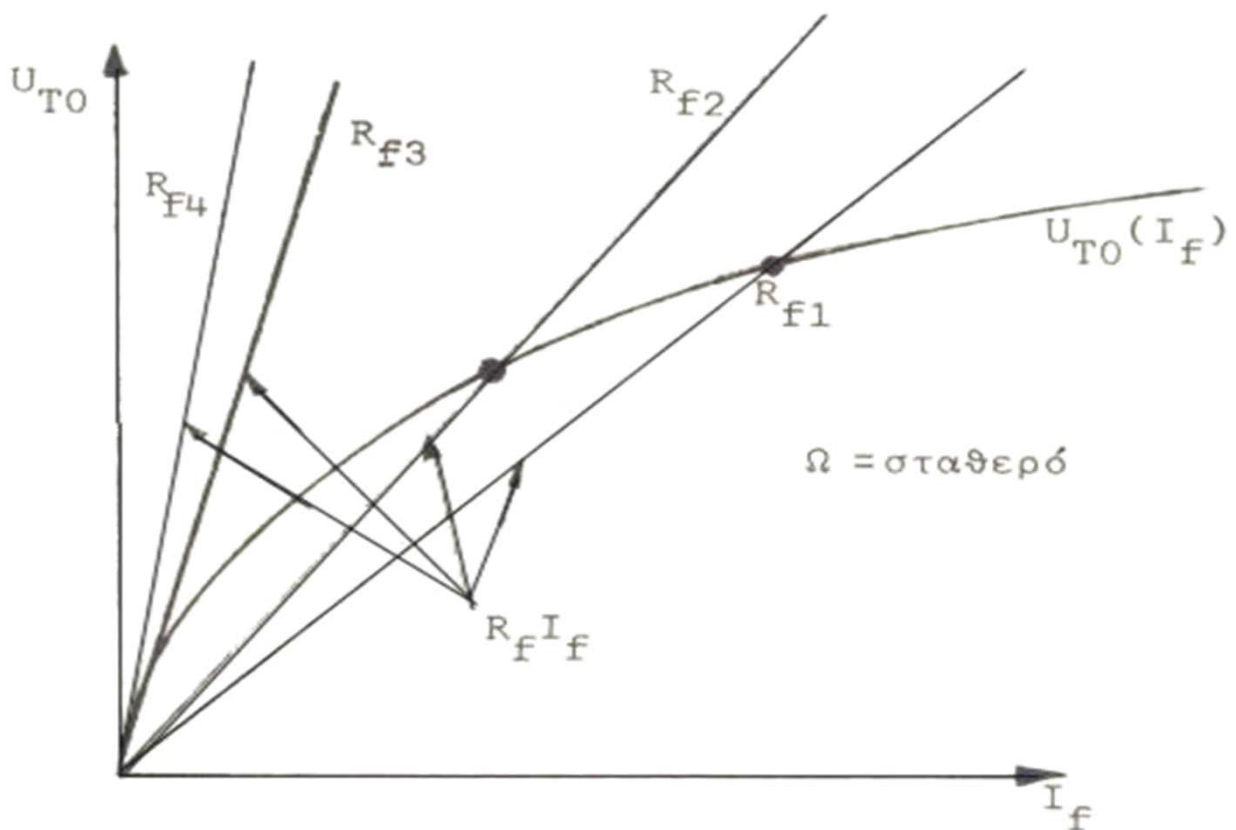


Σχήμα 3.61. Τομή τάσης εν κενώ $U_{TO}(iF)$ και καμπύλης φορτίου $R_f I_f$ σε μια γεννήτρια παραλλήλου διεγέρσεως.

Τα σημεία A , B και C , τα οποία προκύπτουν από την τομή της ευθυγράμμου καμπύλης $R_F I_F$ ($R_F =$ ολική αντίσταση τον παράλληλο κλάδο διέγερσης) με την καμπύλη τάσεως $U_{T0}(I_F)$ εν κενώ, παριστάνουν τα σημεία της σταθερής λειτουργίας, όταν η γεννήτρια λειτουργεί χωρίς φορτίο. Από πρακτικής απόψεως ενδιαφέρον παρουσιάζει το δεξιό μέρος της καμπύλης, δηλαδή για θετικές τιμές του ρεύματος I_F .

Συνήθως παραλείπουμε τον παραμένοντα μαγνητισμό και εξετάζουμε τις καμπύλες του σχήματος (3.62) προκειμένου να μελετήσουμε τα προβλήματα που σχετίζονται με τη διέγερση. Όταν η αντίσταση του κλάδου διεγέρσεως μεγαλώνει, η κλίση της καμπύλης $R_F I_F$ μεγαλώνει. Είναι δυνατόν αυτή η ευθεία γραμμή να τέμνει τη χαρακτηριστική $U_{T0}(I_F)$, οπότε έχουμε ένα σημείο σταθερής λειτουργίας. Η κατάσταση αυτή αντιστοιχεί στις τιμές R_{F1} και R_{F2} . Για μια τιμή R_{F3} η ευθεία γραμμή εφάπτεται της κυρτής χαρακτηριστικής καμπύλης και η λειτουργία βρίσκεται στο όριο ευστάθειας.

Για μεγαλύτερες τιμές του R_F πχ $R_F = R_{F4}$ η διέγερση της γεννήτριας είναι αδύνατη. Επομένως όσο πιο κυρτή είναι η $U_{T0}(I_F)$ στο κάτω μέρος της, τόσο πιο ασφαλής είναι η διέγερση. Αυτό είναι σημαντικό για τις μηχανές παραλλήλου διεγέρσεως, διότι ελαττώνοντας λίγο την ταχύτητα περιστροφής του τυμπάνου μετατοπίζεται η καμπύλη $U_{T0}(I_F)$ προς τα κάτω ή αυξάνοντας την αντίσταση R_F μετατοπίζεται η καμπύλη $R_F I_F$ προς την κατακόρυφη κατεύθυνση. Και στις δύο περιπτώσεις κινδυνεύουμε να χάσουμε το σημείο της τομής των δύο καμπυλών.



Σχήμα 3.62. Χαρακτηριστική καμπύλη εν κενώ και καμπύλη κλάδου διέγερσης.

Την εξωτερική καμπύλη ή καμπύλη φορτίου $U_T(I)$ του σχήματος (3.60) αποκτούμε κατά τον ακόλουθο τρόπο: Στο σχήμα 3.60 υπάρχουν οι χαρακτηριστικές καμπύλες διέγερσης $U_{\varepsilon\pi}(I_F)$ και $U_T(I_F)$ για σταθερό ρεύμα τυμπάνου ($I_T = \text{σταθερό}$). Η καμπύλη $U_T(I_F)$ είναι μετατοπισμένη προς τα κάτω ένεκα της πτώσης τάσης $U\Psi + R_T I_T$ και της αντίδρασης του τυμπάνου.

Επίσης έχει σχεδιαστεί και η καμπύλη του κλάδου διεγέρσεως $R_F I_F$ για $I_{TN} = \text{σταθερό}$, η οποία τέμνει τις άλλες στα σημεία A , B και B' . Στα σημεία B και B' αντιστοιχούν οι τάσεις U_N , U'_N και τα ρεύματα I_{FN} , I'_{FN} . Ο δείκτης N δηλώνει ότι για I_{FN} έχουμε στους ακροδέκτες την ονομαστική τάση U_N και η μηχανή φορτίζεται με ονομαστικό ρεύμα. Βρίσκουμε επί του οριζοντίου άξονα το ρεύμα και κάθετα ορίζουμε το σημείο B_N , έτσι ώστε η ευθεία $B_N I_N$ να αντιστοιχεί στην τάση U_N . Στον άξονα του ρεύματος βρίσκουμε το ρεύμα $I_{TN} = I_N + I_{FN}$. Εάν από το I_{TN} αφαιρέσουμε το I'_{FN} και λάβουμε υπ' όψη μας την τιμή U'_N για το σημείο B' , τότε βρίσκουμε το σημείο B'_N . Τα σημεία B_N και B'_N είναι σημεία της καμπύλης $U_T(I)$ για $I_T = I_{TN}$. Εάν ακολουθήσουμε την παραπάνω διαδικασία για πολλές τιμές του I , τότε θα λάβουμε την καμπύλη $U_T(I)$ η οποία εκφράζει τη σχέση της τάσης U_T ως προς το ρεύμα I .

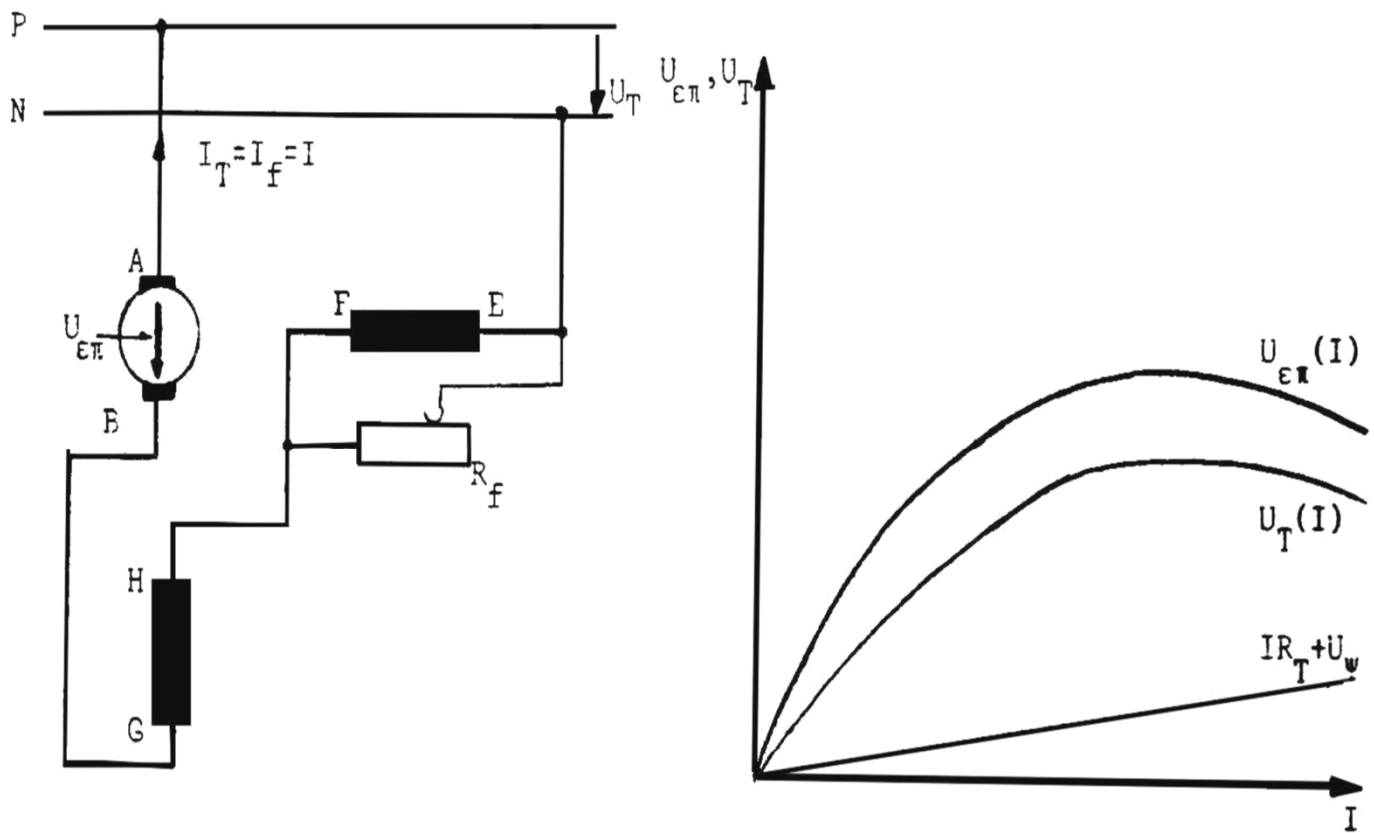
Εάν στην $U_T(I)$ προσθέσουμε την τάση $U_\Psi + R_T I_T$, θα προκύψει η καμπύλη $U_{\varepsilon\pi}(I)$. Είναι σαφές ότι αυξανόμενου του I αυξάνεται η πτώση τάσης στο τύμπανο, καθώς και η αντίδραση του τυμπάνου με αποτέλεσμα να μειώνεται η $U_{\varepsilon\pi}(I)$ και μαζί της η $U_T(I)$. Το σημείο K σημαίνει ότι τα σημεία B και B' συμπίπτουν. Αυτό συμβαίνει όταν η $R_F I_F$ εφάπτεται της $U_T(I_F)$. Για ρεύματα μεγαλύτερα του I_k και για μια συγκεκριμένη αντίσταση R_F δεν είναι δυνατή η διέγερση.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει το επάνω μέρος της καμπύλης $U_T(I)$. Αντίθετα προς τη μηχανή ξένης διέγερσης, στο βραχυκύκλωμα των ακροδεκτών το ρεύμα είναι μηδέν, διότι δεν υπάρχει διέγερση και συνεπώς δεν έχουμε τάση εξ επαγωγής. Εν τούτοις ένεκα του πάντοτε υπάρχοντος παραμένουστος μαγνητισμού ρέει ένα ρεύμα I_k κατά το βραχυκύκλωμα, η δε καμπύλη $U_T(I)$ ακολουθεί την εστιγμένη πορεία.

3.7.1.3 Γεννήτρια με διέγερση σε σειρά

Εάν συνδέσουμε το τύλιγμα διέγερσης και το τύλιγμα του τυμπάνου σε σειρά, θα προκύψει, όπως λέγεται, η μηχανή με διέγερση σε σειρά. Επειδή το ρεύμα του φορτίου είναι μεγάλο, το τύλιγμα διέγερσης φέρει λιγότερες σπείρες σε σύγκριση προς τις προηγούμενες μηχανές, πρέπει όμως ο αγωγός να έχει μεγαλύτερη διατομή. Στο σχήμα (3.63) απεικονίζεται η συνδεσμολογία και οι χαρακτηριστικές καμπύλες, οι οποίες δείχνουν την εξάρτηση της εσωτερικής ($U_{\text{επ}}(I)$) και εξωτερικής τάσης ($U(I)$) από το ρεύμα I .

Μετά από ορισμένο ρεύμα η τάση αρχίζει να μειώνεται, διότι η πτώση τάσης $U_{\Psi} + R_T I_T$ μεγαλώνει ανάλογα προς το ρεύμα, ενώ ο κόρος εμποδίζει την περαιτέρω αύξηση της εσωτερικής τάσης $U_{\text{επ}}(I_T)$. Η γεννήτρια αυτή παρέχει μεγάλο ρεύμα κατά το βραχυκύκλωμα των πόλων της.

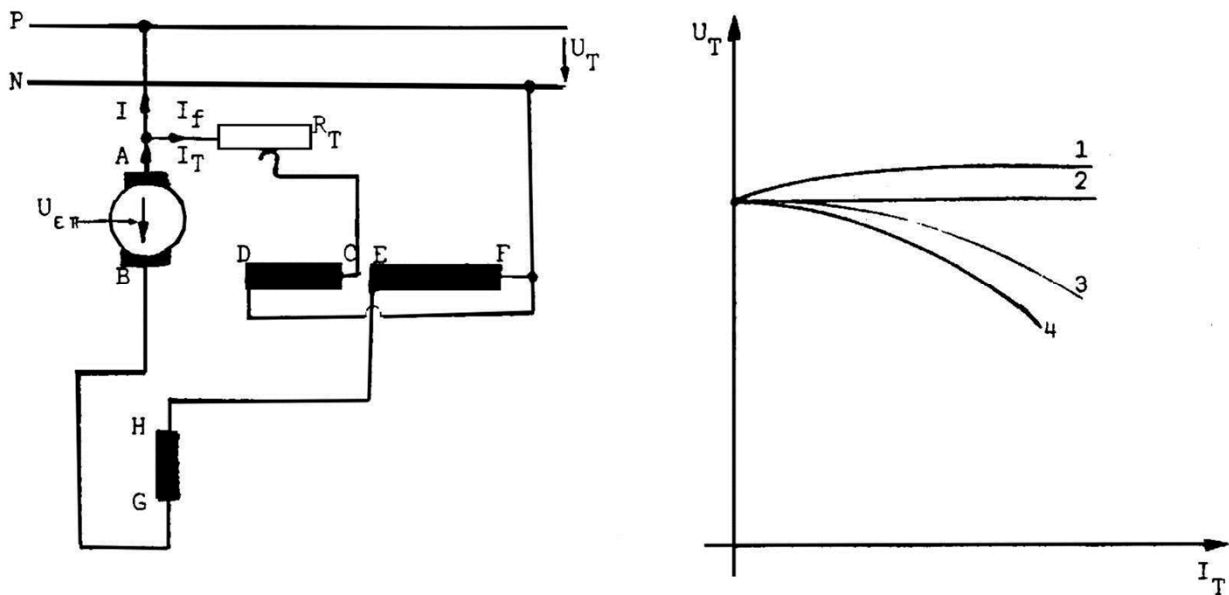


Σχήμα 3.63. Συνδεσμολογία και χαρακτηριστικές καμπύλες γεννήτριας με διέγερση σε σειρά.

Με την αντίσταση R_f παράλληλα προς το τύλιγμα διέγερσης μπορεί να ρυθμιστεί η τάση της γεννήτριας. Η μηχανή αυτή ως γεννήτρια δεν εφαρμόζεται στην ίδια έκταση όπως οι άλλες μηχανές Σ.Ρ.

3.7.1.4 Γεννήτρια διπλής διέγερσης

Μια μηχανή με παράλληλη διέγερση και διέγερση σε σειρά, δηλαδή με δύο τυλίγματα διεγέρσεως, λέγεται μηχανή διπλής ή σύνθετης διέγερσης. Στο σχήμα (3.64) απεικονίζεται η συνδεσμολογία και οι καμπύλες φορτίου $U_T(I_T)$ της μηχανής αυτής.



Σχήμα 3.64. Συνδεσμολογία και χαρακτηριστικές καμπύλες γεννήτριας διπλής διέγερσης.

Ανάλογα προς την σύνδεση του τυλίγματος διέγερσης σε σειρά, μπορεί η ροή αυτού να ενισχύει ή να εξασθενεί την ροή του παράλληλου τυλίγματος. Στην πρώτη περίπτωση η τάση U_T στους ακροδέκτες ελαττώνεται λιγότερο σε σύγκριση προς την μηχανή παράλληλης διέγερσης ή παραμένει σταθερή ή και μεγαλώνει, όταν μεγαλώνει το ρεύμα I_T . Στην δεύτερη περίπτωση έχουμε μεγαλύτερη πτώση τάσης U_T συγκριτικά προς εκείνη της μηχανής με παράλληλη διέγερση.

Πρακτική σημασία έχει η περίπτωση κατά την οποία τα δύο τυλίγματα διεγέρσεως είναι έτσι συνδεδεμένα, ώστε η ολική διέγερση να εμφανίζεται ενισχυμένη. Ο τύπος αυτός της μηχανής χρησιμοποιείται, όταν πρέπει να διατηρηθεί σταθερή η τάση του δικτύου, διότι η αύξηση της τάσης U_T μπορεί να καλύπτει την πτώση τάσης στο δίκτυο συνεχούς ρεύματος.

Η καμπύλη 1 δείχνει ότι όταν μεγαλώνει το ρεύμα I_T μεγαλώνει ελαφρά η τάση U_T στους ακροδέκτες. Εάν ελαττώσουμε τον αριθμό των σπειρών του τυλίγματος σειράς θα πάρουμε την καμπύλη 2, η οποία αντιστοιχεί σε σταθερή τάση. Εάν μηδενίσουμε την διέγερση αυτή, θα πάρουμε την καμπύλη 3 η οποία είναι ταυτόσημη με την καμπύλη μιας γεννήτριας με παράλληλη διέγερση. Εάν αντιστρέψουμε την πολικότητα του τυλίγματος σειράς θα λάβουμε την καμπύλη 4.

Η γεννήτρια διπλής διέγερσης χρησιμοποιείται σε εγκαταστάσεις με ισχυρές περιοδικές μεταβολές του φορτίου, όπως συμβαίνει στην παραγωγή του χάλυβα στα συστήματα εξέτασης.

3.7.2 Κινητήρες συνεχούς ρεύματος

3.7.2.1 Χαρακτηριστική καμπύλη ταχύτητας - ροπής

Εάν μια μηχανή συνεχούς ρεύματος προσλαμβάνει ρεύμα από ένα δίκτυο, τότε μετατρέπει ηλεκτρική ενέργεια σε κινητική, δηλαδή λειτουργεί ως κινητήρας. Για τους κινητήρες ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχει η σχέση μεταξύ στροφών και αναπτυσσόμενης ροπής και αποτελεί την κατ' εξοχήν χαρακτηριστική αυτών. Ένας κινητήρας είναι δυνατόν αμέσως να μετατραπεί σε γεννήτρια, εάν η εσωτερική τάση δηλαδή η τάση εξ επαγωγής του τυμπάνου, γίνει μεγαλύτερη της τάσης των ακροδεκτών.

Για να μελετήσουμε σε γενική μορφή τη λειτουργία αυτών μιας μηχανής συνεχούς ρεύματος παραθέτουμε εδώ όλες τις εξισώσεις, οι οποίες περιγράφουν τη λειτουργία αυτών και παρέχουν τη δυνατότητα να διακρίνουμε εύκολα, πότε η μηχανή λειτουργεί ως κινητήρας και πότε ως γεννήτρια.

$$U_T = U_{\varepsilon\pi} \pm R_T I_T + U_\Psi \quad \text{εξίσωση τάσεων} \quad (3.60)$$

$$U_{\varepsilon\pi} = C\Phi\Omega \quad \text{εξίσωση τάσεων εξ επαγωγής} \quad (3.61)$$

$$I_T = I \pm I_F \quad \text{εξίσωση ρευμάτων(μηχανή παράλληλης διέγερσης)} \quad (3.62)$$

$$M = C\Phi I_T \quad \text{εξίσωση εσωτερικής ροπής} \quad (3.63)$$

$$P_{\pi\rho} = U_T I_T \quad \left. \vphantom{P_{\pi\rho}} \right\} \text{κινητήρας} \quad \text{εξίσωση προσλαμβανόμενης ισχύος} \quad (3.64)$$

$$P_{\alpha\pi} = M\Omega = U_{\varepsilon\pi} I_T \quad \left. \vphantom{P_{\alpha\pi}} \right\} \text{κινητήρας} \quad \text{εξίσωση αποδιδόμενης ηλεκτρομαγνητικής ισχύος} \quad (3.65)$$

$$P_{\pi\rho} = M\Omega = U_{\varepsilon\pi} I_T \quad \left. \vphantom{P_{\pi\rho}} \right\} \text{γεννήτρια} \quad (3.66)$$

$$P_{\alpha\pi} = U_T I_T \quad \left. \vphantom{P_{\alpha\pi}} \right\} \text{γεννήτρια} \quad (3.67)$$

Το αρνητικό πρόσημο στις εξισώσεις (3.60) και (3.62) ισχύει για την περίπτωση, κατά την οποία η μηχανή λειτουργεί ως γεννήτρια. Από τις εξισώσεις (3.60), (3.61) και (3.63) μπορούμε να βρούμε τη σχέση μεταξύ ταχύτητας Ω και ροπής M . Δι' αντικατάστασεως προκύπτει:

$$\Omega = \frac{U_T}{C_\Phi} \mp \frac{R_T}{(C_\Phi)^2} M \quad (3.68)$$

Για τα πρόσημα ισχύει:

– για κινητήρες, + για γεννήτριες.

Εάν θεωρήσουμε $M=0$, δηλαδή η ροπή και συνεπώς το ρεύμα μηδενισθούν, θα πάρουμε την ταχύτητα Ω_0 στην κατάσταση εν κενώ:

$$\Omega_0 = \frac{U_T}{C_\Phi} \quad (3.69)$$

Συνήθως διαιρούμε και τα δύο μέλη της εξίσωσης (3.68) δια του Ω_0 και τελικά η εξίσωση ταχύτητας - ροπής χρησιμοποιείται υπό την ακόλουθη μορφή:

$$\frac{\Omega}{\Omega_0} = 1 - \frac{R_T}{U_T} \cdot \frac{1}{C_\Phi} M \quad (3.70)$$

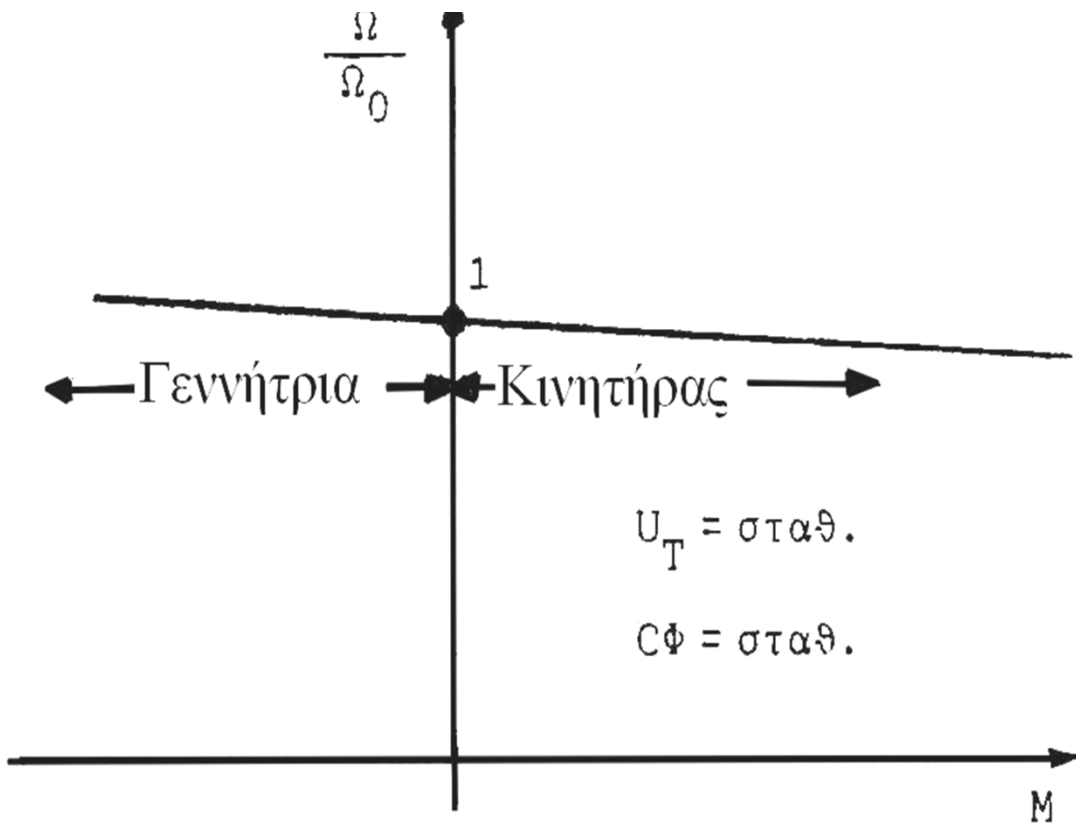
Με τη βοήθεια της εξίσωσης αυτής είμαστε σε θέση να χαράξουμε τις χαρακτηριστικές καμπύλες για τους διάφορους τύπους μηχανών.

3.7.2.2 Μηχανές ξένης ή παραλλήλου διεγέρσεως

Στις μηχανές ξένης ή παραλλήλου διεγέρσεως μπορεί η διέγερση ανεξάρτητα από το φορτίο της μηχανής να διατηρηθεί σταθερή. Η τάση στους ακροδέκτες, εάν δεν υπάρχει σκοπιμότητα μεταβολής της, διατηρείται σταθερή. Εάν λοιπόν είναι $U_T = \text{σταθερό}$ και $C\Phi = \text{σταθερό}$, τότε γνωρίζουμε την ταχύτητα εν κενώ Ω_0 και η εξίσωση $\Omega = f(M)$ αποκτάει την μορφή:

$$\frac{\Omega}{\Omega_0} = 1 - KM \quad (3.71)$$

Για την μηχανή παραλλήλου διεγέρσεως σταθερή τάση U_T σημαίνει και σταθερή ροή Φ . Στο σχήμα (3.65) απεικονίζεται η εξίσωση (3.71).



Σχήμα 3.65. Καμπύλη ταχύτητας – ροπής μηχανών ξένης ή παραλλήλου διεγέρσεως.

Κατά τη λειτουργία των μηχανών ως κινητήρες έχουμε μικρή πτώση της ταχύτητας αυξανόμενης της ροπής, ενώ κατά τη λειτουργία τους ως γεννήτριες έχουμε μικρή αύξηση. Παρατηρούμε ότι οι μηχανές ξένης διέγερσης έχουν σχεδόν σταθερή ταχύτητα μεταβαλλόμενης της ροπής, δηλαδή του φορτίου και αυτό είναι μια σπουδαία ιδιότητα, την οποία χρησιμοποιούμε πολύ στις διάφορες εφαρμογές.

3.7.2.3 Μηχανές με διέγερση σε σειρά.

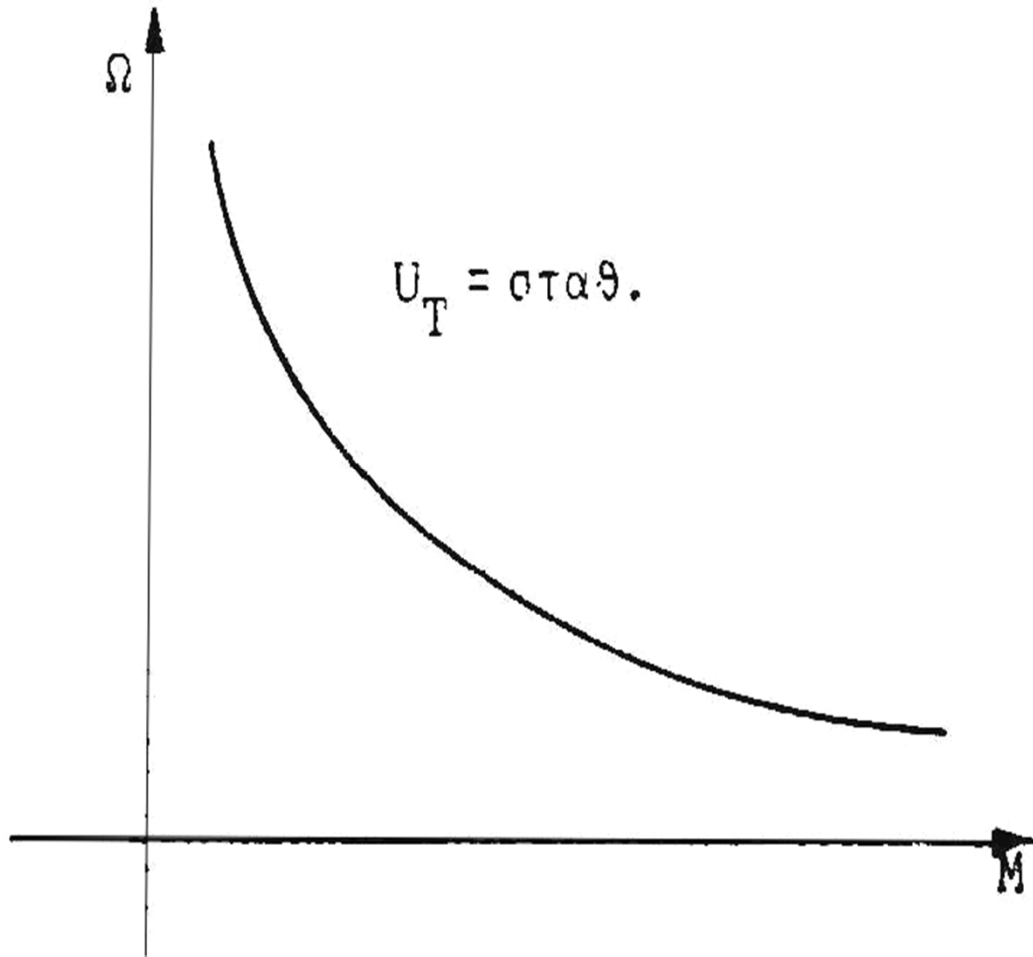
Στις μηχανές με διέγερση σε σειρά το ρεύμα, το οποίο δημιουργεί την μαγνητική ροή, παράγει συγχρόνως και την ροπή. Για τη μηχανή αυτή ισχύει:

$$\Phi = KI, M = C\Phi I = \frac{C}{K} \Phi^2 = CKI^2 \quad (3.72)$$

Επομένως η εξίσωση (3.68) παίρνει τη μορφή:

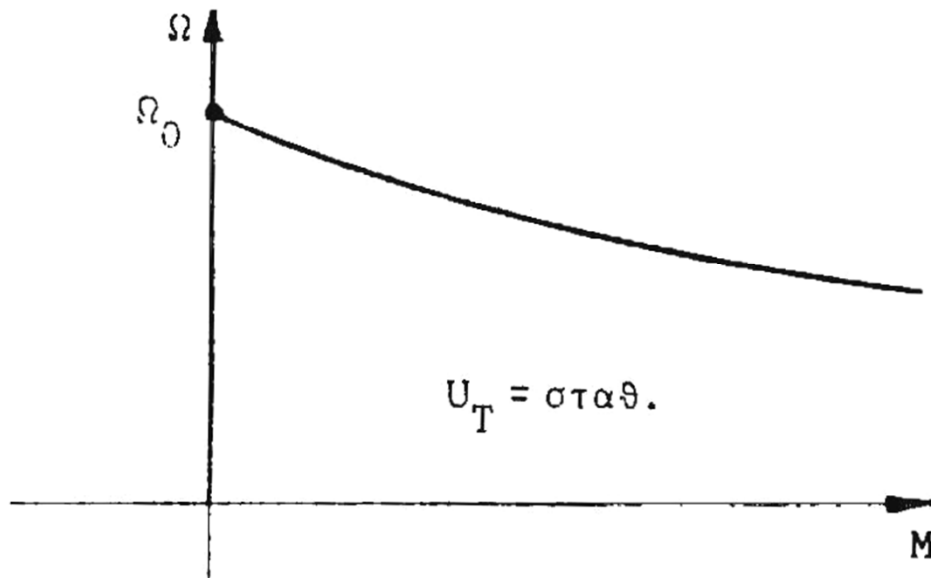
$$\Omega = \frac{U_T}{\sqrt{KC} \sqrt{M}} - \frac{R_T}{KC} \quad (3.73)$$

Η εξίσωση αυτή απεικονίζεται στο σχήμα (3.66). Για μικρές τιμές της ροπής η ταχύτητα γίνεται πολύ μεγάλη, ενώ σε μικρές ταχύτητες η ροπή αποκτά μεγάλες τιμές. Η μηχανή αυτή βρίσκει εφαρμογή κυρίως ως κινητήρας σε κινητήρια συστήματα, στα οποία κατά την εκκίνηση απαιτείται πολύ μεγάλη ροπή, όπως συμβαίνει στους σιδηροδρομικούς συρμούς. Πέραν αυτής της εφαρμογής η χρησιμοποίησή της είναι περιορισμένης εκτάσεως.



Σχήμα 3.66. Καμπύλη ταχύτητας - ροπής μηχανών με διέγερση σε σειρά.

3.7.2.4 Μηχανές διπλής διέγερσης.



Σχήμα 3.67. Καμπύλη ταχύτητας - ροπής μηχανής διπλής διεγέρσεως.

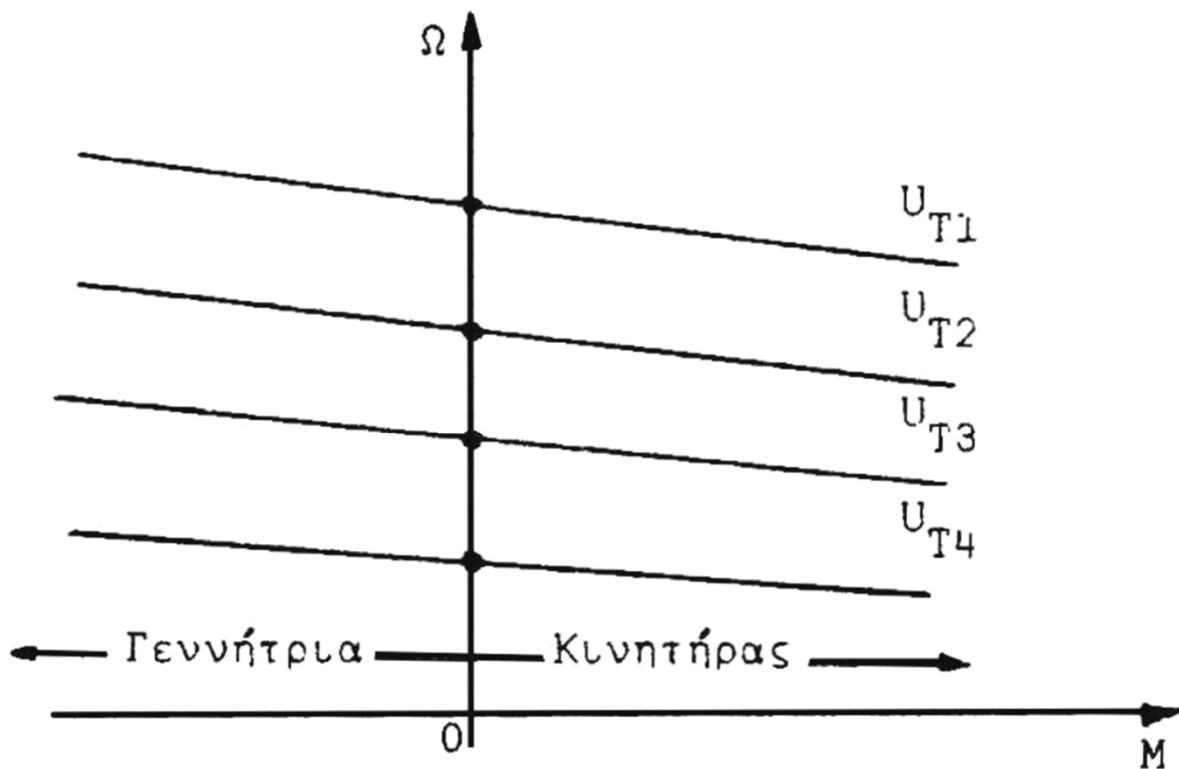
Στο σχήμα (3.67) απεικονίζεται η χαρακτηριστική καμπύλη ταχύτητας - ροπής για μια μηχανή με διπλή διέγερση. Ένεκα της παραλλήλου διεγέρσεως για $M=0$ η μηχανή έχει πεπερασμένη ταχύτητα Ω_0 . Όταν η ροπή μεγαλώσει, οι στροφές μειώνονται. Η πτώση είναι μεγαλύτερη σε σύγκριση προς την μηχανή παραλλήλου διεγέρσεως.

3.7.2.5 Ρύθμιση των στροφών μηχανών Σ.Ρ.

Οι μέθοδοι ρυθμίσεως του αριθμού στροφών των μηχανών Σ.Ρ. γίνονται κατανοητές, εάν παρατηρήσουμε την εξίσωση (3.68), η οποία εκφράζει τη σχέση $\Omega=f(M)$. Από αυτή προκύπτουν τρεις δυνατότητες, ήτοι η ρύθμιση της τάσης U_T , η ρύθμιση της ροής Φ και η ρύθμιση της αντίστασης R_T , όπου R_T παριστάνει όλη την αντίσταση του κυκλώματος του τυμπάνου, δηλαδή συμπεριλαμβάνεται και η τυχόν υπάρχουσα επιπρόσθετη εξωτερικά αντίσταση R_V .

3.7.2.5.1 Ρύθμιση της τάσης U_T .

Στο σχήμα (3.68) απεικονίζονται οι χαρακτηριστικές καμπύλες, οι οποίες προκύπτουν κατά τη ρύθμιση του αριθμού των στροφών ενός κινητήρα ρυθμίζοντας την τάση των ακροδεκτών U_T .



Σχήμα 3.68. Ρύθμιση των στροφών μηχανής Σ.Ρ. μέσω ρύθμισης της τάσης των ακροδεκτών.

Έτσι μεταβάλλεται ανάλογα προς την τιμή της τάσης ο αριθμός των στροφών εν κενώ, οι δε καμπύλες είναι παράλληλες μεταξύ τους. Αυτά ισχύουν για μηχανές ξένης ή παραλλήλου διεγέρσεως. Η τάση U_T μπορεί να μεταβάλλεται με τη βοήθεια του συστήματος Ward-Leonard ή με τη βοήθεια ρυθμιζόμενης ανορθωτικής γέφυρας αποτελούμενης από θυρίστορς.

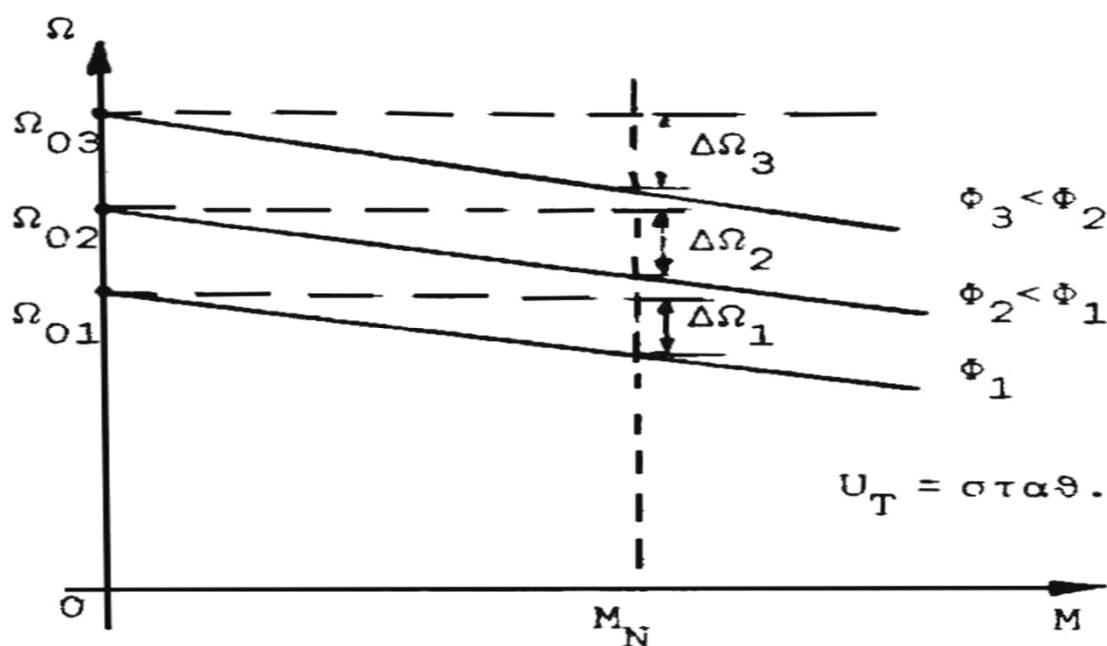
Από το σχήμα (3.68) διακρίνουμε ότι ο κινητήρας μεταβάλλεται σε γεννήτρια εάν η ροπή μηδενιστεί και στη συνέχεια με τη βοήθεια της μηχανής που συνδέεται μηχανικά με τον άξονα μεγαλώσουμε τον αριθμό των στροφών πέραν της τιμής Ω_0 χωρίς να αλλάξουμε τη φορά περιστροφής. Τότε η εσωτερική τάση $U_{επ}$ γίνεται μεγαλύτερη από την τάση U_T των ακροδεκτών και το ρεύμα αλλάζει φορά, οπότε σύμφωνα με τον τύπο $M=C\Phi I$ η ροπή γίνεται αρνητική.

3.7.2.5.2 Ρύθμιση μέσω της ροής Φ .

Εάν στη σχέση που συνδέει την ταχύτητα με την ροπή

$$\Omega = \frac{U_T}{C\Phi} - \frac{R}{(C\Phi)^2} M$$

ελαττώσουμε τη ροή Φ , η ταχύτητα Ω θα μεγαλώσει. Το φάσμα των καμπυλών με παράμετρο Φ δείχνει το σχήμα (3.69).



Σχήμα 3.69. Χαρακτηριστικές καμπύλες κατά την ελάττωση της μαγνητικής ροής Φ μιας μηχανής Σ.Ρ. ξένης ή παραλλήλου διεγέρσεως.

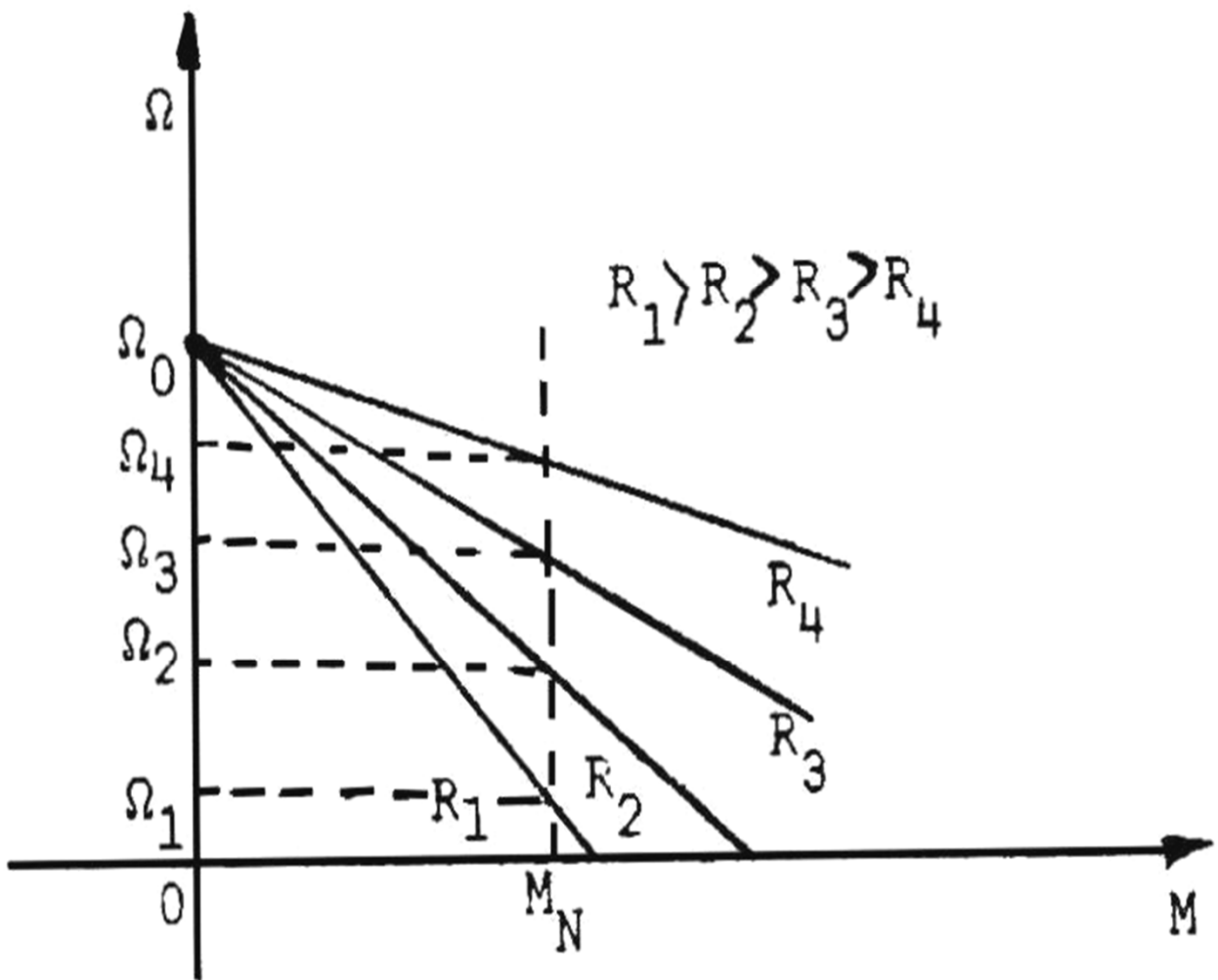
Επειδή ο δεύτερος όρος του δεξιού μέρους της παραπάνω σχέσης έχει στον παρονομαστή το τετράγωνο του Φ , έπεται ότι οι ευθείες γραμμές, δεν είναι παράλληλες μεταξύ τους, δηλαδή τα $\Delta\Omega$ μεγαλώνουν όταν μικραίνει η ροή Φ . Αύξηση της ροής η οποία θα αντιστοιχούσε σε ελάττωση του Ω δεν συνιστάται, επειδή το τύλιγμα διεγέρσεως κατασκευάζεται για ορισμένο ρεύμα, ενώ αύξηση του Φ σημαίνει αύξηση του ρεύματος διέγερσης πέραν της ονομαστικής τιμής. Η μέθοδος αυτή επομένως χρησιμοποιείται όταν θέλουμε να ρυθμίσουμε τον αριθμό των στροφών σε περιοχή μεγαλύτερη του ονομαστικού αριθμού στροφών. Το περιθώριο ρύθμισης είναι 1:3 ή το πολύ 1:4.

Δεν μπορούμε να φτάσουμε πολύ μεγάλες στροφές λόγω φυγοκεντρικών δυνάμεων (μηχανικές βλάβες στα τυλίγματα κ.λ.π.) και της αντίδρασης του τυμπάνου, διότι όταν μικραίνει το Φ , τόσο περισσότερο επιδρά η ροή που προέρχεται από το ρεύμα τυμπάνου.

2.7.2.5.3 Ρύθμιση μέσω της αντίστασης του τυμπάνου.

Κατά τη μέθοδο αυτή συνδέουμε μια μεταβλητή αντίσταση σε σειρά με το τύλιγμα του τυμπάνου και έτσι μπορούμε να ρυθμίζουμε την πτώση του αριθμού στροφών σύμφωνα με το σχήμα (3.70). Όταν μεγαλώνει η αντίσταση, η κλίση της ευθείας γίνεται μεγαλύτερη και έτσι για μια ορισμένη ροπή MN, παίρνουμε αντίστοιχα τις στροφές Ω_4 , Ω_3 , Ω_2 , Ω_1 . Η μέθοδος αυτή έχει το μειονέκτημα ότι δημιουργούνται απώλειες στην αντίσταση. Είναι σαφές ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο για ελάττωση στροφών.

Όλες τις προηγούμενες δυνατότητες για τη ρύθμιση της ταχύτητας, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε επίσης για μηχανές με διέγερση σε σειρά

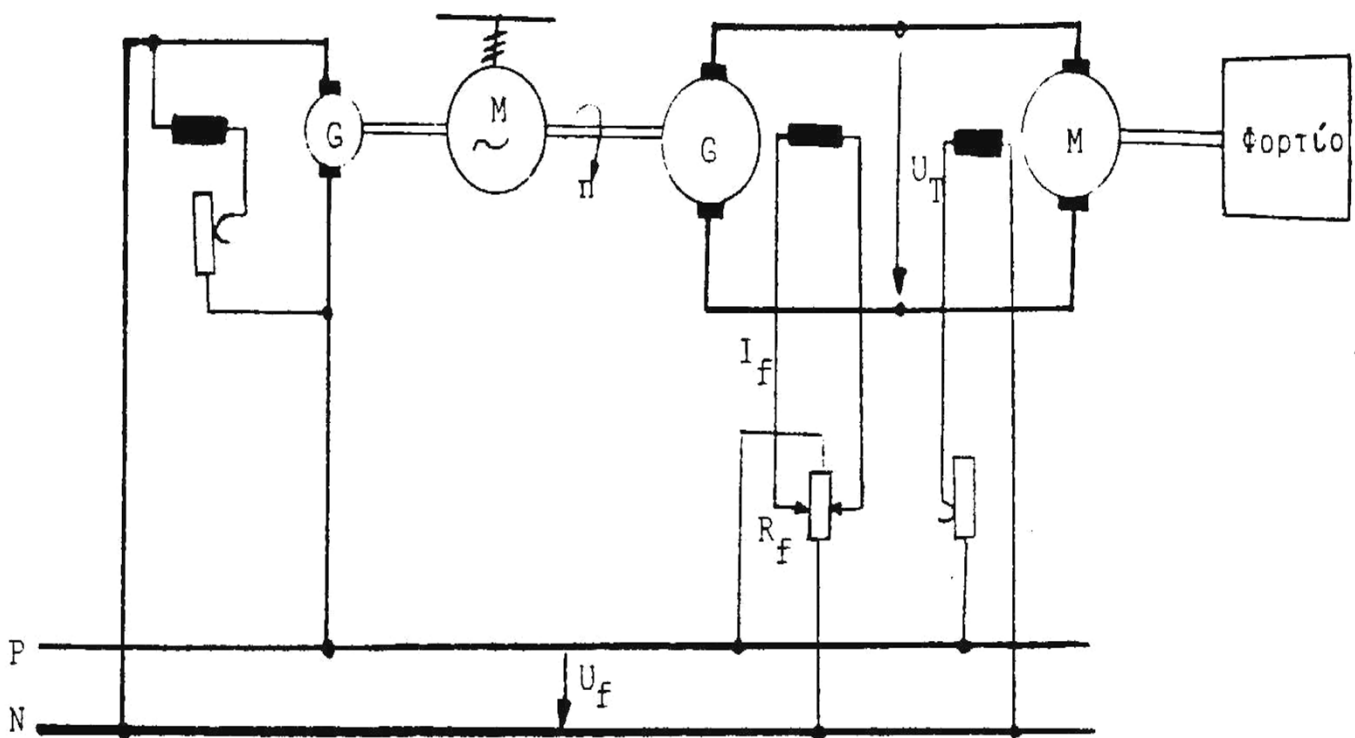


Σχήμα 3.70. Χαρακτηριστική ενός κινητήρα Σ.Ρ. ξένης ή παραλλήλου διέγερσης κατά τη μεταβολή μιας αντίστασης σε σειρά με το τύμπανο.

3.7.2.6 Σύστημα Ward - Leonard.

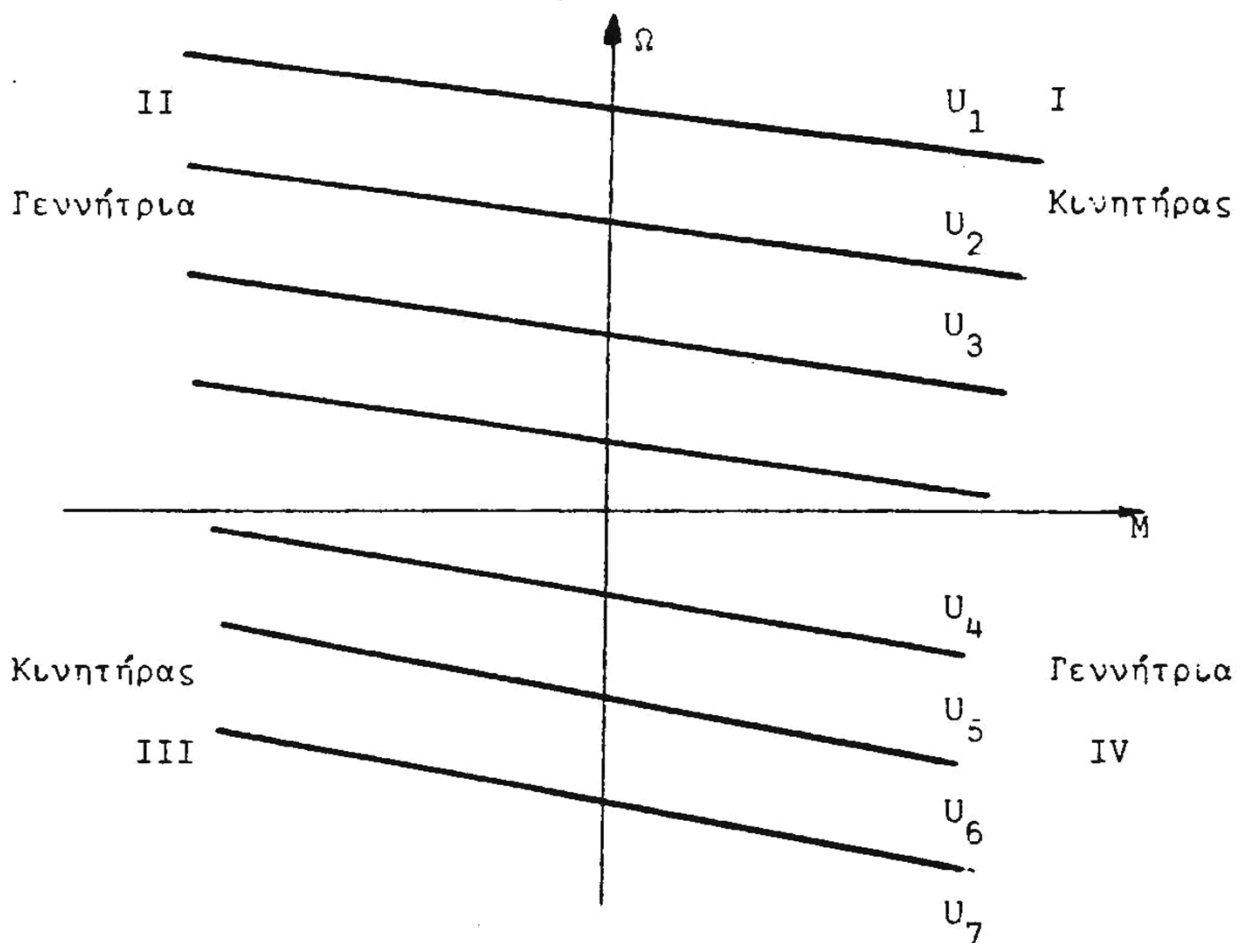
Για τη ρύθμιση των στροφών μπορεί να χρησιμοποιηθεί το σύστημα Ward - Leonard, το οποίο απεικονίζεται στο σχήμα (3.71). Ο τριφασικός κινητήρας στρέφεται με σταθερό αριθμό στροφών n . Αυτός περιστρέφει μια γεννήτρια συνεχούς ρεύματος G , της οποίας η διέγερση μπορεί να ρυθμίζεται με την αντίσταση R_f . Η γεννήτρια τροφοδοτεί τον κινητήρα συνεχούς ρεύματος M , του οποίου την ταχύτητα περιστροφής θέλουμε να ρυθμίσουμε. Η διέγερση αυτού παραμένει σταθερή σε μια θέση που επιλέξαμε. Για την τροφοδοσία των τυλιγμάτων διεγέρσεως συνδέουμε συνήθως μηχανικά μια μικρή γεννήτρια συνεχούς ρεύματος παραλλήλου διεγέρσεως με τον τριφασικό κινητήρα, όταν δεν διατίθεται το ανάλογο δίκτυο συνεχούς ρεύματος.

Με την αντίσταση R_F μπορούμε να πάρουμε όλες τις τιμές της τάσης U_T π.χ. μεταξύ των τιμών $-U_N$ και $+U_N$. Έτσι είναι δυνατόν να αποκαταστήσουμε ένα σταθερό σημείο λειτουργίας σε όλα τα τέσσερα τεταρτημόρια του διαγράμματος ταχύτητας - ροπής, όπως δείχνει το σχήμα (3.72).



Σχήμα 3.71. Σύστημα Ward - Leonard για τη ρύθμιση των στροφών μηχανών συνεχούς ρεύματος.

Η τάση U_T γίνεται αρνητική, εάν αλλάξουμε την φορά του ρεύματος I_F με την αντίσταση R_F , η οποία έχει δύο μεταβλητές επαφές. Στο πρώτο και τρίτο τεταρτημόριο (I και III) η μηχανή συνεχούς ρεύματος **M** λειτουργεί ως κινητήρας.



Σχήμα 3.72. Ταχύτητα – ροπή στο σύστημα Ward - Leonard.

Στο τεταρτημόριο δύο και τέσσερα (II και IV) η μηχανή λειτουργεί ως γεννήτρια. Η θεωρούμενη ως φορτίο συσκευή παρέχει μηχανική ενέργεια και η μηχανή **M** τροφοδοτεί τη μηχανή **G**, η οποία λειτουργεί τώρα ως κινητήρας και περιστρέφει την τριφασική μηχανή ως γεννήτρια. Έτσι είναι δυνατή η αναστροφή της φοράς ενέργειας.

Το σύστημα αυτό χρησιμοποιείται σε κινητήρια συστήματα με αυτόματο έλεγχο, όπου ο έλεγχος και η ρύθμιση της διέγερσης της μηχανής **G** γίνεται αυτόματα. Το μειονέκτημα του συστήματος αυτού είναι η χρήση τριών μεγάλων μηχανών, με αποτέλεσμα ο βαθμός απόδοσης να είναι μικρός. Επίσης απαιτείται μεγάλος χώρος για την τοποθέτησή τους και ισχυρά θεμέλια.

Κατά τα τελευταία χρόνια, η τριφασική μηχανή και η γεννήτρια αντικαθίστανται με μετατροπείς αποτελούμενους από θυρίστορς ή από τρανζίστορ ισχύος, ώστε να αποφεύγουμε τα αναφερθέντα μειονεκτήματα, επιπλέον δε να καθίσταται δυνατή η ρύθμιση σε συντομότερο χρονικό διάστημα. Όμως ο συνδυασμός μηχανής Σ.Ρ. και ηλεκτρονικούς μετατροπείς ισχύος δεν επιτρέπει πάντα τη μετατροπή μεγάλης ισχύος. Έτσι σε εγκαταστάσεις μεγάλης ισχύος, π.χ. 10MW, ακόμη προτιμείται το σύστημα Ward – Leonard, χωρίς τούτο να είναι απόλυτο.

Επισημαίνεται ότι η πρόοδος στην τεχνολογία των ηλεκτρονικών ισχύος είναι εντυπωσιακή και η σταδιακή απομάκρυνση από το ηλεκτρομηχανικό σύστημα είναι ορατή.

3.8 Πέδηση κινητήρων συνεχούς ρεύματος

Η πέδηση των κινητήρων συνεχούς ρεύματος καθίσταται δυνατή με τους εξής τρόπους:

3.8.1 Με την εκμετάλλευση της κινητικής ενέργειας

Ο κινητήρας παράλληλης ή ξένης διέγερσης μεταβαίνει στην κατάσταση της γεννήτριας, εάν ο αριθμός στροφών αυτού υπερβεί τον αριθμό στροφών Ω_0 εν κενώ. Το ρεύμα αλλάζει φορά και η ροπή γίνεται αρνητική. Μια αρνητική ροπή όμως δρα εναντίον της επιτάχυνσης και έτσι εμποδίζεται η περαιτέρω αύξηση των στροφών.

Εφαρμογή βρίσκει η μέθοδος αυτή στους ηλεκτροκίνητους σιδηροδρομικούς συρμούς. Όταν αυτοί κινούνται σε μια κατωφέρεια, η συνισταμένη του βάρους δρα ως επιταχύνουσα δύναμη. Έτσι η κίνηση γίνεται χωρίς κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, επί πλέον δε είναι δυνατό να προκληθεί επιτάχυνση με αποτέλεσμα να αυξάνεται η ταχύτητα.

Μόλις φτάσουμε τον αριθμό των στροφών εν κενώ, έχουμε αντιστροφή ενέργειας δηλαδή ένα μέρος της κινητικής ενέργειας μετατρέπεται σε ηλεκτρική και μεταφέρεται στο δίκτυο, ενώ παράλληλα η μηχανή υποβάλλεται σε πέδηση.

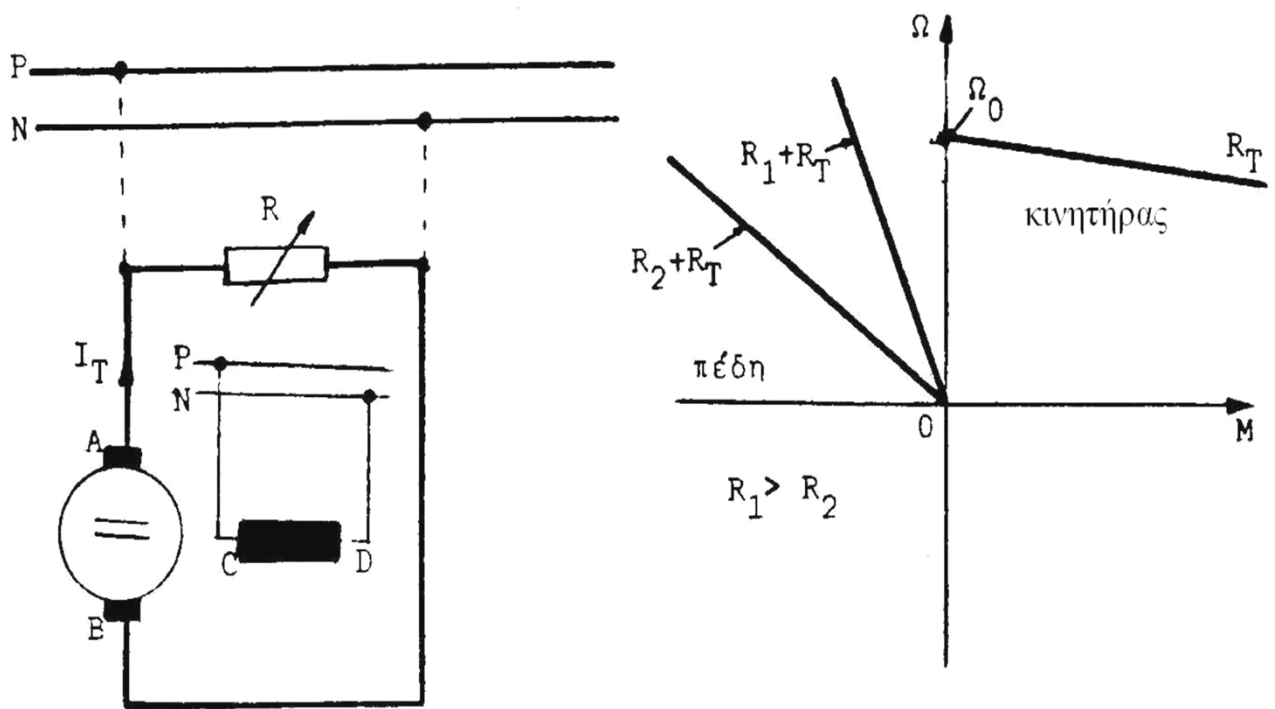
Επειδή αυτή τροφοδοτεί το δίκτυο, αυτό σημαίνει ότι λειτουργεί ως γεννήτρια. Η πέδηση αυτή είναι αδύνατη σε κινητήρες με διέγερση σε σειρά.

3.8.2 Πέδηση με ωμική αντίσταση

Εάν αποσυνδέσουμε τον κινητήρα από το δίκτυο και συνδέσουμε αυτόν με μια αντίσταση όπως φαίνεται στο σχήμα (3.73), το ρεύμα του τυμπάνου αλλάζει φορά και έτσι η ροπή γίνεται αρνητική. Η κινητική ενέργεια μετατρέπεται τώρα σε θερμότητα στην αντίσταση R , ενώ η κίνηση επιβραδύνεται δηλαδή η μηχανή υφίσταται πέδηση. Επειδή $U_T=0$ προκύπτει από τη σχέση (3.68) η εξίσωση:

$$\Omega = -\frac{R_T}{(C\Phi)^2} M \quad (3.74)$$

Η σχέση αυτή απεικονίζεται στο σχήμα (3.73),



Σχήμα 3.73. Πέδηση κινητήρα ξένης διέγερσης με αντίσταση.

όπου βλέπουμε τη συνδεσμολογία και τη χαρακτηριστική $\Omega=f(M)$ για δύο διαφορετικές τιμές R_1 και R_2 της εξωτερικής αντίστασης R . Κατά την πέδηση το ρεύμα I_T αντιστρέφεται και έτσι η ροπή γίνεται αρνητική.

3.8.3 Πέδηση με αλλαγή της πολικότητας

Εάν κατά την περιστροφή ενός κινητήρα αλλάξουμε πολικότητα στο τύμπανο, τότε το ρεύμα του τυμπάνου αλλάζει φορά, αποκτά δε μεγάλη τιμή, όπως προκύπτει από την σχέση

$$I_T = \frac{U_T - U_{\varepsilon\Pi}}{R_T} \quad , \quad (3.75)$$

εάν η U_T γίνει αρνητική. Το αρνητικό ρεύμα με την παραμένουσα θετική ροή δημιουργεί μια μεγάλη αρνητική ροπή και έτσι η ταχύτητα μηδενίζεται γρήγορα. Το μεγάλο ρεύμα όμως είναι δυνατόν να βλάψει τους αγωγούς ή τις επαφές δια των οποίων ρέει. Επίσης είναι δυνατόν να περιστραφεί ο κινητήρας σε αντίθετη φορά. Ένεκα των μειονεκτημάτων αυτών η μέθοδος αυτή δεν επιλέγεται εύκολα για την επίτευξη της πέδησης.

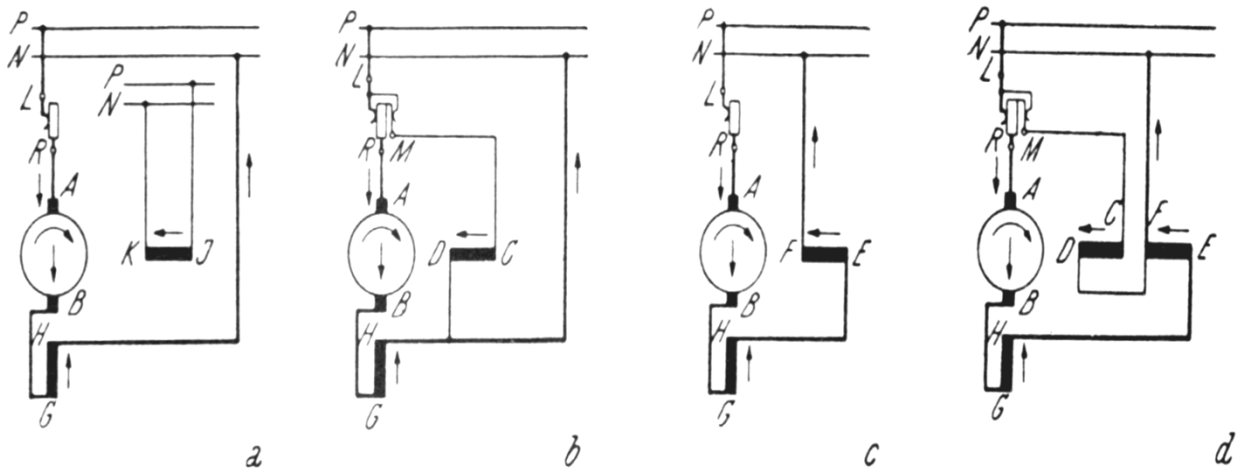
Ενώ για μηχανές παραλλήλου ή ξένης διέγερσης και οι τρεις μέθοδοι είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν, για τις μηχανές με διέγερση σε σειρά δυνατές είναι οι δύο τελευταίες μέθοδοι, όπως γίνεται αντιληπτό από την αρχή λειτουργίας των.

3.9 Εκκίνηση κινητήρων συνεχούς ρεύματος

Από την εξίσωση τάσεων (3.60) μπορούμε να υπολογίσουμε το ρεύμα τυμπάνου I_T ως συνάρτηση των υπολοίπων στοιχείων. Λαμβάνοντας υπ' όψη τη σχέση (3.61) προκύπτει:

$$I_T = \frac{U_T - C\Phi\Omega - U_\Psi}{R_T} \quad (3.76)$$

Εάν ο κινητήρας είναι ακίνητος και συνδέσουμε το τύμπανο σε πλήρη τάση U_T , τότε θα εμφανιστεί μια μεγάλη αιχμή ρεύματος, διότι $\Omega=0$ και γενικά R_T είναι μικρό. Πρέπει επομένως να προστατεύσουμε τη μηχανή από το μεγάλο ρεύμα χρησιμοποιώντας εξωτερική αντίσταση R_V σε σειρά με το τύλιγμα του τυμπάνου. Όσο αυξάνεται η ταχύτητα, τόσο μεγαλώνει η τάση εξ επαγωγής και έτσι η διαφορά των τάσεων $U_T - U_{\varepsilon\pi}$ μικραίνει. Επομένως μπορούμε να μικρύνουμε την εξωτερική αντίσταση, όταν δε η ταχύτητα φτάσει την ονομαστική της τιμή, τότε μηδενίζουμε την αντίσταση αυτή. Στο σχήμα (3.74) βλέπουμε τις συνδεσμολογίες των διαφόρων τύπων μηχανών Σ.Ρ. με αντίσταση εκκίνησης, της οποίας οι ακροδέκτες συμβολίζονται με L , M και R .

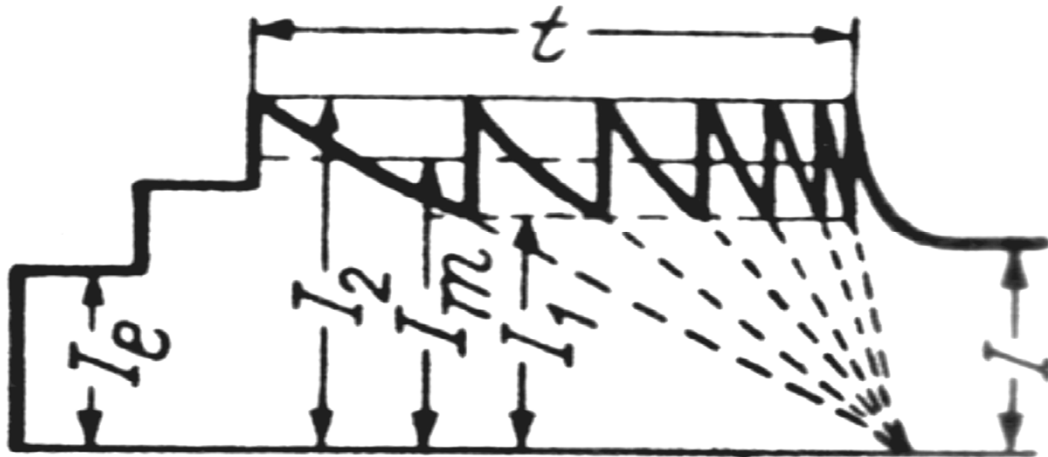


Σχήμα 3.74. Συνδεσμολογία μηχανών Σ.Ρ. με αντίσταση εκκίνησης [1].

Κινητήρες μικρής ισχύος, **πχ ονομαστικής ισχύος μικρότερης από 1 kW**, συνδέονται κατ' ευθείαν με το δίκτυο. Όλες οι άλλες μηχανές πρέπει οπωσδήποτε να συνοδεύονται από μια αντίσταση εκκινήσεως.

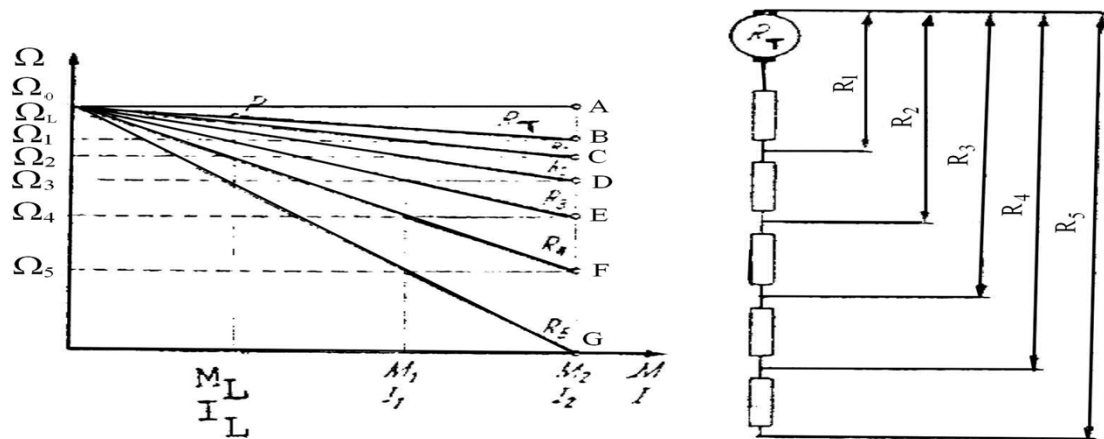
Στις μηχανές παράλληλης διέγερσης ο εκκινητής πρέπει να συνδεθεί έτσι, ώστε το τύλιγμα διέγερσης να βρίσκεται διαρκώς συνδεδεμένο με την πλήρη τάση. Διαφορετικά η πτώση τάσης στην αντίσταση R_V θα είχε ως συνέπεια, η τάση διεγέρσεως να είναι μικρότερη της κανονικής, με αποτέλεσμα η μηχανή να μην μπορεί να ξεκινήσει.

Όταν ξεπεράσουμε αυτές τις προβαθμίδες ο κινητήρας παίρνει τόσο ρεύμα, ώστε η αναπτυσσόμενη ροπή να είναι αρκετή για να ξεκινήσει ο δρομέας. Αφαιρώντας μια βαθμίδα το ρεύμα του τυμπάνου μεγαλώνει απότομα, η ταχύτητα του δρομέα μεγαλώνει, η διαφορά τάσης $U_T - U_{επ}$ μικραίνει και στη συνέχεια μικραίνει και το ρεύμα τυμπάνου. Μόλις φθάσει μια κατώτερα τιμή, διεγείρεται κάποιος μηχανισμός και αποσυνδέεται και η δεύτερη βαθμίδα. Κατά αυτόν τον τρόπο αποσυνδέονται όλες οι βαθμίδες της αντίστασης R_V και η τάση εφαρμόζεται πλήρως στους ακροδέκτες του τυμπάνου. Ο κινητήρας στο διάστημα αυτό έφτασε στον ονομαστικό αριθμό στροφών και λειτουργεί πλέον ομαλά. Στο σχήμα (3.75) βλέπουμε την μεταβολή του ρεύματος κατά την αλλαγή της εξωτερικής αντίστασης κατά βαθμίδες.



Σχήμα 3.75. Μεταβολή του ρεύματος κατά τη διάρκεια εκκίνησης [1].

Στο σχήμα (3.76) βλέπουμε τις διάφορες βαθμίδες της αντίστασης και την χαρακτηριστική $\Omega = f(M)$.



Σχήμα 3.76. Βαθμίδες της αντίστασης εκκίνησης RV και χαρακτηριστική ροπής – ταχύτητας.

Στις τιμές I_1 και I_2 του ρεύματος τυμπάνου αντιστοιχούν οι ροπές M_1 και M_2 . Όταν αποσυνδεθεί από το κύκλωμα και η τελευταία βαθμίδα αντιστάσεων R_1 , η χαρακτηριστική καμπύλη καθορίζεται από την αντίσταση R_T του τυμπάνου, ανάλογα δε με την δεδομένη ροπή φορτίου M_L αποκαθίσταται ένα μόνιμο σημείο λειτουργίας P.

Για λόγους οικονομίας πρέπει ο εκκινητής να έχει μικρό αριθμό βαθμίδων. Όμως για να αποφύγουμε αιχμές του ρεύματος και της ροπής πρέπει, όσο είναι δυνατόν, η επιτάχυνση να είναι σταθερή. Αυτό όμως απαιτεί μεγάλο αριθμό βαθμίδων. Έτσι η διαμόρφωση του εκκινητή εξαρτάται από τις εκάστοτε ανάγκες και τις σκοπιμότητες λειτουργίας.

Η μέθοδος εκκίνησης που περιγράψαμε χαρακτηρίζεται από μια βασική αδυναμία, ότι δηλαδή πρέπει να ανοιγοκλείνουμε μηχανικούς διακόπτες για να κρατήσουμε το ρεύμα του τυμπάνου σε επιτρεπτά όρια. Κάθε μηχανική διακοπτική διάταξη παρουσιάζει βραδύτητα στις αλλαγές, τριβές των επαφών και περιορισμένη διάρκεια ζωής. Επί πλέον η ύπαρξη της ωμικής αντίστασης συνοδεύεται από απώλειες ισχύος.

Τα μειονεκτήματα αυτά στην εποχή μας αντιμετωπίζονται χρησιμοποιώντας ηλεκτρονικούς μετατροπείς ισχύος. Με διατάξεις αποτελούμενες από θυρίστορ και άλλα ηλεκτρονικά στοιχεία μπορούμε να ρυθμίσουμε την τάση του τυμπάνου ακριβώς, όπως απαιτούν οι ανάγκες προστασίας από ρεύμα μεγαλύτερο του ονομαστικού. Μεταβάλλοντας κατάλληλα τη γωνία έναυσης των θυρίστορ ρυθμίζουμε κατά την εκκίνηση την τάση του τυμπάνου και έτσι επιτυγχάνουμε γρήγορα, χωρίς τριβές μεταλλικών επαφών, με συνέχεια και χωρίς θόρυβο την εκκίνηση των μηχανών συνεχούς ρεύματος.

Πηγές

Οι πηγές των Εικόνων, των Σχημάτων και των Διαγραμμάτων είναι:

[1] Α.Ν. Σαφάκας, «Ηλεκτρικές Μηχανές Α», Πανεπιστημιακές σημειώσεις, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα 2009

[2] Α.Ν. Σαφάκας, «Ηλεκτρικές Μηχανές Β», Πανεπιστημιακές σημειώσεις, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα 2009

[3] Α.Ν. Σαφάκας, «Δυναμική Ηλεκτρομηχανικών συστημάτων» Πανεπιστημιακές σημειώσεις, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα 2008

[4] Τζόγια Χ. Καπλάτου, Εξομοιώσεις Ηλεκτρικών Μηχανών σε περιβάλλον Πεπερασμένων Στοιχείων, Εργαστήριο Ηλεκτρομηχανικής Μετατροπής Ενέργειας, Η.Μ.Τ.Υ, Πανεπιστήμιο Πατρών.

Τέλος Ενότητας



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

