

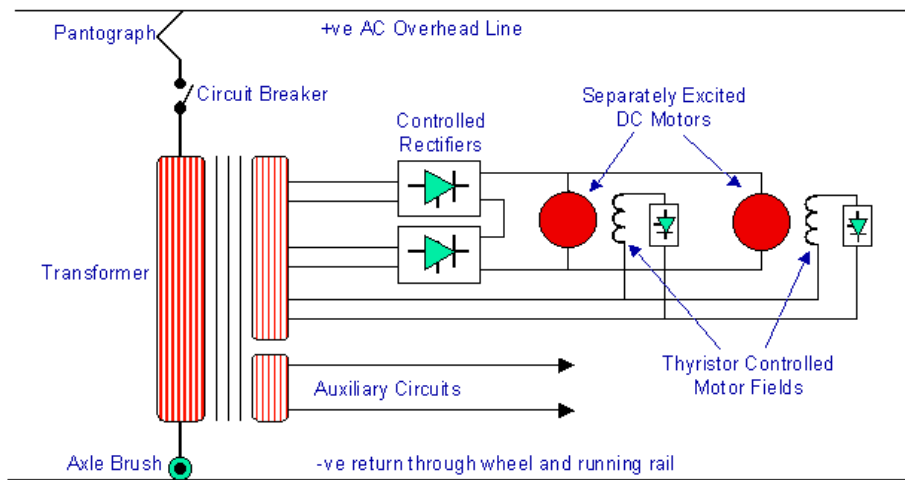
ΤΕΙ ΛΑΡΙΣΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ

ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ (DC)

ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ



Ν.Π. ΤΡΩΓΑΔΑ

ΔΙΠΛ.ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΟΥ

ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ Α.Π.Θ.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<u>Ενότητα 1^η 'Μετασχηματιστές'</u>	<u>Σελίδα</u>
• Γενικά_____	4
• Κατασκευή του M/T_____	4
• Είδη πυρήνων_____	5
• Πυρήνας τριφασικού M/T_____	5
• Τύποι και μορφές τυλιγμάτων_____	6
• Μονοφασικός ιδανικός μετασχηματιστής σε εν κενό λειτουργία_____	7
• Λειτουργία μετασχηματιστή με φορτίο_____	9
• Απώλειες πραγματικού M/T_____	11
• Εν κενό λειτουργία πραγματικού M/T_____	12
• Πλήρες ισοδύναμο κύκλωμα και διανυσματικό διάγραμμα M/T με φορτίο_____	14
• Λειτουργία σε βραχυκύκλωμα_____	15
• Απώλειες σκεδασμού_____	18
• Μεταβολή της τάσης M/T με φορτίο_____	18
• Βαθμός απόδοσης_____	21
• Παράλληλη λειτουργία M/T_____	23
• Παράλληλη λειτουργία M/T με διαφορετική τάση εν κενό_____	24
• Γενική περίπτωση παράλληλης λειτουργίας_____	24
• Ειδική περίπτωση_____	25
• Αυτομετασχηματιστές_____	27
• Πλεονεκτήματα-μειονεκτήματα του αυτομετασχηματιστή_____	29
• Μετασχηματιστής ισχύος_____	29
• Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά_____	32
• Προστασία των M/T_____	32
• Προστασία σε βραχυκυκλώματα _____	32
• Προστασία M/T σε υπερφόρτιση _____	33
• Προστασία εσωτερικών σφαλμάτων και έλλειψης λαδιού-ηλεκτρονόμος BUCHOLZ_____	33
• Τριφασικοί M/T _____	35
• Πίνακας ομαλών συνδεσμολογιών_____	35
• Χρήση συνδεσμολογιών –πλεονεκτήματα μειονεκτήματα_____	36
• Ειδικοί M/T_____	37
• Θόρυβος M/T_____	40
• Ψύξη M/T _____	40

- Η ισχύς του M/T ως συνάρτηση του όγκου_____ 41
- Ρεύμα βραχυκύκλωσης _____ 42

Ενότητα 2^η 'Μηχανές'

Κεφάλαιο 1^ο 'Γενικά'

- Κατασκευαστικά στοιχεία DC μηχανής_____ 44
- Τα μαγνητικά μεγέθη και η μονάδες τους_____ 48
- Νόμος του διαρεύματος ή νόμος του AMPERE_____ 49
- Νόμος της επαγωγής _____ 50
- Διάρευμα _____ 51
- Η περιέλιξη του δρομέα _____ 51
- Σύγκριση βροχοειδούς και κυματοειδούς περιέλιξης_____ 56
- Επαγωγική τάση_____ 57
- Ο συλλέκτης ως μηχανή ανόρθωσης_____ 58
- Αντίδραση τυμπάνου _____ 61
- Ροπή στρέψης_____ 63

Κεφάλαιο 2^ο 'Γεννήτριες'

- Γεννήτριες-είδη γεννητριών_____ 64
- Γεννήτρια ανεξάρτητης διέγερσης_____ 65
- Γεννήτρια παράλληλης διέγερσης_____ 70
- Γεννήτρια σειράς_____ 75
- Γεννήτρια σύνθετης διέγερσης_____ 77

Κεφάλαιο 3^ο 'Κινητήρας'

- Ευσταθής ασταθής ισορροπία ενός συστήματος_____ 82
- Χαρακτηριστικές εργομηχανών (φορτίων)_____ 83
- Κινητήρας ανεξάρτητης διέγερσης ή παράλληλης διέγερσης_____ 85
- Κινητήρας σειράς_____ 88
- Κινητήρας σύνθετης διέγερσης_____ 90
- Εκκίνηση κινητήρων -Εκκίνηση κινητήρων ανεξάρτητης διέγερσης_____ 92
- Εκκίνηση κινητήρων διέγερσης σειράς υπολογισμός των βαθμίδων της αντίστασης εκκίνησης_____ 95
- Έλεγχος στροφών μηχανής με το ζεύγος WARD LEONARD _____ 97
- Έλεγχος της περιστροφικής ταχύτητας της σε κινητήρα ανεξάρτητης διέγερσης_____ 100

• Μεταβολή της τάσης_____	100
• Μεταβολή της διέγερσης σε κινητήρα ανεξάρτητης διέγερσης_____	101
• Εξωτερική αντίσταση στο κύκλωμα του τυμπάνου_____	102
• Μια συνοπτική εξέταση της μηχανικής χαρακτηριστικής από την επίδραση της μεταβολής των U , Φ _____	102
• Έλεγχος της περιστροφικής ταχύτητας σε κινητήρα διέγερσης σειράς_____	103
• Μεταβολή της τάσης_____	103
• Μεταβολή της διέγερσης σε κινητήρα ανεξάρτητης διέγερσης_____	104
• Εξωτερική αντίσταση στο κύκλωμα του τυμπάνου_____	105
• Έλεγχος στροφών με αντίσταση παράλληλη στον δρομέα_____	105
• Χαρακτηριστικές_____	106

Κεφάλαιο 4^ο

• Πέδηση σε ηλεκτρική μηχανή_____	108
• Ωφέλιμη πέδηση_____	108
• Δυναμική πέδηση με αντίσταση ή με έλεγχο της αντίστασης πέδησης(Ανεξάρτητη ή παράλληλη διέγερση)_____	109
• Πέδηση με αλλαγή πολικότητας_____	111

Κεφάλαιο 5^ο

• Εισαγωγή στην οδήγηση κινητήρα με ηλεκτρονικά ισχύος_____	113
• Εν σειρά και παράλληλη λειτουργία κινητήρα_____	122
• Εισαγωγή στη λειτουργία κινητήρα με CHOPPER_____	126
• Αρχή ελέγχου ισχύος_____	127
• Αρχή επανάκτησης ενέργειας με έλεγχο της πέδης_____	127
• Αρχή ελέγχου της αντίστασης (ροοστάτης)_____	129
• Συνδυασμός επανακτητικής και ροοστατικής πέδης_____	130
• Έλεγχος κινητήρα στα δύο τεταρτημόρια_____	130
• Λυμένες ασκήσεις μετασχηματιστών και μηχανών συνεχούς ρεύματος_____	133

ΕΝΟΤΗΤΑ 1^α

ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ

ΟΡΙΣΜΟΣ:

Οι μετασχηματιστές είναι ηλεκτρικές μηχανές, οι οποίες μετατρέπουν την ηλεκτρική ενέργεια την οποία παίρνουν (Α.С.) μιας ορισμένης τάσεως σε ηλεκτρική ενέργεια (Α.С.) μιας άλλης τάσεως (μικρότερης ή μεγαλύτερης) της ίδιας συχνότητας, χωρίς ενδιάμεσα να έχουμε μετατροπή σε μηχανική ενέργεια (δηλαδή χωρίς κινητά μέρη).

Ο μετασχηματισμός αυτός έχει την ακόλουθη σειρά:

Ηλεκτρική ενέργεια → μετατροπή σε μαγνητική ενέργεια → μετατροπή σε ηλεκτρική ενέργεια.

Στους αυτομετασχηματιστές όπως θα δούμε στο αντίστοιχο κεφάλαιο συμβαίνει αυτή η μετατροπή για ένα μέρος της ηλεκτρικής ισχύος, ενώ το υπόλοιπο μεταδίδεται απ' ευθείας. Σκοπός των Μ/Τ είναι η προσαρμογή της ηλεκτρικής ενέργειας στην εκάστοτε τάση. Χωρίς τους Μ/Τ θα ήταν αδύνατη η παροχή ενέργειας στους διάφορους καταναλωτές από τις μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό συμβαίνει γιατί η τάση στους ακροδέκτες μιας μεγάλης σύγχρονης γεννήτριας (Στροβιλογεννήτριες φθάνει τα 27[KV] και το ρεύμα τα 5.000 [A]).

Επειδή στις γραμμές μεταφοράς υπάρχουν απώλειες πρέπει το ρεύμα να είναι όσο το δυνατόν μικρότερο (επειδή οι απώλειες είναι εξάρτηση του ρεύματος). Για να πετύχουμε όμως αυτό πρέπει να υψωθεί η τάση για να μεταφερθεί η ισχύς που θέλουμε.

Ο Μ/Τ χρησιμοποιείται στα ασθενή ρεύματα (ηλεκτρικά κυκλώματα, επεξεργασία και μεταφορά πληροφοριών). Επίσης παρέχει την δυνατότητα της μαγνητικής ζεύξης δυο κυκλωμάτων και αποφεύγεται έτσι η ηλεκτρική σύνδεση. Στον τομέα της ενέργειας χρησιμοποιείται για την σύνδεση δυο δικτύων.

ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ Μ/Τ

Ο Μ/Τ αποτελείται βασικά από ένα πυρήνα από σίδηρο ο οποίος σχηματίζεται από λεπτά ελάσματα. Γύρω από τον πυρήνα τυλίγονται το πρωτεύον και το δευτερεύον τύλιγμα που βρίσκεται σε μαγνητική σύζευξη μέσω του κοινού πυρήνα.

Πρωτεύον τύλιγμα είναι το τύλιγμα το οποίο προσλαμβάνει ενέργεια.

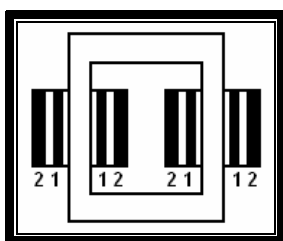
Δευτερεύον το τύλιγμα που αποδίδει ενέργεια.

Ο πυρήνας είναι ο φορέας της εναλλασσόμενης μαγνητικής ροής η οποία διαρρέει και τα δυο τυλίγματα και επάγει σε αυτά τάσεις. Κατασκευάζεται από υλικό με μεγάλη διαπερατότητα και παρουσιάζει μικρή μαγνητική αντίσταση. Τα υλικά αυτά είναι ελάσματα σιδήρου πάχους 0,3 mm για να περιορίζουν τα δινορεύματα τα οποία δημιουργούν αυξημένες απώλειες. Στην μια πλευρά τους έχουν μονωτικό υλικό για να εξασφαλίζεται η μεταξύ τους μόνωση.

ΕΙΔΗ ΠΥΡΗΝΩΝ

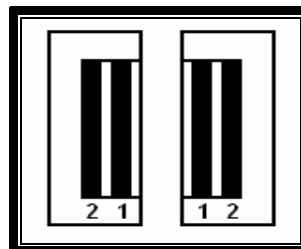
Υπάρχουν δυο είδη :

α) Μ/Τ τύπου πυρήνα



Σχήμα 1.1

β) Μ/Τ τύπου μανδύα

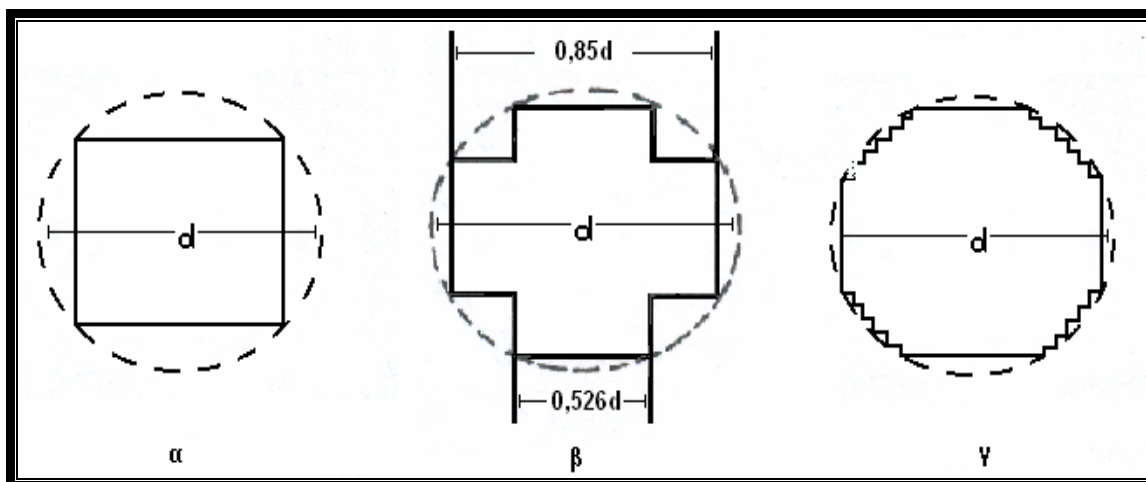


Σχήμα 1.2

Στον πρώτο τύπο τα τυλίγματα τοποθετούνται γύρω από τα δυο στελέχη, και με τέτοιο τρόπο ώστε στο κάθε στέλεχος να βρίσκεται ο μισός αριθμός σπειρών. Τα στελέχη αυτά ενώνονται μεταξύ τους με τα ζυγώματα. Στον δεύτερο τύπο τα τυλίγματα τοποθετούνται στο μεσαίο στέλεχος και περιβάλλονται από τα δυο εξωτερικά στελέχη. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 1.1 η διατομή του μεσαίου στελέχους είναι διπλάσια της διατομής των δυο άλλων και των ζυγωμάτων επειδή η μαγνητική ροή που διέρχεται από το μεσαίο στέλεχος είναι διπλάσια της ροής των άλλων τμημάτων. Υπάρχουν επίσης και άλλοι τύποι πυρήνων που φαίνονται στο σχήμα.

Μικρής και μεσαίας ισχύος

Υψηλής ισχύος

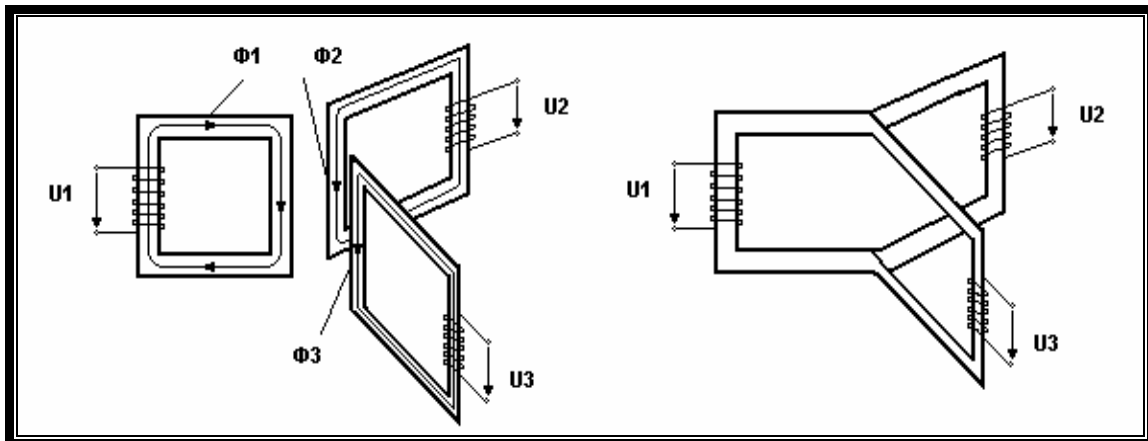


Όλα αυτά που αναφέραμε πιο πάνω αφορούν τους μονοφασικούς μετασχηματιστές (δηλ. για τους πυρήνες), θα δούμε τώρα πως είναι ο πυρήνας ενός τριφασικού μετασχηματιστή.

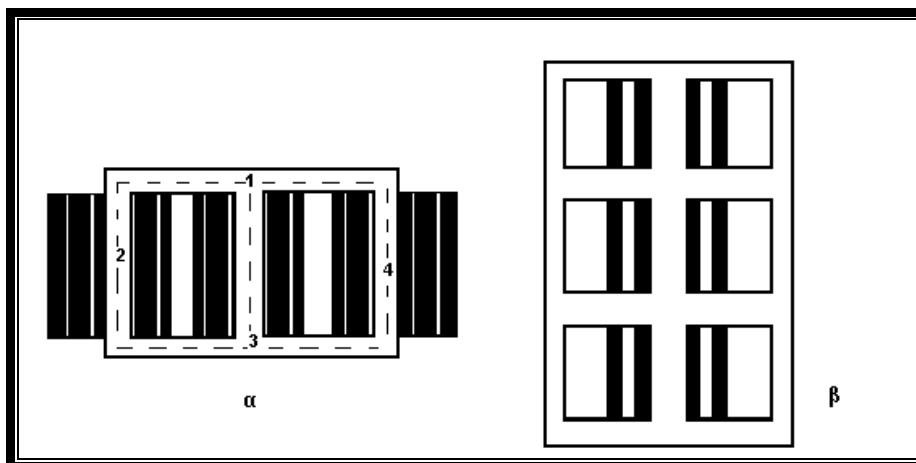
ΠΥΡΗΝΑΣ ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΥ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗ

Υπάρχει η δυνατότητα να χρησιμοποιήσουμε τρεις μονοφασικούς Μ/Τ για να κάνουμε ένα τριφασικό αν τοποθετήσουμε το πρωτεύον και το δευτερεύον τυλίγμα κάθε μονοφασικού σε ένα στέλεχος και με τα τρία ελεύθερα στελέχη να δημιουργήσουμε ένα κοινό στέλεχος μέσα από το οποίο θα διέρχονται τρεις μαγνητικές ροές.

Αν οι τρεις τάσεις που θα εφαρμοστούν είναι συμμετρικές τότε η συνολική ροή είναι μηδέν, οπότε το μεσαίο στέλεχος δεν χρειάζεται και παίρνουμε την διάταξη που φαίνεται στο σχήμα..



Μια τέτοια όμως κατασκευή είναι ασύμφορη για λόγους κατασκευαστικούς και οικονομικούς. Γι' αυτό το λόγο έχει επικρατήσει η κατασκευή των τριών στελεχών στο ίδιο επίπεδο όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Η κατασκευή αυτή είναι ασύμμετρη γιατί το μήκος της μαγνητικής γραμμής του μεσαίου στελέχους είναι μικρότερο του μήκους των άλλων δύο και επομένως η μαγνητική αντίσταση είναι μικρότερη στο

$$\text{μεσαίο στέλεχος (μαγνητική αντίσταση } R = \frac{l}{\mu_0 S}$$

Αποτέλεσμα αυτών είναι το ρεύμα μαγνήτισης αυτού να είναι μικρότερο.

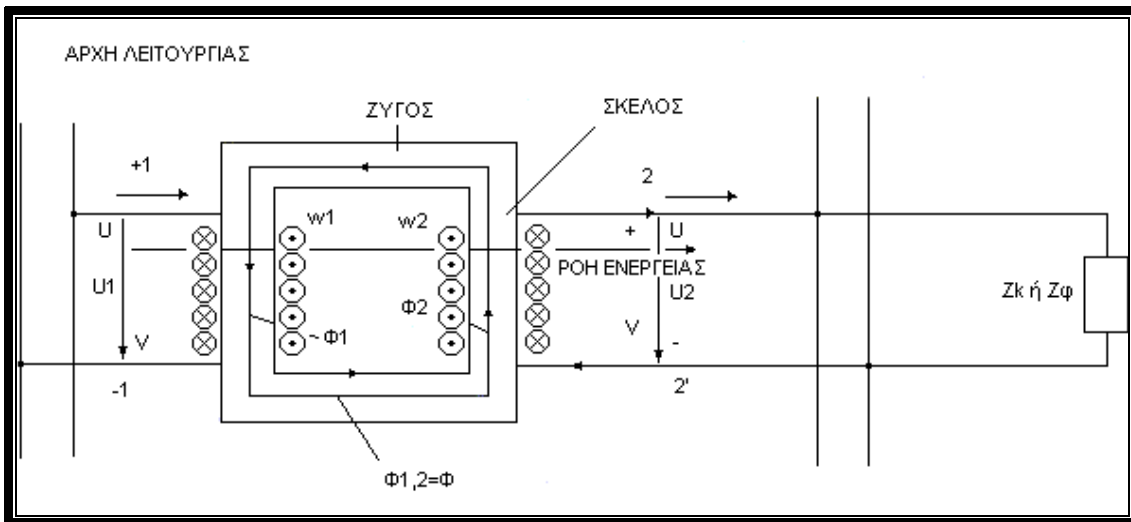
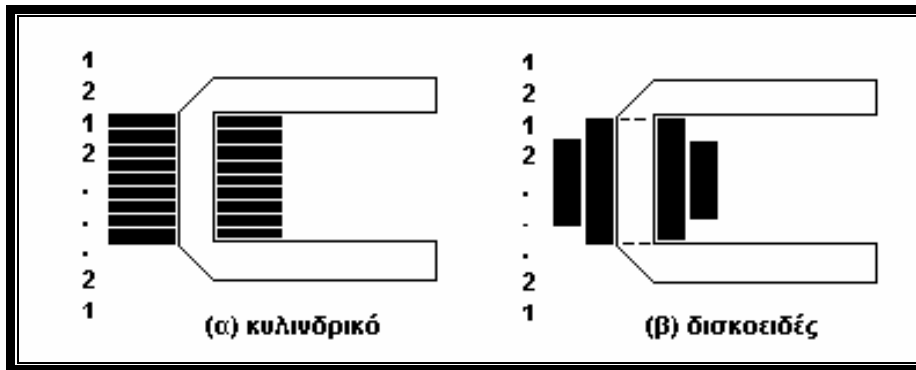
ΤΥΠΟΙ ΚΑΙ ΜΟΡΦΕΣ ΤΥΛΙΓΜΑΤΩΝ Μ/Τ

Εδώ διακρίνουμε τα κυλινδρικά και δισκοειδή τυλίγματα.

Πάντα στα κυλινδρικά τυλίγματα το τύλιγμα υψηλής τάσης είναι από την εξωτερική πλευρά και περιβάλλει το τύλιγμα χαμηλής τάσης, ώστε να είναι εξασφαλισμένη η μόνωση από τον πυρήνα.

Στα δισκοειδή το πρωτεύον ή το δευτερεύον υποδιαιρούνται σε μικρότερα ή περισσότερα τυλίγματα ή τοποθετούνται διαδοχικά το ένα κάτω από το άλλο.

Το κυλινδρικό λόγω απλούστερης κατασκευής χρησιμοποιείται περισσότερο.



Όπως είπαμε σε προηγούμενο κεφάλαιο ο Μ/Τ έχει ένα πρωτεύον και ένα δευτερεύον τύλιγμα. Ότι στοιχείο αναφέρεται στο πρωτεύον θα παίρνει τον δείκτη "1" και ότι στο δευτερεύον το δείκτη "2".

Οι ακροδέκτες Υ.Τ (υψηλή τάση) συμβολίζονται με τα γράμματα (Α,Β,С - U,V,W - H1,H2,H3 - 1V1,1V2,1V3) ενώ του δευτερεύοντος (α,β,с - u,v,w - X1,X2,X3 - 2V1,2V2,2V3). Η φορά περιέλιξης των τυλιγμάτων πρέπει να είναι τέτοια ώστε εάν στους ομώνυμους ακροδέκτες του πρωτεύοντος και του δευτερεύοντος εισέλθει ρεύμα, η μαγνητική ροή που θα δημιουργηθεί από το πρωτεύον Φ1 και από το δευτερεύον Φ2 σε οποιοδήποτε σημείο του πυρήνα να έχει την ίδια φορά.

Οι Μ/Τ αν έχουν μια φάση τους λέμε μονοφασικούς ή αν έχουν τρεις φάσεις τριφασικούς.

ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΟΣ ΙΔΑΝΙΚΟΣ Μ/Τ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΕΝ ΚΕΝΩ (ΧΩΡΙΣ ΦΟΡΤΙΟ)

Σε αυτή την λειτουργία ο Μ/Τ τροφοδοτείται με την φάση του δικτύου δηλ. U1 και στο δευτερεύον δεν έχουμε συνδέσει αντίσταση δηλαδή Rφ = ∞. Η τάση του δικτύου είναι U1= U1jωt και εφόσον μιλάμε για ιδανικό Μ/Τ, δεν υπάρχει ωμική αντίσταση και έτσι θα περάσει ένα ρεύμα

$$\bar{I}_{10} = \frac{\bar{U}_1}{j\omega L_1} = -j \frac{\bar{U}_1}{\omega L_1} \quad u_2 \neq 0 \quad I_2 = 0$$

το οποίο προπορεύεται της u1 κατά 90°. Το ρεύμα αυτό στην εν κενό λειτουργία το οποίο ονομάζεται ρεύμα μαγνήτισης και συμβολίζεται με $\bar{I}_\mu = \bar{I}_{10}$.

Το ρεύμα αυτό δημιουργεί ένα ομόρροπο διάρρευμα $\bar{\Theta}_{10} = \bar{I}_\mu w_1$ και αυτό μια ομόρροπη ροή

$$\bar{\Phi}_1 = \Phi \frac{U_{10}}{R_m}$$

η οποία είναι η μοναδική μαγνητική ροή στο κύκλωμα και είναι μεταφερόμενη ημιτονοειδής.

Αν λοιπόν η στιγμιαία ροή είναι: $\varphi(t) = \Phi_{\max} \sin \omega t$ η παραγόμενη Η.Ε.Δ.

είναι για το πρωτεύον ή το δευτερεύον

$$u_1 = e_1 = w_1 \frac{d\varphi}{dt} \quad (1) \quad u_2 = e_2 = w_2 \frac{d\varphi}{dt} w_2 \quad (2)$$

$$e_1 = w_1 \omega \Phi_{\max} \cos \omega t \quad e_2 = w_2 \omega \Phi_{\max} \cos \omega t$$

$$\omega = 2\pi f$$

Η ενεργός τιμή της παραγόμενης ΗΕΔ είναι:

$$E_1 = \frac{e_1}{\sqrt{2}} = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} \cdot f w_1 \Phi_{\max} \quad \text{ή} \quad E_1 = 4,44 f w_1 \Phi_{\max}$$

$$E_2 = \frac{e_2}{\sqrt{2}} = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} \cdot f w_2 \Phi_{\max} \quad \text{ή} \quad E_2 = 4,44 f w_2 \Phi_{\max}$$

$$\Phi_{\max} = \frac{V_1}{4,44 f w_1}$$

Από τον λόγο των (1) και (2) προκύπτει:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{W_1}{W_2}$$

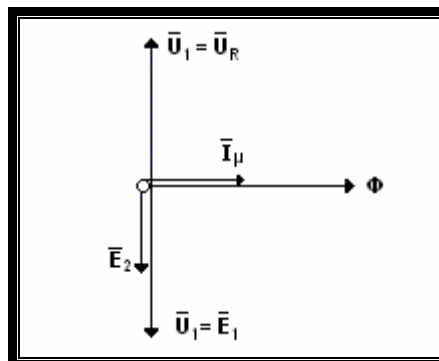
Επειδή στον ιδανικό Μ/Τ ισχύει η σχέση:

$$\bar{U}_1 = -\bar{E}_1$$

Εδώ έχουμε την εφαρμογή του νόμου του LENZ που είναι ο εξής :

" Η ένταση του ρεύματος μαγνήτισης I_m είναι τέτοια ώστε η προκύπτουσα από αυτήν μαγνητική ροή να δίνει μια ΗΕΔ = $4,44 f w_1 \Phi$ ίση και αντίθετη της τάσεως U_1 °

Βάσει των παραπάνω εξισώσεων φτιάχνουμε το διανυσματικό διάγραμμα της εν κενό λειτουργίας .



Λόγω της εν κενό λειτουργίας έχουμε και $\bar{E}_2 = -\bar{U}_{20}$. Συνεπώς στον ιδανικό Μ/Τ από την σχέση που αναφέραμε :

$$\frac{U_1}{U_{20}} = \frac{W_1}{W_2} = \frac{E_1}{E_2} \quad \frac{W_1}{W_2} = \kappa \quad (1)$$

ο λόγος σπειρών λέγεται συντελεστής μεταφοράς ή λόγος μετασχηματισμού .

ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ Μ/Τ ΜΕ ΦΟΡΤΙΟ

Με φορτίο εννοούμε ότι στα άκρα του δευτερεύοντος του Μ/Τ συνδέουμε μια αντίσταση Ζ.

Αν τώρα τροφοδοτηθεί το πρωτεύον τύλιγμα από το δευτερεύον θα περάσει ένα ρεύμα \bar{I}_2 . Το ρεύμα αυτό \bar{I}_2 δίνει ένα διάρρευμα $\bar{\Theta}_2 = \bar{I}_2 W_2$ και αυτό μια μαγνητική ροή Φ_2 στο μαγνητικό κύκλωμα. Με αυτόν τον τρόπο η έκφραση $\bar{U} = -\bar{E}_1$ δεν θα ίσχυε επειδή θα άλλαζε η ροή Φ .

Για να παραμείνει η ροή Φ (της εν κενό λειτουργίας) αμετάβλητη πρέπει να πάρουμε από το δίκτυο ένα πρόσθετο ρεύμα για το πρωτεύον \bar{I}'_2 τέτοιο που το διάρρευμα του $\bar{I}'_2 W_1$ να εξουδετερώνει το $\bar{I}_2 W_2$. Έτσι αν το ρεύμα του δευτερεύοντος (ρεύμα φορτίου) είναι I_2 τότε από το πρωτεύον διέρχεται ρεύμα εκτός του I_μ και το \bar{I}'_2

$$\begin{aligned} \bar{I}'_2 W_1 + \bar{I}_2 W_2 &= 0 \\ \text{ή } \bar{\Theta}'_2 + \bar{\Theta}_2 &= 0 \\ \Theta_1 + \Theta_2 &= \Theta_\mu + \Theta'_2 + \Theta_2 = \Theta_\mu \\ \text{ή } \bar{I}'_2 &= -\bar{I}_2 \frac{W_2}{W_1} \quad (2) \end{aligned}$$

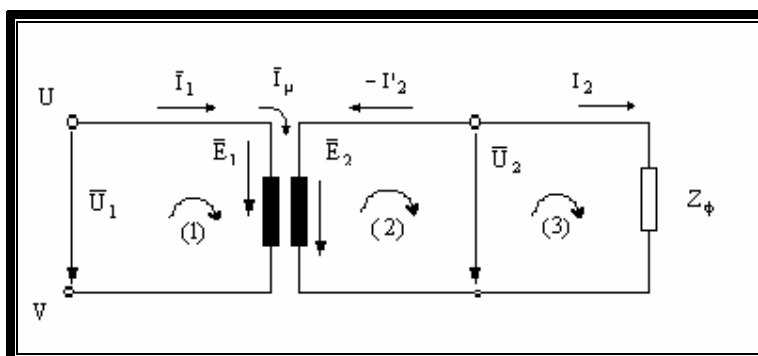
Η σχέση (2) αποτελεί την 2η συνθήκη ισορροπίας του ιδανικού Μ/Τ με φορτίο. Επίσης μπορούμε να γράψουμε :

$$\begin{aligned} \bar{\Theta}_\mu + \bar{\Theta}'_2 - \bar{\Theta}_2 &= \bar{\Theta}_\mu \\ \bar{\Theta}_1 - \bar{\Theta}_2 &= \bar{\Theta}_\mu \\ \bar{I}_1 W_1 - \bar{I}_2 W_2 &= \bar{I}_\mu W_1 \end{aligned}$$

Το σημείο είναι μείον γιατί το διάρρευμα του δευτερεύοντος εξουδετερώνει ένα μέρος του διαρρεύματος του πρωτεύοντος ώστε να παραμένει μόνο το διάρρευμα μαγνήτισης.

Διαιρούμε την τελευταία σχέση με W_1 και έχουμε: $\bar{I}_1 - \bar{I}_2 \frac{W_1}{W_2} = \bar{I}_\mu$ ή $\bar{I}_1 = \bar{I}'_2 + \bar{I}_\mu$

Το σχέδιο του ιδανικού Μ/Τ με φορτίο είναι το παρακάτω:



Από τη σχέση $\bar{U}_1 = -\bar{E}_1$ προκύπτει από το βρόχο (1) ότι η E_1 πρέπει να είναι ομόρροπη της διαγραφής του βρόχου.

Η \bar{E}_2 είναι ομόρροπη της \bar{E}_1 και με την εκλογή της \bar{U}_2 όπως στο σχήμα προκύπτει $\bar{U}_2 = -\bar{E}_2$. Ο βρόχος (3) του φόρτου δίνει: $\bar{U}_2 = \bar{I}_2 Z_\phi$ το $\bar{I}_1 + \bar{I}'_2 = \bar{I}_\mu$ όπου $\bar{I}'_2 = -\bar{I}_2 \frac{W_2}{W_1}$

Από τις εξισώσεις αυτές και να υποθέσουμε ότι το φορτίο είναι επαγωγικό μπορούμε να κατασκευάσουμε το διανυσματικό διάγραμμα.

Οι δύο βρόγχοι του κυκλώματος του Μ/Τ είναι δυνατόν να γίνουν συνεχόμενοι με κοινό κλάδο αρκεί να αναχθούν τα μεγέθη του δευτερεύοντος στο πρωτεύον.

Για να γίνει αυτό παίρνουμε :

$$E'_2 = E_2 \frac{W_1}{W_2} = E_1$$

$$U'_2 = U_2 \frac{W_1}{W_2}$$

Δηλαδή οι τάσεις του δευτερεύοντος ανάγονται στο πρωτεύον εάν πολλαπλασιαστούν με το λόγο

$$\frac{W_1}{W_2} \text{ και τα ρεύματα διαιρεθούν με το λόγο } \frac{W_1}{W_2} .$$

$$I'_2 = I_2 \frac{W_2}{W_1} = I_2 \div \frac{W_1}{W_2}$$

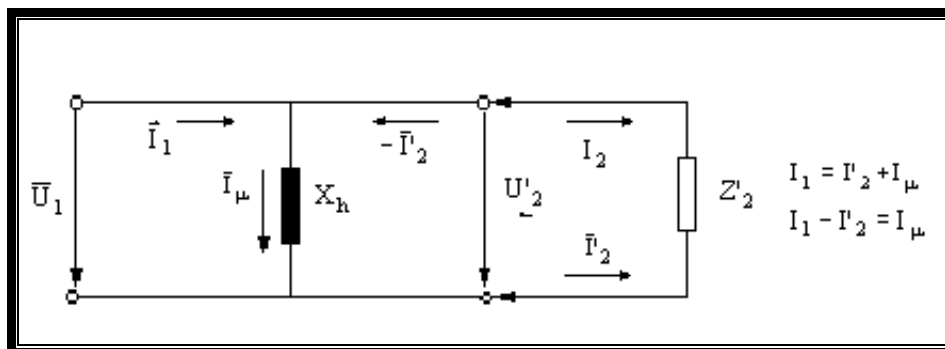
Για τις αντιστάσεις οι σχέσεις θα προκύψουν από την ισότητα των ισχύων.

$$I_2^2 Z_2 = I_2'^2 Z_2' \Rightarrow Z_2' = Z_2 \left[\frac{I_2}{I_2'} \right]^2 = Z_2 \left[\frac{W_2}{W_2'} \right]^2 = Z_2 \left[\frac{I_2}{I_2'} \right]^2 = Z_2 \left[\frac{I_2^2}{I_2'^2 \frac{W_2^2}{W_1^2}} \right] = Z_2 \left[\frac{W_1}{W_2} \right]^2$$

Με αντικατάσταση του $I_2' = I_2 \left[\frac{I_2}{I_1} \right]$

Συνεπώς $Z_2' = Z_2 \left[\frac{W_1}{W_2} \right]^2$, όπου Z' μπορεί να είναι $R_2' = R_2 \left[\frac{W_1}{W_2} \right]^2$ ή $X_{2\sigma}' = X_{2\sigma} \left[\frac{W_1}{W_2} \right]^2$

Το ισοδύναμο κύκλωμα ιδανικού Μ/Τ τώρα είναι το παρακάτω:



Η αντίσταση X_h αναφέρεται στο πρωτεύον.

$$\text{Για το φορτίο } Z'_2 \text{ ισχύει: } \bar{U}'_2 = -\bar{I}'_2 Z'_2$$

Για τις ισχύς από το διανυσματικό διάγραμμα παίρνουμε τα εξής:

$$1) P_1 = U_1 I_1 \cos \phi_1 = U_1 \text{ προβολή του } I_1 \text{ στην } U_1 = \text{προβολή του } I'_2 \text{ στο } U_1 = U_1 I'_2 \cos \phi_2 =$$

$$U_1 I_2 \frac{W_2}{W_1} \cos \phi_2 = U_2 I_2 \cos \phi_2$$

δηλαδή η προσλαμβανόμενη ισχύς είναι ίση με την αποδιδόμενη στον ιδανικό Μ/Τ.

2) Στο κενό ο Μ/Τ προσλαμβάνει μόνο την άεργο ισχύ μαγνήτισης.

$$Q = E_1 I_{10} = U_1 I_{10} \quad \text{και} \quad E_1 I_{10} = U_1 I_{1\mu}$$

3) Με φορτίο ο Μ/Τ προσλαμβάνει εκτός από την Q και την φαινόμενη ισχύ.

$$S = U_1 I'_2 = E_1 I'_2 = E_2 I_2 = U_2 I_2$$

Επειδή το $I_{1\mu}$ είναι μικρό παίρνουμε κατά προσέγγιση $U_1 I_1 = U_2 I_2$. Έτσι έχουμε :

$$\frac{I_{1ov}}{I_2} = \frac{U_2}{U_1} = \frac{E_2}{E_1} = \frac{W_2}{W_1} = \frac{I'_2}{I_1} \quad I_{1ov} = I'_2$$

ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΥ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗ

Οι απώλειες του Μ/Τ κατανέμονται ως εξής:

- 1) Απώλειες υστέρησης
- 2) Απώλειες δινορευμάτων
- 3) Απώλειες χαλκού.

Οι απώλειες υστέρησης, ή δινορευμάτων οφείλονται στο σίδηρο που έχουν τα τμήματα των Μ/Τ ή των Ηλεκτρικών μηχανών.

Οι απώλειες υστέρησης οφείλονται στο έργο μαγνήτισης του σιδηροπυρήνα δηλαδή το εμβαδόν του βρόχου υστέρησης της γνωστής συναρτήσεως $B = f(H)$

Ο STEIMMETZ διαπίστωσε εμπειρικά ότι οι απώλειες υστέρησης είναι ανάλογες του $B^{1,6}$. Αυτό όμως ισχύει για τιμές του $B < 10.000$ Gauss. Για τους Μ/Τ που το B είναι 12.000 -16.000 Gauss οι απώλειες υστέρησης είναι ανάλογες του B^2 . Η σχέση του μας δίνει τις απώλειες υστέρησης είναι:

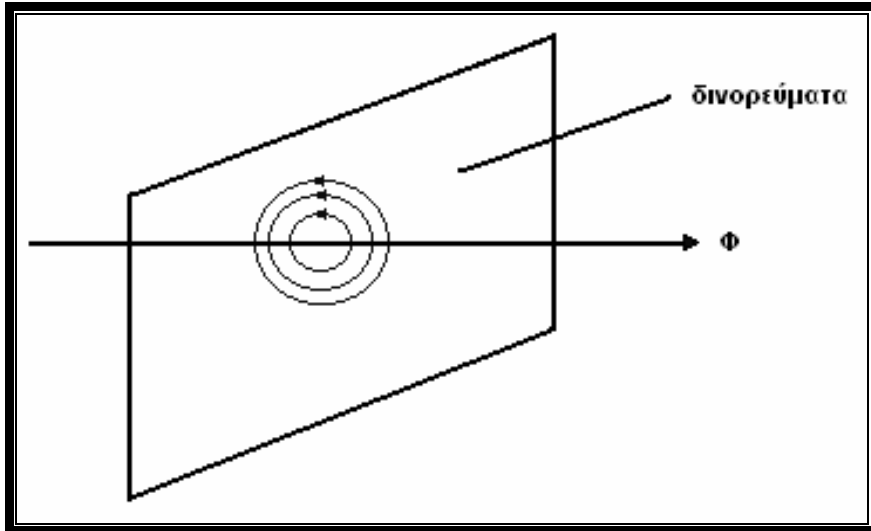
$$Q_{\text{υστ}} = C f B^2$$

- όπου : C : χαρακτηριστική σταθερά του υλικού
- f : η συχνότητα μαγνήτισης
- B : η μέγιστη τιμή της μαγνητικής επαγωγής.

Οι απώλειες υστέρησης είναι ανάλογες της συχνότητας επειδή εκφράζουν την χαμένη ενέργεια στη μονάδα του χρόνου και ο βρόχος διανύεται τόσες φορές στην μονάδα του χρόνου όση είναι η συχνότητα.

Απώλειες: δινορευμάτων

Οι απώλειες αυτές προέρχονται από ρεύματα τα οποία δημιουργούνται εξ επαγωγής επειδή ο σίδηρος είναι αγωγίμο υλικό. Δημιουργούνται δε σε επίπεδο κάθετο προς τη διεύθυνση της μαγνητικής ροής, και έχουν κλειστές τροχιές.



Τα δινορευμάτα είναι ανάλογα της τάσης εξ επαγωγής και επειδή η τάση είναι ανάλογη της συχνότητας και της μαγνητικής επαγωγής συνεπάγεται ότι οι απώλειες αυτές είναι ανάλογες του f^2 και B^2 . Στη μονάδα βάρους έχουμε::

$$Q_{\text{div}} = C f^2 B^2$$

Για να μειώσουμε τα δινορευμάτα πρέπει να μειώσουμε την τάση εξ επαγωγής συνεπώς πρέπει να μειωθεί η μαγνητική ροή. Για να γίνει αυτό κατασκευάζουμε τον πυρήνα από λεπτά ελάσματα πάχους 0,35mm μονωμένα από τη μια πλευρά. Έτσι το πεδίο το κάθετο προς την μαγνητική ροή δεν αποτελεί συνεχή αγωγίμη επιφάνεια και κάθε έλασμα διαρρέετε από ένα μέρος της μαγνητικής ροής. Άρα η επαγόμενη τάση είναι μικρή.

Για τις απώλειες σιδήρου (υστέρησης, δινορευμάτων) μπορούμε να αντιστοιχίσουμε ένα ρεύμα I_{FE}

$$I_{FE} = \frac{P_{FE}}{E_1} \approx \frac{P_o}{E_1} = \frac{P_{FE}}{E_1} \quad \text{και μια ωμική αντίσταση} \quad R_{FE} = \frac{E_1}{I_{F1}} \approx \frac{P_{FE}}{I_{FE}} = \frac{V_1}{I_{FE}}$$

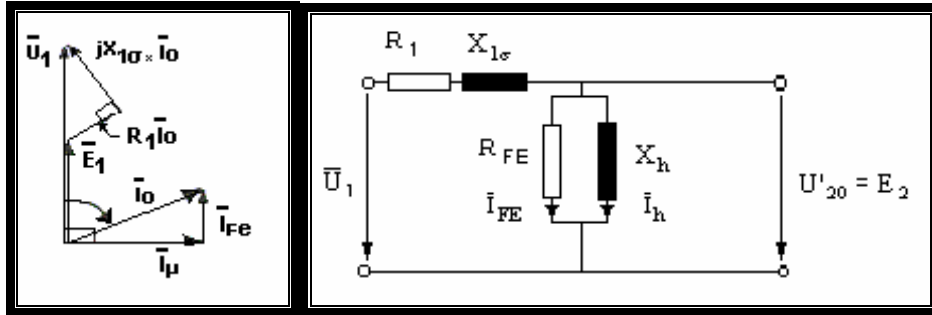
Αυτές τις μετρούμε σε ένα μετασχηματιστή εν κενό περιλαμβάνοντας και τις απώλειες χαλκού. Επειδή όμως οι απώλειες χαλκού είναι πολύ μικρές παίρνουμε:

$$P_o = P_{fe} \text{ δηλαδή η ισχύς που παίρνει ο } M/\Sigma \text{ καταναλίσκεται σε απώλειες σιδήρου.}$$

ΕΝ ΚΕΝΩ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΥ Μ/Τ

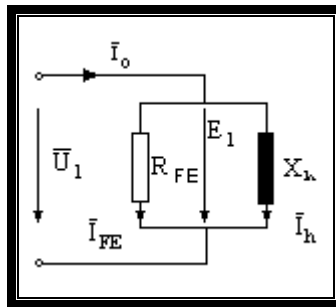
Στην εν κενό λειτουργία του Μ/Τ επειδή υπάρχει η ωμική αντίσταση του τυλίγματος έχουμε

$$\text{απώλειες που είναι ίσες με:} \quad P_{\text{cuo}} = P_o = I_0^2 R_1$$



Εδώ πρέπει να πούμε ότι το ρεύμα εν κενό I_0 δεν είναι ημιτονοειδές, επειδή περιέχει ανώτερες αρμονικές λόγω της μη γραμμικής χαρακτηριστικής της καμπύλης μαγνήτισης. Το ρεύμα I_{10} αναλύεται σε δύο συνιστώσες στο ρεύμα μαγνήτισης I_μ και στο ρεύμα σιδήρου I_{Fe} .

Η πτώση τάσης στην R_1 και $X_{\sigma 1}$ είναι μικρή και έτσι μπορούμε να γράψουμε ότι $U_1 = E_1$. Αν μετρήσουμε το I_{10} την U_1 , P_{10} εν κενώ μπορούμε να υπολογίσουμε τα στοιχεία R_{Fe} , X_h



$$U_1 = \bar{I}_{FE} R_{FE} = jX_h I_\mu$$

$$P_o = \frac{U_1^2}{R_{FE}} = j + X_h I_\mu$$

$$I_{10}^2 = I_{FE}^2 + I_h^2$$

Από τις σχέσεις αυτές προκύπτει:

$$R_{FE} = \frac{U_1^2}{P_o}$$

$$I_{FE} = \frac{U_1}{R_{FE}}$$

$$I_h = \sqrt{I_{10}^2 - I_{FE}^2}$$

$$X_h = \frac{U_1}{I_\mu}$$

Αν δοθεί επίσης το συνφ και οι ενδείξεις του βατόμετρου:

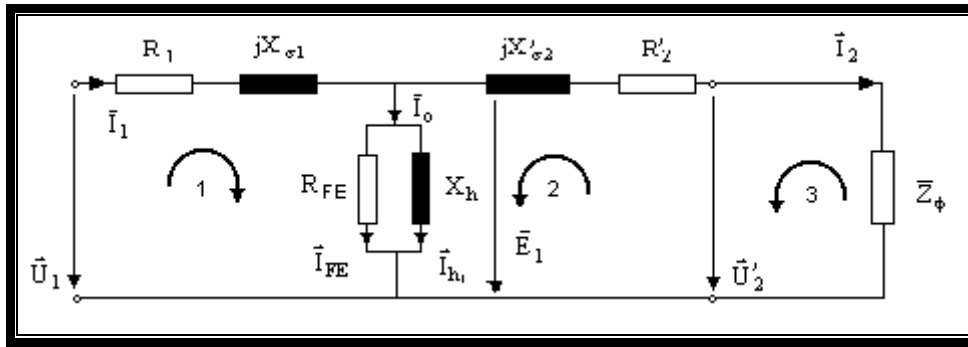
$$P = U_1 I_o \cos \phi_o \Rightarrow I_o = \frac{P}{U_1 \cos \phi_o}$$

$$I_{FE} = I_o \cos \phi_o \Rightarrow R_{FE} = \frac{U_1}{I_{FE}}$$

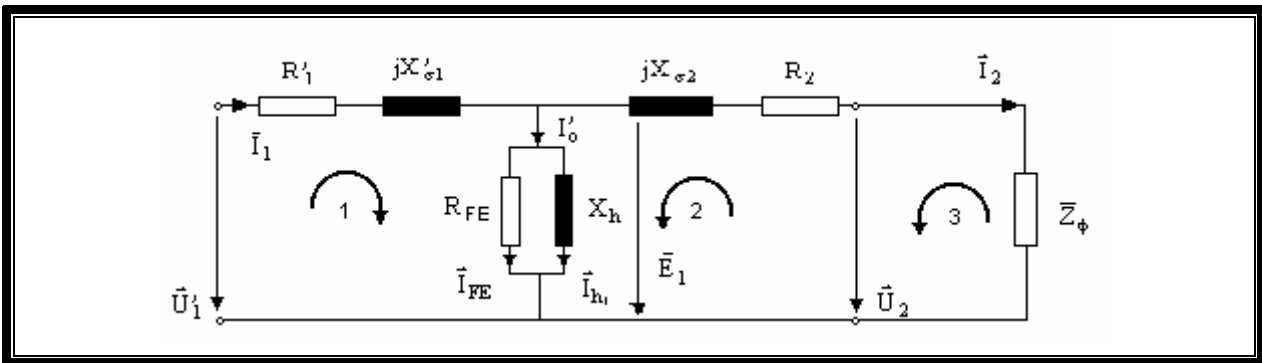
$$I_h = I_o \sin \phi_o \Rightarrow X_h = \frac{U_1}{I_o}$$

Τα ρεύματα I_{Fe} και I_μ που υπολογίζουμε εν κενώ θεωρούμε ότι διατηρούν την τιμή τους και στη λειτουργία με φορτίο επειδή η μεταβολή τους είναι μικρή σε σύγκριση με την μεταβολή του ρεύματος. Επομένως για κάθε μελέτη μονοφασικού ή τριφασικού μετασχηματιστή τα μεγέθη αυτά είναι σταθερά και έχουν τις τιμές που υπολογίσαμε εν κενώ.

ΠΛΗΡΕΣ ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΚΥΚΛΩΜΑ ΚΑΙ ΔΙΑΝΥΣΜΑΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ Μ/Τ ΜΕ ΦΟΡΤΙΟ

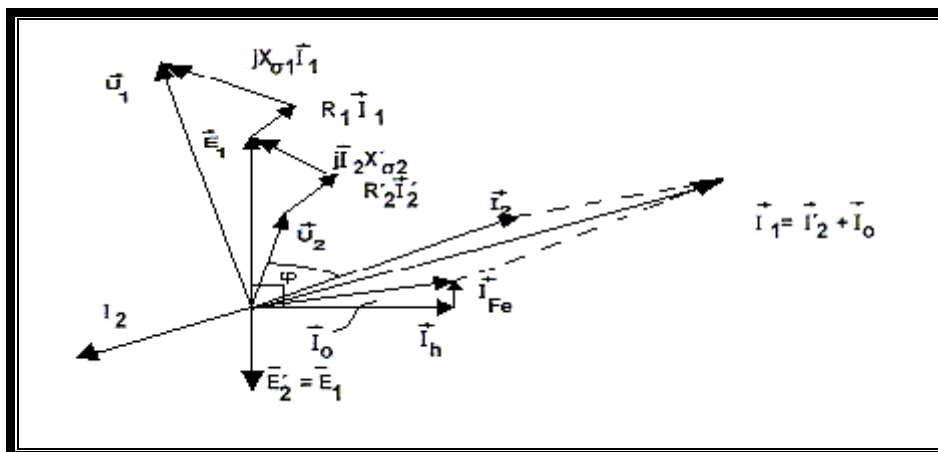


Ανοιγμένο στο πρωτεύον

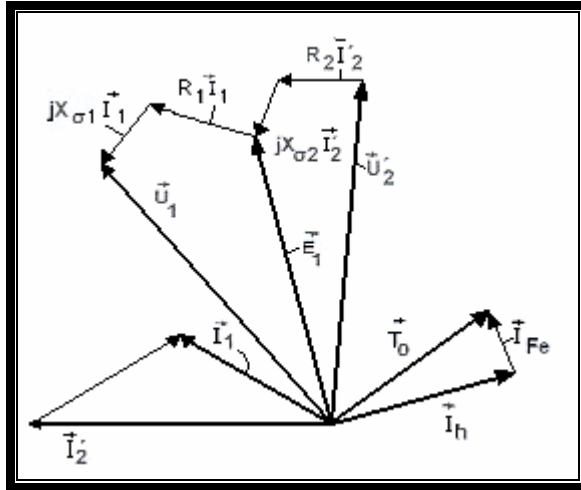


Ανοιγμένο στο δευτερεύον

Η αντίσταση $Z\phi'$ παριστάνει την ανοιγμένη αντίσταση του φορτίου. Αν υποθέσουμε ότι το φορτίο είναι ωμικό-επαγωγικό τότε το ρεύμα προπορεύεται της τάσης και από τις σχέσεις των βρόχων (1), (2), (3), κατασκευάζουμε το διανυσματικό διάγραμμα του κυκλώματος.



Το ρεύμα I_o που είναι η διαφορά μεταξύ του ρεύματος στο πρωτεύον και του ρεύματος στο δευτερεύον μπορεί να θεωρηθεί ίσο με το ρεύμα εν κενό, διότι το μαγνητικό πεδίο στο σίδηρο και οι απώλειες αυτού παραμένουν αμετάβλητες, όταν μεταβαίνουμε από την κατάσταση εν κενό στο φορτίο. Αν το φορτίο είναι χωρητικό τότε το ρεύμα προπορεύεται της τάσεως και η τάση U_2' είναι μεγαλύτερη της U_1 στο πρωτεύον.



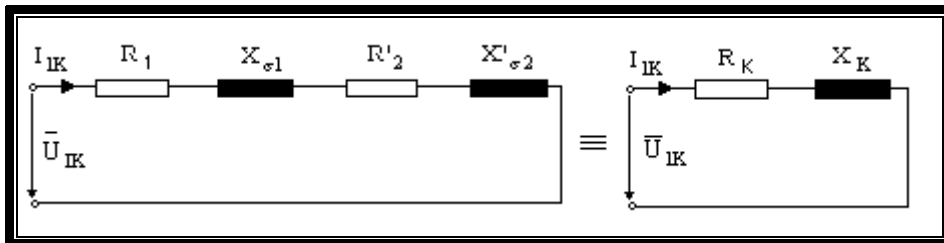
Αυτό σημαίνει ότι για μια σταθερή τάση τροφοδότησης του πρωτεύοντος έχουμε αύξηση της τάσης στο δευτερεύον αν αυτός φορτιστεί με χωρητικό φορτίο, δηλ. η τάση με φορτίο θα είναι μεγαλύτερη της τάσης εν κενό στο δευτερεύον.

ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΕ ΒΡΑΧΥΚΥΚΛΩΜΑ

Λέγοντας βραχυκύκλωμα εννοούμε ότι τα δυο άκρα του πρωτεύοντος ή του δευτερεύοντος συνδέονται με αγώγιμη σύνδεση, οπότε η τάση αυτών των άκρων μηδενίζεται ενώ στο άλλο τύλιγμα εφαρμόζεται ορισμένη τάση επειδή ισχύει η αναλογία :

$$R_1 : R'_2 : X_{\sigma 1} : X'_{\sigma 2} : R_{FE} : X_h = 1 : 1 : 1 : 2 : 1000 : 10000$$

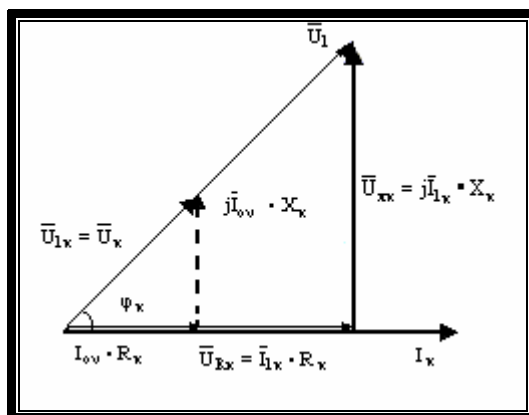
δηλαδή οι R_{Fe} , X_h είναι πολύ μεγάλες σε σχέση με τις υπόλοιπες έπεται ότι το I_0 θα είναι πολύ μικρό σε σχέση με το I_1 και I'_2 και μπορούμε να παραλείψουμε τα στοιχεία αυτά οπότε έχουμε το ισοδύναμο κύκλωμα με ανοιγμένα τα στοιχεία του δευτερεύοντος στο πρωτεύον



$$\vec{I}_1 \approx -\vec{I}'_2 \frac{W_2}{W_1} \quad R_K \approx R_1 + R'_2$$

$$X_K \approx X_{\sigma 1} + X'_{\sigma 2}$$

Το διανυσματικό διάγραμμα είναι το παρακάτω:



$$\begin{aligned}
R_k &= R_1 + R'_2 \\
X_k &= X_{\sigma 1} + X'_{\sigma 2} \\
Z_k &= R_k + jX_k \quad \text{με} \quad \text{ανοιγμένα στο πρωτεύον και στο δευτερεύον αντίστοιχα} \\
R_k &= R_1 + R_2 \\
X_k &= X'_{\sigma 1} + X_{\sigma 2}
\end{aligned}$$

$$U_{1k} = I_{1ov} Z_k \quad (1)$$

$$U_{2k} = I_{2ov} Z_k \quad (2)$$

$$I_{1k} = I_{1ov} = \frac{U_{1k}}{Z_k} \quad U_{1k} = I_{1ov} (R_k + jX_k)$$

$$I_{2k} = I_{2ov} = \frac{U_{2k}}{Z_k} \quad U_{2k} = I_{2ov} (R_k + jX_k)$$

$$Z_k = R_k + jX_k$$

$$\left[I_{1k} = \frac{U_{1k}}{Z_k}, U_{1k} = (R_k + jX_k) I_{1k} = I_{1k} Z_k = I_{ov} Z_k \right]$$

Επειδή οι $R_1, R'_2, X_{\sigma 1}, X'_{\sigma 2}$, είναι πολύ μικρές έπεται ότι το ρεύμα βραχυκύκλωσης θα είναι πολύ μεγάλο. Για να υπολογιστούν τα στοιχεία R_k, X_k αρκεί να μετρηθούν τα $U_{1k}, I_{1k}, P_{1k} = U_{1k} I_{1k} \cos \phi_k$ το $I_k = I_{1k}$

Ορίζουμε " τάση βραχυκύκλωσης " την τάση που πρέπει να δώσουμε στο πρωτεύον (όταν το δευτερεύον είναι βραχυκυκλωμένο) ώστε από το πρωτεύον να περνάει ρεύμα ίσο με το ονομαστικό. Η ονομαστική τάση βραχυκύκλωσης ορίζεται από τη σχέση:

$$\tilde{U}_k (\%) = 100 \frac{U_{1kov}}{U_{1ov}} \quad \tilde{U}_{1k} = \left[U_{1k} = \frac{U_{1kov} Z_k}{U_{1ov}} \bullet 100 \right] = \frac{U_{1kov} Z_k}{U_{1ov}} \bullet 100 (\%)$$

Οι τιμές στις U_k στους Μ/Τ είναι 3 - 8% για μέχρι 5000 ΚVA και η τάση μέχρι 50KV 8 -12% .Η μεγάλους Μ/Τ.

Επίσης από το διανυσματικό διάγραμμα έχουμε:

$$\cos \phi_k = \frac{U_{1kov} R_k}{U_{kov}} = \frac{I_{1ov}^2 Z_k}{U_{1kov} I_{1ov}} = \frac{P_k}{U_{kov} I_{1ov}} \quad \text{όπου}$$

- P_k : οι απώλειες βραχυκύκλωσης στη δοκιμή. $U_1 = U_k$ και $I_1 = I_{1ov}$

Η U_k είναι η συνολική πτώση τάσης στη δοκιμή βραχυκύκλωσης .Αυτή αναλύεται στις συνιστώσες .

α) Ωμική πτώση τάσης του Μ/Τ

$$\bar{U}_R = \bar{I}_{1ov} R_k = \bar{I}_{1ov} (R_1 + R'_2) \quad (1)$$

$$U_R = \bar{I}_{2ov} R_k = \bar{I}_{2ov} (R_1 + R'_2) \quad (2)$$

β) Την επαγωγική πτώση τάσης σκεδασμού:

$$U_{\sigma 1} = U_{\chi \sigma 1} = j I_{1ov} X_k = I_{1ov} (X_{\sigma 1} + X'_{\sigma 2}) \quad (1) \quad U_{\chi \sigma} = I_{2ov} (X'_{\sigma 1} + X_{\sigma 2})$$

Αυτές όμως προκύπτουν και από τις σχέσεις:

$$U_R = U_{\kappa} \cos \phi_{\kappa}$$

ή

$$U'_R = U'_{\kappa} \cos \phi_{\kappa} (\%)$$

ή

$$U_{\chi\sigma} = U_{\kappa} \sin \phi_{\kappa} = \sqrt{U_{\kappa}^2 - U_R^2}$$

Το πραγματικό ρεύμα βραχυκύκλωσης $I_{1\kappa} = I'_{\kappa}$ ή ονομαστικό ρεύμα βραχυκύκλωσης είναι το ρεύμα που διέρχεται από το πρωτεύον όταν το δευτερεύον βραχυκυκλωθεί και στο πρωτεύον έχουμε την ονομαστική τάση.

$$I_{\kappa} = \frac{U_1}{Z_{\kappa}}$$

$$X_{\kappa} = X_{\sigma} = \sqrt{U_{\kappa}^2 - U_R^2}$$

$$U_{\chi\sigma} = I_{1\kappa} X_{\kappa}$$

ή αριθμητικώς

$$I_{\text{πραγμ.βραχ.}} = \frac{U_1}{Z_{\kappa}}$$

$$\frac{I_{\text{πραγμ.βραχ.}}}{I_{1\text{ov}}} = \frac{\frac{U_1}{Z_{\kappa}}}{\frac{U_1}{Z_{\kappa}}}$$

$$I_{\text{πραγμ.βραχ.}} = I_{1\text{ov}} \frac{1}{\frac{I_{\text{εισ}} Z_{\kappa}}{U_1}} = I_{1\text{ov}} \frac{1}{\tilde{U}_{\kappa}}$$

Η τάση βραχυκύκλωσης του Μ/Τ καθορίζει συνεπώς και την ονομαστική ένταση του ρεύματος βραχυκύκλωσης, από την οποία προσδιορίζεται η ισχύς διακοπής των διακοπών Χ,Τ. και η ηλεκτρική αντοχή των οργάνων Χ,Τ. (Μ/Τ έντασης κ.λ.π.)

Οι απώλειες χαλκού είναι :

$$P_{\text{CU}2} = I_2^2 R_2$$

$$P_{\text{CU}1} = I_1^2 R_1$$

$$P_{\text{CU}} = P_{\text{CU}1} + P_{\text{CU}2}$$

$$R = R'_1 + R_2$$

Από τη σχέση

$$\frac{P_{\text{CU}}}{S} = \frac{I_{1\text{ov}}^2 R}{I_{1\text{ov}} U_{1\text{ov}}} = \frac{I_{1\text{ov}} R}{U_{1\text{ov}}} = \frac{U_R}{U_{1\text{ov}}}$$

$$\tilde{U}_R = \frac{U_R}{U} \cdot 100 \% = \frac{P_{\text{CU}}}{S} \cdot 100$$

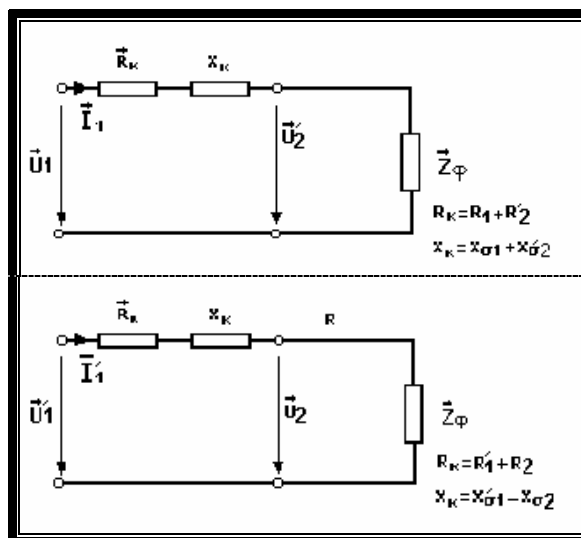
Αυτή είναι η σχετική ωμική πτώση τάση

ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΣΚΕΔΑΣΜΟΥ

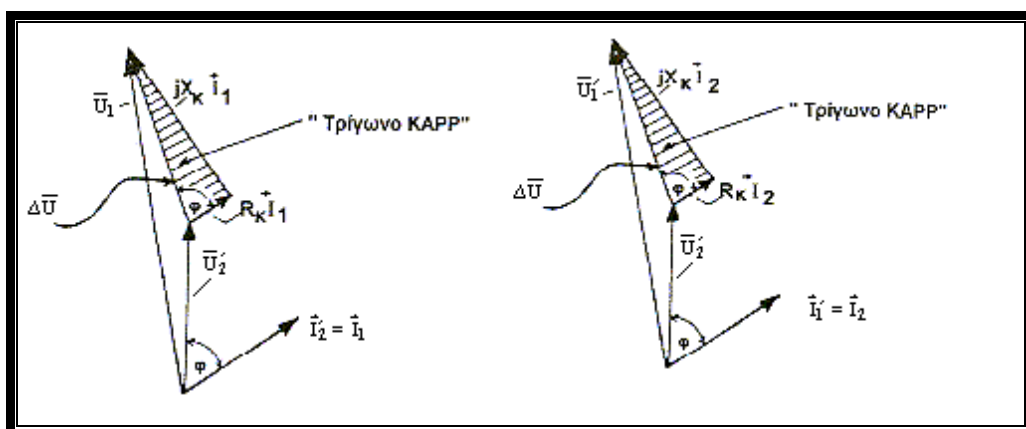
Στον πραγματικό Μ/Σ δεν διέρχονται όλες οι μαγνητικές γραμμές μέσα από τον πυρήνα. Υπάρχει πάντα ένα ποσοστό μαγνητικών γραμμών οι οποίες κλείνουν μέσω του αέρα. Αυτό συμβαίνει ακόμα και στην εν κενό λειτουργία. Η ωφέλιμη μαγνητική ροή είναι αυτή που διέρχεται μέσα από τον πυρήνα και την ονομάζουμε ροή μαγνήτισης. Η υπόλοιπη ροή ονομάζεται ροή σκέδασης. Όταν φορτίζεται ο Μ/Τ παίζει σπουδαίο ρόλο η ροή σκέδασης καθώς δημιουργείται και στο δευτερεύον, έτσι αντιστοιχούμε στις ροές αυτές τις επαγωγικές αντιστάσεις σκεδασμού $X_{\sigma 1}$ $X_{\sigma 2}$.

ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΤΑΣΕΩΣ Μ/Τ ΜΕ ΦΟΡΤΙΟ

Όταν στον Μ/Τ συνδεθεί φορτίο Z παραλείπουμε χωρίς σοβαρό λάθος τα I_f I_m δηλαδή τις απώλειες σιδήρου και το ρεύμα μαγνήτισης για να εξετάσουμε την μεταβολή της τάσης του Μ/Τ στο δευτερεύον ενώ η τάση πρωτεύοντος παραμένει σταθερή. Έτσι χρησιμοποιούμε το παρακάτω ισοδύναμο κύκλωμα.



Πριν συνδέσουμε το φορτίο εν κενό δηλαδή έχουμε $U'_2 = U_1$. Όταν συνδεθεί το φορτίο το ρεύμα I_1 δημιουργεί την πτώση τάσης $(R_k + jX_k) I_1$ και έτσι έχουμε μια άλλη τάση U'_2 της οποίας η διαφορά υπολογίζεται όπως παρακάτω



$$R_k = R_1 + R'_2 \quad \text{με} \quad X_{\sigma 1} \approx X'_{\sigma 2}$$

$$X_k = X_{\sigma 1} + X'_{\sigma 2} \quad R_1 \approx R'_2$$

Το τρίγωνο που σχηματίζεται ονομάζεται τρίγωνο του KAPP και μας δείχνει την διαφορά της ανοιγμένης τάσης U_2 από την U_1 . Η τάση $U_1 = U_2$ δηλαδή την εν κενό και έτσι παίρνουμε με προσέγγιση την μεταβολή της τάσης ενός Μ/Τ με φορτίο. Αυτή είναι εξάρτηση της γωνίας ϕ .

Η εκατοστιαία πτώση τάσης ε ορίζεται ως εξής:

$$\varepsilon = \frac{U_1 - U_2}{U_1} \cdot 100\% = \frac{U_2' - U_2}{U_2'} \cdot 100\% = \frac{U_1' - U_2}{U_1'} \cdot 100\% = \frac{U_1 - U_2}{U_1} \cdot 100\%$$

Ορίζοντας την διεύθυνση της τάσης U_2 ως άξονα πραγματικών αριθμών και σύμφωνα με το διανυσματικό διάγραμμα έχουμε:

$$\begin{aligned}\bar{U}_1 &= \bar{U}_2' + I_1 \angle \phi^0 \cdot Z_k = U_2' + I_1 (\cos \phi + j \sin \phi) (R_k + j X_k) \\ \bar{U}_1 &= U_2' + R_k I_1 \cos \phi + X_k I_1 \sin \phi + j X_k I_1 \cos \phi - R_k I_1 \sin \phi\end{aligned}$$

Διαιρώ τη σχέση αυτή με U_1 .

$$\frac{\bar{U}_1}{U_1} = \frac{U_2'}{U_1} + \frac{R_k I_1}{U_1} \cos \phi + \frac{X_k I_1}{U_1} \sin \phi + j \left[\frac{X_k I_1}{U_1} \cos \phi - \frac{R_k I_1}{U_1} \sin \phi \right]$$

και έτσι για λόγους συντομίας μπορούμε να γράψουμε:

$$\frac{R_k I_1}{U_1} = \varepsilon_\chi = U_\chi$$

Ωμική πτώση τάσης (σχετική).

$$\frac{X_k I_1}{U_1} = \varepsilon_\chi = U_\chi$$

Η επαγωγική πτώση τάσης (σχετική).

$$\varepsilon' = \varepsilon_R \cos \phi + \varepsilon_\chi \sin \phi$$

$$\varepsilon'' = \varepsilon_\chi \cos \phi - \varepsilon_R \sin \phi$$

Έτσι καταλήγουμε στην εξίσωση

$$\frac{\bar{U}_1}{U_1} = \frac{U_2'}{U_1} + \varepsilon' + j \varepsilon''$$

Εδώ θα παραλείψουμε ορισμένες μαθηματικές πράξεις που δεν μας ενδιαφέρουν και που καταλήγουν στη σχέση:

$$1 - \frac{U_2'}{U_1} = \varepsilon \quad \text{ή} \quad U_2' = \left(1 - \frac{\varepsilon}{100}\right) U_1 \quad \varepsilon = \frac{U_1 - U_2'}{U_1} \quad \text{με} \quad \varepsilon \approx \varepsilon' \pm \frac{1}{2} \varepsilon''^2$$

Για επαγωγικό φορτίο

$$\left. \begin{aligned} \xi &= U_r \cos \phi_2 + U_x \sin \phi_2 \\ \xi' &= U_x \cos \phi_2 - U_r \sin \phi_2 \end{aligned} \right\} \frac{\xi}{100} \approx \xi' + 0.005 \xi'^2$$

$$U_2 = \left(1 - \frac{\xi}{100}\right) U_1$$

$$\xi \approx \frac{U_{20} - U_2}{U_{20}} \cdot 100 - \frac{U_{20}' - U_2'}{U_{20}'} \cdot 100 - \frac{U_1 - U_2}{U_1} \cdot 100$$

Για χωρητικό φορτίο

$$\left. \begin{aligned} \xi &= U_x \sin \phi_2 - U_r \cos \phi_2 \\ \xi' &= U_x \cos \phi_2 + U_r \sin \phi_2 \end{aligned} \right\} \frac{\xi}{100} = \xi' - 0.005 \xi'^2$$

$$U_2' = \left(1 - \frac{\xi}{100}\right) U_1$$

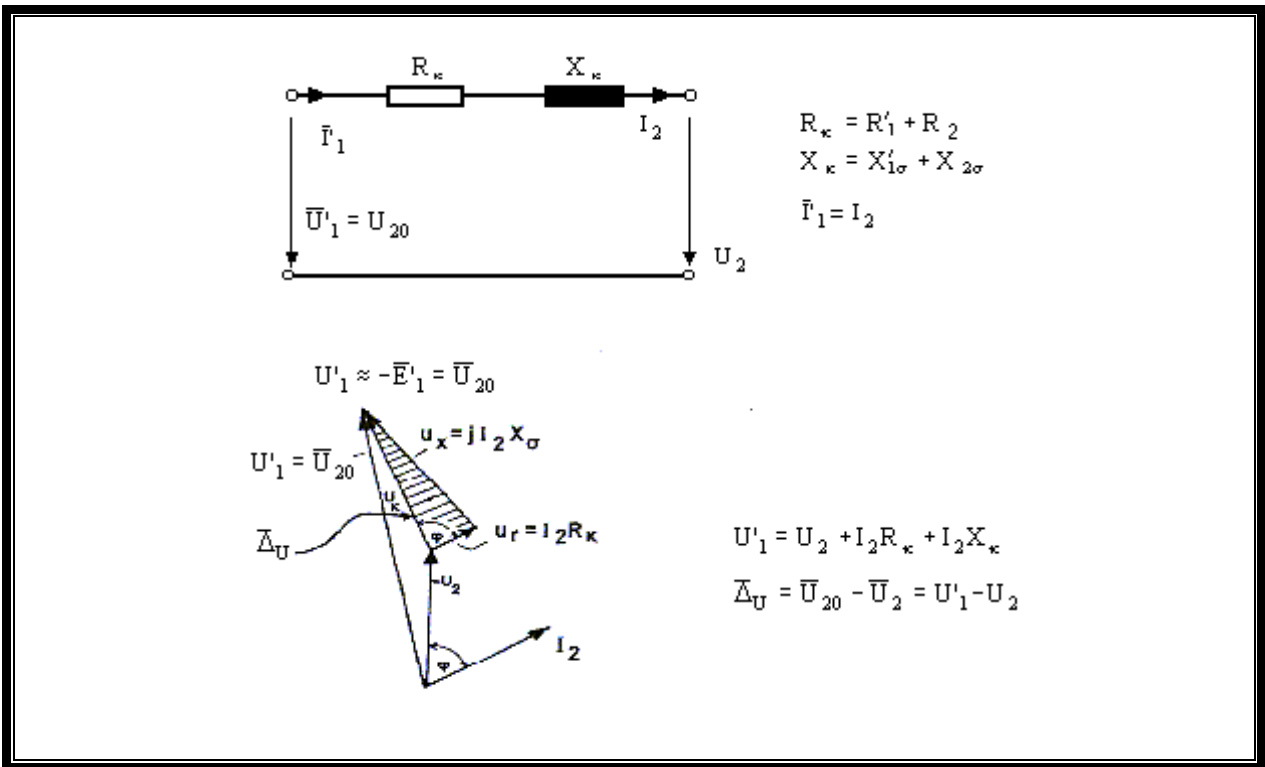
ΚΑΡΡ στο 1ov

$$R_K = R_1 + R_2' \quad X_\sigma = X_{\sigma 1} + X_{\sigma 2}'$$

$$\vec{I}_1 \approx -\vec{I}_2 \quad R_\kappa = R_1 + R_2' \quad X_\kappa = X_{1\sigma} + X_{2\sigma}'$$

$$\vec{U}_1 = \vec{U}_2' + I_1 R_\kappa + I_1 X_\kappa$$

$$\vec{\Delta U} = \vec{U}_1 - \vec{U}_2'$$



ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ

Στις ηλεκτρικές μηχανές όσο και στους μετασχηματιστές εμφανίζονται απώλειες που αναφέραμε στα προηγούμενα κεφάλαια δηλαδή οι απώλειες χαλκού και οι απώλειες σιδήρου (υστέρησης δινορευμάτων).

$$P_{\alpha\pi} = P_{CU} + P_{FE} = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 + P_{FE}$$

Οι απώλειες σιδήρου μπορούν να υπολογιστούν από την λειτουργία του Μ/Τ εν κενό τις οποίες μετρούμε με ένα βατόμετρο ($P_o = U I_o$). Για τριφασικό Μ/Τ θα είναι $P_o = P_{fe} = \sqrt{3} U I_o \cos\phi_o$. Τις απώλειες χαλκού μπορούμε, να τις μετρήσουμε με την βραχυκύκλωση του δευτερεύοντος και με τάση τόσο ώστε να διέρχεται το ονομαστικό ρεύμα ή και μικρότερο ρεύμα. Οι απώλειες αυτές μετριοούνται με ένα βατόμετρο. Ο βαθμός απόδοσης είναι:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + \Sigma P_{\alpha\pi}} = \frac{P_2}{P_2 + P_o + P_{CU}} = \frac{P_2}{P_2 + P_{FE} + P_{CU}} = \frac{P_1 - P_{FE} - P_{CU}}{P_1}$$

Ο βαθμός απόδοσης εξαρτάται από το φορτίο και είναι μεγαλύτερος όταν $P_{FE} = P_{cu}$. Αυτό μπορεί να προκύψει από την:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100 = 100 - 100 \cdot \frac{P_{FE} + P_{CU}}{P_2 + P_{FE} + P_{CU}}$$

$$P_{CU} = P_{CUov} \cdot \left[\frac{I}{I_{ov}} \right]^2 \quad (1) \quad \left\{ \frac{P_{CU}}{P_{CUov}} = \frac{I^2 R}{I_{ov}^2 R} \Rightarrow P_{CU} = P_{CUov} \cdot \left[\frac{I}{I_{ov}} \right]^2 \right\}$$

$$P_1 = P_2 + P_{FE} + P_{CU}$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100 = \frac{P_1 - (P_{FE} + P_{CU})}{P_1} \cdot 100 \Rightarrow \eta = 100 - 100 \cdot \frac{P_{FE} + P_{CU}}{P_1} \quad (2)$$

$$P_{FE} \text{ ανεξαρτ. } \left\{ \begin{array}{l} P_{FE} \text{ ανεξαρτ. το } u(I_2, I_1) \\ P_{CU} = f(I) = I^2 R \end{array} \right\} \quad \text{Βρίσκω το max ή παραγωγίζοντας την (2)}$$

$$\frac{d\eta}{dI} = -100 \frac{P_1 (P_{FE} + P_{CU})' - P_1' (P_{FE} + P_{CU})}{P_1^2} = 0$$

$$\text{Επειδή } P_1 = U_1 I \cos \phi_1 \text{ ή } P_1' = U_1 \cos \phi_1$$

$$\Rightarrow \text{αφού } P_{FE} = \text{σταθ} \Rightarrow U_1 I \cos \phi_1 2IR - U_1 \cos \phi_1 (P_{FE} + P_{CU}) = 0 \quad (3)$$

$$\Rightarrow U_1 I \cos \phi_1 2IR = U_1 \cos \phi_1 (P_{FE} + P_{CU})$$

$$2I^2 R = P_{FE} + P_{CU} \Rightarrow P_{FE} = P_{CU} = I^2 R \quad (4)$$

$$(4) \xrightarrow{(1)} P_{FE} = P_{CUov} \left[\frac{I}{I_{ov}} \right]^2 \Rightarrow I = I_{ov} \sqrt{\frac{P_{FE}}{P_{CUov}}} \quad (5) \quad \text{Αυτό είναι το ρεύμα για να έχουμε } \eta_{max}$$

$$\text{π.χ. } \frac{P_{FE}}{P_{CUov}} = \frac{1}{4} \Rightarrow I = \frac{1}{2} I_{ov} \quad \text{για } \eta_{max}$$

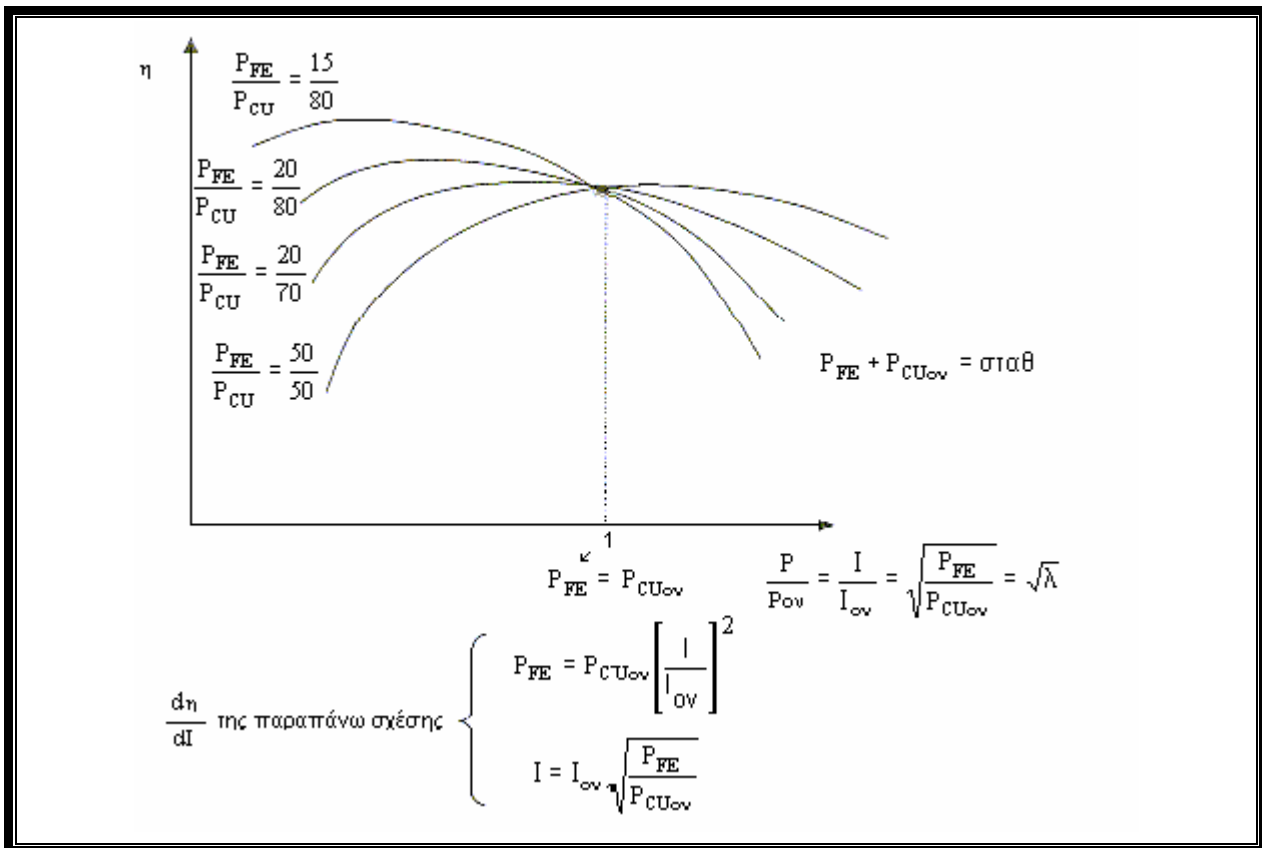
Για τη σύγκριση 2 Μ/Σ ως προς τον συντελεστή απόδοσης θεωρούμε τον συντελεστή απόδοσης υπό ονομαστικό φορτίο ίσο για όλους τους Μ/Σ.

$$\text{δηλ. } \frac{P_{FE} + P_{CUov}}{P_{CUov}} = \text{σταθ}$$

$$\text{μεταβάλλουμε τον λόγο } \frac{P_{FE}}{P_{CUov}} = \lambda$$

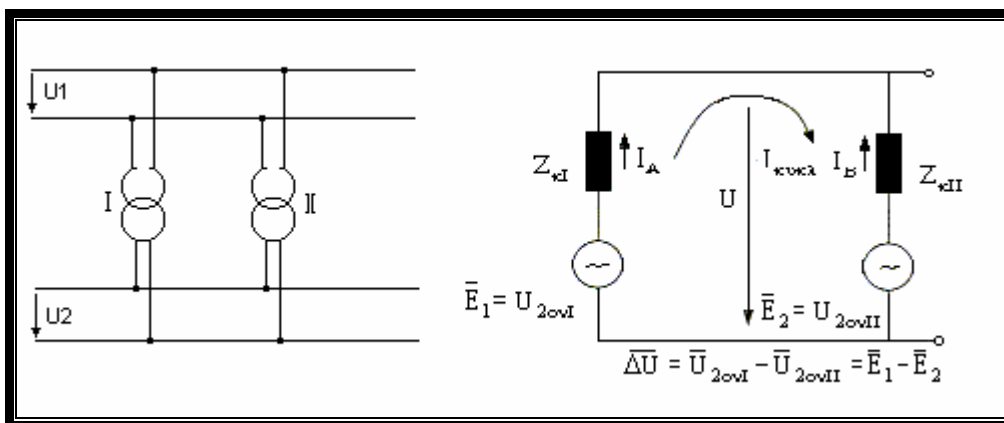
τότε από την (2) για το η και της συνθήκης (2), (5) προκύπτει για μια ορισμένη τιμή του λ το η_{max}
 ως $\eta = 100 - 100 \cdot \frac{2\sqrt{P_{FE} \cdot P_{CUov}}}{P_{100}}$ αυτή η τιμή λαμβάνεται για φορτίο: $\frac{P}{P_{ov}} = \frac{I}{I_{ov}} = \sqrt{\frac{P_{FE}}{P_{CUov}}} = \sqrt{\lambda}$

Έτσι προκύπτουν οι καμπύλες του σχήματος $\eta = f(\lambda)$.



ΠΑΡΑΛΛΗΛΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ Μ/Τ

Δύο ή περισσότεροι Μ/Τ μπορούν να συνδεθούν παράλληλα αν απαιτεί η κατανάλωση δηλαδή το πρωτεύον και το δευτερεύον αυτών από την ίδια τάση. Θα εξετάσουμε την περίπτωση δυο μονοφασικών μετασχηματιστών που είναι παράλληλα συνδεδεμένοι. Το ίδιο ακριβώς συμβαίνει και τριφασικούς Μ/Τ.



Στο σχήμα ο κάθε Μ/Τ παριστάνεται με μια πηγή της οποίας η τάση εν κενό \bar{U}_{20} εσωτερική αντίσταση είναι ίση με την αντίσταση βραχυκύκλωσης $Z = (R_1 + R_2') + j(X_{\sigma 1} + X_{\sigma 2}')$. Όταν το ρεύμα του Μ/Τ II $\bar{I}_2 = 0$ για να μην υπάρχει ρεύμα στον βρόχο που σχηματίζεται πρέπει $U_{20I} = U_{20II}$

Η σχέση αυτή σημαίνει ότι οι τάσεις πρέπει να έχουν την ίδια φάση και το ίδιο μέτρο. Αυτό γίνεται εάν οι δύο Μ/Τ έχουν τον ίδιο λόγο μετασχηματισμού. Εάν οι Μ/Τ είναι τριφασικοί πρέπει επί πλέον να έχουν την ίδια συνδεσμολογία των τυλιγμάτων .

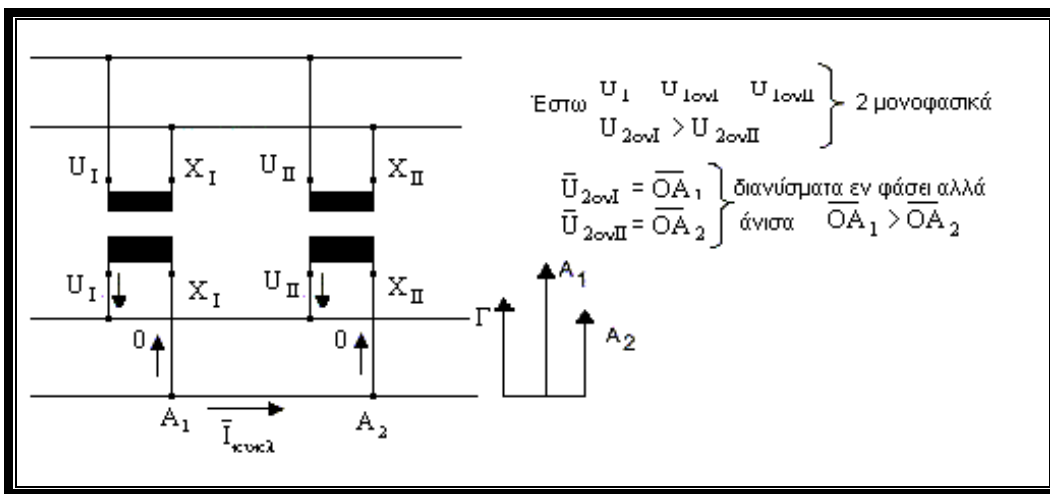
Δηλαδή συνοψίζοντας για να γίνει η παράλληλη σύνδεση θα πρέπει να ισχύουν 4 συνθήκες :

- Ίδια ομάδα σύνδεσης και χαρακτηριστικό αριθμό
- Οι ακροδέκτες τους τόσο στην Υ.Τ. όσο και στην Χ.Τ. να είναι ομώνυμοι
- Οι τάσεις πρωτευόντων και δευτερευόντων τυλιγμάτων να έχουν το ίδιο μέτρο και ίδια φάση
- Οι τάσεις βραχυκύκλωσης να είναι ίσες ή με απόκλιση 10%

Όταν ισχύουν αυτές οι συνθήκες οι Μ/Τ φορτίζονται ανάλογα με την ονομαστική τους ισχύ και το συνολικό ρεύμα είναι ίσο με το αριθμητικό άθροισμα των επιμέρους ρευμάτων χωρίς να κυκλοφορεί ρεύμα μεταξύ του (κυκλικό ρεύμα).

Λόγω της 4ης συνθήκης οι κανονισμοί επιτρέπουν παραλληλισμό Μ/Τ με λόγο ισχύος 3:1 οπότε το κυκλικό ρεύμα είναι μέσα σε επιτρεπτά όρια.

ΠΑΡΑΛΛΗΛΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ Μ/Τ ΜΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΗ ΤΑΣΗ ΕΝ ΚΕΝΟ



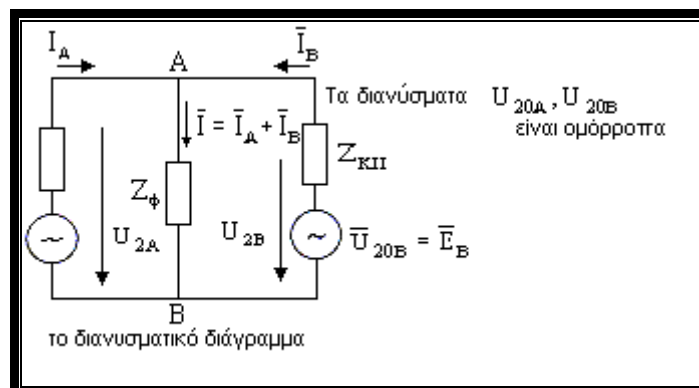
$\Delta U = \bar{U}_{2ovI} - \bar{U}_{2ovII} = \overline{OA_1} - \overline{OA_2} = \overline{A_2A_1}$ ρεύμα εκ του $A_1 \Rightarrow A_2$ μέσω των δευτερευόντων των 2Μ/Σ => ρεύμα εν κενό και αντιστοιχεί προς το ρεύμα βραχυκύκλωσης εκάστου Μ/Σ.

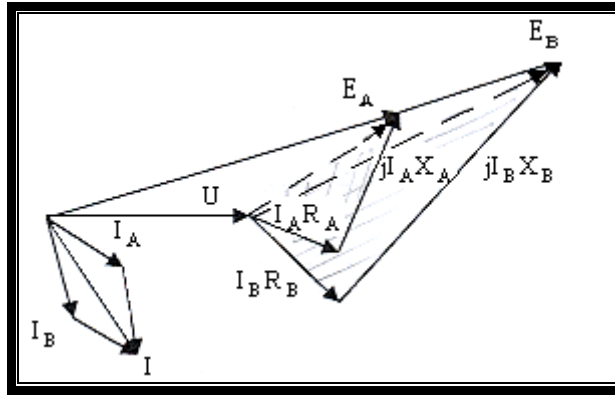
$$I_{\text{κυκλ}} = \frac{\Delta U}{Z_{kI} + Z_{k2}} \quad Z_{kI} = R_k + jX_k = (R'_1 + R_2) + j(X'_{\sigma 1} + X_{\sigma 2})$$

$$Z_{kII} = (R'_{III} + R_{II2}) + j(X'_{II\sigma 1} + X_{II\sigma 2})$$

ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΠΑΡΑΛΛΗΛΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Φορτίο $Z_\phi = R_\phi + jX_\phi$, να τροφοδοτηθεί από Μ/Τ Α, Β όπου $U_{20A} = U_{20B}$ & $U_{\kappa A} \neq U_{\kappa B}$





Επίλυση:

$$\bar{E}_A = \bar{I}_A Z_{\kappa A} + (\bar{I}_A + \bar{I}_B) Z_\phi = \bar{I}_A (Z_{\kappa A} + Z_\phi) + \bar{I}_B Z_\phi \quad (1)$$

$$\bar{E}_B = \bar{I}_B Z_{\kappa B} + (\bar{I}_A + \bar{I}_B) Z_\phi = \bar{I}_A Z_\phi + \bar{I}_B (Z_{\kappa B} + Z_\phi) \quad (2)$$

$$\text{Λύση (3)} \quad \bar{I}_A = \frac{\bar{E}_A Z_{\kappa B} + (\bar{E}_A - \bar{E}_B) Z_\phi}{(Z_{\kappa A} + Z_{\kappa B}) Z_\phi + Z_{\kappa A} Z_{\kappa B}} = \frac{\bar{E}_A - \bar{E}_B}{Z_{\kappa A} + Z_{\kappa B} + \frac{Z_{\kappa A} Z_{\kappa B}}{Z_\phi}} + \frac{\bar{E}_A Z_{\kappa B}}{Z_{\kappa A} Z_{\kappa B} + Z_{\kappa A} Z_\phi + Z_{\kappa B} Z_\phi}$$

$$(4) \quad \bar{I}_B = \frac{\bar{E}_B Z_{\kappa A} + (\bar{E}_B - \bar{E}_A) Z_\phi}{(Z_{\kappa A} + Z_{\kappa B}) Z_\phi + Z_{\kappa A} Z_{\kappa B}} = \frac{\bar{E}_A - \bar{E}_B}{Z_{\kappa A} + Z_{\kappa B} + \frac{Z_{\kappa A} Z_{\kappa B}}{Z_\phi}} + \frac{\bar{E}_A Z_{\kappa A}}{Z_{\kappa A} Z_{\kappa B} + Z_{\kappa A} Z_\phi + Z_{\kappa B} Z_\phi}$$

Τα ρεύματα \bar{I}_A, \bar{I}_B περιέχουν την συνιστώσα

$$\bar{I}_{\text{κυκλA}} = -\bar{I}_{\text{κυκλB}} = -\frac{\bar{E}_A - \bar{E}_B}{(Z_{\kappa A} + Z_{\kappa B}) + \frac{Z_{\kappa A} Z_{\kappa B}}{Z_\phi}} \text{ δεν εξέρχεται προς το φορτίο } Z_\phi \text{ διότι απαλείφονται}$$

στην πρόσθεση

$$\bar{I} = \bar{I}_A + \bar{I}_B = \frac{\bar{E}_B Z_{\kappa A} + \bar{E}_B Z_{\kappa B}}{Z_{\kappa A} Z_{\kappa B} + Z_{\kappa A} Z_\phi + Z_{\kappa B} Z_\phi} \quad (5)$$

$$\text{Η τάση } \bar{U} = \bar{I} \cdot Z_\phi = (5) \cdot Z_\phi = \frac{\frac{\bar{E}_A}{Z_{\kappa A}} + \frac{\bar{E}_B}{Z_{\kappa B}}}{\frac{1}{Z_{\kappa A}} + \frac{1}{Z_{\kappa B}} + \frac{1}{Z_\phi}} \quad (6)$$

Ο (6) επεκτείνεται και στην περίπτωση πολλών Μ/Τ .

ΕΙΔΙΚΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ

$$\bar{U}_{20A} = \bar{U}_{20B} \text{ \& } \bar{U}_{\kappa A} \neq \bar{U}_{\kappa B}$$

Στην περίπτωση αυτή οι τύποι (3) – (6) γίνονται:

$$\bar{I}_A = \frac{\bar{E} Z_{\kappa B}}{Z_{\kappa A} Z_{\kappa B} + Z_{\kappa A} Z_\phi + Z_{\kappa B} Z_\phi} \quad (3\alpha)$$

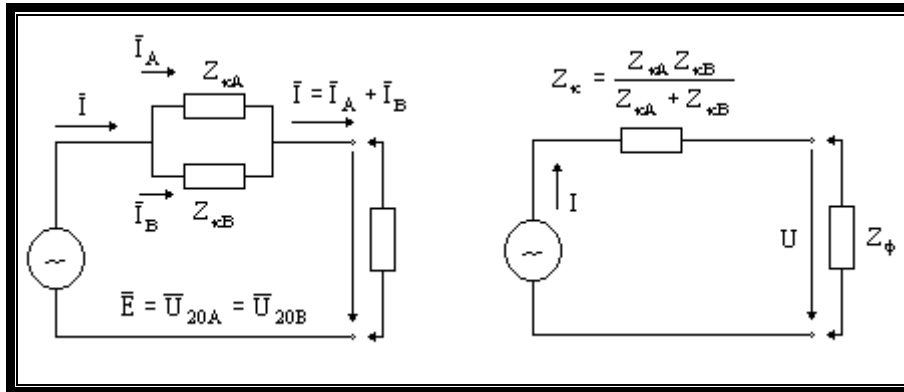
$$\bar{I}_B = \frac{\bar{E} Z_{\kappa A}}{Z_{\kappa A} Z_{\kappa B} + Z_{\kappa A} Z_\phi + Z_{\kappa B} Z_\phi} \quad (4\alpha)$$

δηλαδή εξαφανίζεται το κυκλικό ρεύμα μεταξύ των 2 Μ/Τ

$$\bar{I}_A = \frac{\bar{E}(Z_{\kappa A} + Z_{\kappa B})}{Z_{\kappa A}Z_{\kappa B} + Z_{\kappa A}Z_{\phi} + Z_{\kappa B}Z_{\phi}} \quad (5a)$$

$$\bar{U} = \bar{I} \cdot Z_{\phi} = (5) \cdot \bar{E} = \frac{\frac{1}{Z_{\kappa A}} + \frac{1}{Z_{\kappa B}}}{\frac{1}{Z_{\kappa A}} + \frac{1}{Z_{\kappa B}} + \frac{1}{Z_{\phi}}} \bar{E} \quad (6a)$$

Το δε ισοδύναμο κύκλωμα γίνεται :



(3a), (4a) → προκύπτει (ισότης πτώσης τάσης βραχυκύκλωσης). $I_A Z_{\kappa A} = I_B Z_{\kappa B}$ (7)

και

$$\bar{I}_A = \bar{I} \cdot \frac{Z_{\kappa B}}{Z_{\kappa A} + Z_{\kappa B}} \quad \bar{I}_B = \bar{I} \cdot \frac{Z_{\kappa A}}{Z_{\kappa A} + Z_{\kappa B}} \quad (8)$$

Επειδή η τάση U είναι κοινή τόσο για τους A , B όσο και για τον υποθετικό που τους αντικαθιστά → οι S ανάλογες του I S_A = UI_A

$I_A Z_{\kappa A} = I_B Z_{\kappa B} \Rightarrow$ Τα ρεύματα είναι αντιστρόφως ανάλογα των αντίστοιχων βραχυκύκλωσης

$$\frac{I_A}{I_{Aov}} \cdot \frac{I_{Aov} Z_A}{U_{ov}} = \frac{I_A}{I_B} = \frac{Z_A}{Z_B} = \frac{I_B}{I_{Bov}} \cdot \frac{I_{Bov} Z_B}{U_{ov}} \quad (9) U_{\kappa A} = \frac{I_{Aov} Z_A}{U_{ov}} \ \& \ U_{\kappa B} = \frac{I_{Bov} Z_B}{U_{ov}} \quad (10)$$

$$\frac{I_A}{I_{Aov}} \cdot U_{\kappa A} = \frac{I_B}{I_{Bov}} \cdot U_{\kappa B} \quad (11) \frac{I_A}{I_B} = \frac{I_{Aov}}{I_{Bov}} \cdot \frac{U_{\kappa B}}{U_{\kappa A}} \quad (12) \frac{I_{Aov}}{I_{Bov}} \cdot \frac{U_{ov}}{U_{ov}} \cdot \frac{U_{\kappa B}}{U_{\kappa A}} =$$

$$\frac{U_{\kappa B}}{U_{\kappa A}} \cdot \frac{S_A}{S_B} \text{ και } \frac{S_A}{S_{AON}} = \frac{S_B}{S_{BON}} \cdot \frac{U_{\kappa B}}{U_{\kappa A}}$$

Υπολογισμός της ισοδύναμης UK

$$\frac{S}{\tilde{U}_\kappa} = \frac{S_{1ov}}{\tilde{U}_{\kappa 1}} + \frac{S_{2ov}}{\tilde{U}_{\kappa 2}} + \dots + \frac{S_{nov}}{\tilde{U}_{\kappa v}} \Rightarrow \tilde{U}_\kappa = \frac{S}{\frac{S_{1ov}}{\tilde{U}_{\kappa 1}} + \frac{S_{2ov}}{\tilde{U}_{\kappa 2}} + \dots + \frac{S_{nov}}{\tilde{U}_{\kappa v}}}$$

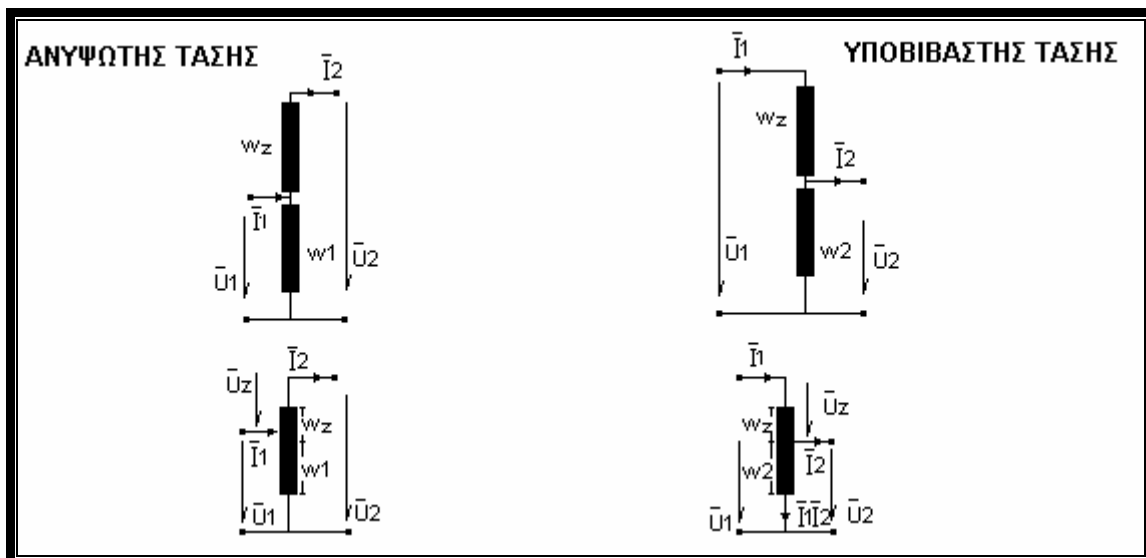
$$\frac{S}{S_A} = \frac{I Z_{\kappa A}}{I_A Z}$$

$$\frac{S}{S_{Aov}} = \frac{\tilde{U}_\kappa}{\tilde{U}_{\kappa A}} \Rightarrow S_A = S_{Aov} \frac{\tilde{U}_\kappa}{\tilde{U}_{\kappa A}}$$

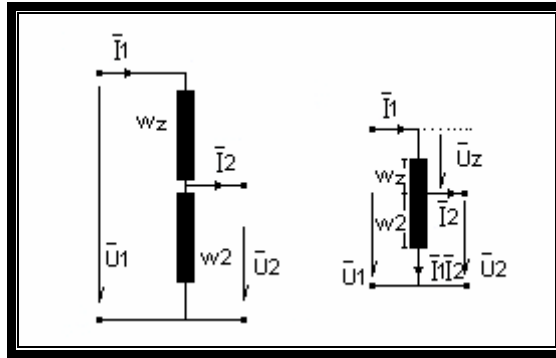
$$\frac{S_B}{S_{Bov}} = \frac{I_A}{I_B} \cdot \frac{Z_{\kappa B}}{Z_{\kappa A}} = \frac{\tilde{U}_\kappa}{\tilde{U}_{\kappa B}} \quad S_B = S_{Bov} \frac{\tilde{U}_\kappa}{\tilde{U}_{\kappa B}}$$

ΑΥΤΟΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗΣ

Ο Μ/Τ που αναφέραμε στα προηγούμενα (ο μονοφασικός) έχει δυο τυλίγματα με w_1 και w_2 σπείρες, οι οποίες δεν συνδέονται ηλεκτρικά μεταξύ τους. Μπορούμε αυτόν τον Μ/Τ να τον μετατρέψουμε κατάλληλα και να δημιουργήσουμε ένα αυτομετασχηματιστή όπως φαίνεται στα σχήματα κάτω. Υπάρχει και άλλος τύπος αυτομετασχηματιστή ο οποίος αποτελείται από ένα τύλιγμα και μία κινητή επαφή, ώστε στην έξοδο να παίρνουμε διάφορες τιμές τάσης από μηδέν μέχρι την τάση εισόδου.



Οι αυτομετασχηματιστές χρησιμοποιούνται για να εξουδετερώνουν διακυμάνσεις των τάσεων στα δίκτυα, για την εκκίνηση ασύγχρονων κινητήρων καθώς και για τη σύνδεση δικτύων με διαφορετική τάση. Ας δούμε τι συμβαίνει σε ένα αυτομετασχηματιστή εξετάζοντας το σχήμα του.



θεωρούμε ότι οι ωμικές απώλειες, το ρεύμα μαγνήτισης και η σκέδαση είναι αμελητέα μεγέθη, τότε έχουμε:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{W_1}{W_2} = \frac{W_2 + W_z}{W_2} = 1 + \frac{W_z}{W_2}$$

Το τύλιγμα w_z λέγεται τύλιγμα σειράς με ρεύμα I_1 και είναι το πρωτεύον, ενώ το τύλιγμα w_2 δευτερεύον τύλιγμα και λέγεται παράλληλο με ρεύμα $I_1 - I_2$

Αν πάρουμε τον νόμο διαρρεύματος θα έχουμε :

$$W_z I_1 + W_2 (I_1 - I_2) = 0 \Rightarrow I_1 = \frac{W_2 + W_z}{W_2} \cdot I_2 = \frac{W_2}{W_1} \cdot I_2$$

Ο αυτομετασχηματιστής προσλαμβάνει από ένα δίκτυο την ισχύ S_D και την αποδίδει στο άλλο. Αυτή η ισχύς λέγεται ισχύς διέλευσης. Ένα μέρος από αυτή μεταφέρεται επαγωγικά μέσω του τυλίγματος σειράς και ονομάζεται ιδιοισχύς S_E

Η S_E καθορίζει το μέγεθος του αυτομετασχηματιστή. Από το σχήμα έχουμε :

$$S_D(t) = U_1 \cdot I_1$$

$$S_E(t) = U_z \cdot I_1 = \frac{W_z}{W_2 + W_z} \cdot U_1 I_1 = \frac{U_1 - U_2}{U_1} U_1 \cdot I_1 = (U_1 - U_2) \cdot I_1$$

Αν πάρουμε τον λόγο των S_D , S_E θα έχουμε :

$$\frac{S_E}{S_D} = \frac{\frac{U_1 - U_2}{U_1} \cdot I_1}{U_1 I_1} = \frac{U_1 - U_2}{U_1}$$

$$S_E = \frac{U_1 - U_2}{U_1} \cdot S_D = \left[1 - \frac{U_2}{U_1} \right] \cdot S_D$$

Από τη σχέση αυτή βλέπουμε ότι το μέγεθος των M/T είναι τόσο μικρότερο όσο μικρότερη είναι η διαφορά των τάσεων $\frac{U_1}{U_2}$. Σύγκριση τώρα ενός M/T και ενός AMT που πρέπει να μεταφέρουν την ίδια ισχύ S_D και οι οποίοι στο πρωτεύον και στο δευτερεύον έχουν τις ίδιες τάσεις ο AMT πρέπει να είναι

ίσος με $1 - \frac{U_2}{U_1}$ του κανονικού. Αυτό σημαίνει ότι έχουμε τον AMT μια ανύψωση τάσης τότε η σχέση των

S_E, S_D είναι η εξής :

$$\frac{S_E}{S_D} = \frac{U_1 - U_2}{U_1} = 1 - \frac{U_2}{U_1}$$

Στον AMT οι απώλειες είναι μειωμένες καθώς και το ρεύμα εν κενό

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ - ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ AMT .

Πλεονεκτήματα: Έχει μικρότερο μέγεθος, συνεπώς μικρότερο κόστος λιγότερη και μικρότερη πτώση τάσης.

Μειονεκτήματα : Υπάρχει γαλβανική σύνδεση των δικτύων Υ.Τ. και Χ.Τ. με αποτέλεσμα οι δυσμενείς συνθήκες λειτουργίας του ενός δικτύου να μεταφέρονται και στο άλλο. Για αυτό το λόγο οι μονώσεις του δικτύου χαμηλής τάσης πρέπει να αντέχουν στην υψηλή τάση.

Επειδή έχει μεγάλο ρεύμα βραχυκύκλωσης πρέπει ο AMT να προστατεύεται με πηνία.

Όλα όσα αναφέραμε για τους μονοφασικούς αυτομετασχηματιστές ισχύουν και για τους τριφασικούς με με την προϋπόθεση στην ισχύ να υπάρχει το $\sqrt{3}$

ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ ΙΣΧΥΟΣ

Στο σχήμα φαίνεται ένα Μ/Σ ισχύος μιας εταιρείας και όλα τα μέρη από τα οποία αποτελείται:
(Το σχήμα της επόμενης σελίδας)

Ο ΠΥΡΗΝΑΣ : Ο πυρήνας του Μ/Σ κατασκευάζεται από πυριτιούχα δυναμοελάσματα ψυχρής εξέλασης και μαγνητικά προσανατολισμένα, έτσι ώστε να έχουμε πολύ χαμηλές απώλειες από υστέρηση και δινορεύματα. Οι συνθήκες μεταξύ των σκελών και ζυγωμάτων τομή φύλλων 45°. Τα δυναμοελάσματα πρεσάρονται (των σκελών και ζυγωμάτων) και τόση πίεση ώστε να επιτυγχάνεται μεγάλη μηχανική αντοχή και να περιορίζεται ο θόρυβος και οι μαγνητικές απώλειες στην ελάχιστη τομή τους.

Η ΠΕΡΙΕΛΙΞΗ : Το τύλιγμα της χαμηλής τάσης είναι κυλινδρικό πάνω σε μονωτικό κύλινδρο για την καλή μόνωση από το σκέλος του μετασχηματιστή.

Το τύλιγμα Υ.Τ. μπορεί να είναι κυλινδρικό μονοκόμματο με ψυκτικά κανάλια σε όλο το μήκος, να αποτελείται από μεμονωμένα πηνία, τα οποία με συγκεκριμένη και κατάλληλη συνδεσμολογία με τον μεταγωγέα, να καθιστούν το τύλιγμα κατάλληλο για διαφορετικές τάσεις λειτουργίας. Τα τυλίγματα των Μ/Σ ξηραίνονται σε ειδικούς κλιβάνους για 12 ώρες στους 120°C και μετά εμποτίζονται με ειδικό μονωτικό βερνίκι, έτσι ώστε η μηχανική και ηλεκτρική αντοχή του Μ/Σ να είναι υψηλή. Μεταξύ των τυλιγμάτων χαμηλής και υψηλής τάσης υπάρχουν κάθετα και οριζόντια κανάλια για την κυκλοφορία του λαδιού έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η καλύτερη δυνατή ψύξη του Μ/Σ.

ΜΕΤΑΛΛΑΚΤΗΣ: Οποιαδήποτε μεταλλαγή του μεταλλάκτη γίνεται με τον Μ/Σ εκτός τάσης.

ΔΟΧΕΙΟ ΛΑΔΙΟΥ : Το δοχείο λαδιού κατασκευάζεται από ενισχυμένη λαμαρίνα έτσι ώστε να παρέχει εγγυημένη και ασφαλή λειτουργία του Μ/Σ.

ΚΑΛΥΜΑ ΔΟΧΕΙΟΥ ΛΑΔΙΟΥ : Πάνω στο κάλυμμα βρίσκονται δύο κρίκοι ανάρτησης για να μπορεί να μεταφέρεται ο Μ/Σ ώστε να είναι δυνατή η επισκευή του σε τυχόν βλάβη. Επίσης στο κάλυμμα βρίσκονται οι μονωτήρες υψηλής τάσης και του δοχείου διαστολής οι μονωτήρες χαμηλής τάσης και η θήκη θερμομέτρου.

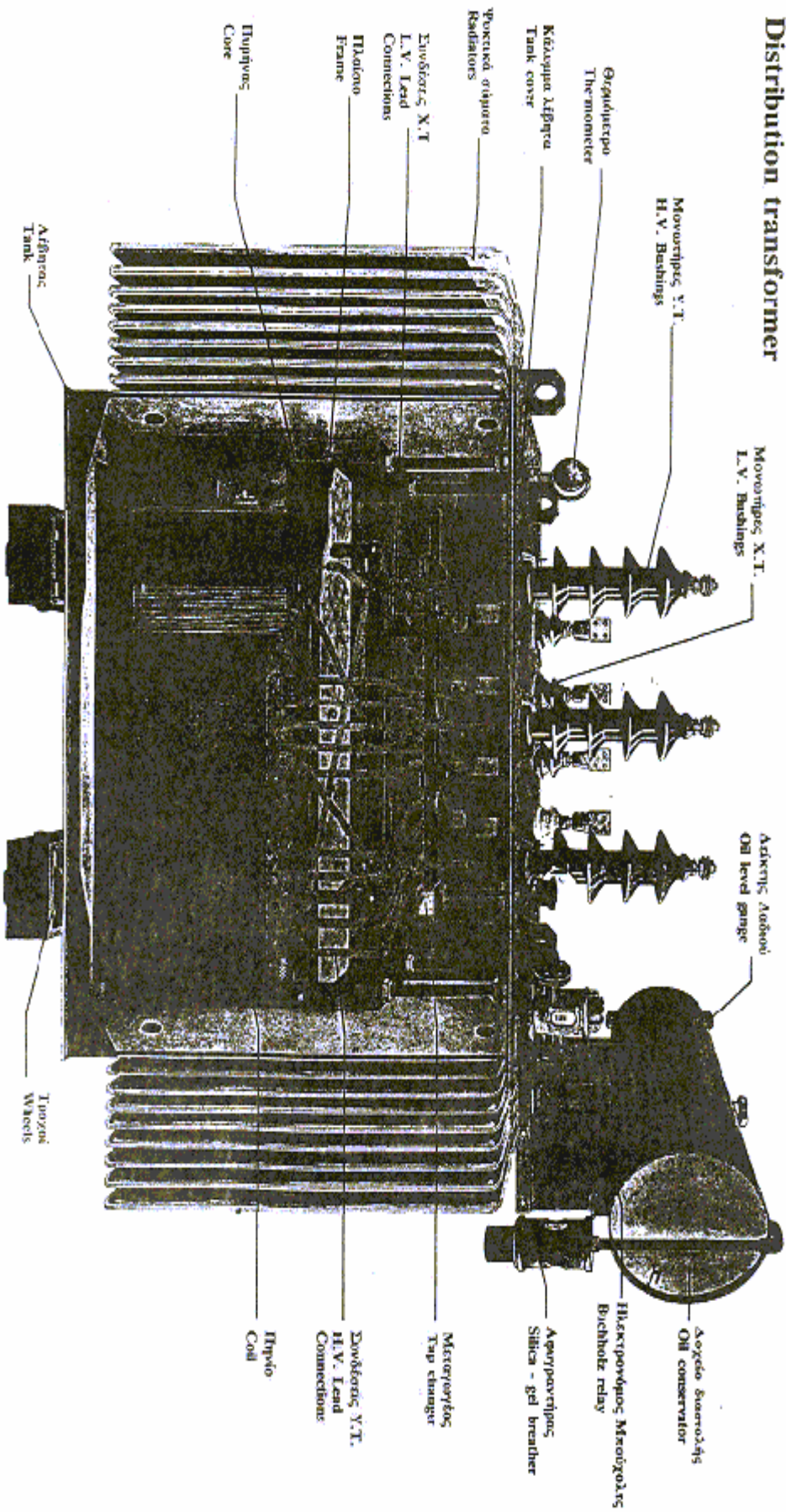
ΔΟΧΕΙΟ ΔΙΑΣΤΟΛΗΣ : Όλοι οι Μ/Σ είναι εφοδιασμένοι με δοχείο διαστολών και κατασκευάζονται για διαστολές λαδιών -20°C έως 100°C . Το δοχείο αυτό αποτρέπει την δημιουργία υπερπιέσεων, οι οποίες θα δημιουργήσουν καταπόνηση στις ραφές συγκόλλησης του δοχείου λαδιού, ενισχύει την ασφάλεια λειτουργίας του Μ/Τ και επιτυγχάνει την άριστη λειτουργία και την μεγάλη διάρκεια ζωής του. Πάνω στο δοχείο διαστολής υπάρχει αναπνευστικό σύστημα, εκκενώσεως και δειγματοληψίας καθώς επίσης και δείκτης λαδιού.

ΛΑΔΙ Μ/Σ : Το λάδι που χρησιμοποιείται στον μετασχηματιστή πρέπει να είναι αρίστης ποιότητας και σύμφωνα πάντα με τις διεθνείς προδιαγραφές. Εκτός αυτού το λάδι απαλλάσσεται τέλεια από την υγρασία και τα αέρια και το γέμισμα του δοχείου λαδιού με λάδι γίνεται σε χώρο απαλλαγμένο από σκόνη και υγρασία.

ΜΟΝΩΤΗΡΕΣ ΔΙΕΛΕΥΣΗΣ : Κάθε μετασχηματιστής είναι εφοδιασμένος με τρεις (3) μονωτήρες υψηλής τάσης και τέσσερις (4) μονωτήρες χαμηλής τάσης.

Όλοι οι μονωτήρες υψηλής και χαμηλής τάσης βρίσκονται πάνω στο κάλυμμα του μετασχηματιστή.

Μεταχημαστική διανομή Distribution transformer



ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά :

- Ονομαστική ισχύς σε [KVA]
- Ανύψωση θερμοκρασίας
- θερμοκρασία περιβάλλοντος
- Υψόμετρο εγκατάστασης
- Υπερφόρτιση
- Τάσεις πρωτεύοντος - δευτερεύοντος
- Συχνότητα
- Ζεύξη (ομάδα σύνδεσης π.χ. Dy5)
- Δυνατότητα φόρτισης του ουδέτερου κόμβου
- Πολλαπλές τάσεις
- Τάση βραχυκύκλωσης
- Παραλληλισμός μετασχηματιστών
- Κατανομή φορτίου
- Ένταση βραχυκύκλωσης
- Απώλειες, βαθμός απόδοσης
- Ένταση κενής λειτουργίας

Όλα τα παραπάνω χαρακτηριστικά έχουν αναφερθεί στα προηγούμενα μαθήματα.

ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΩΝ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΩΝ

Ένας μετασχηματιστής μπορεί να υποστεί βλάβη στις εξής περιπτώσεις :

- 1) Παρατεταμένο βραχυκύκλωμα μέσα ή έξω από το δοχείο στην πλευρά της χαμηλής ή της υψηλής τάσης
- 2) Από διαρκή υπερφόρτιση
- 3) Από σφάλμα στην μόνωση, όπως βραχυκύκλωμα σπειρών και τυλιγμάτων ως προς τη γη.

Η προστασία ενός μετασχηματιστή σε βραχυκυκλώματα πρέπει να γίνει οπωσδήποτε γιατί μπορεί να δημιουργηθεί πυρκαγιά.

ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΣΕ ΒΡΑΧΥΚΥΚΛΩΜΑ

Οι Μ/Σ αντέχουν χωρίς βλάβες ή άλλα μειονεκτήματα σε ρεύματα βραχυκυκλωμάτων για 2-3 δευτερόλεπτα όπως δείχνει ο πίνακας.

Μέγιστα επιτρεπόμενα ρεύματα βραχυκύκλωσης Μ/Σ για διάφορους χρόνους κατά VDE 0532, Τείβι

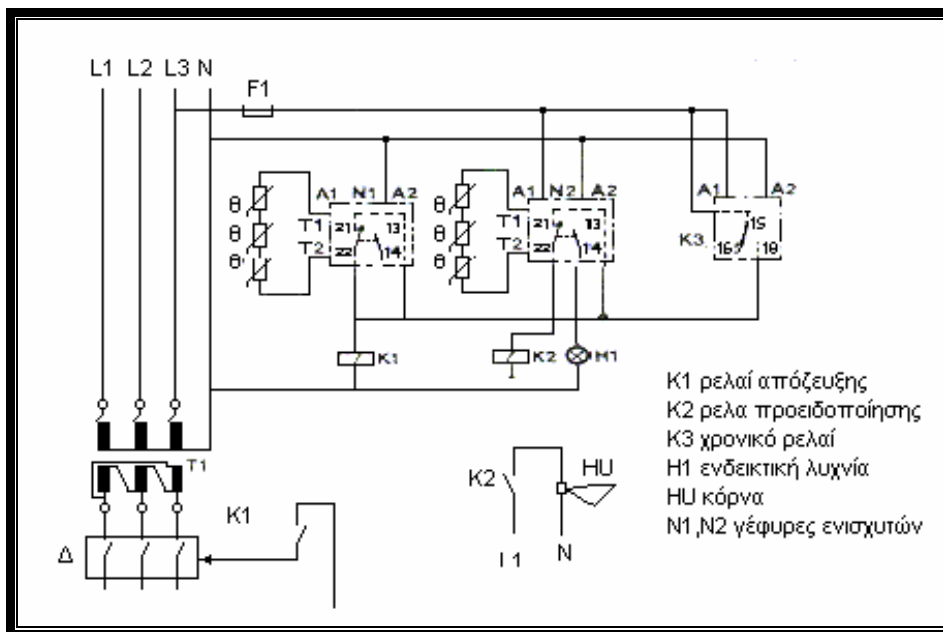
Ισχύς (KVA)	0-630	630-1250	1250-3150
Τάση βραχυκύκλωσης (%)	4	5	6,25
Μέγιστος χρόνος βραχυκύκλωσης (sec)	2	3	4
Ρεύμα βραχυκύκλωσης / ονομ. ρεύμα = I_k / I_N	25	20	16

και μάλιστα όταν το βραχυκύκλωμα γίνεται στους ακροδέκτες του δευτερεύοντος οπότε τα ρεύματα είναι 16-25 φορές μεγαλύτερα του ονομαστικό.

Η προστασία γίνεται με ασφάλειες σκόνης ή με διακόπτες ισχύος στην μέση τάση. Οι ασφάλειες δεν προστάτευαν όμως τον Μ/Σ σε συνεχή υπερφόρτιση, γιατί η ελάχιστη ένταση στην οποία τήκονται είναι 2,5-3 φορές η ονομαστική ένταση τους. Ασφάλειες προτιμούνται έναντι των διακοπών ισχύος σαν μέσα προστασίας γιατί περιορίζουν το ρεύμα βραχυκύκλωσης. Δεν μπορούν όμως να χρησιμοποιηθούν ασφάλειες για απόζευξη υπό φορτίο, γι' αυτό πρέπει να συνδυάζονται με διακόπτες φορτίου.

ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ Μ/Σ ΣΕ ΥΠΕΡΦΟΡΤΙΣΗ

Η προστασία σε παρατεταμένη συνεχή υπερφόρτιση γίνεται χρησιμοποιώντας θερμόμετρο λαδιού ή θερμίστορες που είναι εμφυτευμένοι στα τυλίγματα του Μ/Σ όταν κατασκευάζεται. Επιπρόσθετα χρησιμοποιούνται αυτόματοι Δ. Ισχύος στην Χ.Τ. ή και ασφάλειες που έχουν σκοπό να περιορίζουν την υπερφόρτιση. Οι ασφάλειες χρησιμοποιούνται μέχρι 400 Α, έχουν την ονομαστική ένταση του δευτερεύοντος και είναι τύπου ΝΗ. Οι αυτόματοι ρυθμίζονται στην ονομαστική σύσταση του Μ/Σ. Τα θερμόμετρα λαδιού παρακολουθούν τη θερμοκρασία του ανωτέρου στρώματος λαδιού. Αυτή πρέπει να είναι κατώτερη των 100°C. Μπορεί να έχουμε σε υπερθερμοκρασίες μια σήμανση οπτική, ακουστική ή και υψηλότερες θερμοκρασίες απόζευξη του Μ/Σ. Έτσι σε κάθε θερμόμετρο υπάρχουν συνήθως δυο οριακοί δείκτες, ο μπλε για σήμανση και ο κόκκινος για απόζευξη



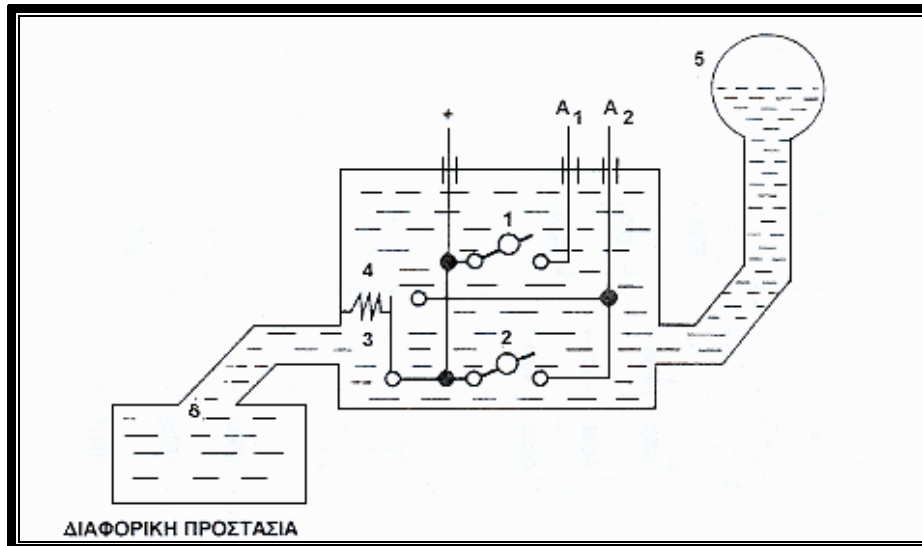
ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΩΝ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΕΛΛΕΙΨΗΣ ΛΑΔΙΟΥ-ΗΛΕΚΤΡΟΝΟΜΟΣ BUCHOLZ

Σε ελαιόψυκτους μετασχηματιστές μπορεί να ανιχνευθούν με τους HN Bucholz τα σφάλματα που οδηγούν σε ανάπτυξη αερίων ή σε έντονη ροή του λαδιού. Η ανίχνευση δεν διορθώνει το σφάλμα, αλλά προειδοποιεί ώστε να σταματήσουμε έγκαιρα των μετασχηματιστή. Δηλ. απόζευξη με HN Bucholz σημαίνει ότι ο Μ/Σ πρέπει να σταματήσει τη λειτουργία του, να επιθεωρηθεί και ενδεχόμενα να επισκευασθεί.

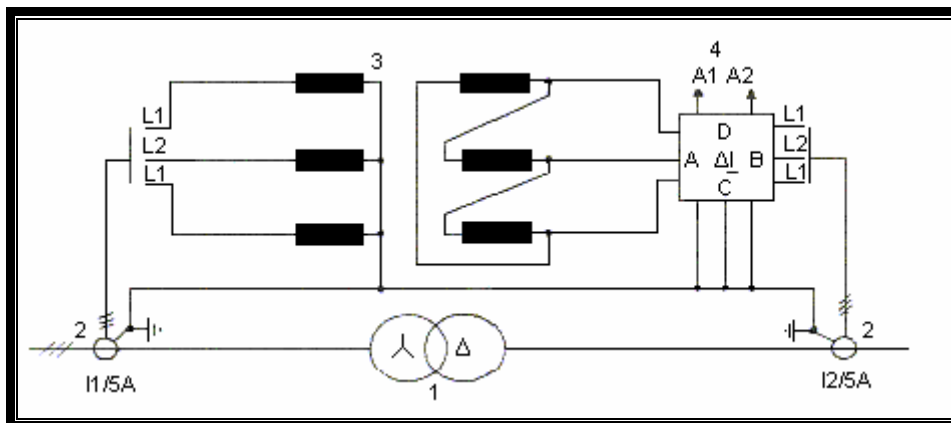
Ο HN Bucholz τοποθετείται στο σωλήνα μεταξύ δοχείου του Μ/Σ και του δοχείου διαστολής. Έχει δύο διακόπτες άνωσης (φλογερό - διακόπτες) 1 και 2 ένα διακόπτη 4 που εργάζεται με μια πλάκα 3, κάθετη στη ροή του λαδιού. Αν σχηματισθούν φυσαλίδες ή έχουμε έλλειψη λαδιού τότε κλείνει ο διακόπτης 1 και δίνει σήμανση A₁ (κινδύνου). Αν τα αέρια που εκλύονται είναι αρκετά, τότε γεμίζει

αέρια ο ΗΝ και κλείνει ο διακόπτης 2 που δίνει σήμα A_2 (για αποσύνδεση). Έχουμε αποσύνδεση επίσης αν δημιουργηθεί έντονη ροή μετά από βραχυκύκλωμα ή μεγάλη εσωτερική βλάβη, οπότε πιέζεται η πλάκα 3 και κλείνει ο διακόπτης 4.

Ο ΗΝ Buchholz προστατεύει σε σφάλματα μόνωσης βραχυκυκλώματα και σε διαρροή λαδιού. Συνήθως εφαρμόζεται μόνο σε σχετικά μεγάλους Μ/Σ π.χ. 630 KVA και άνω για οικονομικούς λόγους.



Στην διαφορική προστασία γίνεται σύγκριση των ρευμάτων πρωτεύοντος και δευτερεύοντος.



Για να γίνει αυτό (η σύγκριση) χρειαζόμαστε από τρεις Μ/Σ έντασης στη μέση και χαμηλή τάση. Πρέπει να ληφθεί υπόψη η συνδεσμολογία του Μ/Σ.

Η διαφορική προστασία είναι σχετικά ακριβής. Έτσι εφαρμόζεται σε Μ/Σ των 1250 KVA και άνω. Σφάλματα που διεγείρουν το σύστημα διαφορικής προστασίας είναι τα παρακάτω :

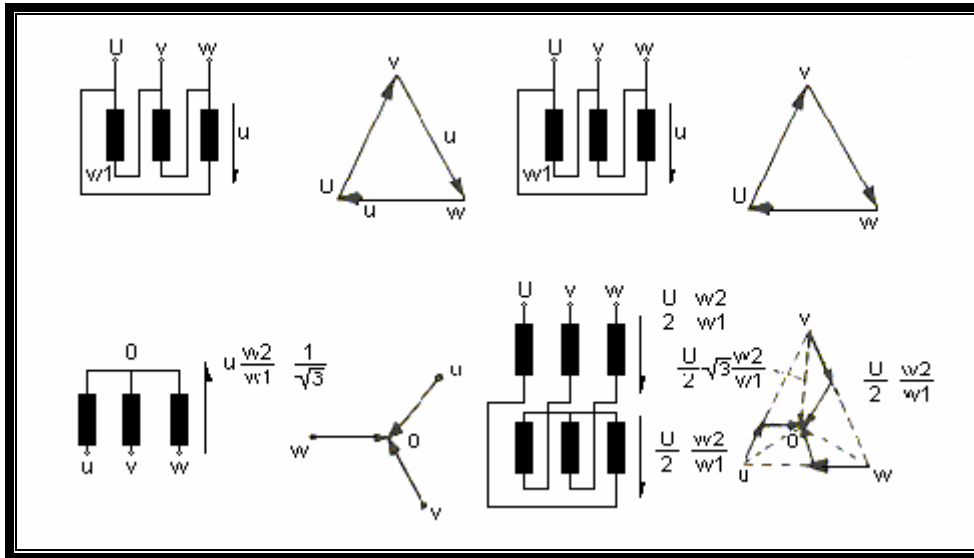
Βραχυκυκλώματα τριφασικά, δυφασικά, γης, τύλιγμα - τύλιγμα, βραχυκύκλωμα σπειρών.

Η διαφορική προστασία έχει το πλεονέκτημα ότι περιορίζει την ζημιά στο ελάχιστο, σε σχέση με την προστασία Buchholz.

ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΙ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ

Για την μελέτη των τριφασικών Μ/Τ απαιτούνται οι εξισώσεις τάσης για το πρωτεύον και το δευτερεύον τύλιγμα των τριών φάσεων. Επειδή όμως εδώ υπεισέρχονται ασυμμετρίες στην κατασκευή οι συντελεστές αυτεπαγωγής και αμοιβαίας επαγωγής των τριών φάσεων δεν είναι ίσοι και ο υπολογισμός είναι δύσκολος. Εμείς παρακάμπτουμε αυτή τη δυσκολία εξετάζοντας μια φάση μόνο και χρησιμοποιούμε τις αρχές του μονοφασικού μετασχηματιστή. Τα τρία πρωτεύοντα και τα τρία δευτερεύοντα του Μ/Τ μπορούν να συνδεθούν κατά διάφορους τρόπους και έτσι να προκύψουν διάφορες ομάδες συνδεσμολογίας.

Συμβολισμοί και συνδεσμολογία



Τα κεφαλαία γράμματα αναφέρονται στην Υ.Τ. και τα μικρά στην Χ. Τ.

Για ένα πλήρη συμβολισμό γράφουμε πρώτα το κεφαλαίο γράμμα μετά το μικρό και ένα αριθμό, ο οποίος ονομάζεται χαρακτηριστικός αριθμός και είναι ένα πολλαπλάσιο των 30°.

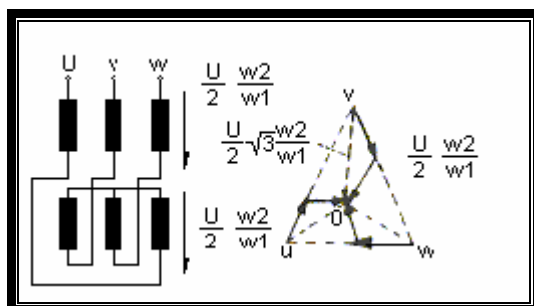
Αυτός ο αριθμός επί 30° μας δείχνει κατά πόσες μοίρες το διάνυσμα της χαμηλής τάσης επιπορεύεται ως προς το διάνυσμα της υψηλής τάσης για την ίδια φάση του πρωτεύοντος και δευτερεύοντος

ΠΙΝΑΚΑΣ ΟΜΑΔΩΝ ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΩΝ

	Χ.		Δ. Δ.		Σ.		Λ. Μ.
	Χ. Α.	Ο. Σ.	Υ. Τ.	Χ. Τ.	Υ. Τ.	Χ. Τ.	
Τριφασική μετασχηματιστές ισχύος							
0	D d 0						$\frac{w_1}{w_2}$
	Y y 0						$\frac{w_1}{w_2}$
	D d 3						$\frac{2 w_1}{\sqrt{3} w_2}$
3	D y 3						$\frac{w_1}{\sqrt{3} w_2}$
	Y d 3						$\frac{\sqrt{3} w_1}{w_2}$
	Y y 3						$\frac{2 w_1}{\sqrt{3} w_2}$
6	D d 6						$\frac{w_1}{w_2}$
	Y y 6						$\frac{w_1}{w_2}$
	D d 6						$\frac{2 w_1}{\sqrt{3} w_2}$
Μονοφασική μετασχηματιστές ισχύος							
0	Y d 0						$\frac{w_1}{w_2}$
Αυτομετασχηματιστές ισχύος							
0	I o						$\frac{w_1}{w_2}$

Στην πράξη εφαρμογή έχουν οι Υγo Dγ5 Υd5 .

Το πρωτεύον και το δευτερεύον ενός Μ/Τ μπορούν να συνδεθούν σε αστέρα ή τρίγωνο. Επίσης υπάρχει στο τύλιγμα χαμηλής τάσης και μια άλλη συνδεσμολογία του τεθλασμένου αστέρα η ΖΙΚ- ΖΑΚ.



Στον τεθλασμένο αστέρα κάθε φάση του δευτερεύοντος είναι χωρισμένη σε δύο ίσα μέρη και το ένα μέρος συνδέεται σε σειρά με το μισό μιας άλλης φάσης. Το πλεονέκτημα αυτής της συνδεσμολογίας είναι ότι σε μια ασύμμετρη φόρτιση του δευτερεύοντος το ρεύμα κατανέμεται σε δύο φάσεις. Έτσι στην περίπτωση που ένας καταναλωτής συνδέεται μεταξύ ενός ακροδέκτη και του ουδέτερου σημείου το ρεύμα διέρχεται από δύο τυλίγματα (μισά) σε διαφορετικές φάσεις και η ασυμμετρία μειώνεται.

ΧΡΗΣΗ ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΩΝ (ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ)

Η σύνδεση ΑΣΤΕΡΑ

Πλεονεκτήματα

- Ο κόμβος του Μ/Τ χρησιμοποιείται ως ουδέτερος και έτσι έχουμε τριφασικό σύστημα με 4 αγωγούς
- Έχουμε 2 τάσεις πολιτική και φασική.
- Η διατομή του σύρματος είναι μεγάλη και ο αριθμός σπειρών μικρός, το μονωτικό λιγότερο.
- Απλούστερη σύνδεση ανά φάση για παράλληλο λειτουργία.
- Υπάρχουν αρμονικές 3ης τάξης.

Μειονεκτήματα

- Η δυσκολία κατασκευής των πυρήνων και ότι τα πηνία στοιχίζουν ακριβότερα.

Η σύνδεση ΤΡΙΓΩΝΟΥ

Πλεονεκτήματα

- Οικονομικά τα τυλίγματα σε μεγάλα ρεύματα Χ. Τ.
- Οι αρμονικές 3ης τάξεως δεν υπάρχουν, κυκλοφορούν μέσα στο τρίγωνο.

Μειονεκτήματα:

- Το τύλιγμα μιας φάσης χρειάζεται περισσότερες σπείρες από ότι στον Υ
- Η διατομή του σύρματος είναι μικρότερη

Τεθλασμένος ΑΣΤΕΡΑΣ

Το κύριο πλεονέκτημα αυτής της συνδεσμολογίας είναι ότι επιτρέπει την μονοφασική φόρτιση στο δευτερεύον. Έχει μεγαλύτερο κόστος.

Στην εφαρμογή χρησιμοποιούνται οι εξής συνδεσμολογίες :

- α) Ο Μ/Τ μεταξύ γεννήτριας και γραμμής υψηλής τάσεως είναι σε σύνδεση αστέρα - τρίγωνο.
- β) Ο Μ/Τ μεταξύ δικτύου και δικτύου συνδέεται σε αστέρα-αστέρα με ενδιάμεσο τύλιγμα σε τρίγωνο
- γ) Ο Μ/Τ μεταξύ υψηλής τάσης και καταναλωτή μεγάλης ισχύος συνδέεται σε τρίγωνο - αστέρα. Όταν ο καταναλωτής είναι μικρός χρησιμοποιείται η σύνδεση αστέρας – τεθλασμένος αστέρας

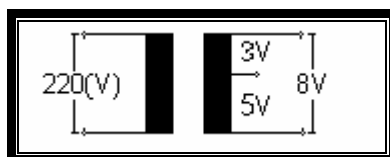
ΕΙΔΙΚΟΙ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ

1. ΜΙΚΡΟΙ Μ/Τ

Αυτοί είναι ισχύος μέχρι 1 KVA. Χρησιμοποιούνται για διάφορους σκοπούς - κουδούνια, παιχνίδια, ανορθώσεις και λειτουργία συσκευών.

2. Μ/Τ ΚΟΥΔΟΥΝΙΩΝ

Έχουν τάση δευτερεύοντος μέχρι 30 V και το πολύ 2 λήψεις.



3. Μ/Τ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

Αυτοί έχουν χωριστά τυλίγματα και τάση δευτερεύοντος 42 V ή και 24 V. Χρησιμοποιείται για ένα καταναλωτή και το κύκλωμα του φορτίου πρέπει να είναι ορατό και μικρού μήκους.

4. Μ/Τ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

Έχουν λόγο 1:1. Η τάση του δευτερεύοντος δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 220 V ενώ στους τριφασικούς τα 380V.

Έχουν 2 ξεχωριστά τυλίγματα και το δευτερεύον δεν γειώνεται ποτέ. Δεν χρησιμοποιείται ρευματολήπτης σούκο.

5. Μ/Τ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

α) Τάσης β) Έντασης

Οι Μ/Τ αυτοί υποβιβάζουν την υψηλή τάση σε χαμηλή. Τυποποιημένη είναι η τάση 100 [V].

Οι Μ/Τ έντασης υποβιβάζουν την μεγάλη ένταση σε χαμηλή. Τυποποιημένες είναι οι τιμές 1, 5, 10. Το 1 [A] είναι για μεγάλου μήκους γραμμές μετρήσεων, τα 10 [A] για μεγάλα ρεύματα δηλ. > 4KA.

Τα τυλίγματα πρέπει να μην συνδέονται ηλεκτρικά. Από τους κανονισμούς καθορίζονται οι εξής έννοιες.

- Ονομαστικό ρεύμα και ονομαστική τάση : που αναγράφονται στην πινακίδα για το πρωτεύον και το δευτερεύον τύλιγμα.

- Φορτίο : Φαινόμενη αντίσταση σε $[\Omega]$ της κατανάλωσης μαζί και οι αγωγοί που συνδέονται στο δευτερεύον του Μ/Τ έντασης.
- Ονομαστικό φορτίο: Το φορτίο σε $[\Omega]$ του Μ/Τ έντασης που αναγράφεται στην πινακίδα.
- Ονομαστική ισχύς : Φαινόμενη ισχύς σε $[VA]$ του Μ/Τ τάσης που αναγράφεται στην πινακίδα.
- Γωνία σφάλματος : Γωνία μεταξύ πρωτεύοντος και δευτερεύοντος.
- Χαρακτηριστικός αριθμός υπερέντασης.

6. Μ/Τ Τάσης

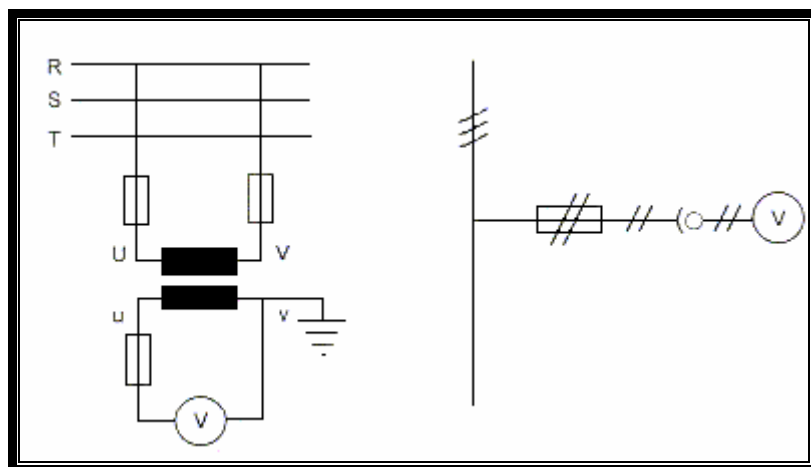
Αυτός συνδέεται παράλληλα στο δίκτυο και είναι συνήθως μονοφασικός. Οι πολικές τάσεις του πρωτεύοντος είναι:

3 3,3 5 5,5 6 6,6 10 11 15 16,5 20 22 25 30 33 35 60 110 150 220 400 [KV]

Πριν του Μ/Τ μπαίνουν ασφάλειες Υ.Τ. έτσι ώστε εάν δημιουργηθεί διασπείδηση μέσα στις σπείρες του Μ/Τ να μην προκαλέσει βραχυκύκλωμα στις φάσεις του δικτύου που συνδέεται.

Το δευτερεύον γειώνεται στο V ενώ η άλλη φάση έχει ασφάλεια η οποία προστατεύει τον Μ/Τ από βραχυκύκλωμα στο δευτερεύον.

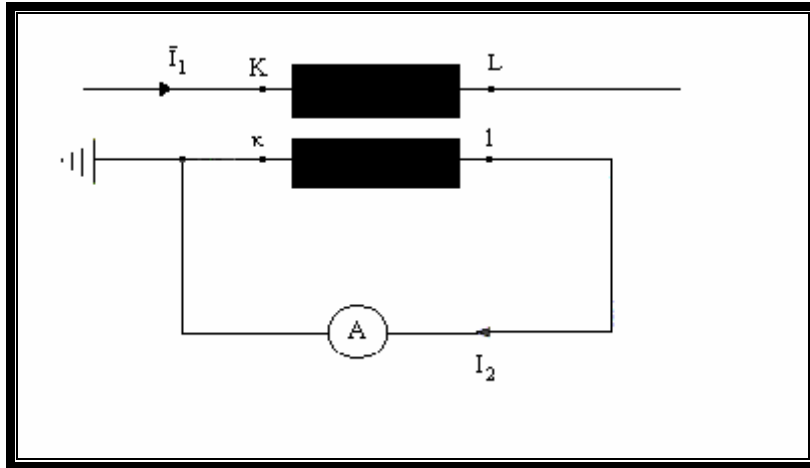
Ποτέ δεν βραχυκυκλώνουμε το δευτερεύον. Για την μέτρηση ισχύος σε τριφασικό σύστημα αρκούν 2 Μ/Τ τάσης. Το δευτερεύον γειώνεται πάντοτε.



Οι ακροδέκτες του πρωτεύοντος ονομάζονται K, I και του δευτερεύοντος κ και Ι.

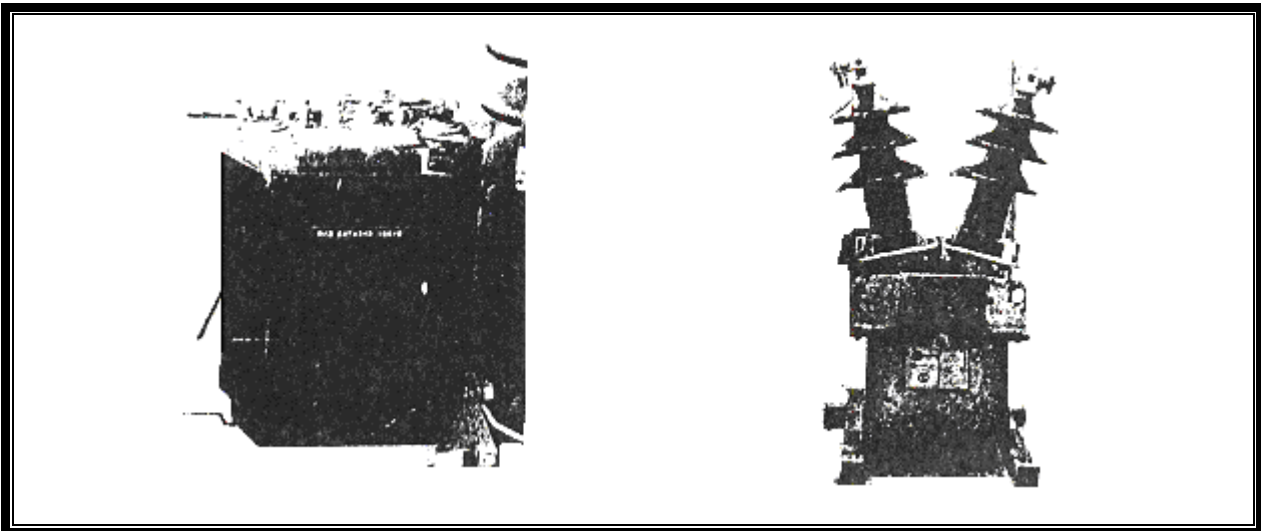
Το πρωτεύον τοποθετείται προς την ΔΕΗ δηλ. το K και το I προς την κατανάλωση. Το κ του δευτερεύοντος γειώνεται για να προστατευθεί το κύκλωμα μέτρησης από την Υ.Τ. λόγω σφάλματος μόνωσης.

Επί πλέον γειώνονται και τα μεταλλικά μέρη του Μ/Τ σε ειδικό ακροδέκτη που υπάρχει στον μετασχηματιστή.



Το πρωτεύον συνδέεται με την κατανάλωση σε σειρά. Έτσι περνάει από αυτό το ρεύμα του καταναλωτή. Το ρεύμα αυτό είναι πολύ μεγαλύτερο από το ρεύμα μαγνήτισης του μετασχηματιστή. Άρα πρέπει να υπάρχει πάντοτε ένα ρεύμα φορτίου στο δευτερεύον το οποίο να δημιουργεί μια ροή Φ_2 αντίθετη της Φ_1 , και από τον πυρήνα να διέρχεται μόνον ροή μαγνήτισης η οποία είναι πολύ μικρή. Έτσι δημιουργείται στα τυλίγματα μόνο μια μικρή ΗΕΔ.

Αν το δευτερεύον παραμείνει ανοιχτό τότε $I_2=0$ άρα $\Phi_2 = 0$ οπότε παραμένει στον μετασχηματιστή μια μεγάλη ροή Φ_1 , η οποία δημιουργεί στο δευτερεύον μια μεγάλη τάση (ΗΕΔ) 100 μέχρι 1000 [V].



Π.χ Μ/Τ έντασης 1000/5 έχει $w_1=1$ $w_2=200$ $S_{Fe} = 15\text{cm}^2$ $B = 150000$.
 τότε $\Phi_1 = B \cdot S = 15000 \cdot 15 = 225000$ [Mx] $\Rightarrow E_2 = 2,22 \cdot 200 \cdot 225000 \cdot 10^{-6} = 111$ [V]

Η τιμή αυτή είναι η ενεργός τιμή. Η στιγμιαία τάση μπορεί να λάβει δεκαπλάσια τιμή λόγω της ταχείας μετάβασης της μορφής από την μετάβαση από το ευθύγραμμο τμήμα στο οριζόντιο τμήμα κορεσμού της μαγνητικής χαρακτηριστικής. Αυτή η τάση για τον άνθρωπο είναι πολύ επικίνδυνη. Επί πλέον η μεγάλη ταχύτητα μεταβολής της μεγάλης μαγνητικής ροής προκαλεί μεγάλες απώλειες σιδήρου οι οποίες θερμαίνουν υπερβολικά τον πυρήνα και μπορούν να καταστρέψουν την μόνωση. Για αυτούς τους λόγους που αναφέραμε απαγορεύεται η λειτουργία του μετασχηματιστή έντασης με

ανοιχτό το δευτερεύον (χωρίς φορτίο). Ο μετασχηματιστής δεν ασφαρίζεται ποτέ στο δευτερεύον. Οι ονομαστικές ισχύς του Μ/Τ έντασης είναι τυποποιημένες σε 5, 10, 15, 30, 60, 120VA. Στον μετασχηματιστή αυτόν ισχύει πάλι η βασική σχέση:

$$I_1 = I_2 = I_2 \frac{W_2}{W_1} \quad \text{δηλαδή} \quad \frac{I_1}{I_2} = \frac{W_2}{W_1}$$

ΘΟΡΥΒΟΣ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΩΝ

Ο θόρυβος των μετασχηματιστών οφείλεται στο φαινόμενο της μαγνητοσυστολής. Δηλαδή στη μεταβολή των διαστάσεων των σιδερένιων ελασμάτων του πυρήνα από την επίδραση του πεδίου. Αυτή η μαγνητική επιμήκυνση παρατηρείται σε κλάσματα που περιέχουν πυρίτιο, και είναι ανάλογη της μαγνητικής επαγωγής και επίσης εξαρτάται από τον τρόπο επεξεργασίας του υλικού.

Σε κάθε ημιπερίοδο του μαγνητικού πεδίου δημιουργείται μια πλήρη μηχανική ταλάντωση του πυρήνα και των ζυγωμάτων. Έτσι η συχνότητα των μηχανικών ταλαντώσεων είναι διπλάσια της συχνότητας του πεδίου εκτός από αυτή την ταλάντωση υπάρχουν οι ανώτερες ταλαντώσεις των οποίων η συχνότητα είναι πολλαπλάσια της βασικής.

Ο πυρήνας ενός μετασχηματιστή αποτελείται από μάζα με ιδιότητες ελατηρίου και επομένως έχει την ικανότητα να ταλαντώνεται. Επειδή η ελαστική αυτή μάζα είναι συνεχώς κατανεμημένη έχει άπειρες ιδιοσυχνότητες. Εάν τώρα οι συχνότητες διέγερσης μαγνητικής προέλευσης συμπίπτουν με μια τουλάχιστον ιδιοσυχνότητα τότε δημιουργείται συντονισμός και ο πυρήνας ταλαντώνεται με το μέγιστο πλάτος. Οι ταλαντώσεις του πυρήνα μεταδίδονται μέσω του λαδιού, στο λέβητα και μετά στον αέρα και έτσι δημιουργείται ο θόρυβος.

Η αντιμετώπιση του θορύβου γίνεται με διάφορα μέσα και τεχνικές.

- με βελτίωση των ελασμάτων
- με προσεκτική κατασκευή του πυρήνα όσον αφορά την τοποθέτηση των ελασμάτων και την σύνδεση των στελεχών με τα ζυγώματα
- με κατάλληλο σχεδιασμό. Έχει διαπιστωθεί ότι κατασκευάζοντας τον πυρήνα από τρία ξεχωριστά πλαίσια η μαγνητική και ακουστική ζεύξη μεταξύ τους μειώνει αρκετά την ένταση του ήχου.

ΨΥΞΗ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΩΝ

Οι απώλειες σε ένα Μ/Τ όπως και στις ηλεκτρικές μηχανές εκδηλώνονται τελικά σε ανάπτυξη θερμότητας. Στις στρεφόμενες μηχανές παράγεται συγχρόνως λόγω της περιστροφής, ρεύμα αέρα το οποίο βοηθά στην απαγωγή της παραγόμενης από τις απώλειες θερμότητας. Επειδή όμως οι μετασχηματιστές δεν έχουν κινούμενα μέρη το πρόβλημα ψύξης είναι σοβαρό, και για αυτό δίνεται ιδιαίτερη προβολή στις συνθήκες ψύξης του. Το ψυκτικό μέσο μπορεί να είναι αέρας ή λάδι. Έτσι διακρίνουμε από άποψη ψύξης δύο είδη Μ/Τ.

- α) Ξηρούς μετασχηματιστές με μέσο ψύξης τον αέρα
- β) Ελαίου μετασχηματιστές με μέσο ψύξης το λάδι και έτσι οι απώλειες χαλκού και σιδήρου μεταδίδονται στο λάδι. Αντί λαδιού μπορεί να χρησιμοποιηθεί και το κλοφέν (Clorphen).

Η απαγωγή της θερμότητας γίνεται με τρεις τρόπους :

- α) Δια της αγωγιμότητας όπου η θερμότητα μεταφέρεται από σημείο σε σημείο μέσα σε ένα σώμα
- β) Δια ροής ή μεταφοράς, μεταφέροντας η θερμότητα με την κίνηση του αερίου ή του υγρού και
- γ) Δια ακτινοβολίας μετατρέπεται η θερμική ενέργεια σε ενέργεια ακτινοβολίας και μεταφέρεται χωρίς μεσολάβηση υλικού από σώμα σε σώμα. Στην ψύξη των Μ/Σ μετέχουν συνήθως και τα τρία είδη μετάδοσης θερμότητας.

Τα πλεονεκτήματα του αέρα συγκριτικά με το λάδι είναι τα εξής :

Λόγω του μεγαλύτερου ειδικού βάρους, της μεγαλύτερης ειδικής θερμότητας και της μεγαλύτερης θερμικής αγωγιμότητας του λαδιού η θερμότητα μπορεί να απομακρυνθεί ευκολότερα αλλά και να συσσωρευτεί μεγάλη ποσότητα θερμότητας όπως είναι δυνατό να συμβεί σε προσωρινές υπερφορτίσεις Το λάδι έχει καλύτερες μονωτικές ικανότητες επειδή η τάση διάσπασης έξι φορές μεγαλύτερη από αυτήν του αέρα. Το λάδι όμως πρέπει να συντηρείται με μεγάλη επιμέλεια επειδή προσβάλλεται από τον αέρα και την υγρασία. Οι ίνες που έχει απορροφούν νερό και αυτό μειώνει την μονωτική αντοχή. Εξάλλου αν ένα θερμό λάδι έρθει σε επαφή με τον αέρα, τότε αυτό αλλοιώνεται αφού οξειδώνεται με την πρόσληψη οξυγόνου.

Η προστασία του λαδιού από τον αέρα και την υγρασία εξασφαλίζεται με την βοήθεια ενός δοχείου προστασίας λαδιού το οποίο τοποθετείται στο επάνω μέρος του Μ/Τ και γίνεται δοχείο διαστολής.

Ο Μ/Τ συνδέεται με το δοχείο αυτό μέσω ενός σωλήνα με τρόπο ώστε ο σωλήνας να καταλήγει λίγο πιο πάνω από τον πυθμένα του δοχείου. Όταν ο Μ/Τ βρίσκεται σε κρύα κατάσταση πρέπει το λάδι να καταλαμβάνει ένα μέρος από το δοχείο διαστολής. Εάν περάσει ρεύμα στα τυλίγματα και το λάδι θερμανθεί τότε θα επέλθει διαστολή αυτού και η στάθμη του λαδιού στο δοχείο διαστολής θα ανέβει. Έτσι ο λέβητας του λαδιού μέσα στον οποίο βρίσκεται ο πυρήνας και τα τυλίγματα είναι διαρκώς γεμάτα με λάδι και δεν δημιουργείται κενό αέρος. Το λάδι του δοχείου είναι διαρκώς λιγότερο ζεστό σε σύγκριση με το λάδι του λέβητα. Έτσι είμαστε σίγουροι πως με την επαφή του με τον αέρα δεν διατρέχει κίνδυνο να οξειδωθεί.

Εάν τυχόν με την υγρασία που υπάρχει στον αέρα μέσα στο δοχείο διαστολής σχηματιστεί νερό, αυτό κατακάθεται στον πυθμένα του δοχείου και από εκεί φεύγει μέσω βαλβίδων τις οποίες ανοίγουμε. Το νερό αυτό δεν μπορεί πάει στον λέβητα του λαδιού γιατί ο σωλήνας που συνδέει τον μετασχηματιστή με το δοχείο διαστολής καταλήγει όπως είπαμε παραπάνω από τον πυθμένα αυτού.

Η ΙΣΧΥΣ ΤΟΥ Μ/Σ ΩΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΟΥ ΟΓΚΟΥ

Όταν όλες οι γραμμικές διαστάσεις ενός μετασχηματιστή αυξάνονται τότε έχουμε αύξηση των διαφόρων μορφών ισχύος. Πά να εξετάσουμε την σχέση ισχύος - όγκου μετασχηματιστή ορίζουμε τα εξής:

S_{FE} : είναι η διατομή σιδήρου

S_{CU} : είναι η διατομή χαλκού

S_{FE} : είναι η ενεργός διατομή του πυρήνα και στον Μ/Σ μανδύα S_{FE} είναι η διατομή της μεσαίας στήλης, με τον όρο διατομή χαλκού εννοούμε για το πρωτεύον και το δευτερεύον αντίστοιχα

$$S_{CU1} = w_1 S_1 \quad S_{CU2} = w_2 S_2$$

S_1, S_2 είναι οι διατομές των αγωγών πρωτεύοντος και του δευτερεύοντος τυλίγματος.

$S_{CU} = S_{CU1} + S_{CU2}$ είναι η ολική διατομή χαλκού και υποθέτουμε ότι: $S_{CU1} = S_{CU2} = \frac{1}{2} S_{CU}$

Αν $I_{1ov} = I_{2ov}$ ονομαστικά ρεύματα του πρωτεύοντος και του δευτερεύοντος τότε οι αντίστοιχες των ρευμάτων θα είναι:

$$\zeta_1 = \frac{I_{1ov}}{S_1} \qquad \zeta_2 = \frac{I_{2ov}}{S_2}$$

Υποθέτουμε ακόμη ότι $\zeta_1 = \zeta_2 = \zeta$ οπότε έχουμε:

$$I_{1ov} = \frac{\zeta S_{SU}}{2W_1} \qquad I_{2ov} = \frac{\zeta S_{SU}}{2W_2}$$

Μία σπείρα που περιβάλλει τον πυρήνα διαρρέετε από ροή $\Phi = BS_{FE}$ από την οποία υπολογίζουμε την ονομαστική τάση:

$$U_{2ov} = I_{20} = \frac{1}{\sqrt{2}} \omega w_2 \Phi$$

Με τα παραπάνω στοιχεία παίρνουμε την ονομαστική ισχύ ενός μονοφασικού μετασχηματιστή.

$$S_{ov} = U_{2ov} I_{1ov} = \frac{1}{\sqrt{2}} \omega w_2 \Phi \frac{\zeta S_{SU}}{2W_2} = \zeta B S_{FE} S_{CU}$$

Οι τιμές επαγωγής B και της πυκνότητας ζ είναι προκαθορισμένες καθ' ότι εξαρτώνται από τα υλικά. Έτσι βλέπουμε ότι η ονομαστική ισχύς είναι ανάλογη της συχνότητας της διατομής του σιδήρου και της διατομής του χαλκού. Όταν η συχνότητα είναι σταθερή η ισχύς είναι ανάλογη της τετάρτης δύναμης των γραμμικών διατάσεων. Δηλ.

$S = 14$, όπου 1 συμβολίζει μια οποιαδήποτε γραμμική διάσταση του πυρήνα. Αν λοιπόν διπλασιαστούν όλες οι γραμμικές διαστάσεις τότε η ονομαστική ισχύς θα γίνει 16 φορές μεγαλύτερη ενώ ο όγκος των ενεργών τμημάτων θα οκταπλασιαστεί. Οι απώλειες των τυλιγμάτων είναι το γινόμενο των ειδικών απωλειών pS^2 δηλ. των απωλειών ανά μονάδα όγκου επί τον όγκο των τυλιγμάτων $\pi D S_{CU}$

Δηλ.

$$P_{CU} = pS^2 \pi D S_{CU} \approx 1^3$$

ρ είναι η ειδική αντίσταση του χαλκού D η μέση διάμετρος του χάλκινου κυλίνδρου που περιβάλλει, τον πυρήνα.

Οι απώλειες υστέρησης και δινορευμάτων έχουν αναφερθεί και είναι:

$$P_{FE} = (C_1 f B^2 + C_2 f^2 B^2) \gamma \cdot v \qquad \text{το} \qquad v \approx 1^3$$

επομένως $P_{FE} \approx 1^3$

ΡΕΥΜΑ ΒΡΑΧΥΚΥΚΛΩΣΗΣ

Το ρεύμα βραχυκύκλωσης και ιδιαίτερα η αιχμή του δημιουργούν μηχανικές δυνάμεις οι οποίες επιδρούν στα τυλίγματα. Οι δυνάμεις αυτές είναι ανάλογες του γινομένου του ρεύματος επί την μαγνητική επαγωγή που αντιστοιχεί στο πεδίο σκέδασης το προερχόμενο από το ρεύμα αυτό. Επειδή η ένταση του πεδίου είναι ανάλογη του ρεύματος συνεπάγεται ότι η δύναμη είναι ανάλογη του τετραγώνου του ρεύματος $F=I^2K$

Διακρίνουμε δύο ειδών δυνάμεις:

α) αξονικές

β) ακτινικές

Οι αξονικές οφείλονται στο πεδίο σκέδασης που είναι κάθετο προς τα τυλίγματα.

Οι ακτινικές οφείλονται στο πεδίο σκέδασης που έχει παράλληλη διεύθυνση προς αυτό.

Οι ακτινικές δυνάμεις είναι ισχυρότερες και κατά την στιγμή της αιχμής του ρεύματος βραχυκύκλωσης μπορούν να καταστρέψουν τον μετασχηματιστή.

Ένα μέσο προστασίας είναι η αύξηση της αντίστασης βραχυκύκλωσης $Z_{1K} = R_1 + R_2 + j(X_{\sigma 1} X_{\sigma 2})$ αυξάνοντας κυρίως τη σκέδαση.

Η εξωτερική επιφάνεια η οποία μεταφέρει την θερμότητα από τα τυλίγματα και τον πυρήνα στο περιβάλλον είναι ανάλογη του τετραγώνου των γραμμικών διαστάσεων.

Το βάρος του M/Σ είναι ανάλογο του όγκου, συνεπώς $B = 13$

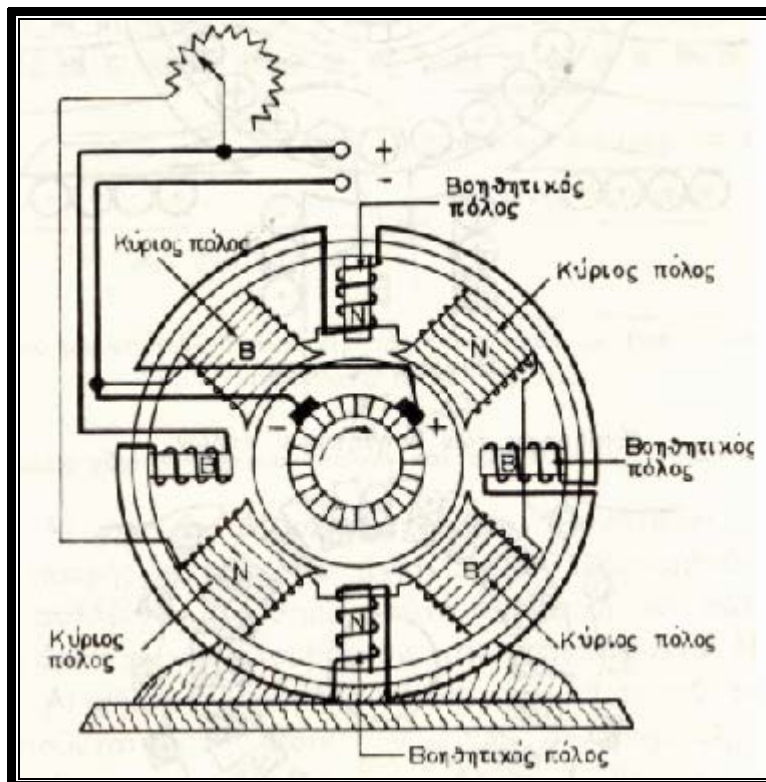
Έτσι λοιπόν μπορούμε να πούμε ότι:

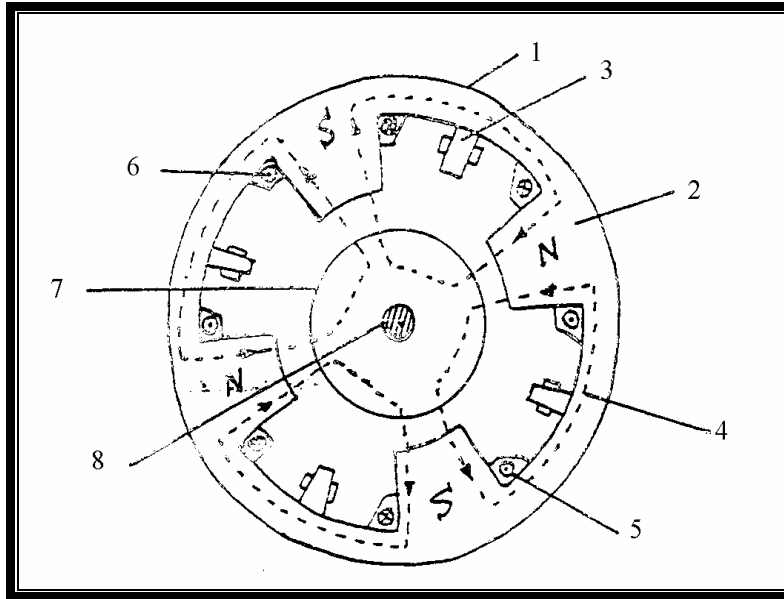
Όταν αυξάνουν οι γραμμικές διαστάσεις ο συντελεστής απόδοσης γίνεται μεγαλύτερος, γιατί η ισχύς είναι ανάλογη του 14 ενώ οι απώλειες είναι ανάλογες του 13. Το βάρος ανά μονάδα ισχύος γίνεται μικρότερη διότι $S = 13$ και $B = 14$ και επομένως το κόστος ελαττώνεται. Η ψύξη όμως γίνεται δυσκολότερη διότι η επιφάνεια απαγωγής της θερμότητας είναι ανάλογη του 12.

Αυτά ισχύουν για όλους τους ηλεκτρομαγνητικούς και ηλεκτρομηχανικούς μετατροπείς ενέργειας και ισχύουν τόσο για τους μετασχηματιστές όσο και για τις ηλεκτρικές μηχανές τους ηλεκτρομαγνήτες τα πηνία κλπ.

ΕΝΟΤΗΤΑ 2^η
1^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΗΧΑΝΗΣ DC

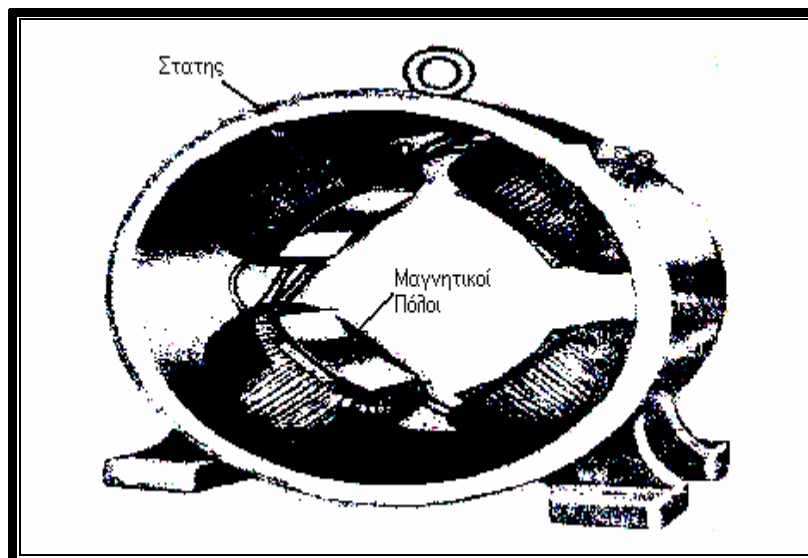


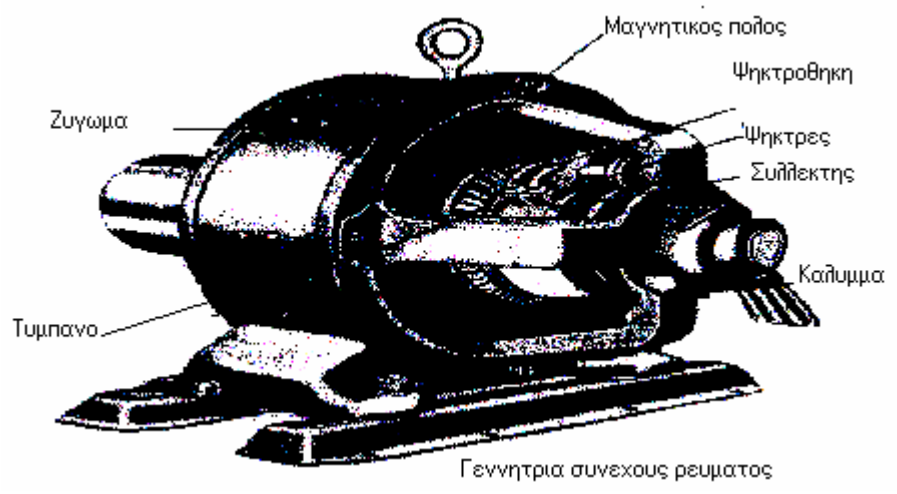
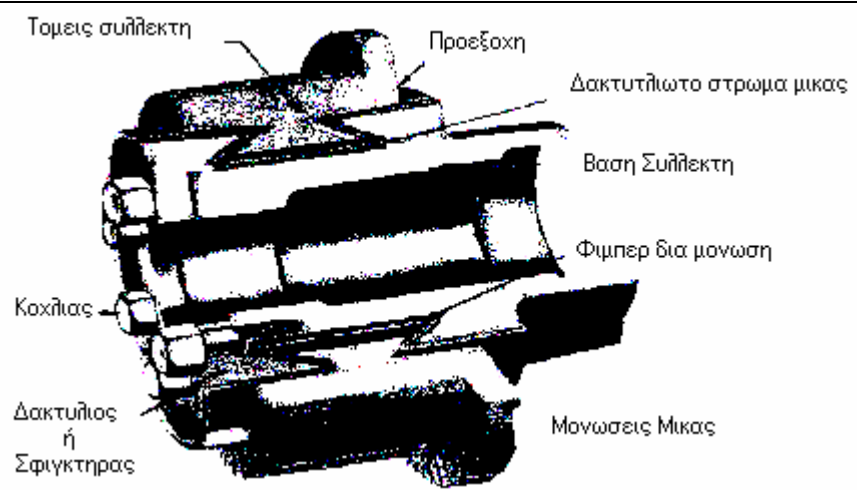


Τετραπολική μηχανή DC με βοηθητικούς πόλους

Επεξήγηση αριθμών :

- 1) Ζύγωμα στάτη
- 2) Κύριοι πόλοι Κ.Π.
- 3) Βοηθητικοί πόλοι Β.Π.
- 4) Δυναμικές γραμμές μαγνητικού πεδίου B
- 5) Διάρρευμα
- 6) Τύλιγμα διέγερσης
- 7) Δρομέας
- 8) Άξονας δρομέα





Το τυμpano της μηχανης

Στα σχήματα των προηγούμενων σελίδων φαίνεται μια μηχανή αποσυναρμολογημένη έτσι ώστε να διακρίνουμε τα στοιχεία που την αποτελούν.

A. Το ακίνητο μέρος της Μηχανής το οποίο αποτελείται :

- Από το Ζύγωμα
- Από το Μαγνητικό πυρήνα των πόλων Μ
- Από τα Πέλματα των πόλων Π
- Από το Τύλιγμα του όλου (Πηνίο Διέγερσης)
- Από τα καλύμματα
- Από τον ψηκτροφορέα
- Από το ελατήριο

B. Το κινητό μέρος της μηχανής που ονομάζουμε δρομέα. Αυτός αποτελείται:

- Από τον άξονα
- Από το επαγωγικό Τύμπανο
- Από τον Συλλέκτη

Καθένα από τα στοιχεία αυτά έχει κάποιο συγκεκριμένο σκοπό :

Ο Στάτης: Είναι το ακίνητο μέρος της μηχανής και έχει σκοπό να δημιουργήσει μια καθορισμένη μαγνητική ροή.

Το Ζύγωμα: Αποτελεί τον κορμό της μηχανής και κατασκευάζεται από χυτοχάλυβα. Αν όμως η μηχανή προορίζεται για να ελέγχεται από μετατροπείς ισχύος, το ζύγωμα κατασκευάζεται από δυναμοελάσματα και έχει στην πινακίδα το σύμβολο του θυρίστορ.

Οι πόλοι : Στερεώνονται στο Ζύγωμα και κατασκευάζονται από σιδηρομαγνητικό υλικό, δυναμοελάσματα πρεσαρισμένα και μονωμένα μεταξύ τους. Σκοπός τους να εξασφαλίσουν την μαγνητική ροή που δημιουργείται από τα τυλίγματα που περιβάλλουν τους πόλους. Το ρεύμα που τροφοδοτεί το τύλιγμα ονομάζεται ρεύμα διέγερσης.

Το επαγωγικό τύμπανο: Αυτό περιστρέφεται μέσα στο μαγνητικό πεδίο των πόλων. Αποτελείται από δυναμοελάσματα μεμονωμένα μεταξύ τους και είναι κατασκευασμένα έτσι ώστε να αφήνουν αυλάκια μέσα στα οποία τοποθετούνται οι αγωγοί. Με τη διαμόρφωση αυτή του τυμπάνου περιστρέφονται μέσα σε καθορισμένη μαγνητική τάση.

Ο συλλέκτης: Σκοπός έχει να παίρνει ή να μεταβιβάζει ρεύμα ανάλογα αν είναι γεννήτρια ή κινητήρας αντίστοιχα. Αποτελείται από τομείς οι οποίοι μεταξύ τους και ως προς τον άξονα της μηχανής. Στους τομείς καταλήγουν τα άκρα του τυλίγματος του τυμπάνου. (Περισσότερα για το συλλέκτη στο επόμενο κεφάλαιο).

Οι ψήκτρες: Κατασκευάζονται από άνθρακα ή από μίγμα άνθρακα και χαλκού. Τοποθετούνται στις ψηκτροθήκες και πιέζονται από ελατήρια ώστε να έχουν καλή επαφή με την επιφάνεια του συλλέκτη.

Ο ψηκτροφορέας: Είναι το σύστημα στο οποίο στερεώνονται ψηκτροθήκες. Ο ψηκτροφορέας στερεώνεται στο κάλυμμα της μηχανής το οποίο βρίσκεται στην πλευρά του συλλέκτη.

ΤΑ ΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΚΑΙ ΟΙ ΜΟΝΑΔΕΣ ΤΟΥΣ

Μαγνητικό πεδίο :

Είναι ο χώρος στον οποίο εμφανίζονται δυνάμεις από την ύπαρξη πόλων (φυσικού ή τεχνητού μαγνήτη).

Οι δυναμικές γραμμές του πεδίου είναι κλειστές, δηλαδή έχουν αρχή και τέλος σε αντίθεση με το ηλεκτρικό πεδίο.

Μαγνητική ροή :

Είναι το σύνολο των μαγνητικών γραμμών που βγαίνουν ή μπαίνουν σε ένα μαγνητικό πόλο και συμβολίζεται με Φ .

Σε μια στοιχειώδη επιφάνεια ds η στοιχειώδης μαγνητική ροή είναι :

$$d\Phi = \vec{B} \cdot d\vec{s} \text{ ή αν το ολοκληρώσουμε}$$

$$\Phi = \int \vec{B} \cdot d\vec{s}$$

Μονάδα μέτρησης :

$$\Phi = \left(\text{Wb} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{m}^2} \right) = \text{Wb} = \text{V} \cdot \text{sec}$$

Μαγνητική επαγωγή :

Ο αριθμός των μαγνητικών δυναμικών γραμμών ανά μονάδα επιφανείας κάθετης προς τις δυναμικές γραμμές ονομάζεται πυκνότητα μαγνητικής ροής ή μαγνητική επαγωγή (B).

Αυτή είναι διανυσματικό μέγεθος και έχει διεύθυνση την διεύθυνση της εφαπτομένης σε κάθε σημείο του μαγνητικού πεδίου.

Η μαγνητική επαγωγή B και η ένταση H , του μαγνητικού πεδίου συνδέονται με τη θεμελιώδη σχέση :

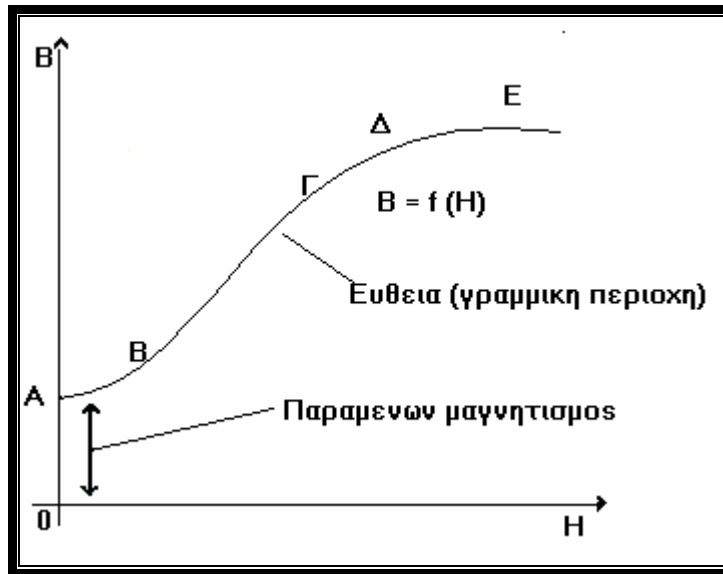
$$B = f\{H\} = \mu H = \mu_r \cdot \mu_0 \cdot H$$

- όπου μ_0 : η απόλυτη μαγνητική διαπερατότητα του κενού χώρου

$$\mu_0 = 1,256 \cdot 10^{-6} \frac{\text{V} \cdot \text{sec}}{\text{Am}}$$

- μ_r : η σχετική μαγνητική διαπερατότητα είναι μέγεθος χωρίς διαστάσεις. Το μ_r αποτελεί χαρακτηριστικό μέγεθος του υλικού μέσω του οποίου διέρχονται οι μαγνητικές γραμμές.
- Τα σιδηρομαγνητικά υλικά (Σίδηρος) $\mu_r \gg 1$ ' αυτά το $\mu_r = f(H)$, επίσης εξαρτάται και από τη θερμοκρασία. Σε θερμοκρασία 760°C $\mu_r = 1$ γίνεται μαγνητικά ουδέτερο.

Η γραφική παράσταση της σχέσης $B = \mu \cdot H = \mu_r \cdot \mu_0 \cdot H$ δίνει για κάθε υλικό μία καμπύλη που ονομάζεται καμπύλη μαγνήτισης του υλικού.



(OA) : παραμένων μαγνητισμός

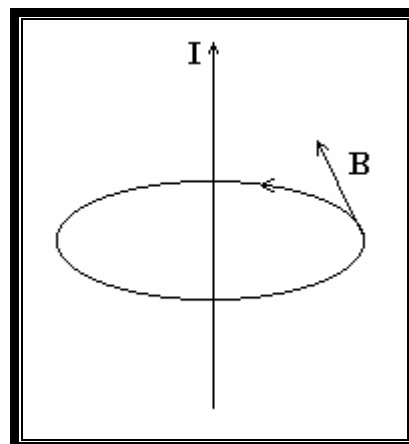
(BG) : ευθύγραμμο τμήμα της καμπύλης

(ΓΔ) : μη γραμμικό τμήμα της καμπύλης

(ΔΕ) : περιοχή κορεσμού , δηλαδή όσο και να αυξηθεί η ένταση (H) η μαγνητική επαγωγή παραμένει σταθερή

NOMΟΣ ΤΟΥ ΔΙΑΡΕΥΜΑΤΟΣ Ή ΝΟΜΟΣ ΤΟΥ AMPERE

Αυτός συνδέει το διάρρευμα με το παραγόμενο από το διάρρευμα μαγνητικό πεδίο.



Η μαθηματική έκφραση του νόμου είναι :

$\oint \vec{H} \cdot d\vec{l}$ όπου η καμπύλη ολοκλήρωσης είναι μια κλειστή πάντοτε γραμμή.

Για τις ηλεκτρικές μηχανές ο νόμος του διαρρεύματος χρησιμοποιείται στη μορφή

$\oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = I$ όπου η ολοκλήρωση γίνεται κατά μήκος μιας γραμμής του μαγνητικού πεδίου ενός πηνίου.

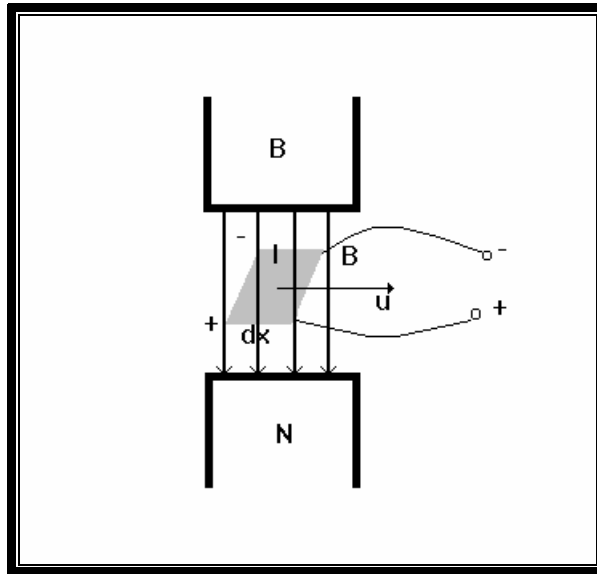
ΝΟΜΟΣ ΤΗΣ ΕΠΑΓΩΓΗΣ

Ο νόμος αυτής εκφράζει τη σχέση μεταξύ της ηλεκτρικής τάσης και της μαγνητικής ροής.

$$E = - \frac{d\Phi}{dt}$$

Το (-) είναι από τον νόμο του Lenz. Δηλαδή η φορά της E είναι τέτοια ώστε το ρεύμα που προκύπτει να δώσει μαγνητικό πεδίο το οποίο να τείνει να εξουδετερώσει τη μεταβολή της μαγνητικής ροής.

Αν θεωρήσουμε ότι μέσα σε ένα μαγνητικό πεδίο έντασης B κινείται ένας αγωγός μήκους l, με ταχύτητα U τότε η μεταβολή της μαγνητικής ροής είναι :



$$d\Phi = B \quad ds = B \quad l \quad dx$$

$$E = \frac{d\Phi}{dt} = B \quad l \quad u \quad \eta$$

$$\vec{E} = l (\vec{U} \times \vec{B}), \quad E = u \quad l \quad B \quad \eta \mu \alpha$$

Ας υποθέσουμε ότι στο μαγνητικό πεδίο κινείται ένα φορτίο q με ταχύτητα u τότε στο φορτίο θα ασκείται δύναμη :

$$\vec{F} = q\vec{u} \times \vec{B}$$

Αν αντί του φορτίου θεωρήσουμε αγωγό μήκους l διατομής S αριθμό κινούμενων φορτίων n και ταχύτητα φορτίου u τότε θα έχουμε :

$$\vec{F} = (n \cdot s \cdot l) q (\vec{U} \times \vec{B}) \quad (1)$$

$$\text{πυκνότητα ρεύματος: } J = n \cdot q \cdot u \quad (2)$$

$$\text{ρεύμα: } I = Js = n \cdot q \cdot u \cdot s \quad (3)$$

$$\text{Η (1) βάσει της (3) γίνεται: } \vec{F} = l (\vec{I} \times \vec{B})$$

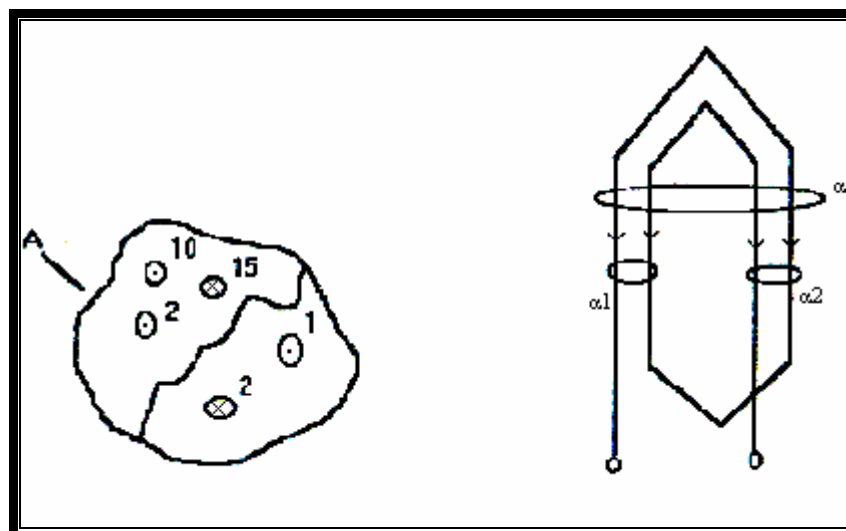
$$\text{ή } F = I \cdot B \cdot \eta \mu \theta$$

$$\text{Αν το } \vec{I} \perp \vec{B} \text{ τότε } \theta = 90^\circ \text{ και } F = I \cdot B$$

ΔΙΑΡΕΥΜΑ

Διάρευμα μιας επιφάνειας που περικλείεται από κλειστή γραμμή, είναι το αλγεβρικό άθροισμα των ρευμάτων που διαπερνούν την επιφάνεια αυτή.

$$\Theta = \sum_{r=1}^{r=n} I_r$$



$$\Theta_{\alpha 1} = 15 - 10 - 2 = 3(A)$$

$$\Theta_{\alpha 2} = 2 - 1 = 1A$$

$$\Theta_{\alpha} = \Theta_{\alpha 1} + \Theta_{\alpha 2} = 3 + 1 = 4A$$

$$\Theta_{\alpha 1} = -\Theta_{\alpha 2} = 2I$$

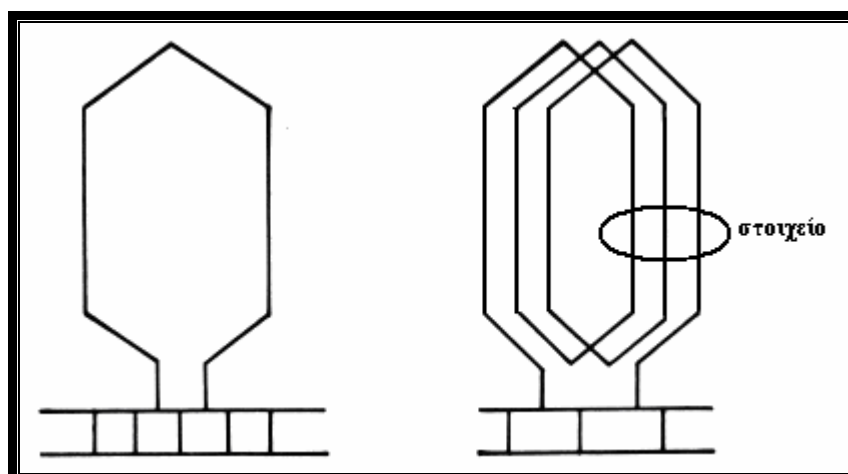
$$\Theta_{\alpha} = 0$$

Η ΠΕΡΙΕΛΙΞΗ ΤΟΥ ΔΡΟΜΕΑ

Τα στοιχεία ενός τυλίγματος είναι :

1ο η σπείρα : αποτελείται από δυο ενεργές πλευρές συνδεδεμένες μετωπικά στον συλλέκτη όπως στο σχήμα Α της επόμενης σελίδας

2ο η ομάδα : αποτελείται από ένα σύνολο σπειρών συνδεδεμένων σε σειρά και τα άκρα της καταλήγουν σε δυο τομείς του συλλέκτη όπως στο σχήμα Β



(A) σπείρα τυλίγματος

(B) ομάδα τυλίγματος

3ο το στοιχείο : αποτελείται από αγωγούς της ίδιας ομάδας τοποθετημένους μέσα στο ίδιο κανάλι όπως στο σχήμα Β.

4ο το μάτσο : αποτελείται από μια ή περισσότερες ομάδες. Αν έχει μια ομάδα τότε θα έχει δυο άκρα ενώ αν έχει δυο ομάδες θα έχει δυο αρχές και δυο τέλη.

Πολικό βήμα είναι η απόσταση μεταξύ δυο πόλων σε τόξο , σε μονάδα μήκους πάνω στην περιφέρεια

$$\text{του περιφέρειας του διακένου } \tau_p = \frac{\pi}{p} \text{ ή } \frac{\pi \cdot r}{p} \{m\} \text{ ή } \frac{Z}{2p}$$

$2p$: αριθμός πόλων

r : ακτίνα του δρομέα

N : αριθμός αυλακιών

Πλάτος μιας σπείρας , είναι η απόσταση σε τόξο ,πάνω στην περιφέρεια του δρομέα, των δυο πλευρών της οι οποίες είναι τοποθετημένες σε δυο διαφορετικά κανάλια.

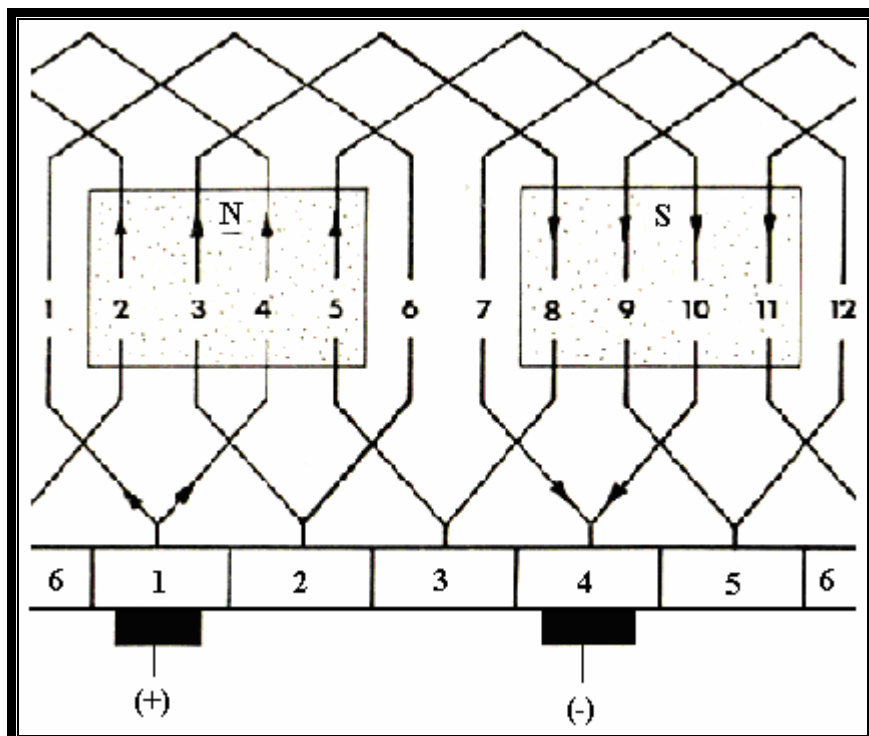
Αν το πλάτος της σπείρας είναι ένα πολικό βήμα η περιέλιξη είναι διαμετρική , αν είναι μικρότερη του πολικού βήματος είναι περιέλιξη με βράχυνση ή περιέλιξη χορδής.

Στη διαμετρική περιέλιξη επιτυγχάνεται η μέγιστη επαγωγή τάσης ενώ στη περιέλιξη χορδής καλύτερη μετάβαση.

Η περιέλιξη του δρομέα είναι δυο ειδών η βροχοειδής και η κυματοειδής, ανάλογα με τον τρόπο σύνδεσης των σπειρών μεταξύ τους και επομένως και της αθροίσεως των τάσεων των σπειρών

Ανάπτυγμα τυλίγματος του δρομέα

Έστω ότι ο δρομέας έχει 12 κανάλια και ότι υπάρχει ένας αγωγός σε κάθε κανάλι. Θεωρούμε ότι ο δρομέας κυλιέται σε ένα επίπεδο και ότι οι αγωγοί του εγκαταλείπονται κατά την κίνηση πάνω στο επίπεδο. Τότε σχηματίζεται το σχήμα Α όπου σημειώνονται και οι περιοχές επίδρασης του βόρειου και νότιου πόλου καθώς και οι θέσεις των ψηκτρών. Το σχήμα αυτό λέγεται ανάπτυγμα του τυλίγματος .



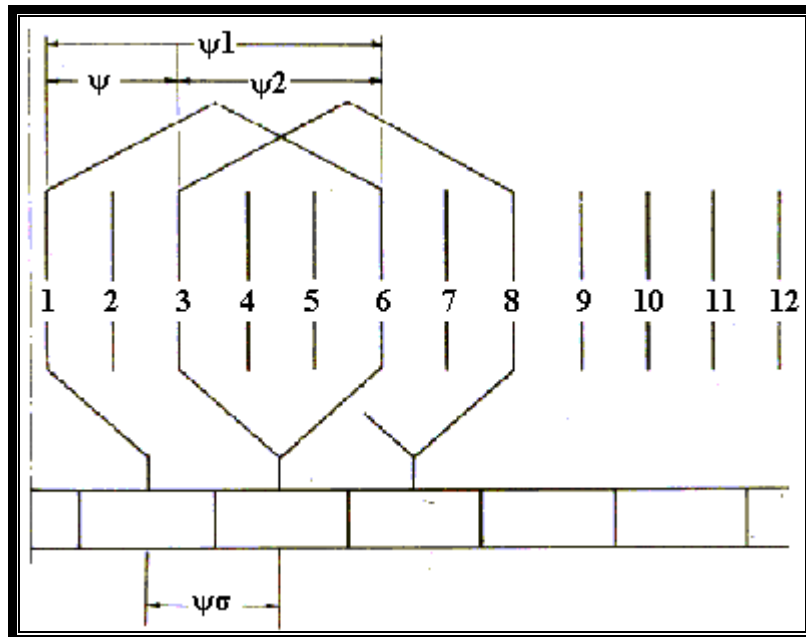
Οι ΗΕΔ που επάγονται στους αγωγούς των τυλιγμάτων πρέπει να έχουν τέτοιες φορές ώστε να προστίθενται. Για το λόγο αυτό πρέπει δυο διαδοχικοί αγωγοί που συνδέονται για να σχηματίσουν σπείρα να βρίσκονται κάτω από την επίδραση ετερώνυμων μαγνητικών πόλων.

Είδη τυλιγμάτων : κυματοτύλιγμα – βροχοτύλιγμα –μικτό: Βήματα τυλιγμάτων

Έχουμε πέντε βήματα που μπορούν να ορισθούν ως εξής:

Πρώτο μερικό βήμα ψ_1 : ονομάζουμε την απόσταση μεταξύ του πρώτου και του δεύτερου στοιχείου της ίδιας ομάδας και είναι ακέραιος αριθμός.

Δεύτερο μερικό βήμα ψ_2 : ονομάζουμε την απόσταση μεταξύ του δεύτερου στοιχείου της πρώτης ομάδας από το πρώτο στοιχείο της δεύτερης ομάδας όπως φαίνεται στο σχήμα



Συνιστάμενο βήμα ψ : ονομάζουμε την απόσταση μεταξύ του πρώτου στοιχείου μιας ομάδας και του πρώτου στοιχείου της αμέσως σε σειρά συνδεδεμένης ομάδας, και είναι ακέραιος ζυγός αριθμός. Αυτό συνδέεται με τα μερικά βήματα ψ_1, ψ_2 με την σχέση $\psi = \psi_1 - \psi_2$ για βροχοτυλίγματα και $\psi = \psi_1 + \psi_2$ για κυματοτυλίγματα .

Τέταρτο βήμα : μα καναλιών είναι η απόσταση μεταξύ των πλευρών μιας ομάδας. Μετριέται σε αριθμό αυλακιών.

Πέμπτο βήμα τομέων συλλέκτη $\psi\sigma$: ονομάζουμε την απόσταση μεταξύ δυο τομέων συλλέκτη στους οποίους καταλήγουν τα άκρα μιας ομάδας και μετριέται σε αριθμό τομέων συλλέκτη.

$$\psi\sigma = N_a / 2p$$

Για τον υπολογισμό των βημάτων $\psi_1, \psi_2, \psi, \psi\sigma$ πρέπει να γνωρίζουμε τον αριθμό καναλιών N τον αριθμό τομέων του συλλέκτη $N\sigma$

Τον αριθμό πόλων $2p$ τον αριθμό παράλληλων κλάδων $2a$ και τον αριθμό στοιχείων Z .

Παράλληλο κλάδο σε ένα τύλιγμα ονομάζουμε το τμήμα της περιέλιξης το οποίο βρίσκεται μεταξύ δυο γειτονικών ψηκτρών. Ο παράλληλος κλάδος είναι μια πηγή τάσεως και η όλη περιέλιξη μπορεί να θεωρηθεί παράλληλη συνδεσμολογία πηγών. Ο αριθμός των παράλληλων κλάδων καθορίζεται από την τάση και την ένταση και δείχνει τα τυλίγματα τα οποία είναι συνδεδεμένα παράλληλα ως προς τις ψήκτρες.

Απλό βροχοτύλιγμα έχουμε όταν ο αριθμός των παράλληλων κλάδων είναι ίσος με τον αριθμό των πόλων, και πολλαπλό όταν ο αριθμός των παράλληλων κλάδων είναι πολλαπλάσιος του αριθμού των πόλων. Δηλαδή $2a = \kappa \cdot 2p$

Τα βήματα που αναφέραμε παραπάνω υπολογίζονται από τις σχέσεις

$$\psi_1 = \frac{z}{2p} \pm 1 = \frac{2N\sigma}{2p} \pm 1 = \frac{N\sigma}{p} \pm 1 \text{ με το πρόσημο + το τύλιγμα λέγεται προοδευτικό ενώ με το}$$

πρόσημο – αναδρομικό. Ο υπολογισμός του ψ_2 γίνεται ως εξής

$$\psi_2 = \psi_1 - \psi = \psi_1 \pm \frac{2a}{p} \text{ και } \psi_\sigma = \frac{y}{2} = \pm \frac{a}{p}$$

Στα βροχοτυλίγματα ο αριθμός των παράλληλων κλάδων είναι ίσος ή πολλαπλάσιος του αριθμού των πόλων και ο αριθμός των ψηκτρών είναι πάντα ίσος με τον αριθμό των πόλων. Οι ψηκτρες είναι τοποθετημένες συμμετρικά στο συλλέκτη και η απόσταση μεταξύ δυο διαδοχικών ψηκτρών είναι πάντα ίση με το πολικό βήμα.

Στο απλό βροχοτύλιγμα το ρεύμα κάθε παράλληλου κλάδου είναι $I_p = \frac{I}{2a} = \frac{I}{2p}$ και οι αγωγοί ανά

παράλληλο κλάδο $Z' = \frac{Z}{2a}$ στο διπλό βροχοτύλιγμα το ρεύμα θα είναι $\frac{I}{2.2p}$ δηλαδή τα

βροχοτυλίγματα χρησιμοποιούνται όταν θέλουμε στις μηχανές να έχουμε χαμηλή τάση και μεγάλο ρεύμα.

Παράδειγμα σχεδίασης βροχοτυλίματος

Δίνεται βροχοειδές προοδευτικό τύλιγμα με τα παρακάτω στοιχεία $N=24$, $N\sigma = 12$, $2a = 4$, $2p = 4$ ζητούνται το πολικό βήμα, τα ψ_1 , ψ_2 , ψ_σ , ψ και η σχεδίαση του αναπτύγματος του τυλίγματος.

Απάντηση

$$t_p = \frac{N}{2p} = \frac{24}{4} = 6 \text{ κανάλια}$$

$$\kappa = \frac{2N\sigma}{N} = \frac{2 \cdot 12}{24} = 1 \text{ στοιχείο σε κάθε κανάλι}$$

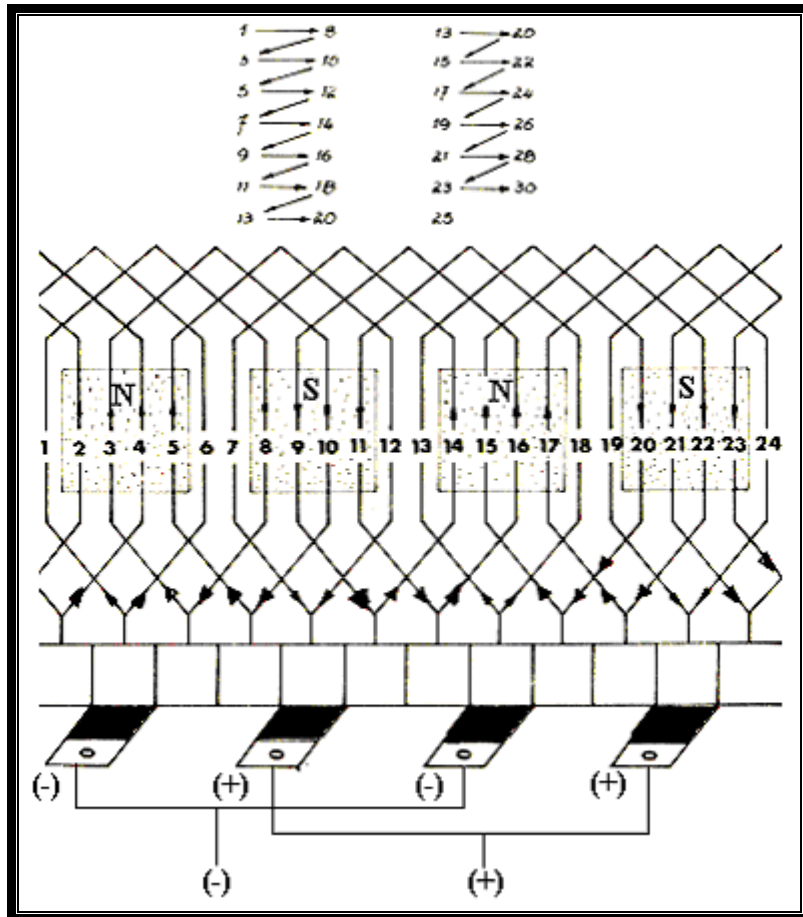
$$\psi_1 = \frac{Z}{2p} + 1 = \frac{24}{4} + 1 = 7$$

$$\psi = \frac{2a}{p} = \frac{4}{2} = 2$$

$$\psi_2 = y_1 - y = 7 - 2 = 5 \text{ στοιχεία}$$

$$\psi_\sigma = \frac{y}{2} = \frac{2}{2} = 1$$

Βάσει αυτών των υπολογισμών σχεδιάζουμε το ανάπτυγμα του τυλίγματος



Κυματοτύλιγμα : ένα κυματοτύλιγμα λέγεται απλό όταν ο αριθμός των παράλληλων κλάδων είναι ίσος με δυο ενώ ο αριθμός των ζευγών των πόλων μπορεί να πάρει μια οποιαδήποτε τιμή μεγαλύτερη του 1.

Ένα κυματοτύλιγμα λέγεται *σειράς παράλληλο* όταν ο αριθμός των παράλληλων κλάδων είναι μεγαλύτερος του 2 και ο αριθμός των πόλων μπορεί να είναι μεγαλύτερος ή μικρότερος ή και ίσος με τον αριθμό των παράλληλων κλάδων.

Ο υπολογισμός των βημάτων γίνεται ως εξής :

$$\psi = \psi_1 + \psi_2 = \frac{Z \pm 2a}{p} = \frac{2N\sigma \pm 2a}{p}$$

$$\psi_0 = \frac{\psi}{2} = \frac{Z \pm 2a}{2p} = \frac{2N\sigma \pm 2a}{2p} = \frac{N\sigma \pm a}{p}$$

σε μικρή ισχύ μηχανών χρησιμοποιούμε απλό κυματοτύλιγμα στο οποίο υπάρχουν δυο παράλληλοι κλάδοι και οι ψήκτρες τοποθετούνται σε απόσταση 180 ηλεκτρικών μοιρών.

Παράδειγμα κυματοτύλιγμα προοδευτικό έχει τα παρακάτω στοιχεία : αριθμό καναλιών $N = 30$ αριθμό τομέων συλλέκτη $N_\sigma = 15$, $2a=2$, $2p=4$. ζητούνται τα βήματα ψ , ψ_1 , ψ_2 , γσ και η σχεδίαση του αναπτύγματος του τυλίγματος.

Απάντηση

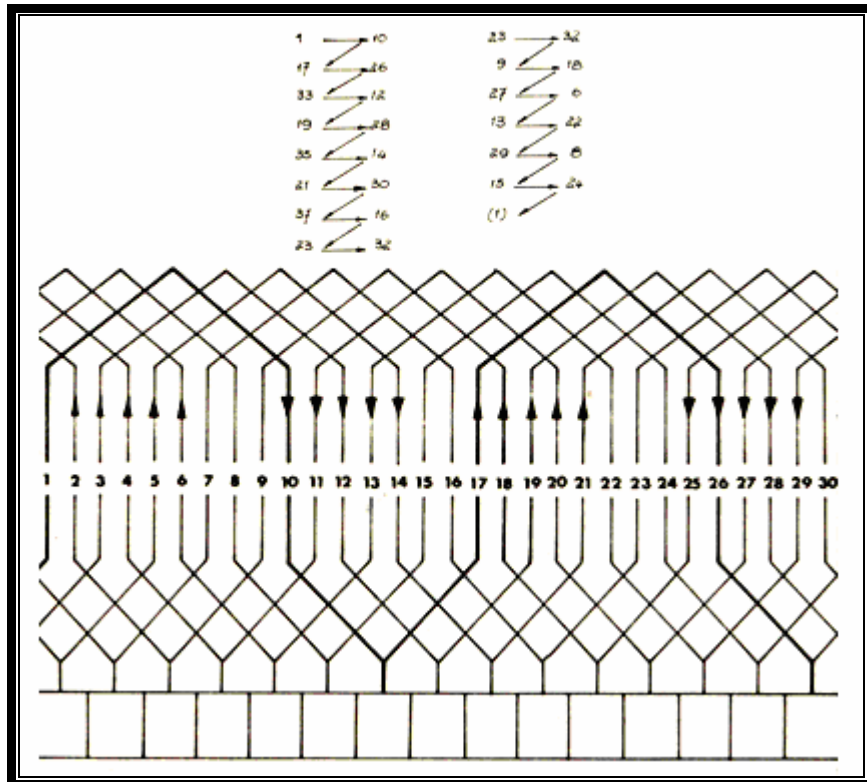
$$\psi = \frac{2N\sigma + 2\alpha}{p} = \frac{30 + 2}{2} = 16 \text{ στοιχεία}$$

$$\psi_1 = 9 \text{ και } \psi_2 = 7$$

$$\psi_\sigma = \frac{\psi}{2} = \frac{16}{2} = 8 \text{ τομείς.}$$

Το βήμα του συλλέκτη είναι 1-9.

Η ανάπτυξη του τυλίγματος φαίνεται παρακάτω.



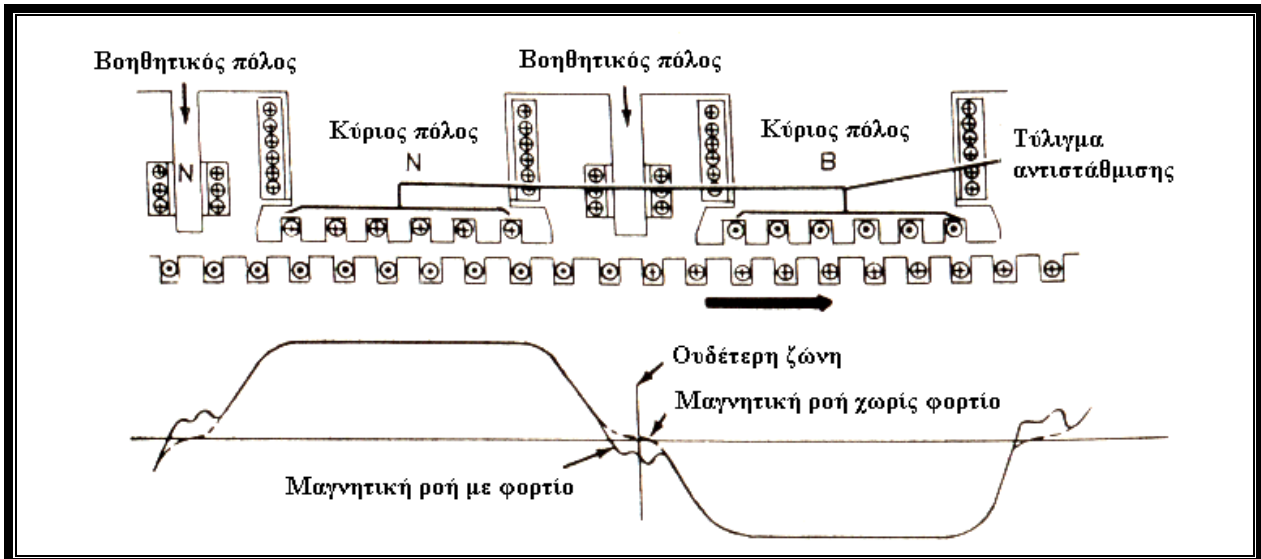
ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΒΡΟΧΟΕΙΔΟΥΣ ΚΑΙ ΚΥΜΑΤΟΕΙΔΟΥΣ ΠΕΡΙΕΛΙΞΗΣ

Η βροχοειδής περιέλιξη έχει πολλούς παράλληλους κλάδους $2a=2\pi m$ και λίγους σε σειρά άρα προσφέρεται για μηχανές με μεγάλα ρεύματα και μικρές τάσεις.

Η κυματοειδής έχει 2 παράλληλους κλάδους και πολλούς αγωγούς σε σειρά άρα προσφέρεται για μηχανές με μικρά ρεύματα και μεγάλες τάσεις. Μηχανές μικρής και μεσαίας ισχύος έχουν κυματοειδή περιέλιξη, μηχανές μεγάλης ισχύος βροχοειδή περιέλιξη.

Πεδίο διέγερσης

Το μαγνητικό πεδίο του στάτη (πεδίο διέγερσης) προκαλεί στο διάκενο μαγνητική επαγωγή, η επαγωγική συνιστώσα της οποίας επάγει τάση στους κινούμενους αγωγούς του δρομέα. Η κατανομή της κατά μήκος της περιφέρειας του διακένου κάτω από τα πέλματα των πόλων είναι περίπου σταθερή.



Μορφή του μαγνητικού πεδίου σε γεννήτρια με βοηθητικούς πόλους και τύλιγμα αντιστάθμισης

Η μαγνητική ροή διεγέρσεως είναι :

$$\Phi = \int_0^{\frac{\pi}{p}} B(\theta) \cdot l \cdot r \cdot d\theta$$

όπου

l : μήκος της μηχανής
 r : η ακτίνα του δρομέα
 θ : η γεωμετρική γωνία.

Η μέση μαγνητική επαγωγή

$$B_m = \frac{\Phi}{s} = \frac{\Phi}{l \cdot t_p} \quad \text{όπου} \quad t_p = \frac{\pi \cdot r}{p} \quad \text{πολικό βήμα}$$

Σχέση ηλεκτρικής και γεωμετρικής γωνίας

$$\Theta_{\eta\lambda} = p \quad \Theta_{\gamma}$$

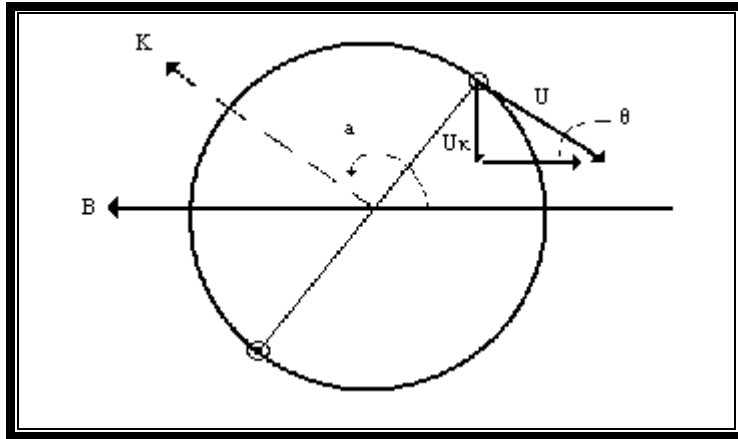
ΕΠΑΓΩΓΙΚΗ ΤΑΣΗ

Η επαγόμενη τάση σένα αγωγό του δρομέα στη θέση Θ που περιστρέφεται με ταχύτητα u είναι $e(\theta) = l \cdot u \cdot B(\theta)$

Ο μέσος όρος της τάσης αυτής στη διαδρομή ενός πολικού βήματος είναι

$$E_{\pi} = \frac{1}{\pi / p} \int_0^{\frac{\pi}{p}} e(\theta) d\theta \quad \text{ή} \quad \bar{E} = 1 (\bar{U}_k \times \bar{B}) = 1 \cdot B \cdot U_k = 1 \cdot B \cdot U_{\eta\mu\theta} \quad \text{όπου } \theta \text{ η γωνία μεταξύ}$$

της καθέτου στο επίπεδο του πλαισίου και της διεύθυνσης του μαγνητικού πεδίου. Η θέση του πλαισίου καθορίζει το μέγεθος της καθέτου προς το μαγνητικό πεδίο, συνιστώσας u_k της περιφερειακής ταχύτητας, η οποία είναι και η μόνη που συμβάλλει στην ανάπτυξη ΗΕΔ εξ επαγωγής.



Στην παραπάνω θέση του πλαισίου του σχήματος κατά την κίνηση περιστροφής έχουμε $\eta\mu\theta = \frac{u_{\kappa}}{u} \Rightarrow u_{\kappa} = u\eta\mu\theta$ όπου θ η γωνία μεταξύ του μαγνητικού πεδίου B και της καθέτου K προς το επίπεδο του πλαισίου. Έτσι έχουμε $u = \omega_m \cdot r$ και επειδή $\omega = 2\pi \cdot f$ ή $u = 2\pi \cdot f \cdot r$

$$E \pi = \frac{1}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{p}} l \cdot u \cdot B(\theta) \cdot d\theta = \frac{p}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{p}} l \cdot 2\pi f \cdot r \cdot \frac{\Phi}{l \cdot \tau_p} \cdot d\theta =$$

$$= \frac{p}{\pi} \cdot l \cdot 2\pi f \cdot r \cdot \frac{\Phi}{l \cdot (\pi \cdot r) / p} \cdot \frac{\pi}{p} = 2 p \cdot f \cdot \Phi$$

Επειδή οι αγωγοί που είναι συνδεδεμένοι σε σειρά σε κάθε κλάδο του δρομέα είναι :

$$Z' = \frac{Z}{2a} \quad \text{η επαγόμενη τάση είναι} \quad E = \frac{Z}{2a} \cdot E \pi \quad \text{τελικά}$$

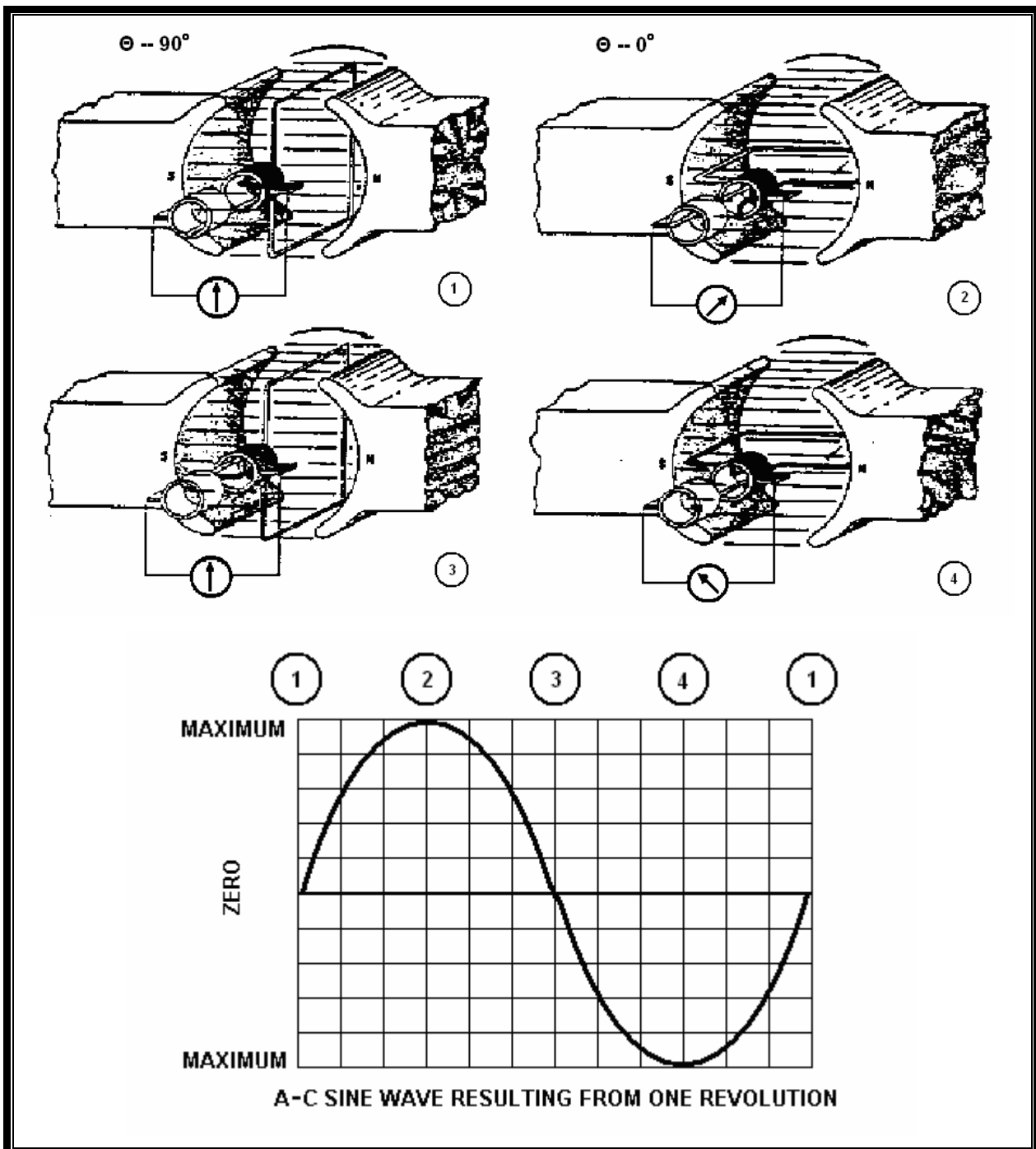
$$E = \frac{Z}{2a} \omega P \frac{\Phi}{\pi} = \frac{pZ}{2a\pi} \omega \Phi \quad \text{και} \quad C = \frac{pZ}{2a\pi}$$

Άρα $E = \Phi \Omega C$. Το c είναι η σταθερά της μηχανής και εξαρτάται από τα κατασκευαστικά στοιχεία της. Το Φ είναι η μαγνητική ροή και εξαρτάται από το ρεύμα διέγερσης της μηχανής.

Ο ΣΥΛΛΕΚΤΗΣ ΩΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ ΑΝΟΡΘΩΤΗΣ ΤΑΣΗΣ

Η ηλεκτρεγερτική δύναμη, $\vec{E} = l(\vec{U}_{\kappa} \times \vec{B}) = l \cdot B \cdot U_{\kappa} = l \cdot B \cdot U \eta\mu\theta$

Όπου θ η γωνία μεταξύ της καθέτου στο επίπεδο του πλαισίου και της διεύθυνσης του μαγνητικού πεδίου. Η θέση του πλαισίου καθορίζει το μέγεθος, της καθέτου προς το μαγνητικό πεδίο της συνιστώσας U_{κ} της περιφερειακής ταχύτητας, η οποία είναι και η μόνη που συμβάλλει στην ανάπτυξη ΗΕΔ εξ επαγωγής. Σε μία θέση του πλαισίου κατά την κίνηση περιστροφής έχουμε την παρακάτω εικόνα.



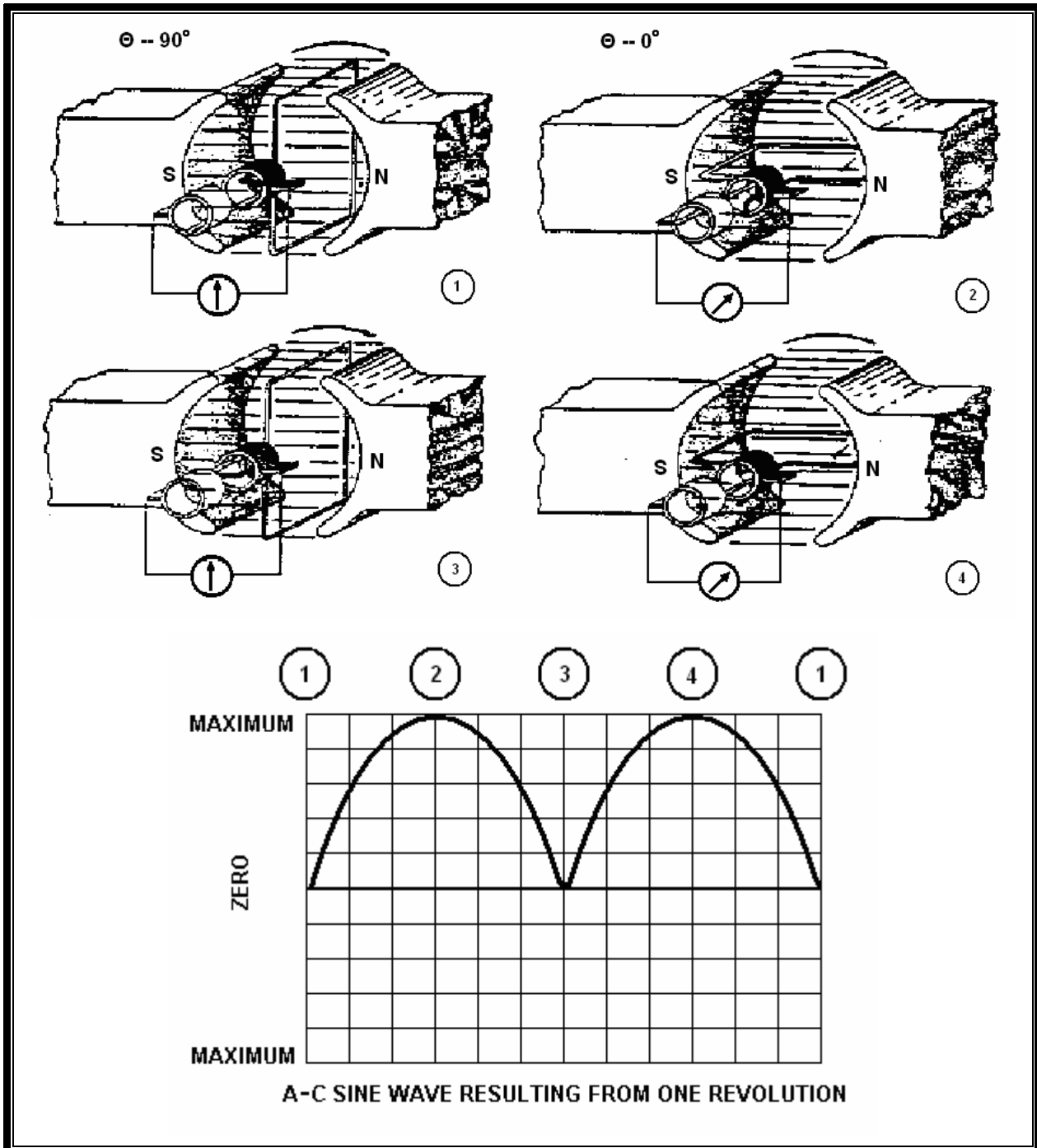
Η εικόνα δείχνει ένα πλαίσιο του οποίου τα άκρα συνδέονται σε δύο δακτυλίδια. Οι ψήκτρες χρησιμοποιούνται να συλλέγουν το ρεύμα από τα δακτυλίδια και να το διανέμουν σε ένα εξωτερικό κύκλωμα. Στην (1) θέση ο λευκός αγωγός κινείται προς τα αριστερά ενώ ο μαύρος προς τα δεξιά και η επαγωγή ΗΕΔ στους δύο αγωγούς μπορεί να προστεθεί. Η ολική ΗΕΔ εξαρτάται από την θέση του πλαισίου στο μαγνητικό πεδίο.

Στην (1) κάθε αγωγός κινείται παράλληλα προς το μαγνητικό πεδίο και σε αυτή τη θέση, η $ΗΕΔ=0$. Καθώς το πλαίσιο κινείται δεξιόστροφα, η ΗΕΔ αυξάνεται γιατί το πλαίσιο κόβει περισσότερες μαγνητικές γραμμές σε μια δοσμένη χρονική περίοδο μέχρι να πλησιάσει ένα max και στον οποίο χρόνο το πλαίσιο είναι παράλληλο στο πεδίο, θέση (2).

Καθώς το πλαίσιο συνεχίζει να κινείται στη θέση (3) η ΗΕΔ μειώνεται ξανά στο μηδέν.

Στη θέση (4) έχουμε ανεστραμμένη ΗΕΔ max και από εκεί συνεχίζοντας την κίνηση η ΗΕΔ=0.

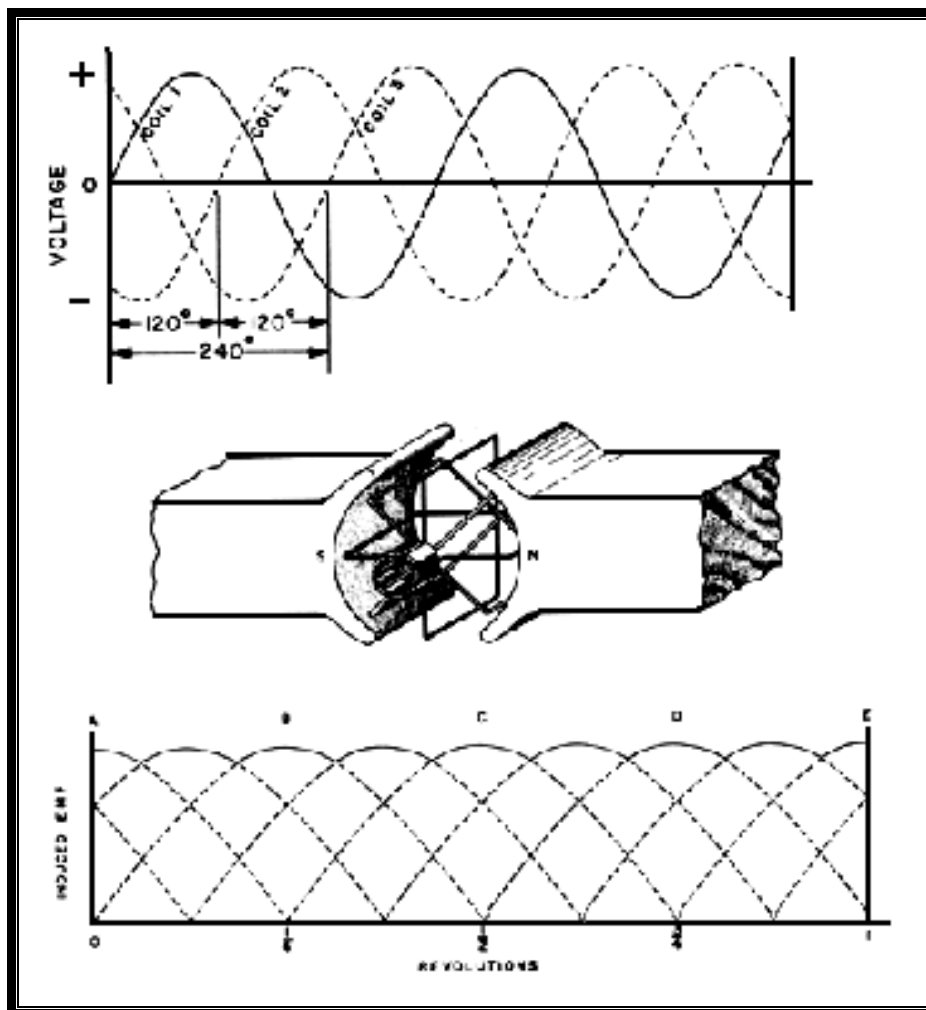
Συνεπώς έχουμε μια εναλλασσόμενη τάση. Ας δούμε τι θα συμβεί αν οι δυο δακτύλιοι αντικατασταθούν με δύο ημιδακτυλίους.



Αρχίζοντας με το πλαίσιο να βρίσκεται στη θέση (1) η ΗΕΔ ανεβαίνει από το μηδέν σε μια max τιμή στη θέση (2) που αντιστοιχεί στο αντίστοιχο σχήμα στη θέση (2). Σημειώστε ότι η μαύρη ψήκτρα είναι σε επαφή με την μαύρη πλευρά του πλαισίου. Καθώς το πλαίσιο συνεχίζει να περιστρέφεται η ΗΕΔ μειώνεται στο μηδέν στη θέση (3). Η μαύρη ψήκτρα συνεχίζει να είναι κάτω από το βόρειο πόλο. Στη συνέχεια στη θέση (4) ο γενικός αγωγός βρίσκεται σε επαφή με την μαύρη ψήκτρα και κάτω από το βόρειο πόλο όπου έχουμε ΗΕΔ max και μετά μειώνεται. Έτσι λοιπόν αφού η μαύρη ψήκτρα είναι πάντα σε επαφή με την πλευρά του πλαισίου που περνά από τα αριστερά προς τα δεξιά δια μέσου του πεδίου, το ρεύμα δια μέσου των ψηκτρών, θα έχει πάντοτε την ίδια διεύθυνση. Η διατήρηση του

ρεύματος στην ίδια διεύθυνση, καλείται μετάβαση.

Στο επόμενο σχήμα φαίνεται η επαγόμενη ΗΕΔ τριών πηνίων με διαφορά φάσης 120°.



ΑΝΤΙΔΡΑΣΗ ΤΥΜΠΑΝΟΥ

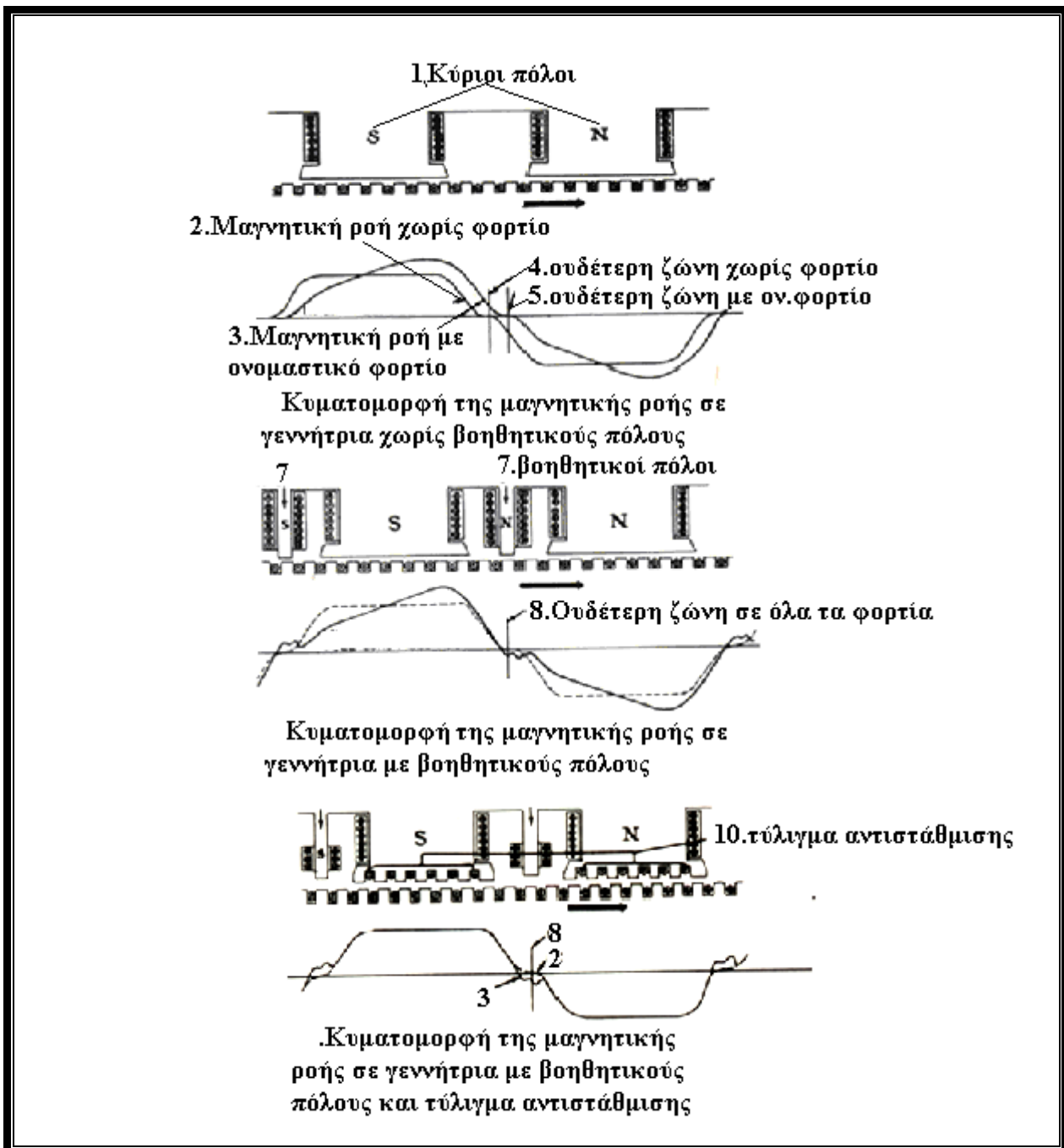
Σε μια μηχανή DC έχουμε το μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται από το ρεύμα διέγερσης αλλά και το πεδίο από το ρεύμα που διαρρέει τα τύλιγμα του δρομέα, όταν η μηχανή είναι με φορτίο.

Το μαγνητικό πεδίο του δρομέα επιδρά στο μαγνητικό πεδίο των πόλων και την επίδραση αυτή ονομάζουμε μαγνητική αντίδραση του επαγωγικού τυμπάνου.

Οι επιπτώσεις λόγω της αντίδρασης του επαγωγικού τυμπάνου είναι :

- α) Παραμόρφωση του μαγνητικού πεδίου κάτω από τα πέλαμα των πόλων.

Η πρόσθεση του πεδίου διεγέρσεως και του πεδίου αντίδρασης έχει την κατανομή που φαίνεται στο σχήμα.



Στην μια πλευρά κάτω από τους πόλους η μαγνητική επαγωγή ενισχύεται και εξασθενίζει στην άλλη. Επειδή στην πλευρά ενίσχυσης υπάρχει κορεσμός εκεί η μαγνητική επαγωγή είναι μικρότερη από το άθροισμα του πεδίου των πόλων και του δρομέα. Έτσι η μαγνητική επαγωγή των πόλων (B_p) μειώνεται, συνεπώς η μαγνητική ροή μειώνεται (Φ_p) και η $E = \Phi \cdot \Omega \cdot C$ μειώνεται. Αυτό για την γεννήτρια σημαίνει μείωση της τάσης εξόδου επειδή $U = E - I_p R_p$. Για τον κινητήρα σημαίνει αύξηση στροφών.

- **β) Μετατόπιση της ουδέτερης ζώνης.**

Ουδέτερη ζώνη είναι η νοητή γραμμή που διέρχεται από τις ψήκτρες. Όταν η μηχανή είναι χωρίς φορτίο το $B = 0$ στην ουδέτερη ζώνη.

Επειδή όμως όπως είπαμε το μαγνητικό πεδίο παραμορφώνεται, η ουδέτερη ζώνη μετατοπίζεται στην μεν γεννήτρια κατά την φορά περιστροφής της μηχανής, στον δε κινητήρα αντίθετα.

- **γ) Κυκλικός σπινθηρισμός**

Η ενίσχυση των μαγνητικών γραμμών , κάτω από την μια πλευρά των πόλων (της μαγνητικής επαγωγής) συνεπάγεται την επαγωγή μεγαλύτερων τάσεων στους αγωγούς που καταλήγουν σε δύο γειτονικούς τομείς του συλλέκτη. Η αύξηση της τάσης αυτής πάνω από 30V δημιουργεί ένα ηλεκτρικό τόξο που επεκτείνεται σε όλη την επιφάνεια του συλλέκτη με συνέπεια να βραχυκυκλωθούν οι ψήκτρες.

- **δ) Επίδραση στην μετάβαση.**

Για την αποφυγή της παραμόρφωσης του μαγνητικού πεδίου κάτω από τους κύριους πόλους , τοποθετούμε ένα τύλιγμα πάνω στους κυρίους πόλους συνδεδεμένο σε σειρά με το τύλιγμα του δρομέα. Το τύλιγμα αυτό το ονομάζουμε τύλιγμα αντιστάθμισης.

Για την αποφυγή της παραμόρφωσης του πεδίου στο ενδιάμεσο των πόλων όπου μετατοπίζεται η ουδέτερη ζώνη, τοποθετούμε βοηθητικούς πόλους. Αυτοί τοποθετούνται μεταξύ των κυρίων πόλων και η περιέλιξη τους συνδέεται σε σειρά με αυτήν του δρομέα.

Άλλοι τρόποι αποφυγής της παραμόρφωσης του μαγνητικού πεδίου γίνονται με κατασκευαστικές μεθόδους των πόλων.

ΡΟΠΗ ΣΤΡΕΨΗΣ

Από την γνωστή σχέση, $F(\theta) = I \cdot l \cdot B(\theta)$, η οποία είναι η δύναμη που αναπτύσσεται σε κάθε ρευματοφόρο αγωγό του δρομέα που βρίσκεται στην περιοχή των κυρίων πόλων, επειδή είναι εφαπτομενική στην περιφέρεια του δρομέα, προκαλεί ροπή στρέψης ως προς τον άξονα του οποίου η ακτίνα είναι r ίση με $M(\theta) = F(\theta) \cdot r = I \cdot (l/2 \alpha \cdot \pi) B(\theta) \cdot r$.

Ο μέσος όρος της ροπής σε ένα πολικό βήμα είναι

$$M_a = \frac{p}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{p}} M(\theta) \cdot d(\theta) = \frac{p}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{p}} l \cdot I \rho \frac{\Phi}{2 \cdot a \cdot l \cdot \tau_p} \cdot d\theta = \frac{p}{\pi} \cdot l \frac{I \rho}{2 \cdot a \cdot l \cdot \tau_p} \cdot \tau_p =$$

$$= \frac{p}{\pi} \cdot \frac{I \rho}{2 a} \cdot \Phi$$

$$\text{Για } Z \text{ αγωγούς: } M_m = Z \cdot M_a = \frac{P \cdot Z}{2 \cdot a \cdot \pi} \cdot I \rho \cdot \Phi = C \cdot I \rho \cdot \Phi(I_\delta)$$

Η ροπή της μηχανής εξαρτάται από το ρεύμα που διαρρέει το κύκλωμα του δρομέα και από την μαγνητική ροή δηλαδή από το ρεύμα διέγερσης .

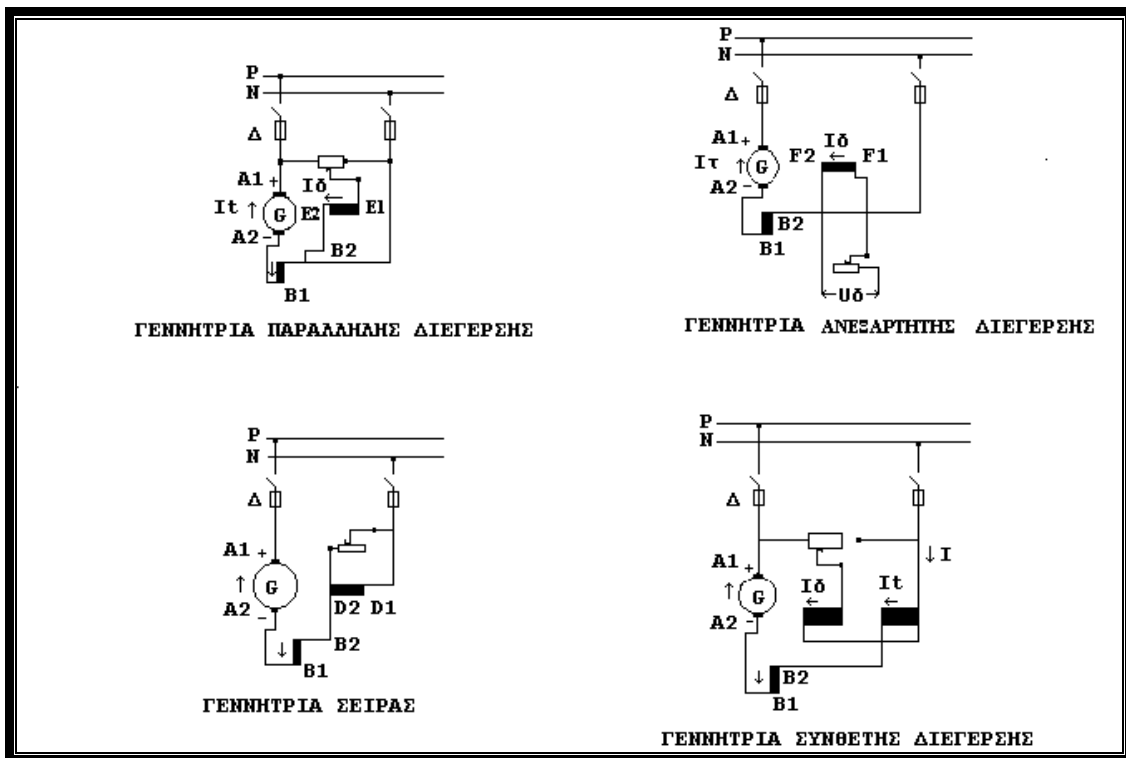
2^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ ΕΙΔΗ ΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ

Τα παρακάτω σχήματα μας δείχνουν τα τέσσερα είδη γεννητριών που υπάρχουν και θα εξετάσουμε παρακάτω.

- α) Γεννήτρια ανεξάρτητης διέγερσης
- β) Γεννήτρια παράλληλης διέγερσης
- γ) Γεννήτρια σειράς διέγερσης
- δ) Γεννήτρια σύνθετης διέγερσης .

Η ονομασία των γεννητριών έχει προκύψει από τον τρόπο με τον οποίο είναι συνδεδεμένο ηλεκτρικά το τύλιγμα διέγερσης με το τύλιγμα του δρομέα .



Ονοματολογία των τυλιγμάτων κατά VDE

E1-E2 : Τύλιγμα παράλληλης διέγερσης (Εφαρμόζεται η τάση του δικτύου)

D1-D2 : Τύλιγμα σειράς (Αυτό διαρρέεται από το ρεύμα του δρομέα)

B1-B2 : Τύλιγμα βοηθητικών πόλων (Αυτό διαρρέεται από το ρεύμα του δρομέα)

F1-F2 : Τύλιγμα ξένης διέγερσης (Τάση και ρεύμα πρέπει να δίνονται από τον κατασκευαστή)

C1A - C2A : Τύλιγμα αντιστάθμισης (Ρεύμα δρομέα)

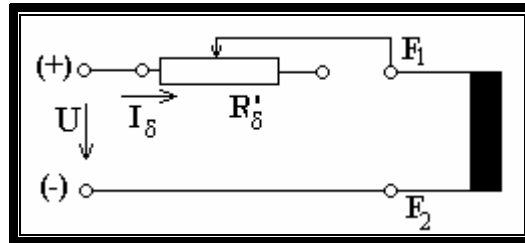
C1B - C2B : Τύλιγμα αντιστάθμισης (Ρεύμα δρομέα)

s - q - t : Ροοστάτης πεδίου διέγερσης

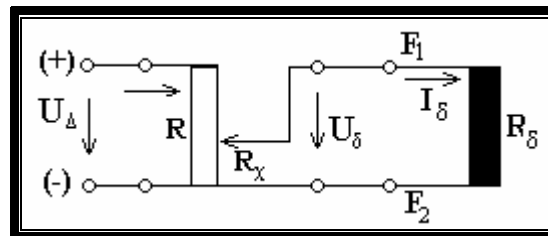
Η τροφοδότηση του τυλιγματος διέγερσης και του τυλιγματος του δρομέα των μηχανών συνεχούς ρεύματος

Η τάση με την οποία θα τροφοδοτηθεί το τυλίγμα διέγερσης μιας μηχανής ανεξάρτητης διέγερσης (κινητήρας - γεννήτρια) μπορεί να προέλθει από τις παρακάτω συσκευές .

1ο Από ένα τροφοδοτικό σταθερής συνεχούς τάσης ,αφού πριν συνδέσουμε σε σειρά με το τυλίγμα διέγερσης ,ένα ροοστάτη κατάλληλης αντίστασης και ισχύος , όπως στο σχήμα παρακάτω.



Η τάση που παίρνουμε είναι $U=U_δ=I_δ(R_δ+R'_δ)$



2ο Από μια σταθερή τάση αφού συνδέσουμε ένα διαιρέτη τάσεως. Η τάση που παίρνουμε είναι $\frac{U_Δ}{U_δ} = \frac{R}{R_x} \rightarrow U_δ = U_Δ \frac{R_x}{R}$ με αυτή την διάταξη μπορούμε να πάρουμε τάση από (0x100) % της σταθερής τάσης .

3ο Από γέφυρες ηλεκτρονικών ισχύος (μετατροπείς)

Η τροφοδότηση του τυλίγματος του δρομέα του κάθε κινητήρα δηλαδή ανεξάρτητης, παράλληλης, σειράς και σύνθετης διέγερσης μπορεί να γίνει με τους παρακάτω τρόπους.

1ο Αν από σταθερή ανορθωμένη τάση τροφοδοσίας συνδεθεί στο κύκλωμα του δρομέα μια αντίσταση εκκίνησης

2ο Από μονοφασικούς μετατροπείς των οποίων η τάση εξόδου εξαρτάται από την γωνία έναυσης των θυρίστωρς

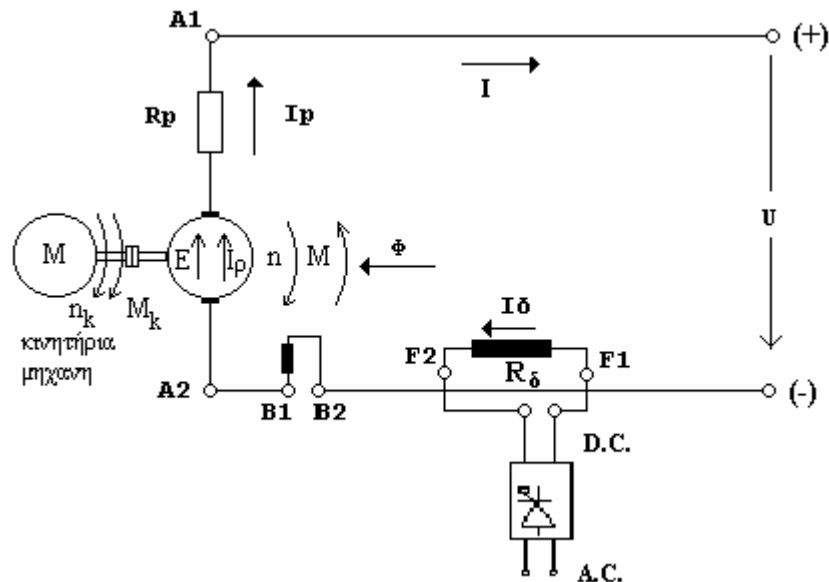
3ο Από τριφασικούς μετατροπείς .

Τους μετατροπείς που αναφέραμε πιο πάνω, ως διατάξεις τροφοδότησης του τυλίγματος διέγερσης και του τυλίγματος του δρομέα , θα τους συναντήσουμε στο κεφάλαιο της οδήγησης των κινητήρων . (λειτουργικές καταστάσεις μηχανών)

ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΗΣ ΔΙΕΓΕΡΣΗΣ

Η κύρια μαγνητική ροή Φ λόγω του κορεσμού ,δεν είναι γραμμική συνάρτηση ,όπως προκύπτει από τη χαρακτηριστική μαγνήτισης $B = f(H)$ των σιδηρομαγνητικών υλικών , λόγω του μαγνητικού κυκλώματος (ζυγώματος, πόλων, δρομέα) και της γεωμετρίας των μαγνητικών δρόμων (μήκη,

διατομές) των τμημάτων αυτών. Στο σχήμα βλέπουμε ότι το τύλιγμα διέγερσης τροφοδοτείται από πηγή ανεξάρτητη από την κύρια τάση με την οποία τροφοδοτείται το κύκλωμα του δρομέα γιαυτό ονομάζεται και γεννήτρια ανεξάρτητης διέγερσης .Η τάση τροφοδότησης της διέγερσης μπορεί να ελέγχεται με τους τρόπους που αναφέραμε πιο πάνω . Γενικώς για κάθε γεννήτρια ισχύουν οι παρακάτω σχέσεις .



$$E = \Phi \cdot \Omega \cdot C = C \cdot \Omega \cdot \Phi(I\delta) \quad (1)$$

$$U = E - I_p \cdot R_p - V_\psi - V_{αντ.τυμπάνου} \quad (2)$$

$$V_\delta = I_\delta \cdot (R'_\delta + R_\delta) \quad (3)$$

$$I_p = I \quad (4)$$

Από τις εξισώσεις (1) και (2) αν αμελήσουμε την U_ψ (ψηκτρών) και $U_{αντ.τυμπάνου}$ παίρνουμε την παρακάτω σχέση

$$U = C \cdot \Omega \cdot \Phi (I\delta) - I_p \cdot R_p$$

$$U = f(\Omega, C, I_p, R_p, I_\delta)$$

Συνήθως στις γεννήτριες υποθέτουμε ότι $\Omega = σταθ.$ και $R_p = σταθ.$ (η R_p μεταβάλλεται με την θερ/σία επειδή όμως η μεταβολή της τιμής της είναι μικρή, την θεωρούμε σταθερή $R_\theta = R_o(1 + \alpha \Delta\theta)$).Ετσι καταλήγουμε στην σχέση

$U = f(I_\delta, I_p = I)$ [2α] Από εδώ έχουμε τις εξής χαρακτηριστικές.

$U = f(I_p)$ [2α1] εξωτερική χαρακτηριστική ή χαρακτηριστική φόρτισης

$U = f(I_\delta)$ [2α2] εσωτερική χαρακτηριστική ή εν κενώ ή χωρίς φορτίο

$I_\delta = f(I_p)$ [2α3] με $U = σταθ.$ Ρυθμιστική χαρακτηριστική.

Με $I_\delta = σταθ.$ και $\Omega = σταθ.$ Έχουμε $C\Phi = σταθ.$ Και συνεπώς

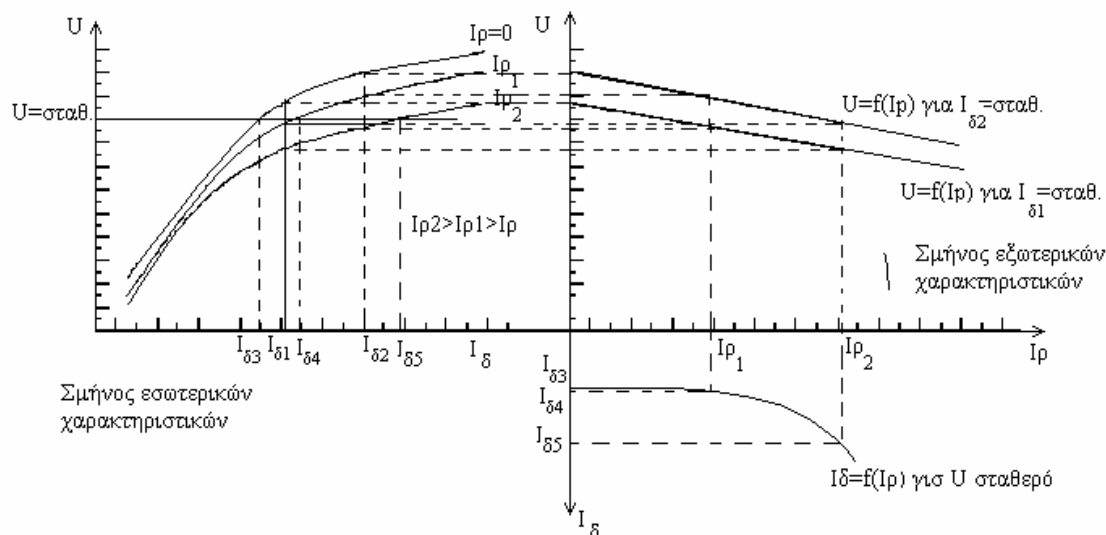
$$E = f(\Omega) \quad ή \quad E = f(n). \quad \Omega = \pi \cdot n / 30 \text{ rad/sec}$$

Επίσης από την (2) μπορούμε να πάρουμε τις χαρακτηριστικές $E-U = f(I)$. Από αυτή την χαρακτηριστική και για ονομαστικό ρεύμα είναι δυνατόν να υπολογισθεί η πτώση τάσης ($U_\psi + U_{αντ.τυμπ.}$) Παρακάτω θα εξηγήσουμε πως μπορεί να γίνει αυτό .Η εξίσωση $U = f(I\delta) = \Phi\Omega C - I_p R_p$

(I_p παράμετρος) μας δίνει για $I_p=0$, $U=\Phi\Omega C - 0 = U_0=E$ δηλαδή η γεννήτρια λειτουργεί χωρίς φορτίο και η λειτουργία της μηχανής δίνεται από την καμπύλη λειτουργίας εν κενώ η οποία είναι όμοια με την μαγνητική χαρακτηριστική της μηχανής. Από την χαρακτηριστική αυτή αν κάθε φορά αφαιρούμε την $I_p \cdot R_p$ από διαφορετικά σημεία αυτής, θα προκύψει η $U=f(I_\delta)$ εσωτερική χαρακτηριστική για $I_p=C_1$. Με τον ίδιο τρόπο και για ρεύμα $I_p=C_2$ αν αφαιρέσουμε από την πρώτη χαρακτηριστική την πτώση τάσης $I_p \cdot R_p$ θα προκύψει μια εσωτερική χαρακτηριστική με $I_p=C_2$ =σταθερό. Έτσι μπορούν να δημιουργηθούν και άλλες όμοιες εσωτερικές χαρακτηριστικές οι οποίες θα διαφέρουν μόνο στην τιμή της παραμέτρου I_p .

Η Εξωτερική χαρακτηριστική δίνεται από την εξίσωση $U=f(I_p)=\Phi\Omega C - I_p R_p$ όπου $E = \Phi\Omega C$ =σταθ. δηλαδή το ρεύμα διέγερσης και οι στροφές είναι σταθερές. Έτσι έχουμε $U=K - I_p \cdot R_p$ ή $\psi = \alpha - \beta x$ δηλαδή εξίσωση ευθείας η οποία μπορεί να προκύψει από το σμήνος των εσωτερικών χαρακτηριστικών αν απαλείψουμε το I_δ , θεωρώντας το σταθερό.

Μετάβαση από τις εσωτερικές χαρακτηριστικές στις εξωτερικές χαρακτηριστικές και στη ρυθμιστική χαρακτηριστική



$$U = f(I_\delta)$$

$$U = f(I)$$

$$U = K - \lambda \cdot R_p$$

Από εδώ φαίνεται ότι αν γνωρίζουμε την εσωτερική χαρακτηριστική της γεννήτριας μπορούμε να βρούμε την εξωτερική χαρακτηριστική.

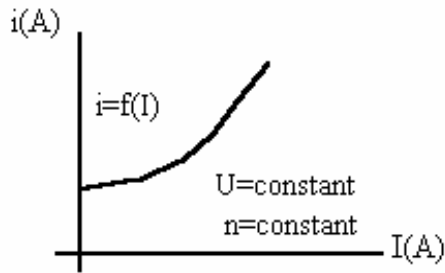
Η εξωτερική χαρακτηριστική είναι φθίνουσα συνάρτηση.

Η ευθεία $U = E - I_p \cdot R_p$ έχει μικρή κλίση

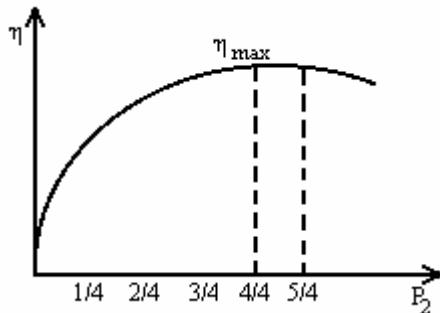
$$\Delta U = I_{p,ov} \times R_p = 5\%$$

Για την γεννήτρια αυτή το ρεύμα βραχυκύκλωσης είναι $I_{\beta\rho\chi}=20$.I_{ov} και προκύπτει επειδή $I_{\beta\rho\chi} =$

$\frac{U}{R_p}$ η τάση είναι η ονομαστική και η αντίσταση του δρομέα μικρή.



Ρυθμιστική καμπύλη μας δείχνει τον τρόπο με τον οποίο μπορούμε να κρατήσουμε την τάση της γεννήτριας σταθερή. Για να γίνει αυτό πρέπει να αυξάνουμε το ρεύμα διέγερσης όσο θα αυξάνεται το ρεύμα φορτίου. Αυτό φαίνεται από την σχέση $I_{\delta} = \frac{U_{\delta}}{R_{\delta} + R'_{\delta}}$ και την $U = E - I_p R_p = \text{σταθ}$. Για να είναι σταθερή η διαφορά αφού μεταβάλλεται το I_p πρέπει να αυξηθεί το E . Αυτό γίνεται αν μεταβάλλουμε την U_{δ} ή την R'_{δ} . Αυτό μπορούμε να το πετύχουμε είτε χειροκίνητα ή αυτόματα. Η εκλογή της R'_{δ} πρέπει να είναι τέτοια ώστε για $\Theta_{ερ}/\sigma\acute{\iota}\alpha \ 70^{\circ}\text{C}$ το $I_p = 1.2 \times I_{ov}$.



Η καμπύλη του βαθμού απόδοσης πλησιάζει την κορυφή όταν η ισχύς εισόδου πλησιάζει την ωφέλιμη ισχύ της γεννήτριας. Η γεννήτρια αυτή είναι ένας μετατροπέας ενέργειας και όχι μια ανεξάρτητη πηγή ισχύος. Δέχεται δύο διαφορετικούς τύπους ισχύος. Μηχανική ενέργεια για την περιστροφή του άξονά της και ηλεκτρική ενέργεια στο τύλιγμα διέγερσης. Από αυτή την ενέργεια εισόδου παίρνουμε χρήσιμη ηλεκτρική ενέργεια, και ενέργεια που σπαταλάται ως θέρμανση ή ως μηχανικές απώλειες. Ο βαθμός απόδοσης υπερβαίνει το 90% και δίνεται από την σχέση

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + P_{cu\delta} + P_{cu\rho} + P_{\sigma\text{σταθ}}}$$

Οι απώλειες χαλκού υπολογίζονται από τις σχέσεις $P_{cu\rho} = I_p^2 \cdot R_p$,

$P_{cu\delta} = I_{\delta}^2 \cdot R_{\delta} = U_{\delta} \cdot I_{\delta}$ και οι σταθερές απώλειες με τον ακόλουθο τρόπο. Οι απώλειες αυτές οφείλονται στην τριβή και υστέρηση, οι οποίες βασικά εξαρτώνται από την ταχύτητα της γεννήτριας και την μαγνητική ροή στον ρότορα. Αυτές πρέπει να υπολογισθούν με την γεννήτρια στην θέση χωρίς φορτίο. Κάνουμε λοιπόν την γεννήτρια κινητήρα και τον στρέφουμε χωρίς φορτίο με τέτοιο τρόπο ώστε η μαγνητική ροή στον ρότορα Φ_r να είναι ίδια όπως όταν η μηχανή λειτουργεί ως γεννήτρια στο ονομαστικό φορτίο και στην ίδια ταχύτητα περιστροφής. Όταν λειτουργεί ως γεννήτρια η $HE\Delta = E = \Phi \Omega C$ όταν λειτουργεί ως κινητήρας $E' = \Phi \Omega C$ Η μαγνητική ροή θα είναι ίδια όταν $E = E'$. Η $E = U_{ov} + R_p I_{ov}$. Αν εφαρμοστεί μια τάση αυτή δίνει $U' = E' + I_o R_p$ επειδή $E = E'$ θα τροφοδοτήσουμε την μηχανή με τάση $U' = U + R_p I_{ov} + R_p I_o$ και επειδή τα I_o, R_p είναι μικρά αυτά αμελούνται και έτσι θα τροφοδοτηθεί με τάση $U' = U_{ov} + I_{ov} R_p$ και ρεύμα διέγερσης τέτοιο ώστε να έχουμε τις ονομαστικές στροφές. Με ένα αμπερόμετρο και ένα βολτόμετρο αφού στρέφεται ο κινητήρας χωρίς φορτίο παίρνουμε την τιμή της τάσης και της έντασης του ρεύματος.

$P_o = \text{ισχύς εισόδου} = U' \cdot I_o$ $P_o = \text{Απώλειες χαλκού} + \text{σταθερές απώλειες}$

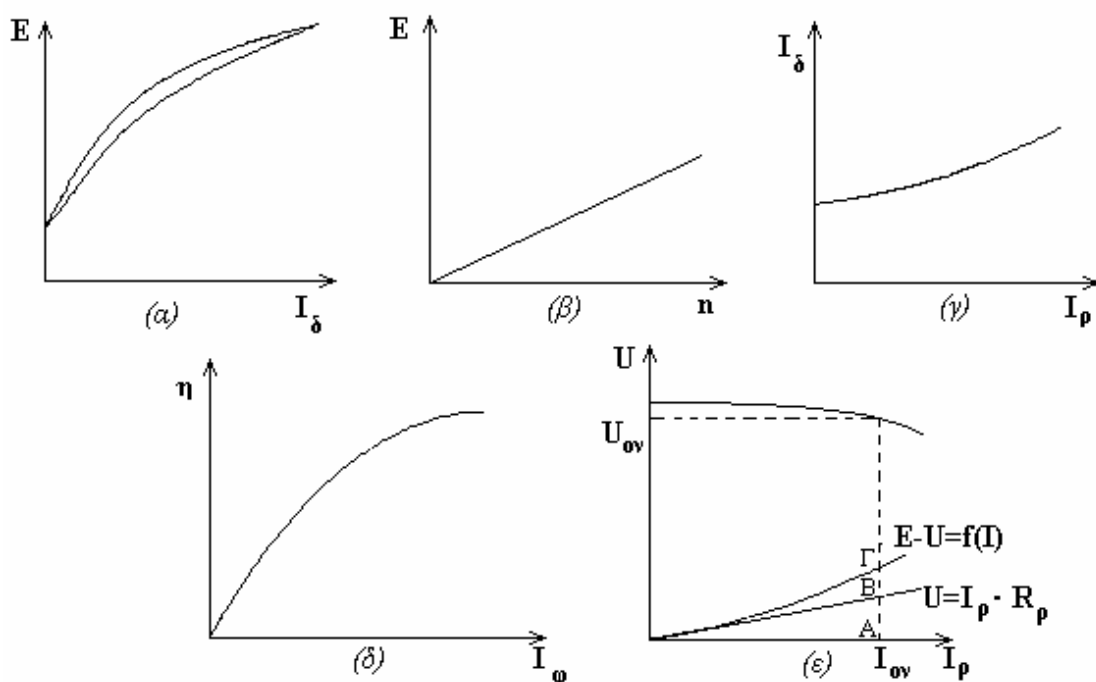
Απώλειες χαλκού = $I_0^2 R_p$ συνεπώς **Σταθερές απώλειες = $P_0 - \text{Απώλειες χαλκού}$** .

Οι παρακάτω χαρακτηριστικές έχουν προκύψει από πειράματα που έγιναν σε μια γεννήτρια ανεξάρτητης διέγερσης με ονομαστικά στοιχεία :

$P=1,2KW, U=220V, I=6A, n=1440 \text{ rpm}$

Στην εικόνα **α)** παρατηρούμε ότι για αύξηση και μείωση του ρεύματος διέγερσης παίρνουμε δύο ευκρινείς καμπύλες .Το διαφορετικό των καμπυλών οφείλεται στο φαινόμενο της υστέρησης ,που παρατηρείται στα διαφορετικά μαγνητικά κυκλώματα των τμημάτων της μηχανής.Διέρχονται από το ίδιο σημείο επειδή η μηχανή είχε χρησιμοποιηθεί ,άλλως δεν θα περνούσαν από το ίδιο σημείο.Στην εικόνα **β)** η ΗΕΔ $E=\Phi\Omega C$ όπου $C\Phi=\text{σταθ.}$ συνεπώς $E\sim \omega, n$.Ετσι λόγω της αναλογίας μετρώντας την τάση με βολτόμετρο και ξέροντας την σταθερά της μηχανής βρίσκουμε τις στροφές .Αυτή την ιδιότητα της μηχανής κάνουμε χρήση για τον σχεδιασμό των ταχογεννητριών .Στην εικόνα **γ)** είναι η ρυθμιστική χαρακτηριστική και μας δείχνει την μεταβολή του ρεύματος διέγερσης όταν μεταβάλλεται το φορτίο για να έχουμε τάση $U=200 \text{ V}$.Στην εικόνα **δ)** είναι ο βαθμός απόδοσης και η εικόνα **ε)** μας δείχνει ότι η τάση πέφτει όταν αυξάνεται το ρεύμα .Η χαρακτηριστική δεν είναι ευθεία γραμμή αλλά μια καμπύλη που οδηγεί στο συμπέρασμα ότι ο νόμος $U = E - IR$ δεν εφαρμόζεται στις γεννήτριες d.c και ότι η πτώση τάσης δεν είναι πλήρως εξαρτώμενη από την εσωτερική αντίσταση του ρότορα .Στην εικόνα βλέπουμε τον υπολογισμό γραφικά της πτώσης τάσης λόγω της αντίδρασης τυμπάνου και της πτώσης τάσης στις ψήκτρες .Το τμήμα (AB) αντιστοιχεί στην ωμική πτώση τάσης και το (ΒΓ) στην ($V_{\psi} + V_{αντ.τυμπ.}$)

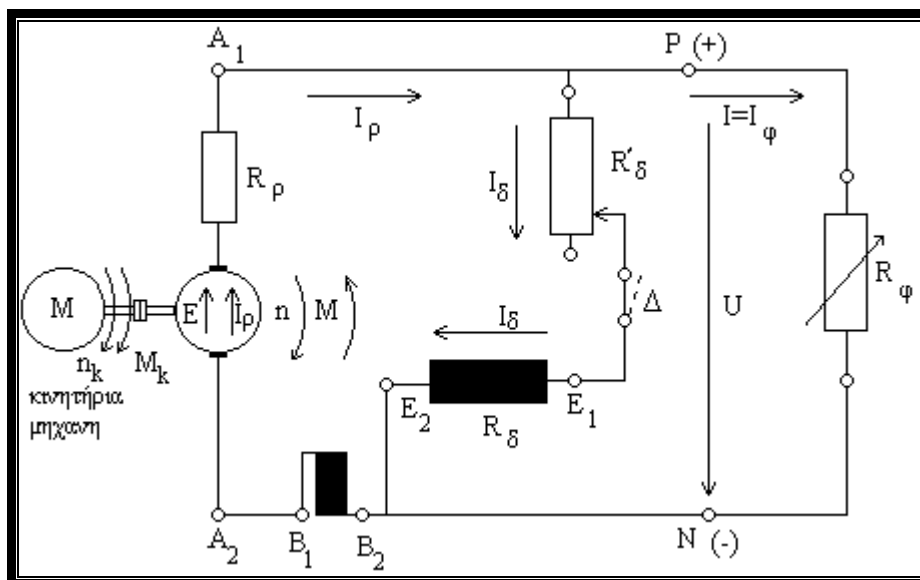
ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΗΣ ΔΙΕΓΕΡΣΗΣ



Παρατηρούμε επίσης ότι η πτώση τάσης λόγω της αντίδρασης τυμπάνου αυξάνεται όσο αυξάνεται το φορτίο της μηχανής.

ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ ΠΑΡΑΛΛΗΛΗΣ ΔΙΕΓΕΡΣΗΣ

Γεννήτρια παράλληλης διέγερσης είναι η γεννήτρια της οποίας το τύλιγμα διέγερσης είναι συνδεδεμένο παράλληλα με το τύλιγμα του δρομέα. Το σχήμα και οι σχέσεις ρευμάτων και τάσεων είναι οι εξής.



$$I_p = I + I_\delta \quad (1)$$

$$U = E - I_p \cdot R_p \quad (2)$$

$$U = U_\delta = I_\delta (R_\delta + R'_\delta) \quad (3)$$

Η σχέση $U = I_\delta (R_\delta + R'_\delta)$ παριστάνει μια ευθεία, η οποία λέγεται ευθεία διέγερσης. Η κλίση της εξαρτάται από την τιμή της $R_\delta + R'_\delta$.

Η μελέτη της θα γίνει με τη βοήθεια της σχέσης

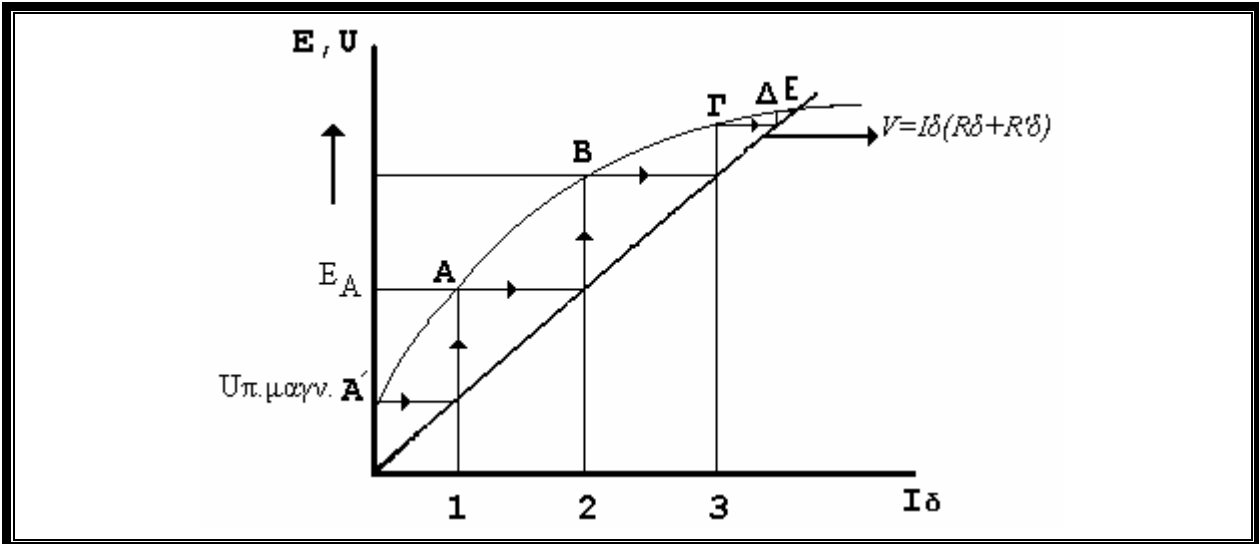
$$U = E - I_p R_p$$

$$U = \Phi \cdot \Omega \cdot C - I_p \cdot R_p = f(I_\delta, I_p, n = \text{σταθ})$$

$$U = I_\delta \cdot (R_\delta + R'_\delta)$$

Η γεννήτρια αυτή ανήκει στις λεγόμενες και αυτοδιεγερόμενες γεννήτριες. Πώς όμως αυτοδιεγείρεται η γεννήτρια; Έστω ότι ο διακόπτης Δ του τυλίγματος διέγερσης του σχήματος είναι ανοιχτός.

Αν υποθέσουμε ότι $\Omega = \text{σταθ.}$ από την κινητήρια μηχανή και $I_p = 0$ τότε $I_p = I_\delta$ και $U = E = U_0 = f(I_\delta)$ και η $R_{\delta_{ολ}} = R_\delta + R'_\delta = \text{σταθερή}$



Για $I_{\delta}=0$ η γεννήτρια έχει μια μικρή τάση λόγω του παραμένουτος μαγνητισμού $\Phi(I_{\delta}=0)=\Phi_0=\Phi_{π.μ}$ όταν ο διακόπτης είναι ανοιχτός .

Όταν η γεννήτρια είναι σε περιστροφή έχουμε αρχικά την ηλεκτρεγερτική δύναμη

$$E = \Phi_{(I_{\delta}=0)} \cdot \Omega \cdot C = C \cdot \Omega \cdot \Phi_0 = \text{Υπ.μαγν.}$$

Όταν ο διακόπτης Δ είναι κλειστός στο βρόχο θα κυκλοφορήσει ένα ρεύμα που θα είναι ίσο με

$$I_{\rho} = \frac{U_{\pi.\mu.}}{(R_p + R_{\delta} + R'_{\delta})}$$

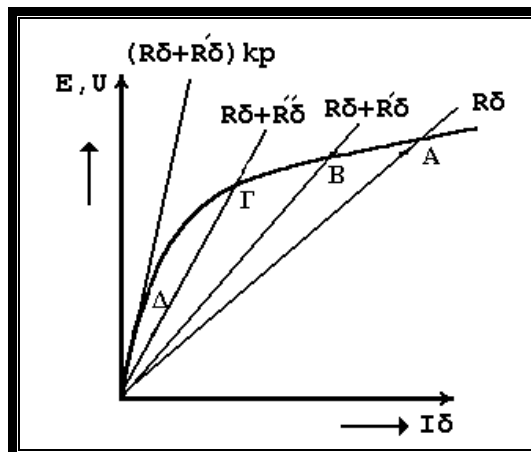
$$I_{\delta} = \frac{U_{\pi.\mu.}}{(R_{\delta} + R'_{\delta})}$$

το σημείο 1 του σχήματος. Το ρεύμα αυτό αντιστοιχεί σε μια ροή $\Phi(I_{\delta}) > \Phi_0$ αρκεί το ρεύμα διέγερσης να έχει τέτοια φορά που να ενισχύει τον παραμένουτα μαγνητισμό. Γι' αυτό το ρεύμα διέγερσης αντιστοιχεί μια τάση

$$E_A = C \cdot \Omega \cdot \Phi(I_{\delta} 1) \text{ .>Υπαρ.μαγν.}$$

Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται μέχρι το σημείο E (τομή της εν κενώ χαρακτηριστικής , και της ευθείας διεγέρσεως) που είναι το σημείο εργασίας.

Για μια δοσμένη εσωτερική χαρακτηριστική ,το σημείο εργασίας εξαρτάται από την κλίση της ευθείας διέγερσης ,δηλαδή από την τιμή της $R_{\delta}+R'_{\delta}$. Για διαφορετικές τιμές της $R_{\delta}+R'_{\delta}$ παίρνουμε τα σημεία εργασίας που φαίνονται. Α,Β,Γ,Δ



Όταν η ευθεία διέγερσης συμπίπτει με το ευθύγραμμο τμήμα της καμπύλης $E=f(I_\delta)$ στο σημείο Δ (εφαπτομένη) τότε η τιμή της αντίστασης λέγεται κρίσιμη. Σε αυτή την περίπτωση η γεννήτρια δεν αυτοδιεγείρεται.

Πότε δεν διεγείρεται η γεννήτρια παράλληλης διέγερσης :

1. Όταν λείπει ο παραμένων μαγνητισμός. Αυτό συμβαίνει όταν για μεγάλο χρονικό διάστημα η μηχανή δεν λειτουργεί ή έχει υποστεί κραδασμούς , ή έχει υπερθερμανθεί .

Για να επαναφέρουμε τον παραμένοντα μαγνητισμό , λειτουργούμε την γεννήτρια σαν κινητήρα, για μικρό χρονικό διάστημα ή αν δεν υπάρχει τροφοδοτικό κατάλληλο τροφοδοτούμε την διέγερση με μπαταρία.

2. Η σύνδεση του τυλίγματος διέγερσης είναι ανάστροφη. Όταν δηλαδή η ροή του ρεύματος διέγερσης είναι τέτοια που δεν ενισχύει τον παραμένοντα μαγνητισμό. Για να έχουμε την ορθή σύνδεση , αλλάζουμε την φορά περιστροφής και αφήνουμε την σύνδεση του τυλίγματος όπως είναι ή αφήνουμε την ίδια φορά περιστροφής και αλλάζουμε την φορά του ρεύματος διέγερσης.

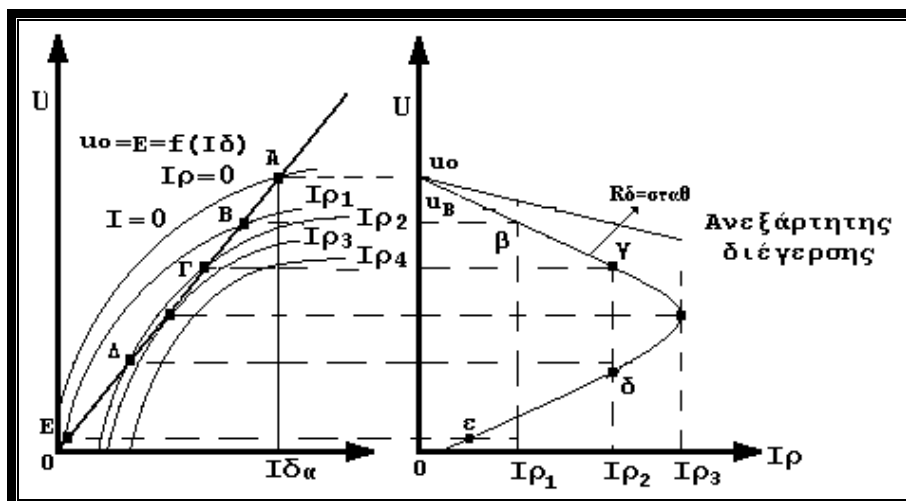
3. Η αντίσταση του κλάδου διέγερσης είναι πολύ μεγάλη .Τότε αλλάζουμε μέσω του ροοστάτη την τιμή της συνολικής αντίστασης της διέγερσης.

4. Όταν υπάρχει διακοπή της αντίστασης στο κύκλωμα του δρομέα. Εδώ αποκαθιστούμε την συνέχεια του κυκλώματος.

Χαρακτηριστικές καμπύλες

Οι εσωτερικές χαρακτηριστικές $U=f(I_\delta)$,είναι όπως της γεννήτριας ανεξάρτητης διέγερσης. Μέσα στο πλήθος των παραπάνω εσωτερικών χαρακτηριστικών , σχεδιάζουμε την χαρακτηριστική ευθεία διέγερσης.

Τα σημεία τομής της ευθείας αυτής , με τα σημεία των εσωτερικών χαρακτηριστικών (Α,Β,Γ,Δ,Ε) , καθορίζουν τα σημεία εργασίας για κάθε τιμή του I_ρ , δηλαδή , για τα διάφορα φορτία της γεννήτριας. $I_{\rho 1}$, $I_{\rho 2}$, $I_{\rho 3}$, $I_{\rho 4}$



Στο σχήμα φαίνεται η εξωτερική χαρακτηριστική όπως προκύπτει από την εσωτερική χαρακτηριστική.

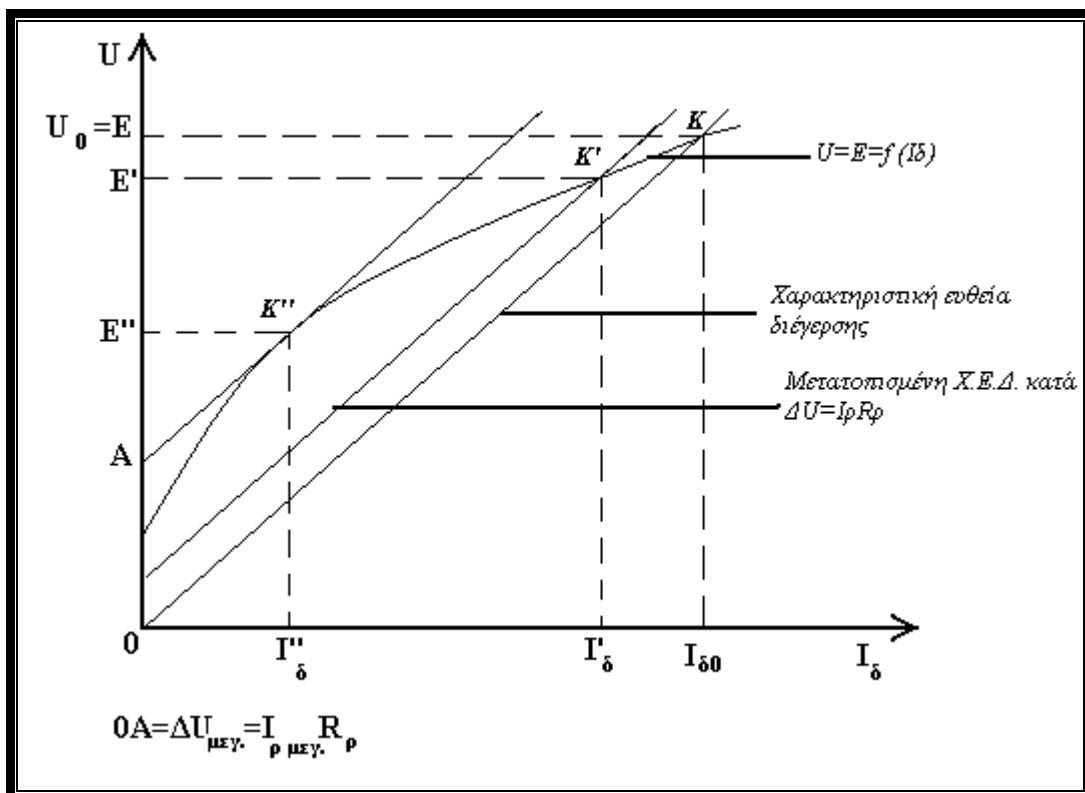
Η διαδικασία σχεδίασης είναι η παρακάτω.

Σχεδιάζουμε πρώτα την βασική εσωτερική χαρακτηριστική $U=f(I_\delta)$ για $I_p=0$ και n =σταθ. με τις τιμές των E, I_δ που δίνονται. Μετά σχεδιάζουμε την εσωτερική χαρακτηριστική για ρεύμα I_p1 , μετατοπίζοντας την βασική προς τα κάτω και με διάστημα ίσο με $\Delta U=I_p1.R_p$. Με τον ίδιο τρόπο σχεδιάζουμε και τις άλλες χαρακτηριστικές για I_p2, I_p3, I_p4 . Το επόμενο βήμα είναι η σχεδίαση της χαρακτηριστικής ευθείας διέγερσης. Η τομή αυτής και των εσωτερικών χαρακτηριστικών μας δίνει τα σημεία Α, Β, Γ, Δ και Ε. Από το σημείο Α παίρνω το σημείο Α($U_0, I_p=0$). Από το σημείο Β το β(U_β, I_p1). Τα σημεία Γ, Δ είναι από την ίδια εσωτερική χαρακτηριστική και έτσι έχουμε τα σημεία γ(U_γ, I_p3), από το σημείο Δ το δ(U_δ, I_p4), και το σημείο ε μας δίνει το ρεύμα βραχυκύκλωσης που είναι ίσο με

$$I_{\beta\rho.} = \frac{U_{\text{π.μ.}}}{R_p}$$

Η τιμή του ρεύματος βραχυκύκλωσης είναι μικρή και έτσι μπορούμε να πούμε ότι η γεννήτρια αυτή, αυτοπροστατεύεται από βραχυκυκλώματα. Η γεννήτρια λειτουργεί για τιμές του ρεύματος μικρότερες από το I_p3 που είναι το μέγιστο και που θα υπολογίσουμε πιο κάτω.

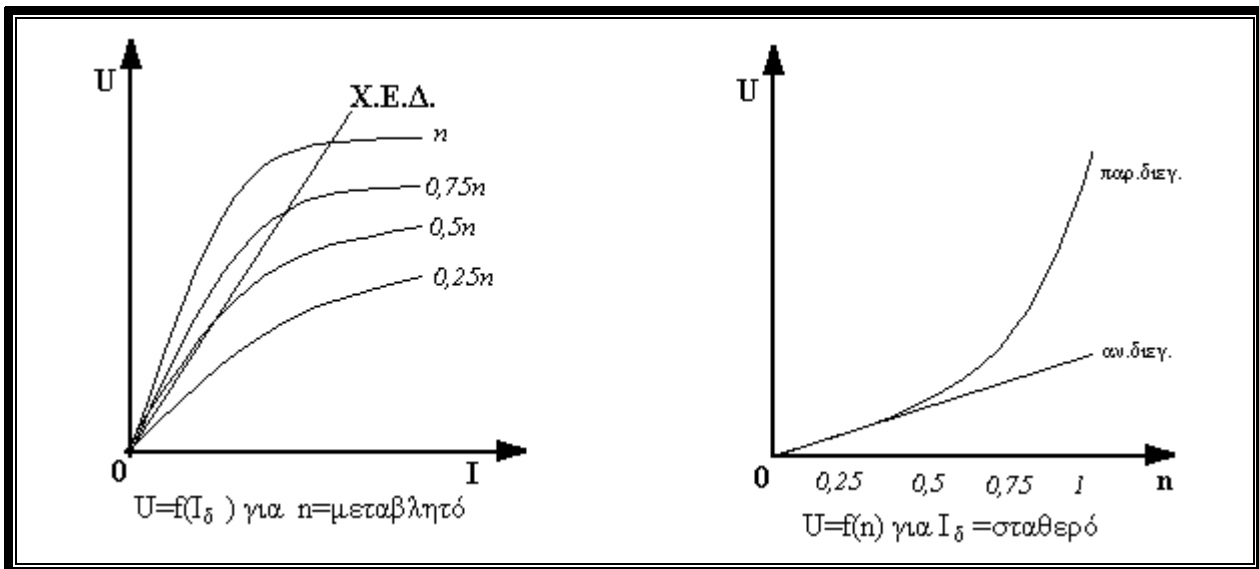
Ένα αξιοσημείωτο είναι, να μην ξεχνούμε ότι στην ευθεία διέγερσης μετρούμε τάση, ενώ στην εσωτερική χαρακτηριστική μετρούμε ηλεκτρεγερτική δύναμη. Για να βρούμε γραφικά το σημείο λειτουργίας, μετατοπίζουμε την χαρακτηριστική ευθεία διέγερσης προς τα πάνω και σε απόσταση ίση με την $\Delta U=I_p R_p$ παράλληλα προς την ευθεία διέγερσης.



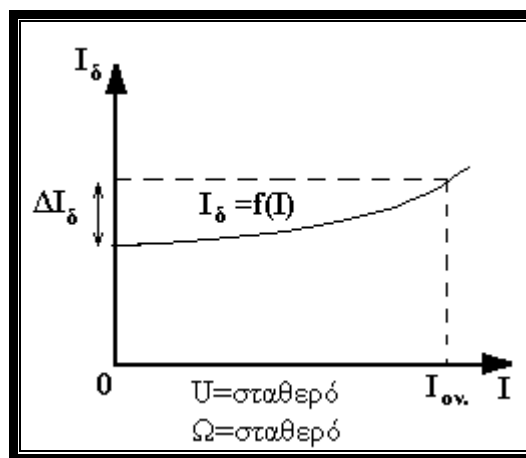
Έτσι οι συντεταγμένες του Κ είναι ($I_{\delta 0}, U_0$) ενώ του Κ' (I_δ, E'). Το $I_{\rho \text{ μεγ.}}$ βρίσκεται αν φέρουμε την εφαπτομένη της καμπύλης $U_0=f(I_\delta)$ την παράλληλη προς την ευθεία διέγερσης. Τότε στον άξονα της U υπολογίζουμε την $\Delta U_{\text{μεγ.}}=I_{\rho \text{ μεγ.}} R_p$. Από την σχέση αυτή προκύπτει το :

$$I_{\rho \text{ μεγ.}} = \frac{\Delta U_{\text{μεγ.}}}{R_p}$$

Χαρακτηριστική $U_0=f(I_0)$ για $\Omega =$ μεταβλητό .Στις χαρακτηριστικές αυτές φαίνεται η μεταβολή της τάσεως σε συνάρτηση με τις στροφές σε γεννήτρια παράλληλης διέγερσης και σε γεννήτρια ανεξάρτητης διέγερσης .



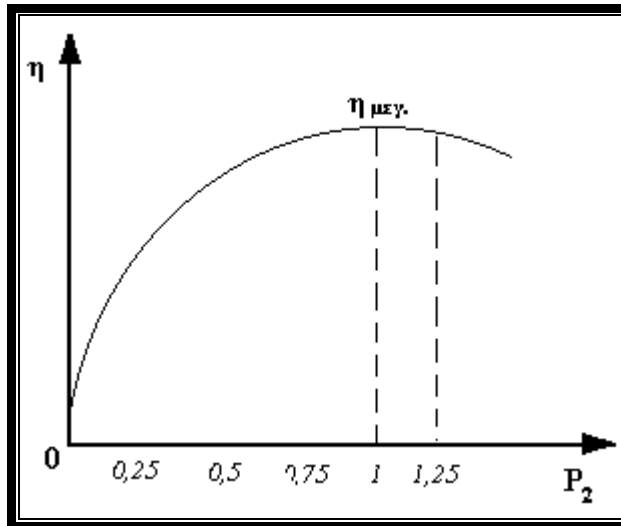
Η ρυθμιστική χαρακτηριστική $I_0=f(I_0)$ είναι όπως της γεννήτριας ανεξάρτητης διέγερσης.



Ο βαθμός απόδοσης δίνεται από την σχέση .

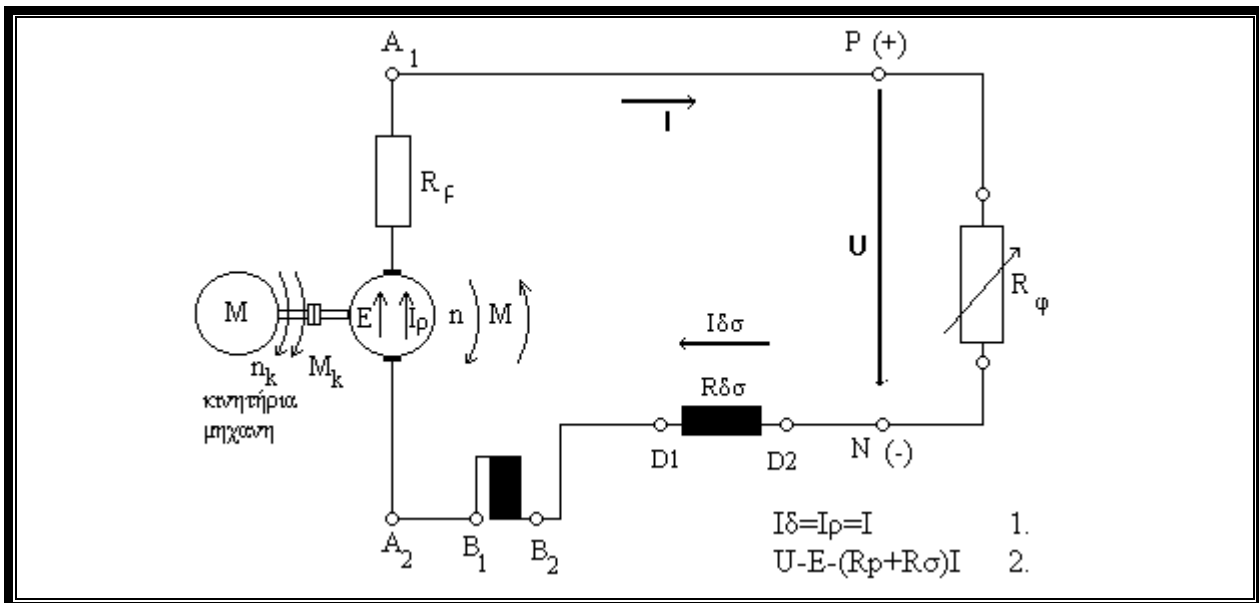
$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + P_{cu} + P_{σταθ}} \quad \text{όπου } P_2 = U \cdot I_0 \quad P_{cu} = I^2 r \cdot R_p + U \cdot I_\delta$$

Η γεννήτρια αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την φόρτιση μπαταριών ,για να παρέχει σταθερή τάση εφόσον έχει ένα ρυθμιστή του ρεύματος διέγερσης και για να τροφοδοτεί την διέγερση σύγχρονων γεννητριών ή ασύγχρονους κινητήρες . Η απόδοση της γεννήτριας αυτής πλησιάζει το μέγιστο κοντά στην ονομαστική ισχύ της μηχανής .



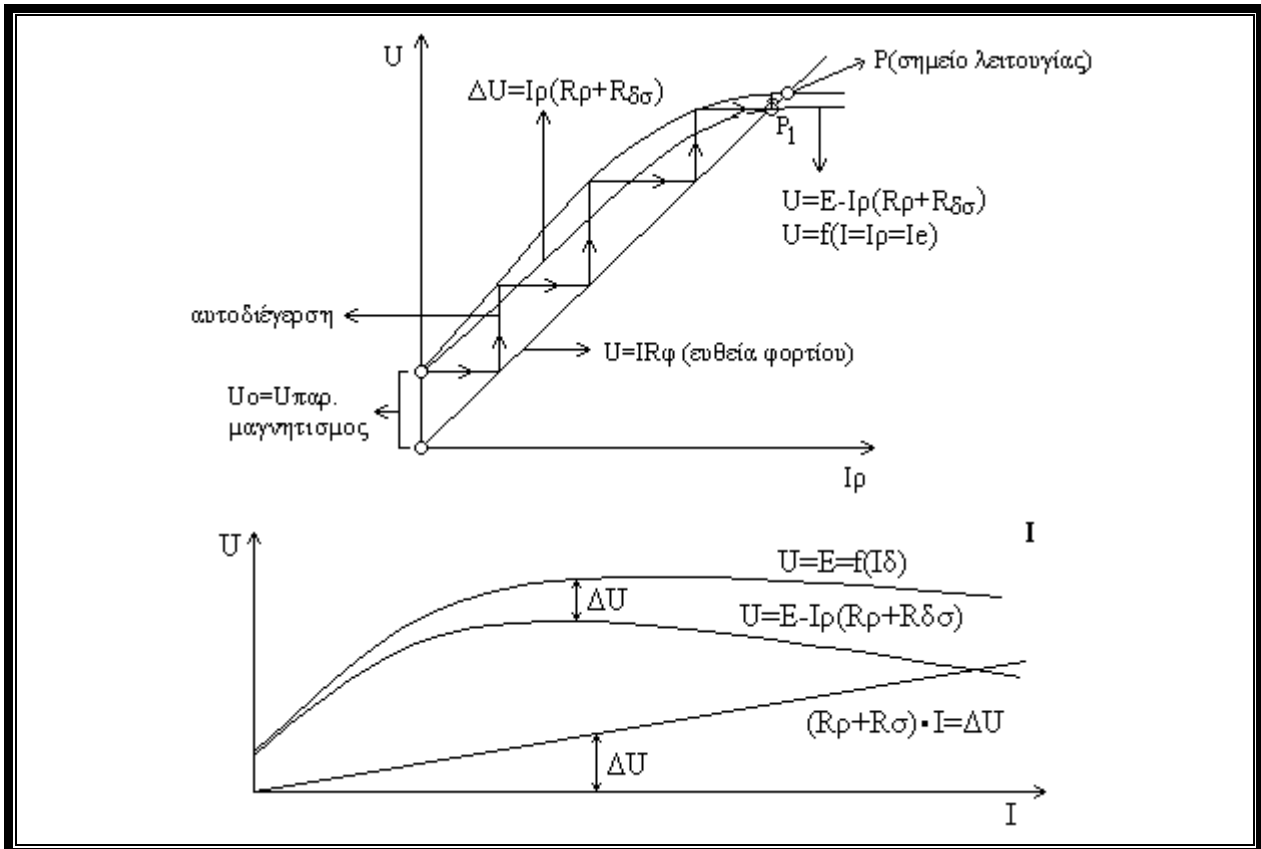
Η απόδοση των νέων μηχανών είναι υψηλότερη από 90% και πλησιάζει το 96% σε μεγάλης ισχύος μηχανές . Οι σταθερές απώλειες υπολογίζονται ακριβώς ίδια με την διαδικασία που έχει περιγραφεί στην γεννήτρια ανεξάρτητης διέγερσης .Για βιομηχανικές εγκαταστάσεις η απόδοση της μηχανής είναι ένα από τα πιο ενδιαφέροντα ποιοτικά χαρακτηριστικά .

ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ ΣΕΙΡΑΣ



Η γεννήτρια αυτή λέγεται σειράς επειδή το τύλιγμα διέγερσης είναι σε σειρά με το τύλιγμα του δρομέα. Επειδή ισχύει η εξίσωση(1), δηλαδή το ρεύμα διέγερσης είναι και ρεύμα του δρομέα, το τύλιγμα σειράς για να αντέχει στη φόρτιση αυτή, είναι κατασκευασμένο με λίγες σπείρες και μεγάλη διατομή. ($R = \rho \frac{l}{S}$).

Ανήκει στις αυτοδιεγερόμενες γεννήτριες δηλαδή διεγείρεται όταν υπάρχει φορτίο στην έξοδο της γεννήτριας. Η ευθεία διέγερσης είναι η $U = I_{\phi} \cdot R_{\phi} = I_{\delta} \cdot R_{\phi} = I_p \cdot R_p$ (3)

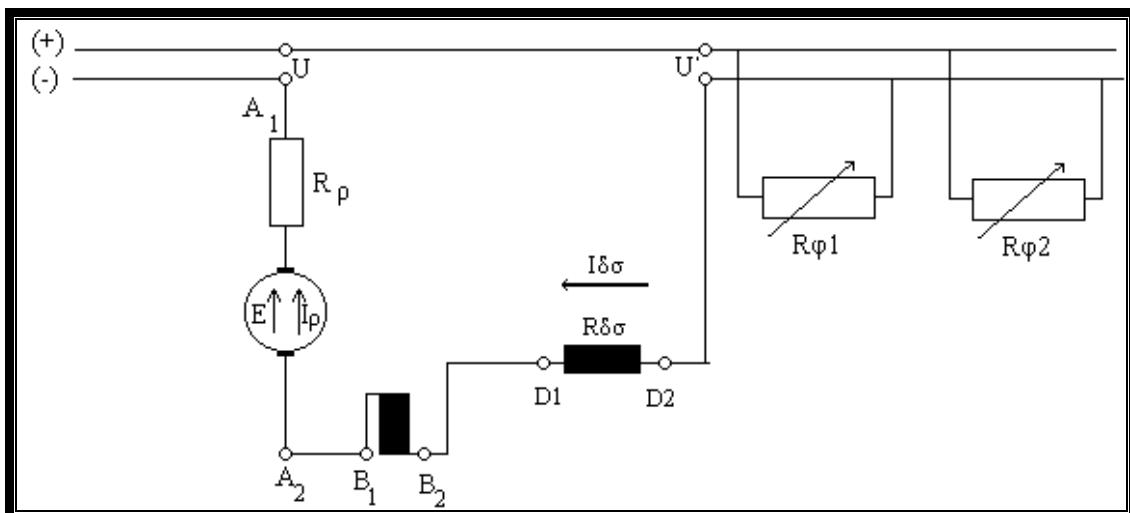


Η εσωτερική χαρακτηριστική χαράσσεται τροφοδοτώντας το τύλιγμα σειράς ανεξάρτητα. Δηλαδή μετατρέπω την γεννήτρια αυτή σε γεννήτρια ανεξάρτητης διέγερσης και ενώ περιστρέφεται με σταθερή ταχύτητα τον δίνω ρεύμα(από ανεξάρτητη πηγή) σταδιακά από το μηδέν μέχρι το ονομαστικό της γεννήτριας σειράς . Έτσι παίρνω μερικά ζεύγη τιμών($U_0, I\delta$) και σχεδιάζω την εσωτερική χαρακτηριστική η οποία είναι η ίδια για γεννήτρια ή κινητήρα σειράς.

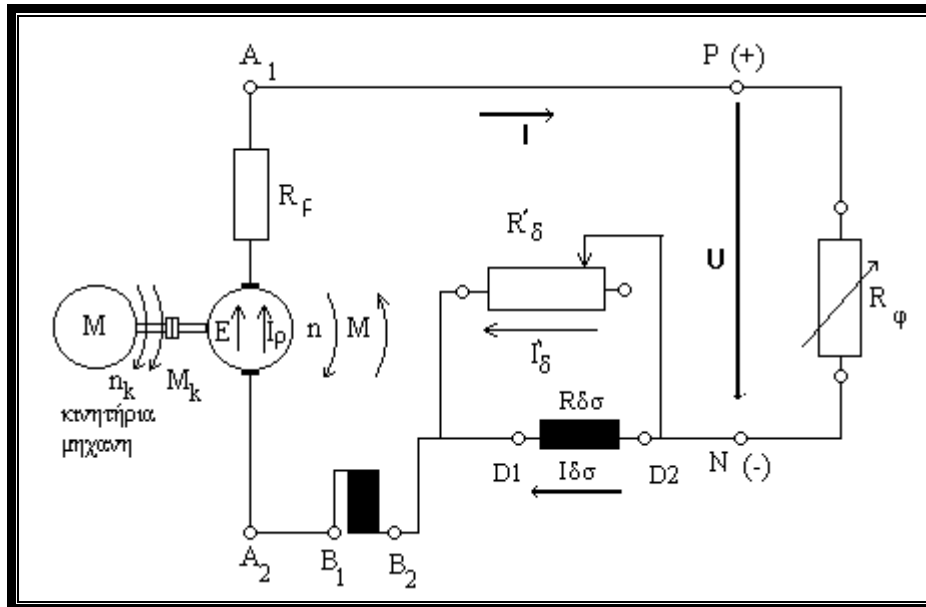
Η εξωτερική χαρακτηριστική προκύπτει αν από την εσωτερική αφαιρούμε κάθε φορά την συνολική πτώση τάσης $\Delta U = I(R\rho + R\delta\sigma)$

Στο σχήμα φαίνεται η εξωτερική χαρακτηριστική όπως προκύπτει με την παραπάνω διαδικασία .

Χρησιμοποιείται σαν γεννήτρια σταθερού ρεύματος για ηλεκτροσυγκολλήσεις, και για να αντισταθμίσει την πτώση τάσης στις γραμμές μεταφοράς συνεχούς ρεύματος (D.C.) Το σχήμα δείχνει την σύνδεση αυτή της γεννήτριας για ενίσχυση της τάσης όπου η τάση $U = U' + E$.Η τάση στα φορτία είναι μεγαλύτερη κατά την ΗΕΔ E από την τάση του δικτύου .



Η ρύθμιση της τάσης με την μορφή που έχει στο σχήμα δεν μπορεί να γίνει. Για τον λόγο αυτό συνδέουμε μια ρυθμιστική αντίσταση παράλληλα στο τύλιγμα διέγερσης με τιμή ίση περίπου με την $R_{\delta\sigma}$.



Έτσι έχουμε $I_{\delta\sigma} \cdot R_{\delta\sigma} = I'_{\delta} R'_{\delta}$ με την προστιθέμενη αυτή αντίσταση μπορούμε μόνο να ελαττώσουμε την τάση της γεννήτριας. Επίσης απαιτείται μεγάλη προσοχή όταν μειώνουμε την αντίσταση, γιατί υπάρχει ο κίνδυνος η E να γίνει μικρότερη από την U . Σε αυτή την περίπτωση η γεννήτρια θα γίνει κινητήρας κινούμενος από την κινητήρια μηχανή της γεννήτριας και παίρνοντας ρεύμα από το δίκτυο με συνέπεια να έχουμε ανωμαλίες στην λειτουργία της μηχανής.

ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ ΣΥΝΘΕΤΗΣ ΔΙΕΓΕΡΣΗΣ

Η γεννήτρια αυτή είναι ένας συνδυασμός γεννήτριας παράλληλης διέγερσης και μιας γεννήτριας σειράς διέγερσης.

Για να αποφευχθεί η πτώση τάσης που προκαλεί το ρεύμα φόρτισης (ωμική πτώση τάσης και μείωση ΗΕΔ λόγω αντίδρασης τυμπάνου) στις γεννήτριες παράλληλης διέγερσης, τοποθετείται στους κύριους πόλους εκτός από την παράλληλη περιέλιξη και περιέλιξη σειράς η οποία ενισχύει το μαγνητικό πεδίο. Έτσι αυξάνουμε στην ουσία την ΗΕΔ για να αντισταθμίσει τις πτώσεις τάσης. Στο πρώτο σχήμα ισχύουν οι σχέσεις

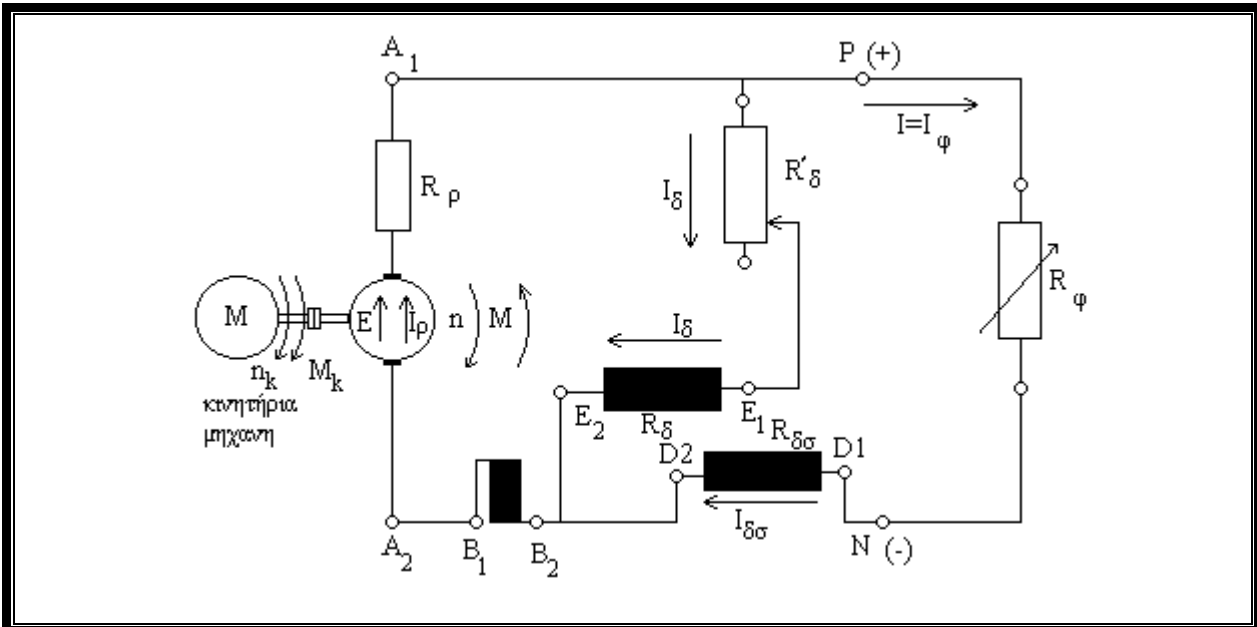
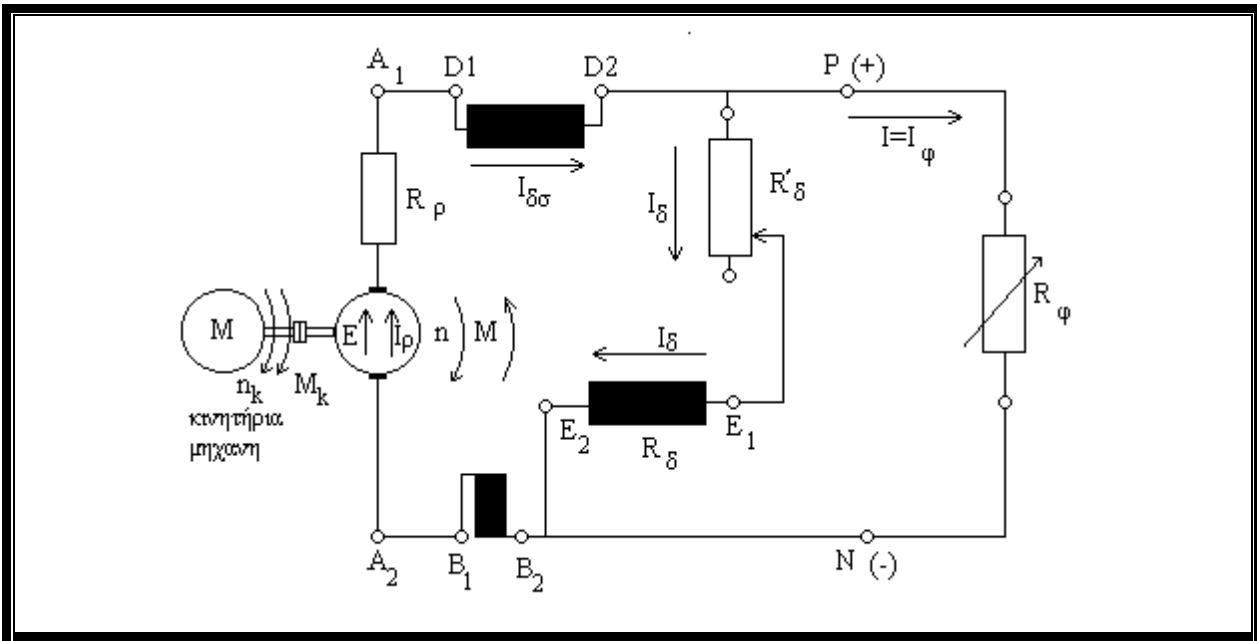
$$U_{D2B2} = I_{\delta} \cdot (R'_{\delta} + R_{\delta\sigma}) = E - I \cdot (R_p + R_{\delta\sigma}) \quad (1)$$

$$U_{A1A2} = E - I_p R_p \quad (2)$$

$$U = I \cdot R_{\phi} \quad (3)$$

Όσον αφορά στα ρεύματα θα έχουμε

$$I_p = I_{\delta\sigma} = I_{\delta} + I, \quad I = I_{\phi} \quad (4)$$



Στο δεύτερο σχήμα ισχύουν οι σχέσεις

$$U_{D2B2} = U + I \cdot R_{\delta\sigma} = I_{\delta} \cdot (R'_{\delta} + R_{\delta}) \quad (1)$$

$$U_{A1B2} = E - I_p \cdot R_p \quad (2)$$

$$U = I \cdot R_{\phi} \quad (3)$$

$$I_p = I_{\delta} + I \quad I = I_{\delta\sigma} \quad (4)$$

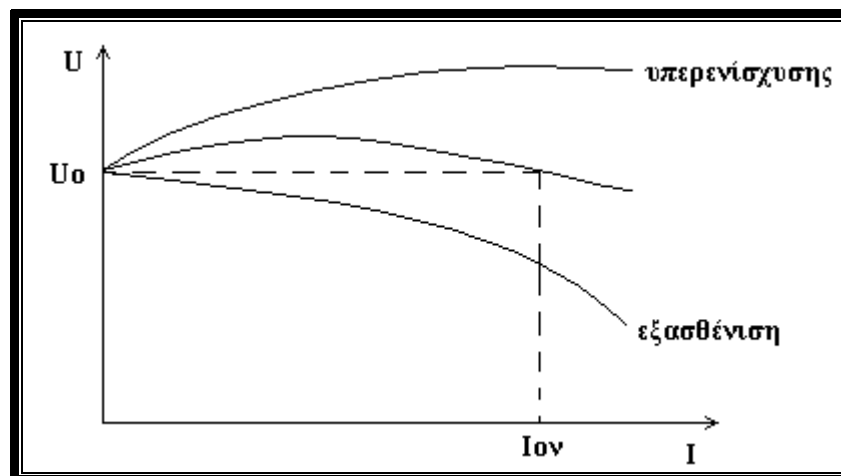
Αυτή η γεννήτρια διακρίνεται σε ενισχυτικής διάταξης $\Phi_{ολ} = \Phi_{\delta\sigma} + \Phi_{\delta\pi}$ ή σε αφαιρετική (εξασθένισης) διάταξης $\Phi_{ολ} = \Phi_{\delta\pi} - \Phi_{\delta\sigma}$ εάν τα ρεύματα $I_{\delta\pi}$, $I_{\delta\sigma}$ είναι ομόροπα ή αντίροπα. Η παραπάνω γεννήτρια είναι ενισχυτικής διάταξης. Επίσης το τύλιγμα διέγερσης μπορεί να βρίσκεται σε σειρά με τον δρομέα και παράλληλα με το τύλιγμα διέγερσης ή προς την πλευρά του δικτύου όπως φαίνεται στο σχήμα η ΗΕΔ $E = \Phi \cdot \Omega \cdot C$ όπως και η μαγνητική ροή είναι συνάρτηση του I_{δ} και I .

Το ολικό διάρρευμα είναι : $\Theta_{\delta} = W_{\delta\pi} \cdot I_{\delta} + W_{\sigma} \cdot I_{\sigma} = W_{\delta\pi} \cdot \left[I_{\delta} + \left(\frac{W_{\sigma}}{W_{\pi}} \right) \cdot I_{\sigma} \right]$

Το ρεύμα $I'_{\delta} = I_{\delta} + \frac{W_{\sigma}}{W_{\pi}} \cdot I_{\sigma}$ είναι συνιστάμενο ρεύμα διέγερσης το οποίο αν κυκλοφορούσε στην παράλληλη διέγερση θα διήγειρε την συνισταμένη ροή $\Phi=f(I_{\delta})$. Στην γεννήτρια αυτή πρέπει να ισχύουν οι παρακάτω σχέσεις αν έχουμε το κατάλληλο τύλιγμα σειράς

- 1. Η $U_0=U_{on}$, η τάση εν κενώ να είναι ίση με την ονομαστική τάση
- 2. Για $I_p=I_{on}$ ή $I=I_{on}$, η τάση να είναι ίση με την ονομαστική. $U=U_{on}$
- 3. Για ενδιάμεσες τιμές του I_p επιτρέπεται ανύψωση της τάσης κατά (3 – 4)% της ονομαστικής.
- 4. Η 2η συνθήκη ικανοποιείται με την αύξηση του διαρρέυματος $\Theta_{\delta\pi}=I_{\delta\pi} \cdot W_{\delta\pi}$

Οι χαρακτηριστικές φόρτισης για τις παραπάνω περιπτώσεις της γεννήτριας είναι στο παρακάτω σχήμα. Η εσωτερική χαρακτηριστική προκύπτει από το παράλληλο τύλιγμα διέγερσης χωρίς φορτίο.



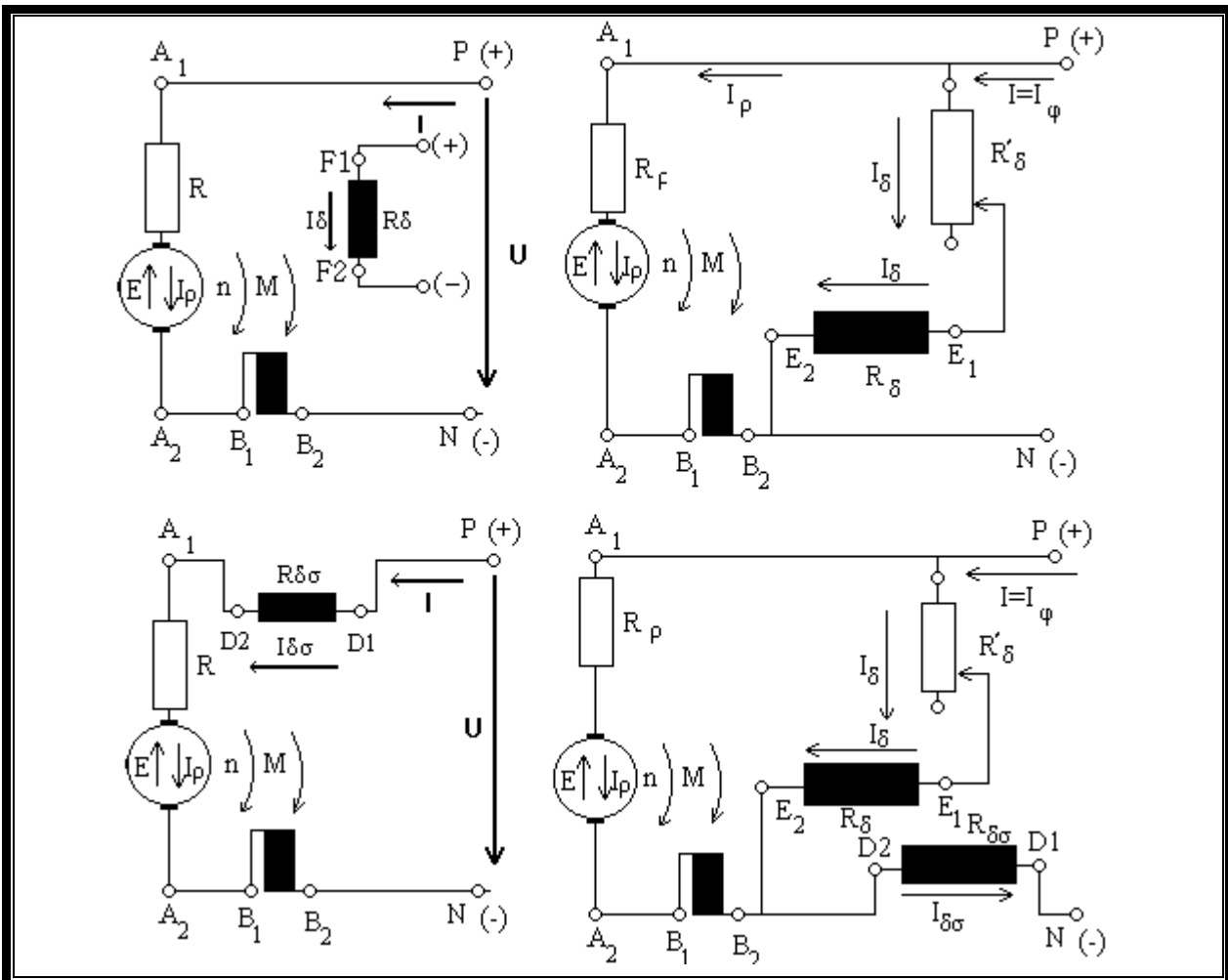
3^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ

Οι κινητήρες διακρίνονται όπως και οι γεννήτριες σε

- α) ανεξάρτητης διέγερσης
- β) παράλληλης διέγερσης
- γ) σειράς διέγερσης
- δ) σύνθετης διέγερσης

όπως φαίνονται στο παρακάτω σχήμα



Η ονοματολογία των τυλιγμάτων είναι η ίδια με αυτή των γεννητριών και έτσι δεν θα την επαναλάβουμε .

Σε προηγούμενο μάθημα αποδείξαμε ότι όταν ο δρομέας μιας μηχανής διαρρέεται από ρεύμα τότε δημιουργείται μια ροπή ,η οποία είναι ίση με

$$M = \Phi(I_{\delta}) \cdot I_p \cdot C \quad (1)$$

Μόλις αρχίσει να περιστρέφεται ο δρομέας παράγεται μια τάση η ΑΗΕΔ (Αρχή δράσης-αντίδρασης)

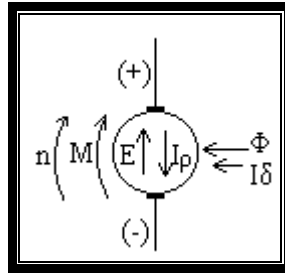
$$E = \Phi(I_{\delta}) \cdot \Omega \cdot C \quad (2)$$

Βλέπουμε ότι οι βασικές εξισώσεις της ροπής και της ΑΗΕΔ είναι ίδιες ,με αυτές της γεννήτριας.

Επίσης ισχύει η σχέση :

$$U = E + I_p \cdot R_p \quad \text{ή} \quad E = U - I_p \cdot R_p \quad (3)$$

Στη γεννήτρια δηλαδή έχουμε $E > U$ και στον κινητήρα $U > E$



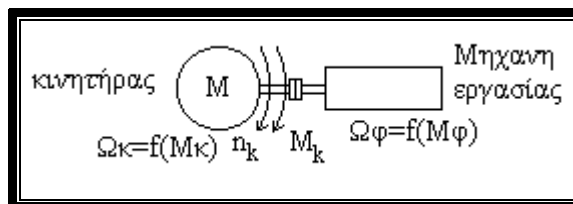
Τα E, I_p στον κινητήρα είναι αντίθετα ενώ στην γεννήτρια ομόρροπα .Τα $M_{εσ}, n$ στον κινητήρα ομόρροπα στην γεννήτρια αντίρροπα .Οι σχέσεις που μας ενδιαφέρουν σε ένα κινητήρα είναι οι **$M_{εσ} = f(n)$** (μηχανική χαρακτηριστική) , **$M_{εσ} = f(I_p)$** και **$n = f(I_p)$** .Οι ισχύεις που μας ενδιαφέρουν είναι οι **$P_{εσ} = M_{εσ} \cdot \Omega$** και **$P_2 = M_2 \cdot \Omega = P_{εσ} - P_{απ}$** που είναι η ισχύς που αναγράφεται στην πινακίδα της μηχανής . Αν η τάση $U = E$ τότε δεν αναπτύσσεται ροπή $M_{εσ}$. Η σχέση (3) μας δίνει

$$\Omega = \frac{U - I_p \cdot R_p}{C\Phi} = \frac{1}{C\Phi} \left[U - \frac{R_p}{C\Phi} M_{εσ} \right] . \text{Από τις σχέσεις αυτές φαίνεται ότι οι}$$

στροφές εξαρτώνται από το ρεύμα διέγερσης (αντιστρόφως ανάλογες αυτού) .Αν το $I_δ$ μειωθεί οι στροφές αυξάνονται ενώ αν αυτό αυξηθεί αυτές μειώνονται .Αν το $I_δ = 0$ (Φπ.μαγν.) το Ω τείνει να γίνει άπειρο με ότι αυτό συνεπάγεται Γι' αυτό ένας κινητήρας δεν πρέπει να μείνει χωρίς διέγερση .Επίσης

.Επίσης από την σχέση (3) έχουμε $I_p = \frac{U - E}{R_p}$ Ο ηλεκτρικός κινητήρας αποδίδει μηχανική ισχύ σε

(ανεμιστήρα, φερωτή αντλίας ,ανυψωτικό μηχανήμα). Η μηχανή που συνδέεται με τον κινητήρα αποτελεί το "φορτίο" στον κινητήρα. Όταν ο κινητήρας στρέφεται χωρίς να είναι συνδεδεμένος με το φορτίο λέμε ότι λειτουργεί εν κενό ή χωρίς φορτίο .



Στο σχήμα ο κινητήρας συνδέεται ηλεκτρικά με το δίκτυο και μηχανικά με την μηχανή που παράγει ωφέλιμο έργο .

Σε κατάσταση με φορτίο η ροπή του κινητήρα καταναλώνεται στο να υπερνικήσει τις ροπές αντίδρασης ,που είναι η ροπή φορτίου και οι απώλειες τριβών.

Σε ισορροπία του συστήματος έχουμε $M_H = M_{απ} + M_2$ όπου $M_2 = M_φ$

Γενικά είναι $n_{κιν} > n_φ$ γιατί μεσολαβεί συνήθως μειωτήρας στροφών . Στην αλληλεπίδραση κινητήρα-φορτίου θέτουμε $n_{κιν} = n_φ$

Όταν η εσωτερική ροπή είναι $M_H > M_{απ} + M_2$ και μεταβαλλόμενη κινητική κατάσταση στο σύστημα , οι στροφές αυξάνονται με το χρόνο t .

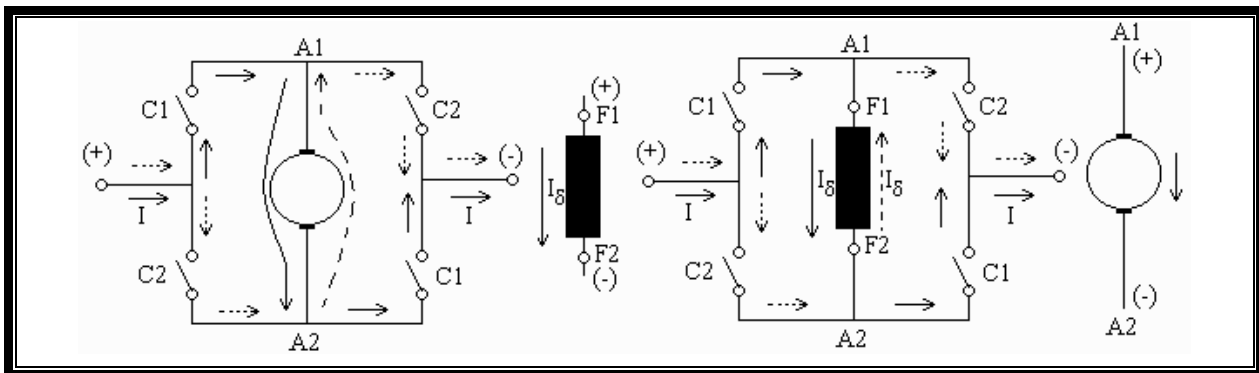
Αν είναι $M_H - (M_{απ} + M_2) < 0$ έχουμε επίδραση της ροπής επιβράδυνσης και μείωση στροφών.

Και στις δύο περιπτώσεις ο αριθμός των στροφών μεταβάλλεται μέχρι να επέλθει εξίσωση ροπών, δηλαδή $M_H = M_{απ} + M_2$

Αν έχουμε τις χαρακτηριστικές του φορτίου $n_φ = f(M_φ)$ και του κινητήρα $n = f(M_κ)$ η τομή τους θα μας

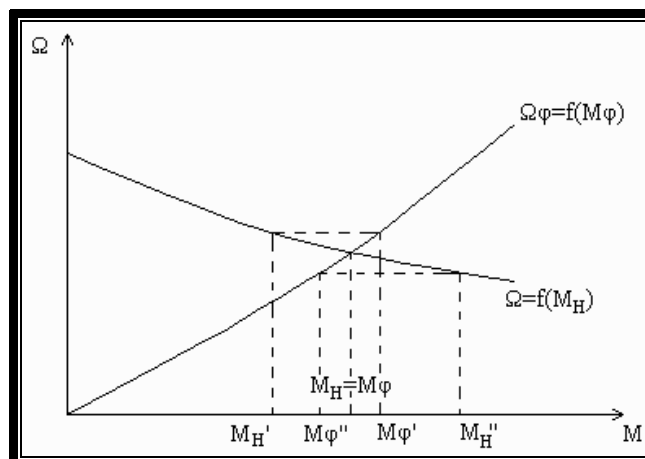
δώσει το σημείο λειτουργίας στο οποίο θα ισχύει η σχέση $M_H = M_{\text{απ}} + M_2$.

Για κάθε φορτίο, τα σημεία τομής των δύο χαρακτηριστικών είναι διαφορετικά, και κάθε ένα από αυτά μας δίνει τις στροφές και την ροπή του κινητήρα στη συγκεκριμένη φόρτιση. Με γνωστή την ροπή και τις στροφές βρίσκουμε για κάθε σημείο την ισχύ που αποδίδει ο κινητήρας, από την σχέση $P_2 = M_2 \cdot \Omega$. Σημείωση. Για να αλλάξουμε φορά περιστροφής σε ένα κινητήρα αλλάζουμε την φορά του ρεύματος στον δρομέα και διατηρούμε το ρεύμα διέγερσης σταθερό ή αλλάζουμε τη φορά του ρεύματος διέγερσης και διατηρούμε την φορά του ρεύματος στον δρομέα σταθερή. Προτιμάται η αλλαγή της φοράς του ρεύματος στον δρομέα. Το παρακάτω σχήμα μας δείχνει τις δύο αυτές περιπτώσεις αλλαγής φοράς περιστροφής σε κινητήρα ανεξάρτητης διέγερσης. Στα σχήματα αυτά τα C1, C2 είναι επαφές ηλεκτρονόμων που ανήκουν στον αντίστοιχο ηλεκτρονόμο. Με την πίεση ενός μπουτών (FORWARD) λειτουργεί ο ηλεκτρονόμος C1 οι επαφές του κλείνουν και το ρεύμα έχει κατεύθυνση από το A1 στο A2. Αν πιάσουμε το μπουτών (REVERSE) οι επαφές του C1 ανοίγουν και κλείνουν οι επαφές του C2 με αποτέλεσμα το ρεύμα να έχει κατεύθυνση από το A2 στο A1. Έτσι έχουμε αλλαγή της φοράς του ρεύματος και συνεπώς αλλαγή φοράς περιστροφής στον κινητήρα. Η ίδια λογική ισχύει και για το άλλο σχήμα στο οποίο αλλάζουμε την φορά του ρεύματος στην διέγερση.



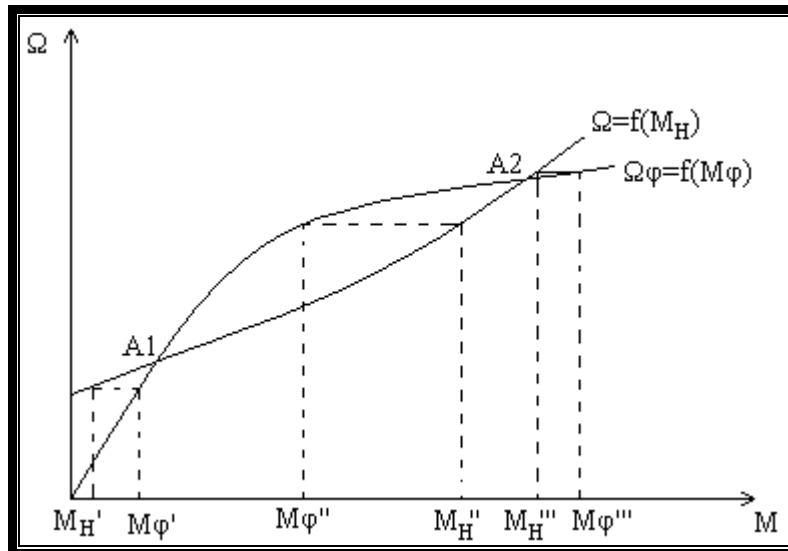
ΕΥΣΤΑΘΗΣ ΑΣΤΑΘΗΣ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ ΕΝΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Ευσταθής είναι η ισορροπία κατά την οποία, εάν για οποιαδήποτε αιτία αυξηθούν ή μειωθούν οι στροφές του συστήματος, αυτό πρέπει να επανέλθει στην προηγούμενη κατάσταση, δηλαδή στο σημείο λειτουργίας. Αν δεν επανέλθει, σημαίνει ότι έχουμε ασταθή ισορροπία. Το θέμα αυτό της ευστάθειας, αστάθειας έχει σχέση με το μάθημα Συστήματα Αυτομάτου Ελέγχου όπου αναλύεται εκτενώς. Παρακάτω δίνονται δύο παραδείγματα (σε σχήματα) ευσταθούς - ασταθούς ισορροπίας ενός συστήματος (κινητήριας μηχανής και μηχανής εργασίας).



Για να διαπιστώσουμε αν είναι ευσταθής ή ασταθής το σύστημα εξετάζουμε δύο

περιπτώσεις. Η μία είναι αν έχουμε αύξηση των στροφών και η δεύτερη αν έχουμε μείωση των στροφών. Και στις δύο περιπτώσεις παρατηρούμε τι συμβαίνει με τις ροπές. Στην πρώτη (αύξηση) περίπτωση, στο πάνω σχήμα βλέπουμε ότι η ροπή φορτίου είναι μεγαλύτερη από την ροπή του κινητήρα, και συνεπώς έχουμε επιβράδυνση του συστήματος και επαναφορά στο σημείο λειτουργίας. Στην (μείωση) δεύτερη περίπτωση, η ροπή του κινητήρα είναι μεγαλύτερη από την ροπή του φορτίου, άρα έχουμε επιτάχυνση του συστήματος, και επαναφορά στο σημείο λειτουργίας. $M - M\phi = J \cdot d\omega/dt$
 Αν $d\omega/dt < 0$ έχουμε επιβράδυνση και αν $d\omega/dt > 0$ έχουμε επιτάχυνση. J είναι η ροπή αδράνειας του συστήματος. Η παραπάνω διαδικασία είναι αυτή που πρέπει να ακολουθούμε για να διαπιστώσουμε αν ένα σύστημα είναι ευσταθές ή ασταθές.

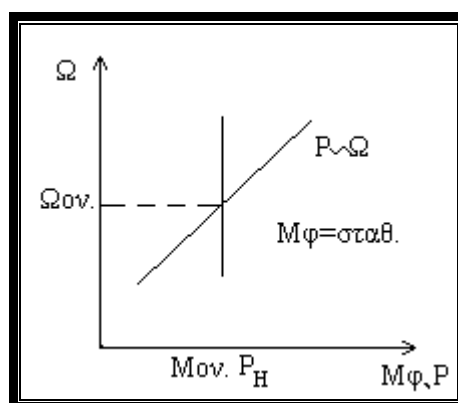


A1 : Σημείο ασταθούς λειτουργίας

A2 : Σημείο ευσταθούς λειτουργίας

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΕΡΓΟΜΗΧΑΝΩΝ (ΦΟΡΤΙΩΝ)

Όπως έχουμε τις μηχανικές χαρακτηριστικές των κινητήρων, έτσι έχουμε και τις χαρακτηριστικές των εργομηχανών (φορτίων), που φαίνονται στα παρακάτω σχήματα



- Μηχανές σταθερής ροπής (π.χ. ανυψωτικά, συμπιεστές).

Βάρος που σηκώνεται : $F_E = M_{\beta} \cdot g = \text{σταθερό}$

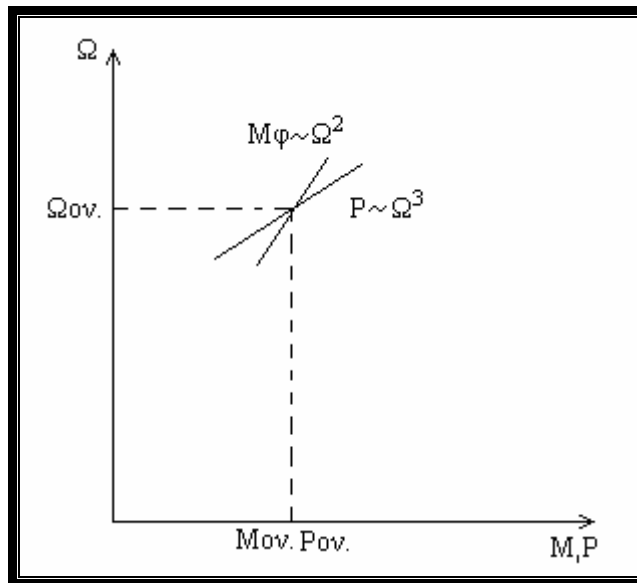
Η Ροπή φορτίου είναι $M_{\phi} = F_E \cdot R = M_{\beta} \cdot g \cdot R$

Και $P = M \cdot \Omega \sim \Omega$

M_{ϕ} : ροπή φορτίου

R : ακτίνα εφαρμογής της δύναμης F_E

- Μηχανές αυξανόμενης ροπής (π.χ. αντλίες, ανεμιστήρες, έλικες)



$M_{\phi} = C \cdot \Omega^2 \sim \Omega^2$ όπου C συντελεστής τριβής του υγρού ή του αέρα $P = M_{\phi} \cdot \Omega \sim \Omega^2 \cdot \Omega \sim \Omega^3$

- Μηχανές ελαττωμένης ροπής (π.χ. τυλικτικά μηχανήματα)

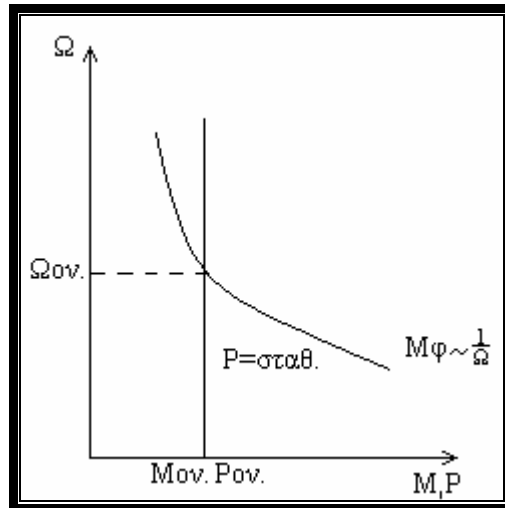
Τύλιξη χαρτιού, λαμαρίνας, υφάσματος όπου απαιτείται σταθερή δύναμη $F = C \cdot t$ και σταθερή ταχύτητα τύλιξης $U = \text{σταθ.}$

Η ακτίνα R_F μεταβάλλεται :

$$U = \Omega \cdot R_F \quad M_{\phi} = F \cdot R_F = F \cdot U \cdot \frac{1}{\Omega} \quad M_{\phi} \sim \frac{1}{\Omega} \text{ η ισχύς}$$

$$P = M_{\phi} \cdot \Omega = F \cdot U \cdot \frac{1}{\Omega} \cdot \Omega = F \cdot U = \text{σταθερό}$$

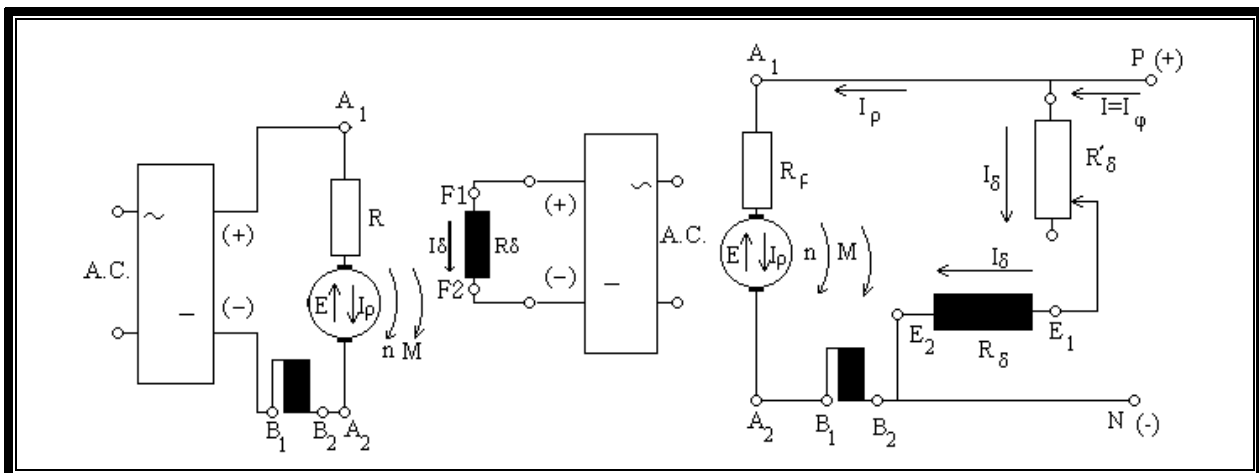
Για όλες αυτές τις χαρακτηριστικές φορτίου $\Omega_{\phi} = f(M_{\phi})$, η ισορροπία του συστήματος είναι ευσταθής, όταν η συνάρτηση $\Omega_{\kappa} = f(M_{\kappa})$ του κινητήρα είναι γραμμικώς φθίνουσα, και ασταθής όταν η μηχανική χαρακτηριστική $\Omega_{\kappa} = f(M_{\kappa})$ είναι γραμμικά αύξουσα.



ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΗΣ ΔΙΕΓΕΡΣΗΣ Ή ΠΑΡΑΛΛΗΛΗΣ ΔΙΕΓΕΡΣΗΣ

Κινητήρας ανεξάρτητης διέγερσης λέγεται ο κινητήρας του οποίου το τύλιγμα διέγερσης είναι ανεξάρτητο από το τύλιγμα του δρομέα και παράλληλης διέγερσης όταν το τύλιγμα διέγερσης είναι συνδεδεμένο παράλληλα με το τύλιγμα του δρομέα .

Τα παρακάτω σχήματα αντιστοιχούν σε κινητήρα ανεξάρτητης και παράλληλης διέγερσης και για τους οποίους ισχύουν οι παρακάτω σχέσεις



Κινητήρας αν. διέγερσης

Ισχύουν οι εξισώσεις

$$U = E + I_p R_p \quad (1)$$

$$I = I_p \quad (2)$$

$$E = \Phi \cdot \Omega \cdot C \quad (3)$$

$$M = \Phi \cdot I_p \cdot C \quad (4)$$

Κινητήρας παρ. διέγερσης

$$U = E + R_p \cdot I_p \quad [1]$$

$$I = I_p + I_a \quad [2]$$

$$U = (R_a + R'_a) \cdot I_a \quad [3]$$

$$E = \Phi \cdot \Omega \cdot C \quad [4]$$

$$M = \Phi \cdot I_p \cdot C \quad [5]$$

$$\begin{aligned} [4] \Rightarrow \Omega &= \frac{E}{\Phi \cdot C} = \frac{U - R_{\rho} \cdot I_{\rho}}{\Phi \cdot C} = \frac{U}{C \cdot \Phi} - \frac{R_{\rho} I_{\rho}}{C \cdot \Phi} = \\ &= \frac{U}{C \cdot \Phi} - \frac{R_{\rho}}{C \cdot \Phi} \cdot I_{\rho} \quad [6] \end{aligned}$$

$\Omega=f(I_{\rho})$ *

$$[5] \Rightarrow I_{\rho} = \frac{M}{C \cdot \Phi}$$

$$[6] \Rightarrow \Omega = \frac{U}{C \cdot \Phi} - \frac{R_{\rho}}{C \cdot \Phi} \cdot \frac{M}{C \cdot \Phi} = \frac{U}{C \cdot \Phi} - \frac{R_{\rho}}{(C \cdot \Phi)^2} \cdot M \quad (7)$$

Η σχέση (7) $\Omega=f(M)$ * είναι η μηχανική χαρακτηριστική .

Από την εξίσωση (5) $M_H=f(I_{\rho})$

$M_H=\Phi(I_{\delta}) \cdot I_{\rho} \cdot C$ επειδή $I_{\delta}=\text{σταθ.}$ η $M_H=\kappa \cdot I_{\rho}$

($U=\text{σταθ.}$ $R'_{\delta}=\text{σταθ.}$) συνεπάγεται ότι η εξίσωση αυτή παριστάνει ευθεία.

Η χαρακτηριστική $\Omega=f(I_{\rho})$

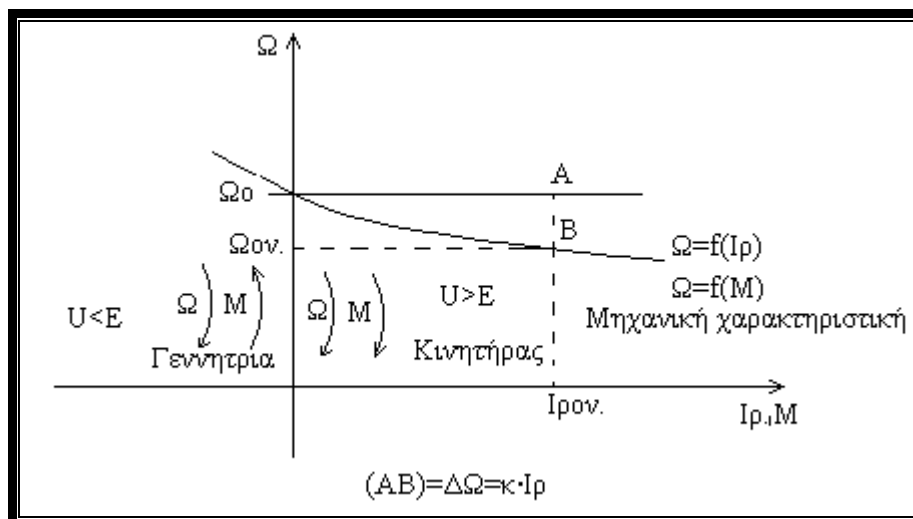
$$\Omega = \frac{U}{C \cdot \Phi_{(I_{\delta})}} - \frac{R_{\rho}}{C \cdot \Phi_{(I_{\delta})}} I_{\rho} \quad (8)$$

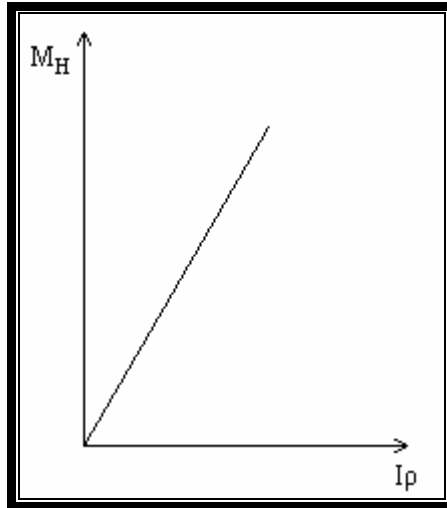
με $U=\text{σταθ.}$ $R_{\rho}=\text{σταθ.}$ $R'_{\delta}=\text{σταθ.}$ δηλ. $\Phi(I_{\delta}) = \text{σταθ.}$

Συνεπάγεται ότι $\Omega=\Omega_0 - \kappa I_{\rho}$ (9)

$$\text{όπου} \quad \Omega_0 = \frac{U}{C \cdot \Phi_{(I_{\delta})}} \quad \kappa = \frac{R_{\rho}}{C \cdot \Phi_{(I_{\delta})}}$$

Η εξίσωση (9) παριστάνει ευθεία με αρνητική κλίση. Το κI_{ρ} είναι το ποσό που αφαιρείται από το Ω_0 ,και είναι η μείωση των στροφών από την εν κενό λειτουργία μέχρι την ονομαστική λειτουργία .Στην πραγματικότητα η χαρακτηριστική αυτή δεν είναι ακριβώς ευθεία αλλά παρουσιάζει μια κλίση προς τα πάνω όσο πλησιάζει προς την πλήρη φόρτιση λόγω της αντίδρασης του επαγωγικού τυμπάνου .Η μεταβολή αυτή των στροφών είναι περίπου (2÷10)% Ω_{0n} . Εάν οι στροφές για κάποιο λόγο αυξηθούν πέραν του Ω_0 τότε η ΗΕΔ Ε γίνεται μεγαλύτερη από την U και έτσι έχουμε την λειτουργία της μηχανής στο 2ο τεταρτημόριο, ως γεννήτρια





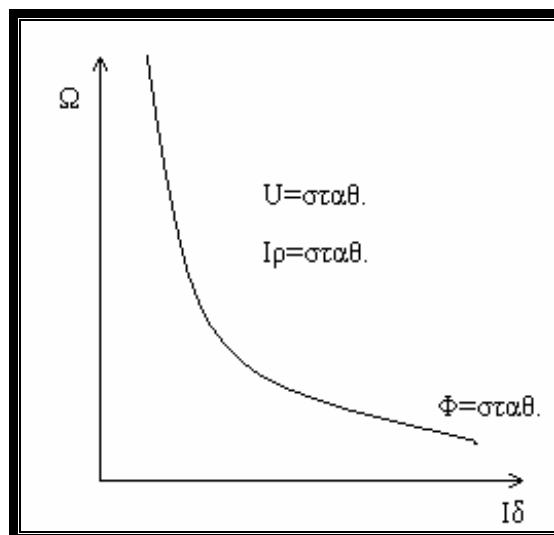
Η κλίση της ευθείας $M_H = k I_p$ εξαρτάται από την τιμή του $C\Phi$
 Η χαρακτηριστική $\omega = f(I_\delta)$

Η γωνιακή ταχύτητα ω δίνεται από την παρακάτω σχέση

$$\Omega = \frac{U - I_p R_p}{C \Phi(I_\delta)}$$

Όταν $U = \text{σταθ.}$ $I_p = \text{σταθ.}$ τότε

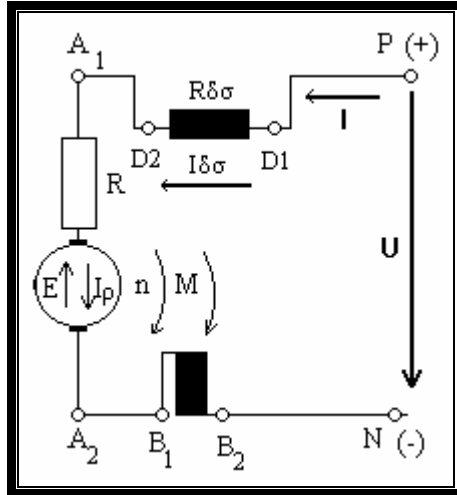
Για I_δ μικρό σημαίνει ότι η γωνιακή ταχύτητα Ω γίνεται άπειρη, με συνέπεια, να καταστραφεί η μηχανή λόγω φυγοκεντρικών δυνάμεων που αναπτύσσονται στο δρομέα.



Οι χαρακτηριστικές του κινητήρα αυτού που αναλύσαμε είναι ίδιες με του κινητήρα παράλληλης διέγερσης και για τον λόγο αυτό δεν θα αναφερθούμε σε αυτές.

ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ ΣΕΙΡΑΣ

Κινητήρας σειράς , σημαίνει ότι το τύλιγμα διέγερσης του κινητήρα(D1-D2) είναι σε σειρά με το τύλιγμα του δρομέα. Αυτό μας λέει ότι το ρεύμα διέγερσης είναι και ρεύμα δρομέα όπως και ρεύμα φορτίου .Επειδή το ρεύμα είναι ίδιο σημαίνει ότι και η αντίσταση του τυλίγματος διέγερσης θα είναι ίση περίπου με αυτήν του δρομέα.



Οι σχέσεις των ρευμάτων και των τάσεων είναι οι εξής

$$I_p = I_{\delta\sigma} \quad (1) \quad E = \Phi \cdot \Omega \cdot C$$

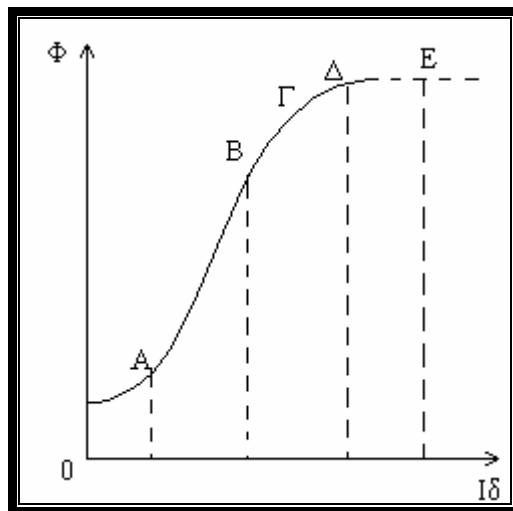
$$U = E + I \cdot (R_p + R_{\delta\sigma}) \quad (2)$$

$$\Phi = f(I_p = I_{\delta\sigma} = I) \quad (3)$$

$$M = \Phi \cdot I_p \cdot C \quad (4)$$

Η τάση τροφοδοσίας μπορεί να δοθεί με μια πλήρως ελεγχόμενη γέφυρα THRs από την οποία παίρνουμε μεταβλητή τάση μεταβάλλοντας την γωνία έναυσης των θυρίστωρς .

Η μαγνητική χαρακτηριστική $\Phi = f(I_{\delta})$ είναι ευθεία γραμμή πριν τον κορεσμό, και μεταβάλλεται με το ρεύμα της σχέσης (1).



(AB): Γραμμική περιοχή. Η ροή Φ είναι ανάλογη του I_{δ}

(BΓ) είναι μη γραμμική περιοχή στην οποία αρχίζει η μηχανή να οδηγείται σε κορεσμό και (ΔΕ) είναι η περιοχή κορεσμού.

Συνήθως το σημείο λειτουργίας του κινητήρα σειράς βρίσκεται στο ευθύγραμμο τμήμα της καμπύλης για αυτό μπορούμε να πούμε ότι $\Phi = k \cdot I_p$

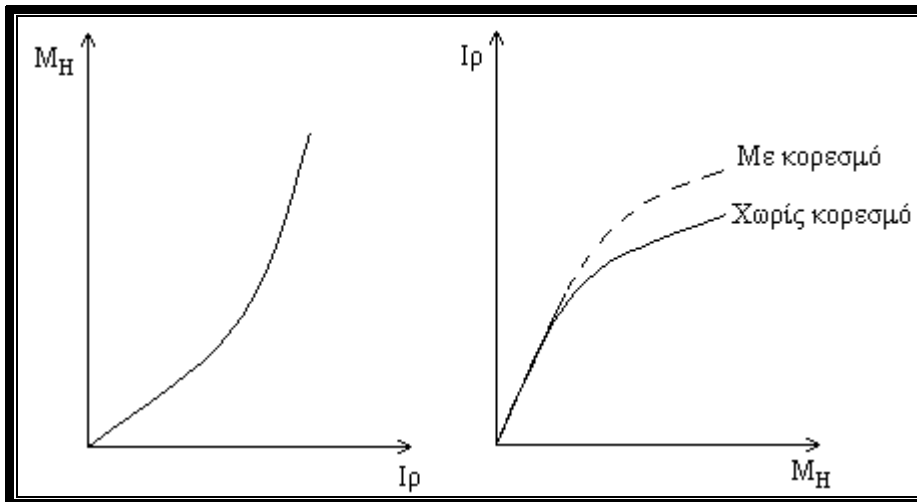
$$M_H = \Phi \cdot I_p \cdot C = k \cdot I_p \cdot I_p \cdot C = C \cdot k \cdot I^2 \quad (4)$$

$$M_H = C \cdot k \cdot I^2 \quad \eta' \quad \psi^2 = 1/\alpha \cdot \chi$$

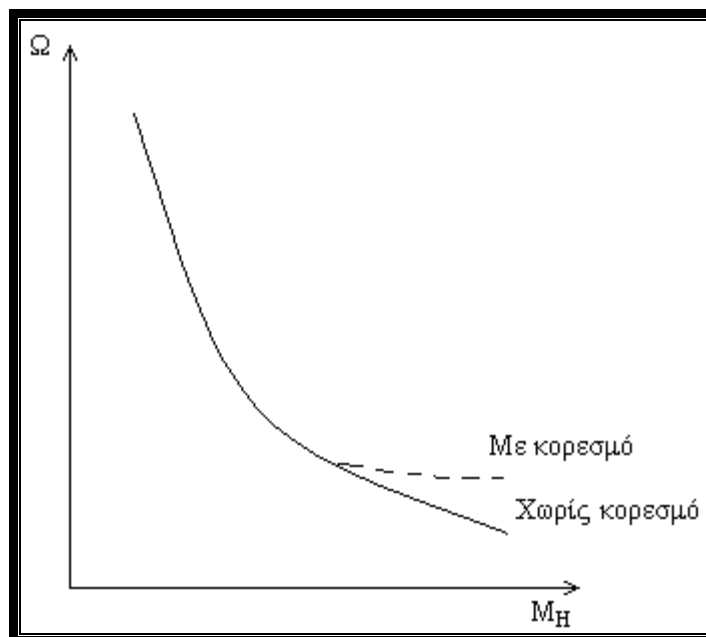
δηλαδή είναι παραβολή με άξονα συμμετρίας τον M_H . Αν συγκρίνουμε τώρα την ροπή του κινητήρα ανεξάρτητης διέγερσης ($M = \Phi \cdot I \cdot C$) και του κινητήρα σειράς $M_H = K \cdot I^2$, βλέπουμε ότι ο κινητήρας σειράς έχει πολύ μεγαλύτερη ροπή.

$$I = \sqrt{\frac{M}{K}}$$

Η χαρακτηριστική $M=f(I_p)$



Η χαρακτηριστική $\Omega=f(M_H)$



$$E = U - I.(R_{\rho} + R_{\delta\sigma})$$

$$\Phi = \kappa.I \Rightarrow I = \frac{\Phi}{\kappa} \quad M = \Phi.I.C$$

$$\Omega = \frac{U}{C.\Phi} - \frac{R_{\rho} + R_{\delta\sigma}}{C.\Phi} . I$$

$$M_H = C.\kappa.I^2 = \frac{C.\kappa.\Phi^2}{\kappa^2} = \frac{C.\Phi^2}{\kappa}$$

$$C.\Phi^2 = \kappa M_H \Rightarrow \Phi = \sqrt{\frac{\kappa.M_H}{C}} \Rightarrow \Omega = \frac{U}{\sqrt{(C.\kappa.M_H)}} - \frac{R_{\rho} + R_{\delta\sigma}}{C.\kappa}$$

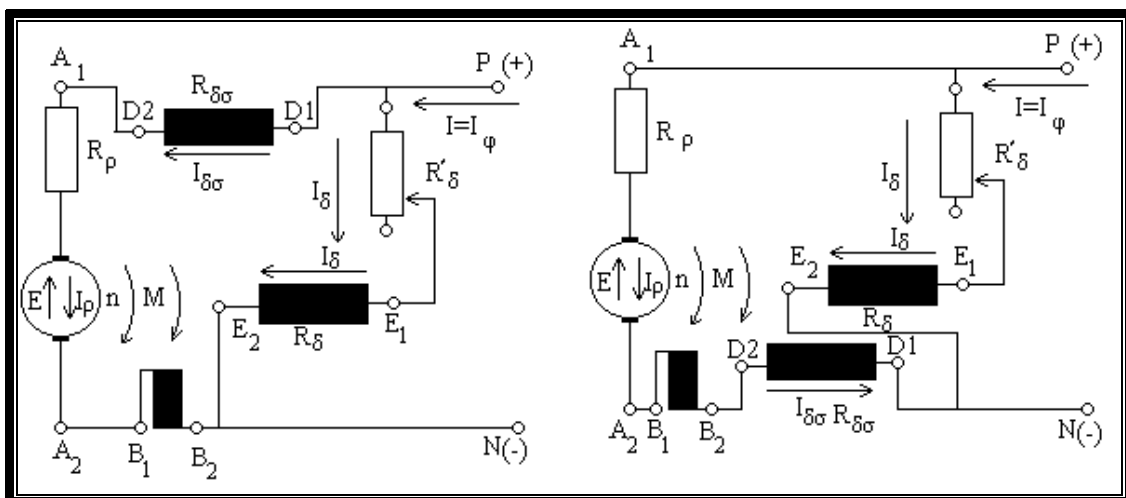
Από την τελευταία σχέση φαίνεται ότι η ταχύτητα μπορεί να μεταβληθεί ελέγχοντας την τάση ή το ρεύμα που έχει άμεση σχέση με την ροπή.

Στο κενό η περιστροφική ταχύτητα γίνεται πολύ μεγάλη, θεωρητικά άπειρη, στην πράξη βέβαια είναι πεπερασμένη λόγω των τριβών. Δεν είναι λοιπόν επιτρεπτή η λειτουργία του κινητήρα διέγερσης σειράς στο κενό αλλά πρέπει να είναι συμπλεγμένος με την μηχανή εργασίας. Για μια ταχύτητα πάνω από την βασική η τάση του δρομέα μεταβάλλεται και η ροπή παραμένει σταθερή. Στην ονομαστική τάση που εφαρμόζεται, η σχέση ταχύτητας ροπής ακολουθεί την φυσική χαρακτηριστική του κινητήρα και η ισχύς $P=M.\Omega$ παραμένει σταθερή.

Ο κινητήρας διέγερσης σειράς έχει μεγάλη ροπή εκκίνησης ($M_{εκ} = C.\kappa.I^2_{εκ}$), και για τον λόγο αυτό προτιμάται σε μερικές εφαρμογές (Σιδηρόδρομο, τρόλεϊ). Γενικά βέβαια είναι κατάλληλος για κινήσεις όπου σε χαμηλή περιστροφική ταχύτητα απαιτείται μεγάλη ροπή.

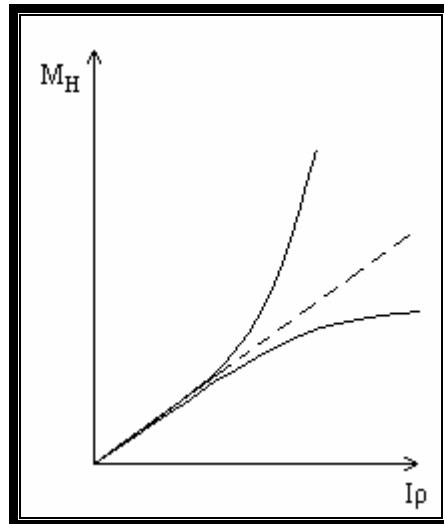
ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ ΣΥΝΘΕΤΗΣ ΔΙΕΓΕΡΣΗΣ

Ο κινητήρας αυτός συνδυάζει τα πλεονεκτήματα του κινητήρα σειράς (μεγάλη ροπή εκκίνησης) και το χαρακτηριστικό του κινητήρα παράλληλης διέγερσης ότι οι στροφές του δεν μεταβάλλονται πολύ. Επιπλέον αυτός ο κινητήρας μπορεί να ξεκινήσει χωρίς φορτίο εν αντιθέσει με τον κινητήρα σειράς που δεν ξεκινά χωρίς φορτίο.



Για την αντιμετώπιση των συνεπειών της εξασθένησης του μαγνητικού πεδίου λόγω της αντιδράσεως του τυμπάνου (κυρίως αστάθειας, αλλά και απώλειας ισχύος λόγω της μείωσης της ροπής)

χρησιμοποιείται ο κινητήρας σύνθετης διέγερσης, ο οποίος έχει στους πόλους του στάτη περιέλιξη παράλληλης διέγερσης και περιέλιξη διέγερσης σειράς ,σε ενισχυτική διάταξη ,δηλαδή τα δύο αυτά πεδία προστίθενται. ($\Phi_{ολ}=\Phi_{δπ}+\Phi_{δσ}$) .Η διέγερση ενισχυτικής διάταξης όπου το $\Phi_{ολ}$ αυξάνεται με το ρεύμα I_p έχει ως συνέπεια η μηχανική χαρακτηριστική να έχει μεγαλύτερη κλίση προς τα κάτω. Η μεταβολή των στροφών $\Delta\omega$ είναι μεγαλύτερη και επί πλέον η ροπή είναι μεγαλύτερη ,και μεταβάλλεται όπως στον κινητήρα σειράς. Οι χαρακτηριστικές $M_{εσ}=f(I_p)=\Phi_{ολ}\cdot I_p\cdot C$ των δύο περιπτώσεων φαίνονται στο παρακάτω σχήμα

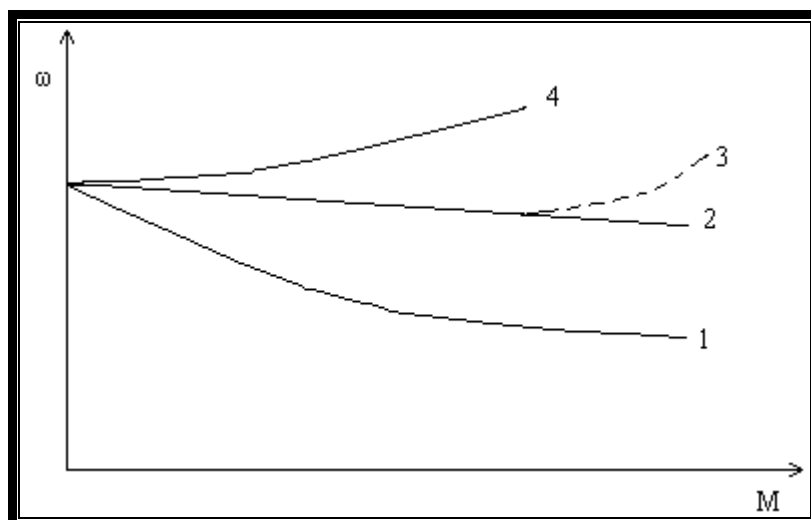


Η εξασθένηση του κύριου μαγνητικού πεδίου ($\Phi_{ολ}=\Phi_{δπ}-\Phi_{δσ}$) μπορεί βέβαια να αποφευχθεί με περιέλιξη αντιστάθμισης. Η σύνδεση του σχήματος β ελαττώνει την μαγνητική ροή Φ όσο αυξάνει το φορτίο I_p και γι' αυτό αυξάνει ο αριθμός στροφών Ω που είναι αντιστρόφως ανάλογος του $\Phi_{ολ}$. Η μηχανική χαρακτηριστική είναι αύξουσα και οδηγεί σε ασταθή ισορροπία.

Η λύση όμως αυτή είναι οικονομικά συμφέρουσα μόνο σε μεγάλους κινητήρες.

Με τη σύνθετη διέγερση μπορεί να επιτευχθεί σχεδόν κάθε καμπύλη φόρτισης με κατάλληλη συνδεσμολογία και σχεδίαση της περιέλιξης διέγερσης σειράς.

Εκτός από τη συνήθη καμπύλη 2(παράλληλης διέγερσης) επιτυγχάνονται με μεγαλύτερη ενίσχυση (μεγαλύτερος αριθμός κλιμάκων περιέλιξης σειράς) η καμπύλη 1 ή με συνδεσμολογία εξασθένησης (αντίθετης συνδεσμολογία της περιέλιξης διέγερσης σειράς)η καμπύλη 4 η οποία παρουσιάζει αστάθεια στις συνήθεις περιπτώσεις φόρτισης και γι' αυτό αποφεύγεται.



ΕΚΚΙΝΗΣΗ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ - ΕΚΚΙΝΗΣΗ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΗΣ ΔΙΕΓΕΡΣΗΣ

Για ένα κινητήρα ανεξάρτητης διέγερσης ή παράλληλης διέγερσης κινητήρα ισχύει η εξίσωση $U = E + I_p R_p$

Εκκίνηση εννοούμε την μετάβαση του κινητήρα από την ακινησία (εν στάση) $n=0$, $\omega=0$ σε ένα αριθμό στροφών, όχι αναγκαστικά στον ονομαστικό αριθμό στροφών.

$$\text{Στην εκκίνηση } n=0, \Omega=0 \Rightarrow E=0 \text{ και } I_p = \frac{U}{R_p}$$

Το $I_{εκ} = (10 \div 20)$.Ιον γιατί περιορίζεται μόνο από την πολύ μικρή αντίσταση του δρομέα R_p , μπορεί όμως να περιοριστεί σε οποιαδήποτε επιθυμητή τιμή με την παρεμβολή κατάλληλης εξωτερικής αντίστασης. (αντίσταση εκκίνησης $R_{εκ}$). Η αντίσταση αυτή συνδέεται σε σειρά με το τύλιγμα του δρομέα σε οποιοδήποτε είδος κινητήρα και έτσι το ρεύμα εκκίνησης δίνεται από την παρακάτω σχέση

$$I_{εκ} = \frac{U}{(R_p + R_{εκ})}$$

Στις μηχανές ξένης διέγερσης και παράλληλης διέγερσης $I = I_{εκ} + I_{δ} \sim I_{εκ}$

Η ροπή εκκίνησης

$M_{εκ} = \Phi \cdot I_{εκ} \cdot C$ δηλαδή είναι ανάλογος του ρεύματος εκκίνησης.

Η επιλογή λοιπόν της $R_{εκ}$ γίνεται με τα κριτήρια του μέγιστου επιτρεπόμενου ρεύματος εκκίνησης $I_{εκmax}$ και της ελάχιστης ροπής εκκίνησης.

Μια σταθερή όμως αντίσταση εκκίνησης σε όλη τη διάρκεια της εκκίνησης, παρουσιάζει το πρόβλημα της πολύ μικρής ροπής, όταν αυξηθεί η περιστροφική ταχύτητα, με αποτέλεσμα να αυξηθεί πολύ ο χρόνος εκκίνησης και να υπερθερμανθεί η περίελξη του δρομέα ή και να μην μπορεί να ολοκληρωθεί η διαδικασία της εκκίνησης λόγω της ροπής τριβών και της ενδεχόμενης ροπής φόρτισης. Επιθυμητή θα ήταν μια σταθερή ροπή M σε όλη τη διάρκεια της εκκίνησης, η οποία θα εξασφάλιζε μια αρκετά μεγάλη ροπή επιτάχυνσης $M_{επ}$ και αρκετά μικρό χρόνο εκκίνησης $t_{εκ}$, σύμφωνα με τις σχέσεις :

$$M_{επ} = M_H - (M_{ππ} + M_{φ})$$

$$\text{Και } t_{εκ} = \frac{\zeta \cdot \Omega_m}{M_{επ}}$$

όπου ζ : η ροπή αδράνειας των περιστρεφόμενων μαζών σε $[K \cdot g \cdot m^2]$

Ω_m : η γωνιακή ταχύτητα που επιτυγχάνεται.

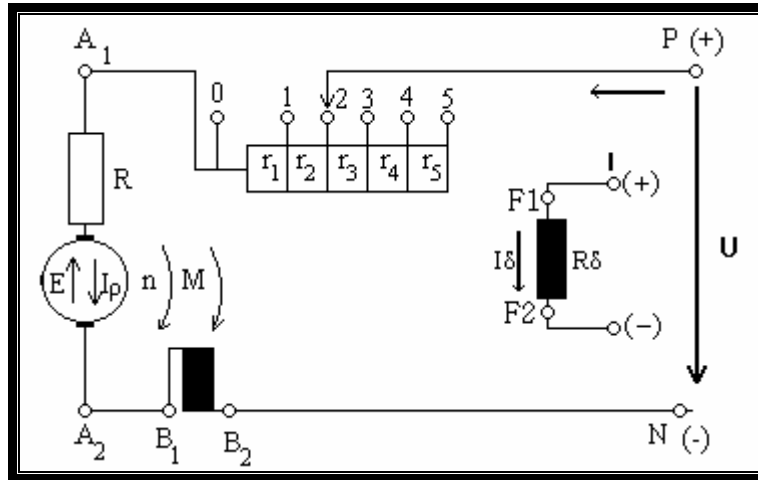
Γενικότερα για την επιτάχυνση από την γωνιακή ταχύτητα Ω_{m1} στην Ω_{m2} , ισχύει :

$$t_{εκ} = \frac{\zeta \cdot (\Omega_{m2} - \Omega_{m1})}{M_{επ}}$$

Για να έχουμε σταθερό ρεύμα και επομένως σταθερή ροπή κατά την εκκίνηση απαιτείται συνεχής μεταβολή (μείωση) της αντίστασης εκκίνησης R έτσι ώστε να εξουδετερώνεται η συνέπεια της, αναλογικά, με την περιστροφική ταχύτητα αυξανόμενης $A-HE\Delta$, σύμφωνα με την εξίσωση :

$$I_p = \frac{U - E}{R_p + R}$$

Η κατασκευή όμως μιας τέτοιας συνεχούς μεταβαλλόμενης αντίστασης είναι κυρίως για μεγάλες ισχύς ασύμφορη, χωρίς να είναι και αναγκαία .Χρησιμοποιούνται λοιπόν αντιστάσεις με ενδιάμεσες λήψεις με την βοήθεια των οποίων μειώνεται κλιμακωτά η εξωτερική αντίσταση.



Από τις σχέσεις :

$$\Omega = \frac{U}{C \cdot \Phi} - \frac{R_p + R}{(C^2 \cdot \Phi^2)} \cdot M \qquad \Omega_o = \frac{U}{C \cdot \Phi}$$

προκύπτει

$$\Omega = \Omega_o - K \cdot R_\mu \cdot M$$

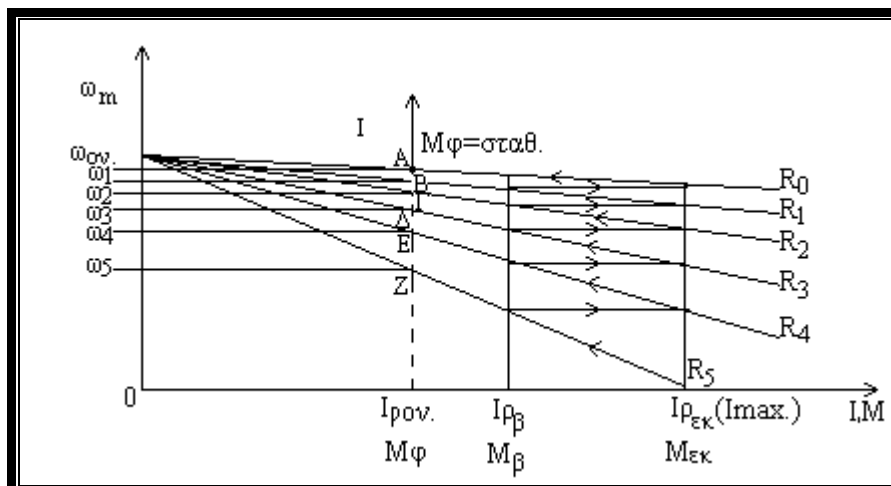
R_μ : είναι το άθροισμα της R_p με την εκάστοτε τιμή της εξωτερικής αντίστασης και

$$K : \frac{1}{(C^2 \cdot \Phi^2)}$$

Σε αντίσταση ν βαθμίδων , $(\nu+1)$ οι λήψεις , είναι $\mu = 1,2,\dots,\nu$

Απαιτούμε η μετάζευξη από τη μια λήψη στην άλλη να γίνεται όταν η ροπή και το ρεύμα αποκτήσουν την ελάχιστη τιμή τους M_1 και I_1 αντίστοιχα. Τη στιγμή της μετάζευξης από τη βαθμίδα μ στην $\mu-1$ μεταβάλλεται αλματωδώς η ροπή από την τιμή M_1 στην M_2 (το ρεύμα από I_1 στο I_2) ενώ η περιστροφική ταχύτητα μένει ίδια, λόγω της αδράνειας των περιστρεφόμενων μαζών(σταθερή).

$$\left. \begin{aligned} \Omega_1 &= \Omega_o - K \cdot R_\mu \cdot M_1 \\ \Omega_2 &= \Omega_o - K \cdot R_{\mu-1} \cdot M_2 \end{aligned} \right\} \frac{R_\mu}{R_{\mu-1}} = \frac{M_2}{M_1} = \lambda$$



Εδώ φαίνεται η διαδικασία εκκίνησης για αντίσταση 5 βαθμίδων με την πριονωτή καμπύλη εκκίνησης..

$$\text{Από την σχέση } \frac{R_{\mu}}{R_{\mu}-1} = \frac{M_2}{M_1} = \frac{M_{\epsilon K}}{M_{\beta}} = \lambda \text{ για της αντιστάσεις ισχύει: για } \mu = 1 \Rightarrow R_1 = \lambda$$

$$0 \quad R_0 = R_{\rho}$$

$$1 \quad R_1 = R_0 + r_1 = \lambda R_{\rho}$$

$$2 \quad R_2 = R_0 + r_1 + r_2 = \lambda R_1 = \lambda \lambda R_{\rho} = \lambda^2 R_{\rho}$$

$$3 \quad R_3 = R_0 + r_1 + r_2 + r_3 = \lambda R_2 = \lambda \cdot \lambda^2 \cdot R_{\rho} = \lambda^3 \cdot R_{\rho}$$

**

$$v \quad R_v = R_0 + r_1 + \dots + r_v = \lambda R_{v-1} = \lambda \cdot \lambda^{v-1} R_{\rho} = \lambda^v \cdot R_{\rho}$$

Από τις σχέσεις αυτές προκύπτει

$$\frac{R_v}{R_{\rho}} = \lambda^v \Rightarrow v = \frac{\log \left(\frac{R_v}{R_{\rho}} \right)}{\log \lambda} \text{ όπου } \lambda = \sqrt[v]{\frac{R_1}{R_{\rho}}} = \sqrt[v]{\frac{U}{R_{\rho} \cdot I_{2 \mu \epsilon \gamma}}}$$

Οι εξισώσεις αυτές των αντιστάσεων αποτελούν γεωμετρική πρόοδο.

ή

$$R_1 = \frac{U}{I_{2 \mu \epsilon \gamma}}, \quad R_{\epsilon K} = R_1 - R_{\rho} = \frac{U}{I_{2 \mu \epsilon \gamma}} - R_{\rho}$$

Έτσι γίνεται η σχεδίαση της αντίστασης (καθορισμός του αριθμού βαθμίδων και του μεγέθους των αντιστάσεων τους v_1, v_2, \dots, v_n) αν είναι γνωστά τα μεγέθη R_{ρ} , M_1 και M_2 . Η τιμή του $I_{\rho \epsilon K}$ (στην ουσία και του $R_{\epsilon K}$) καθορίζεται από το φορτίο. Αν δηλαδή ο κινητήρας θα ξεκινήσει με πλήρες φορτίο, με μέρος του φορτίου ή χωρίς φορτίο. Στην εκκίνηση με πλήρες φορτίο οι κανονισμοί επιτρέπουν $I_{\epsilon K} = I_{\mu \epsilon \gamma} = I_2 = (0,5 \div 3,6) I_{\text{ον}}$. Για τα φορτία των εργομηχανών ισχύουν $I_{\epsilon K} = (0,5 \div 1,25) I_{\text{ον}}$. Για εκκίνηση χωρίς φορτίο $I_{\epsilon K} = (1,5 \div 2) I_{\text{ον}}$. Η τιμή 3,6 I_{ον} χρησιμοποιείται εκεί που το φορτίο έχει μεγάλη ροπή αδράνειας (έλαστρα, οχήματα).

Για χρόνο εκκίνησης ~ 5 sec οι βαθμίδες θα είναι, 3÷5.

Σε βαριές βέβαια εκκινήσεις, δηλαδή σε περιπτώσεις με μεγάλο χρόνο εκκίνησης, απαιτούνται πολλές βαθμίδες ενώ για $t = 1 \div 2$ sec χρειάζεται 1 βαθμίδα.

Ένας εμπειρικός τύπος που μας δίνει τον χρόνο εκκίνησης είναι

$$t_{\epsilon K} [\text{sec}] = 4 + 2 \sqrt{P_{\text{ov}} [\text{kW}]}$$

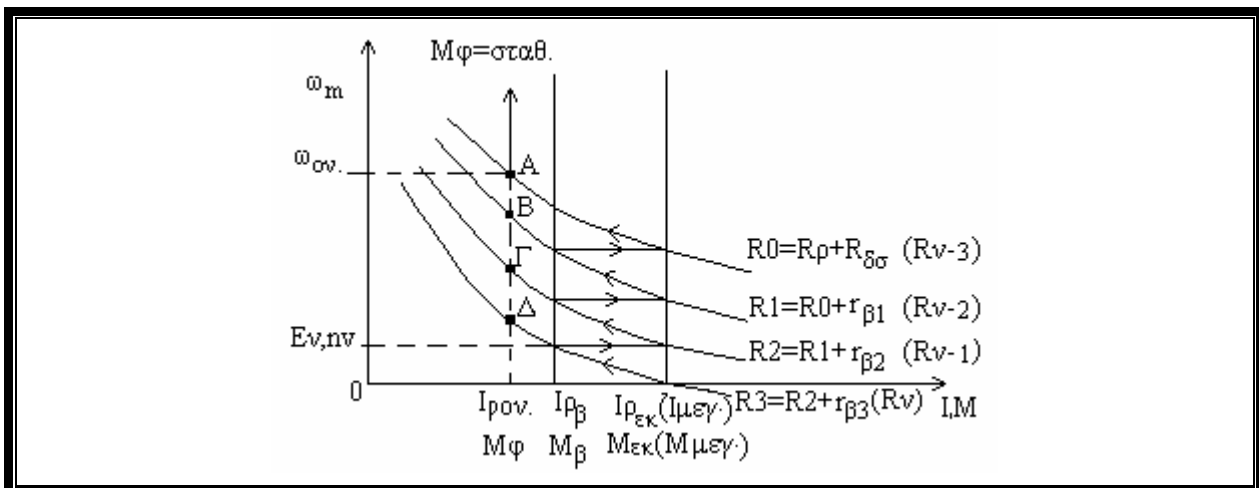
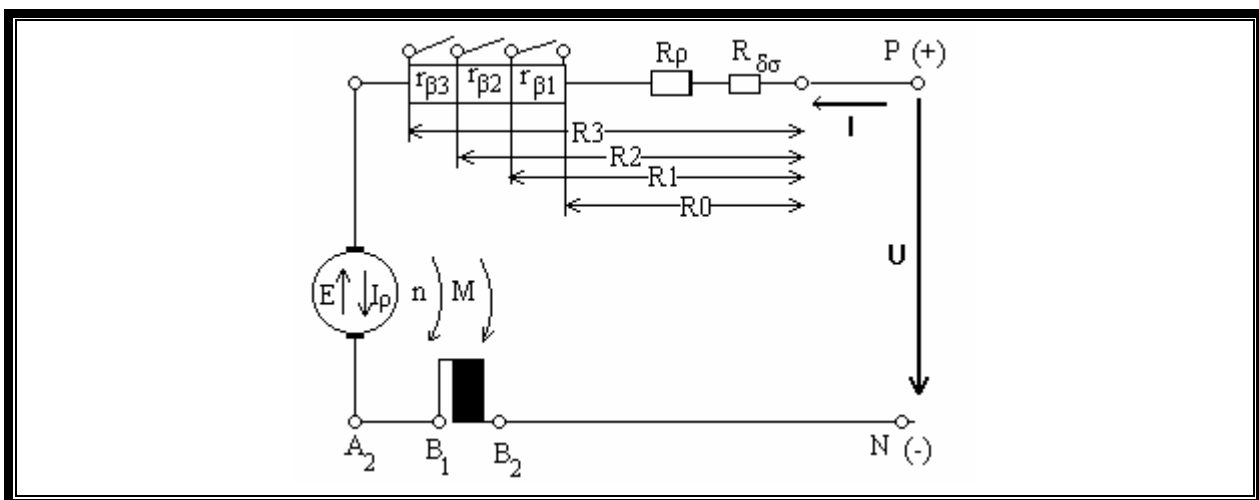
Η περιοχή μεταξύ του $M_{\beta \alpha \theta \mu}$, $M_{\epsilon K}$ αντιστοιχεί στην επιτάχυνση ή στην επιβράδυνση του κινητήρα. Αν θέλουμε ο κινητήρας να στρέφεται με κάποιο αριθμό στροφών δεν έχουμε παρά να

επιλέξουμε την κατάλληλη αντίσταση. Τα σημεία A,B,Γ,Δ,E,Z μας δίνουν τις στροφές με τις οποίες θα έστρεφε ο κινητήρας αν είχε κάθε φορά την αντίστοιχη αντίσταση. Τα σημεία αυτά αποτελούν και τα σημεία λειτουργίας του κινητήρα για το φορτίο σταθερής ροπής $M\phi$. Σε αυτά τα σημεία ισχύει η εξίσωση των ροπών $M_H = M\phi + M_{T\phi}$. Το σχήμα αυτό μας δείχνει επίσης ότι με την αντίσταση αυτή ο κινητήρας μπορεί να εκκινεί, να κινείται με μια ταχύτητα σταθερή, ανάλογη της αντίστασης, να επιβραδύνεται και να σταματά με την προϋπόθεση βέβαια ότι η αντίσταση αυτή θα ψύχεται, δεν θα είναι δηλαδή μόνο για την εκκίνηση.

ΕΚΚΙΝΗΣΗ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΔΙΕΓΕΡΣΗΣ ΣΕΙΡΑΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΒΑΘΜΙΔΩΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΕΚΚΙΝΗΣΗΣ

Στον κινητήρα αυτόν η μαγνητική ροή Φ μεταβάλλεται (αυξάνεται ή μηδενίζεται) σύμφωνα με το ρεύμα φόρτισης.

Σε ακόρεστη μηχανή η ροπή μεταβάλλεται $\{M = k \cdot I^2\}$ με το τετράγωνο του ρεύματος.



Σε σύγκριση με τον κινητήρα παράλληλης διέγερσης έχει πολύ μεγαλύτερη ροπή εκκίνησης. Εάν έχουμε έναν κινητήρα παράλληλης διέγερσης και ένα κινητήρα σειράς διέγερσης, οι οποίοι έχουν τις ίδιες τιμές τάσης, ισχύος, ονομαστικού ρεύματος και R_p θα έχουν με μια κατάλληλη τιμή αντίστασης εκκίνησης, ρεύμα εκκίνησης $\{I = \frac{U}{R_p + R}\}$ διπλάσιο του ονομαστικού ενώ η M_{ek} κατά την

$M_{\varepsilon\kappa} = \Phi \cdot I_{\varepsilon\kappa} \cdot C$ θα είναι στον κινητήρα σειράς 4πλάσια της ονομαστικής και στον κινητήρα διέγερσης διπλάσια. Αντίστροφα, αν απαιτείται $M_{\varepsilon\kappa}$ διπλάσια της ονομαστικής το $I_{\varepsilon\kappa}$ του κινητήρα διέγερσης σειράς θα είναι είναι μόνο $\sqrt{2}$ χιλόν έναντι $2 \times I_{\text{ον}}$ του κινητήρα παράλληλης διέγερσης .

Για κινητήρα παράλληλης διέγερσης :

$$\begin{aligned} I_{\varepsilon\kappa} &= 2 \cdot I_{\text{ον}} \\ C \cdot \Phi \cdot I_{\varepsilon\kappa} &= 2 \cdot C \cdot \Phi \cdot I_{\text{ον}} \\ M_{\varepsilon\kappa} &= 2 \cdot M_{\text{ον}} \end{aligned}$$

Για κινητήρα διέγερσης σειράς :

$$\begin{aligned} I_{\varepsilon\kappa} &= 2 \cdot I_{\text{ον}} \\ I_{\varepsilon\kappa}^2 &= 4 \cdot I_{\text{ον}}^2 \\ K' \cdot I_{\varepsilon\kappa}^2 &= 4 \cdot K' \cdot I_{\text{ον}}^2 \\ M_{\varepsilon\kappa} &= 4 \cdot M_{\text{ον}} \end{aligned}$$

Αν $M_{\varepsilon\kappa} = 2M_{\text{ον}}$ τότε $\kappa \cdot I_{\varepsilon\kappa}^2 = 2 \cdot \kappa \cdot I_{\text{ον}}^2$ και το ρεύμα εκκίνησης στον κινητήρα σειράς είναι $I_{\varepsilon\kappa} = 2^{1/2} \cdot I_{\text{ον}}$ ενώ στον κινητήρα παράλληλης διέγερσης $I_{\varepsilon\kappa} = 2 \cdot I_{\text{ον}}$. Λόγω της ιδιότητας αυτής προτιμάται σε κινήσεις που απαιτούν μεγάλη $M_{\varepsilon\kappa}$ για δεδομένο $I_{\varepsilon\kappa}$ ή μικρό $I_{\varepsilon\kappa}$ για δεδομένη $M_{\varepsilon\kappa}$.

Με κλιμακωτές αντιστάσεις επιτυγχάνεται η προιονωτή καμπύλη εκκίνησης.

Υπολογισμός των βαθμίδων εκκίνησης:

$$\Phi = \lambda \cdot I_{\rho} \sim I_{\rho}, \quad M = \kappa \cdot I_{\rho}^2, \quad \Omega = \frac{U}{C \cdot \Phi} - \frac{R_{\rho}}{C \cdot \Phi} \cdot I_{\rho},$$

$$I_{\rho, \varepsilon\kappa} = I_{\rho, \mu\epsilon\gamma} = \frac{U}{R_{\rho} + R_{\delta\sigma} + R_{\varepsilon\kappa}} \Rightarrow R_{\varepsilon\kappa} = \frac{U}{I_{\rho, \mu\epsilon\gamma}} - (R_{\rho} + R_{\delta\sigma})$$

$$\text{όπου } R_0 = R_{\rho} + R_{\delta\sigma}, \quad R_1 = R_0 + r_{\beta 1}, \quad R_2 = R_1 + r_{\beta 2}, \quad R_3 = R_2 + r_{\beta 3}$$

$$\lambda = \frac{r_{\beta 3}}{r_{\beta 2}} = \frac{r_{\beta 2}}{r_{\beta 1}} = \frac{I_{\rho, \mu\epsilon\gamma}}{I_{\rho, \beta\alpha\theta\mu}} \cdot \frac{\Phi_{\beta\alpha\theta\mu}}{\Phi_{\mu\epsilon\gamma}} \quad \text{το } \Phi_{\beta\alpha\theta\mu} \text{ είναι συνάρτηση του } I_{\delta\sigma} = I_{\rho, \beta\alpha\theta} \text{ και το } \Phi_{\mu\epsilon\gamma} \text{ είναι}$$

συνάρτηση του $I_{\delta\sigma} = I_{\rho, \mu\epsilon\gamma}$

εάν $n=3$ έχουμε:

$$R_v = R_3 = R_{v-1} + R_{\beta v}$$

$$R_{v-1} = R_2 = R_v + R_{\beta v-1}$$

$$R_{v-2} = R_1 = R_0 + R_{\beta 1} \text{ και } R_{v-3} = R_0 = R_{\rho} + R_{\delta\sigma}$$

Στο σημείο Α έχουμε $E_v, I_{\rho, \beta\mu}, n=n_v$ και $U = E_v + I_{\rho, \beta} \cdot R_v$ (1)

$$E_v = \Phi_{I_{\rho, \beta}} \cdot \Omega \cdot C \quad (2)$$

Αν στο Α κόψουμε μια βαθμίδα $r_{βν}$ πηγαίνουμε στο Β στην αντίσταση δηλαδή $R_{ν-1}$ στη θέση αυτή Β έχουμε τις σχέσεις:

$$U = E'_{ν} + I_{ρμεγ} \cdot R_{ν-1} \quad (3)$$

$$E'_{ν} = \Phi I_{ρμεγ} \cdot \Omega \cdot C \quad (4)$$

$$\text{Επίσης έχουμε } \frac{U}{I_{ρμεγ}} = R_{ολ} = R_{εκ} + R_{δσ} + R_{ρ} = R_{ν} \text{ και καλώ } \alpha = \frac{\Phi_{μεγ}}{\Phi_{βαθμ}} \text{ και } \kappa = \frac{I_{ρμεγ}}{I_{ρβαθμ}}$$

$$\text{Διαιρώ κατά μέλη τις σχέσεις 2, 4 οπότε έχω : } \frac{E_{ν}}{E'_{ν}} = \frac{\Phi_{β}}{\Phi_{μ}} = \frac{1}{\alpha} \text{ από την εξίσωση 3 } \Rightarrow$$

$$R_{ν-1} = \frac{U - E'_{ν}}{I_{ρμεγ}} = \frac{U - \alpha \cdot E_{ν}}{I_{ρμεγ}} = \frac{U - \alpha(U - I_{ρβαθμ} \cdot R_{ν})}{I_{ρμεγ}} = R_{ολ} \cdot (1 - \alpha) + \alpha \cdot \frac{I_{ρβ}}{I_{ρμεγ}} \cdot R_{ν}$$

$$R_{ν-1} = R_{ολ} \cdot (1 - \alpha) + \frac{\alpha}{\kappa} \cdot R_{ν} \quad (5)$$

αυτή η σχέση συνδέει δυο διαδοχικές βαθμίδες. Εάν θέσω σε αυτή τη σχέση όπου ν το $\nu-1$ θα έχω

$$\text{έχω } R_{\nu-2} = R_{ολ} \cdot (1 - \alpha) + \frac{\alpha}{\kappa} R_{\nu-1} \quad (6)$$

$$\text{η βαθμίδα } r_{\beta\nu-1} = R_{\nu-1} - R_{\nu-2} = \frac{\alpha}{\kappa} \cdot (R_{\nu} - R_{\nu-1}) = \frac{\alpha}{\kappa} \cdot r_{\beta\nu} \Leftrightarrow \frac{r_{\beta\nu}}{r_{\beta\nu-1}} = \frac{\kappa}{\alpha} = \frac{I_{ρμεγ}}{I_{ρβαθμ}} \cdot \frac{\Phi_{βαθμ}}{\Phi_{μεγ}} = \lambda \quad (7)$$

$$\text{ειδικά για } \nu=1 \text{ η σχέση 5 μας δίνει } R_0 = R_{ρ} + R_{δς} = R_{ολ} \cdot (1 - \alpha) + \frac{\alpha}{\kappa} \cdot R_1 \quad (8)$$

διαιρώ κατά μέλη τις ροπές

$$\frac{M_{β}}{M_{μεγ}} = \frac{\Phi_{(1βαθ)} \cdot I_{ρβαθμ} \cdot C}{\Phi_{(1μεγ)} \cdot I_{ρμεγ} \cdot C} = \frac{\Phi_{(1βαθ)} \cdot I_{ρβαθμ}}{\Phi_{(1μεγ)} \cdot I_{ρμεγ}} \Rightarrow \frac{\Phi_{β}}{\Phi_{μεγ}} = \frac{M_{β}}{M_{μεγ}} \cdot \frac{I_{ρμεγ}}{I_{ρβαθμ}} \quad (9)$$

$$\text{η σχέση 7 } \Rightarrow \frac{\Phi_{β}}{\Phi_{μεγ}} = \lambda \frac{I_{ρβ}}{I_{ρμεγ}} \text{ και η 9 γίνεται}$$

$$\lambda \frac{I_{ρβαθμ}}{I_{ρμεγ}} = \frac{M_{βαθμ}}{M_{μεγ}} \cdot \frac{I_{ρμεγ}}{I_{ρβαθμ}} \Rightarrow \frac{M_{βαθμ}}{M_{μεγ}} = \lambda \left(\frac{I_{ρβαθμ}}{I_{ρμεγ}} \right)^2 \text{ και επομένως οι βαθμίδες είναι ίσες με } \lambda =$$

$$\frac{M_{βαθμ}}{M_{μεγ}} \cdot \left(\frac{I_{ρμεγ}}{I_{ρβαθμ}} \right)^2$$

ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΤΡΟΦΩΝ ΜΗΧΑΝΗΣ ΜΕ ΤΟ ΖΕΥΓΟΣ WARD LEONARD

Πρόκειται για μια εφαρμογή της μεθόδου μεταβολής της τάσης σε μηχανή ανεξάρτητης διέγερσης. Ο κινητήρας Σ.Ρ Μ του οποίου ελέγχεται η περιστροφική ταχύτητα, από το ρεύμα

διέγερσης και από την τάση της γεννήτριας G η οποία κινείται συνήθως από τριφασικό ηλεκτροκινητήρα.

Το κοινό ρεύμα τυμπάνου είναι

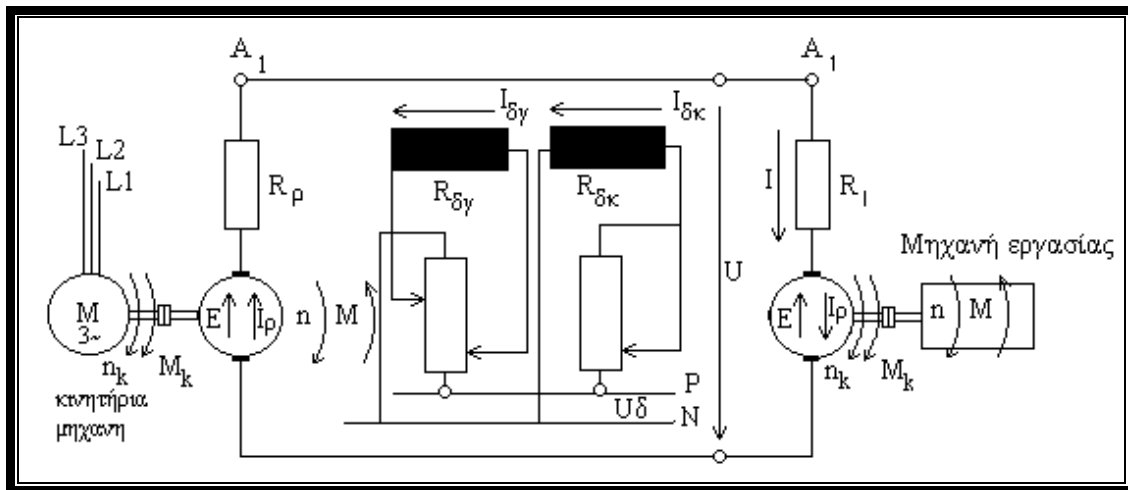
$$I = \frac{E_1 - E_2}{R_{\rho 1} + R_{\rho 2}}$$

$$E_1 = C_1 \cdot \Omega_1 \cdot \Phi_1 \quad E_2 = C_2 \cdot \Omega_2 \cdot \Phi_2$$

$$U = E_1 - I \cdot R_{\rho 1} = E_2 + I \cdot R_{\rho 2} \Rightarrow E_2 = E_1 - I(R_{\rho 1} + R_{\rho 2})$$

$$C_2 \cdot \Omega_2 \cdot \Phi_2 = E_1 - I \cdot (R_{\rho 1} + R_{\rho 2})$$

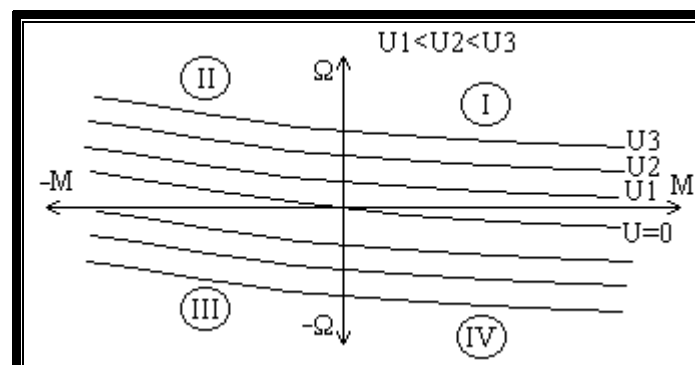
$$\Omega_2 = \frac{E_1}{C_2 \cdot \Phi_2} - \frac{(R_{\rho 1} + R_{\rho 2})}{(C_2 \cdot \Phi_2)^2} \cdot M_2$$

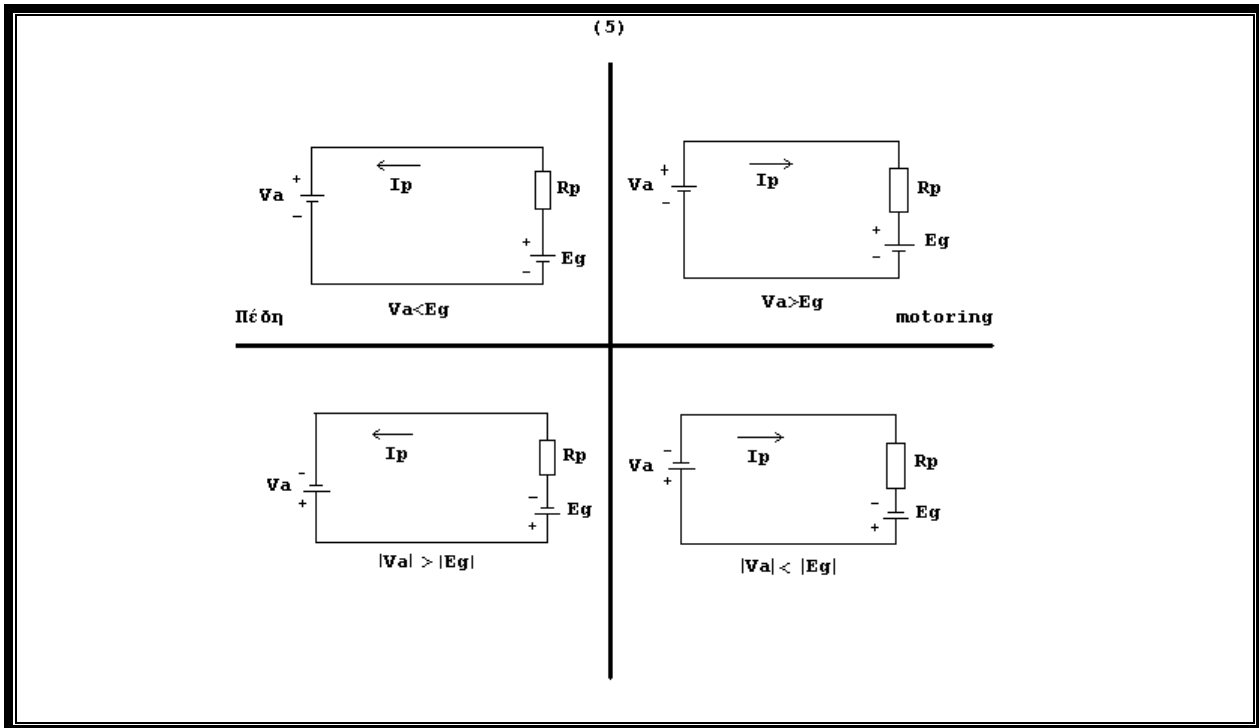


$$E_{\gamma} = U + I_{\rho 1} R_{\rho} \quad E_{\kappa} = U - I_{\rho 2} R_{\rho 1}$$

Το σχήμα αυτό δείχνει τα μεγέθη της μηχανής στις λειτουργίες της σε κάθε τεταρτημόριο που συμβαίνει στο σύστημα WARD-LEONARD. Οι παρακάτω μηχανικές χαρακτηριστικές έχουν γίνει με παράμετρο το ρεύμα διέγερσης της γεννήτριας ($I_{\delta \gamma}$).

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η αντιστοιχία της λειτουργικής κατάστασης της μηχανής στα αντίστοιχα τεταρτημόρια. Ο δρομέας αντιστοιχεί με μια πηγή E_{γ} .





Από την σχέση που μας δίνει την $\Omega_2 = \frac{E_1}{C_2 \cdot \Phi_2} - \frac{R_{\rho 1} + R_{\rho 2}}{C_2 \cdot \Phi_2} \cdot I = \frac{E_1}{C_2 \cdot \Phi_2} - \frac{R_{\rho 1} + R_{\rho 2}}{(C_2 \cdot \Phi_2)^2} \cdot M$ ότι με σταθερή τη διέγερση του κινητήρα και μεταβολή της διέγερσης της γεννήτριας επιτυγχάνεται μεταβολή της τάσης μεταξύ των τιμών $-U_{0g}$ μέχρι U_{0n} . Οι παράλληλες χαρακτηριστικές φόρτισης καθιστούν δυνατή τη λειτουργία και στα 4 τεταρτημόρια, δηλαδή

Στο 1ο τεταρτημόριο λειτουργεί ως κινητήρας, και κινείται δεξιόστροφα. $E_g > E_k$, $I_{\delta g} > 0$, $E_g > 0$, $U_1 < U_2 < U_3 < U_4$

Στο 2ο τεταρτημόριο λειτουργεί ως γεννήτρια, κινείται δεξιόστροφα και δίνει ενέργεια στο δίκτυο. $E_g < E_k$, $I_{\delta g} > 0$, $E_g > 0$.

Στο 3ο τεταρτημόριο λειτουργεί ως κινητήρας, και κινείται αριστερόστροφα. $|E_g| > |E_k|$, $E_g < 0$ και $E_k < 0$.

Στο 4ο τεταρτημόριο λειτουργεί ως γεννήτρια, κινείται αριστερόστροφα και δίνει ενέργεια στο δίκτυο. $E_g < 0$, $E_k < 0$, $|E_g| < |E_k|$

Το ρεύμα I είναι θετικό όταν $E_{gen} > E_{kin}$

Και αρνητικό όταν $E_{gen} < E_{kin}$

Με εξασθένιση του πεδίου του κινητήρα M επιτυγχάνεται περαιτέρω αύξηση της περιστροφικής ταχύτητας.

Η γεννήτρια DC μπορεί βέβαια να αντικατασταθεί από μετατροπέα ηλεκτρονικών ισχύος. Με τα ηλεκτρονικά ισχύος αποφεύγονται τα εξής μειονεκτήματα του ζεύγους W-L :

- Ο χαμηλός βαθμός απόδοσης του ζεύγους λόγω των απωλειών των 3 μηχανών.
- Η περιορισμένη ταχύτητα ελέγχου λόγω της μεγάλης αυτεπαγωγής της διέγερσης.

Τα προβλήματα όμως που δημιουργούν οι αρμονικές των μετατροπέων αυτών καθιστούν το ζεύγος W-L αναντικατάστατο σε ελέγχους περιστροφικής ταχύτητας υψηλών απαιτήσεων και ειδικά σε μεγάλες ισχύς άνω των 50 KW. Η περιοχή ρύθμισης των στροφών είναι 1/10 και μπορεί σε συνδυασμό με την διέγερση του κινητήρα να φθάσει το 1/100

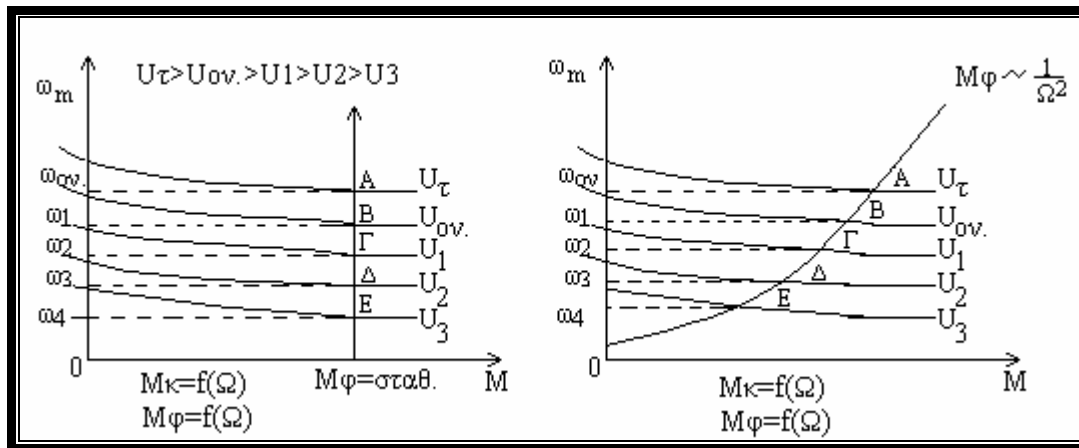
ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΙΚΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΣΕ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΗΣ ΔΙΕΓΕΡΣΗΣ

Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα των κινητήρων ΣΡ συγκριτικά με τους κινητήρες Ε.Ρ είναι ότι προσφέρουν τις καλύτερες δυνατότητες ελέγχου της περιστροφικής ταχύτητας από τεχνική και οικονομική άποψη.

$$\omega = \frac{U}{C \cdot \Phi} - \frac{R_p + R}{C^2 \cdot \Phi^2} \cdot M$$

Από τη σχέση αυτή φαίνεται ότι η μεταβολή των στροφών μπορεί να γίνει με μεταβολή της τάσης U, της αντίστασης R_p προσθέτοντας μια αντίσταση R, και της μαγνητικής ροής (ρεύματος διέγερσης) Φ για μία δεδομένη ροπή M.

ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΤΑΣΗΣ



Στα σχήματα αυτά παρουσιάζεται η μηχανική χαρακτηριστική του κινητήρα για ένα φορτίο σταθερής ροπής και για ένα φορτίο αυξανόμενης ροπής, οδηγούμενα με διαφορετικές τάσεις. Η οδήγηση αυτών των φορτίων μπορεί να γίνει ομαλά από μηδενικές στροφές ($\omega=0$) έως τις ονομαστικές (ω_{ov})

Η μεταβαλλόμενη τάση παρέχεται από γεννήτρια συνεχούς ρεύματος (Ward - Leonard) ή από μετατροπείς ηλεκτρονικών ισχύος, που είναι η πλέον διαδεδομένη μέθοδος για έλεγχο των στροφών ενός κινητήρα.

Οι καμπύλες μετατοπίζονται παράλληλα όταν μεταβάλλεται η τάση. Η μέθοδος αυτή προϋποθέτει σταθερή ροή διέγερσης Φ, άρα, είναι εφαρμόσιμη σε κινητήρες ξένης διέγερσης αλλά και σε κινητήρες σειράς, δεδομένου ότι για την ίδια ροπή, πρέπει να παραμείνουν αμετάβλητα το ρεύμα και η μαγνητική ροή. Οι καμπύλες κινητήρα παράλληλης διέγερσης, δίνονται βέβαια από την σχέση

$$\Omega = \frac{U}{C \cdot \Phi} - \frac{R_p + R}{C^2 \cdot \Phi^2} \cdot M$$

ενώ οι καμπύλες κινητήρα σειράς από την

$$\Omega_m = \frac{U}{\sqrt{C \cdot K \cdot M}} - \frac{R_p + R_{\delta\sigma} + R}{C \cdot K}$$

Η μέθοδος αυτή προσφέρεται για τη μείωση της περιστροφικής ταχύτητας, και μόνο για περιορισμένη αύξησή της, στο μέτρο που είναι επιτρεπτή η αύξηση της τάσης του τυμπάνου. Η αύξηση της τάσης περιορίζεται κυρίως από την μέγιστη επιτρεπτή τάση μεταξύ των τομέων του συλλέκτη.(30 volt).

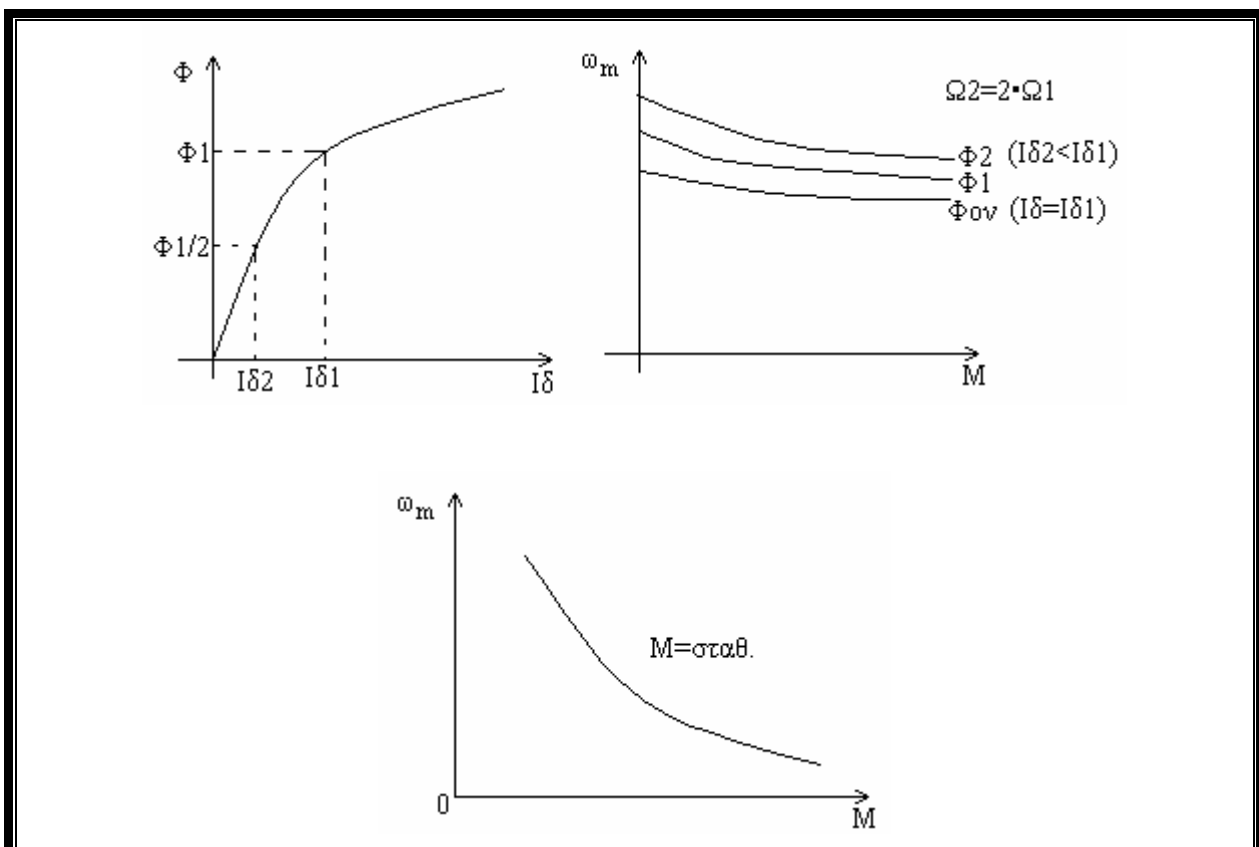
Η ισχύς για ονομαστική ροπή είναι ανάλογη της $P_{ον} = M \cdot \Omega_{ον}$

για χαμηλή όμως ταχύτητα ω η ισχύς P είναι κάπως μικρότερη λόγω του μειωμένου αερισμού της μηχανής .

ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΔΙΕΓΕΡΣΗΣ ΣΕ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΗΣ ΔΙΕΓΕΡΣΗΣ

Η εξασθένιση του μαγνητικού πεδίου από την σχέση $I_{\delta} = \frac{U_{\delta}}{R_{\delta} + R'_{\delta}}$, βλέπουμε ότι μπορεί να

μεταβάλλοντας την U_{δ} είτε την R'_{δ} που είναι το πιο απλό και οικονομικό. Η μείωση αυτή του μαγνητικού πεδίου προκαλεί αύξηση της περιστροφικής ταχύτητας. Η ενίσχυση του πεδίου η οποία είναι αναγκαία για τη μείωση της περιστροφικής ταχύτητας, δεν είναι συνήθως δυνατή, γιατί λόγω του κορεσμού των κυρίων μαγνητικών διαδρομών, απαιτούνται μεγάλα ρεύματα διεγέρσεως ,τα οποία υπερθερμαίνουν την περιέλιξη διεγέρσεως. Στον κινητήρα εξάλλου παράλληλης διέγερσης ,είναι δυνατή η αυχομείωση του ρεύματος διέγερσης.



Οι καμπύλες $\omega = f(M)$ για διάφορες τιμές της μαγνητικής ροής Φ δεν είναι μεταξύ τους παράλληλες

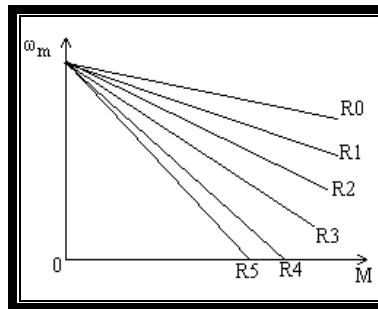
γιατί αλλάζει η κλίση $\frac{R_{\rho}}{C^2 \cdot \Phi^2}$ των ευθειών.

Η περιστροφική ταχύτητα περιορίζεται προς τα πάνω για λόγους μηχανικούς, θερμικούς και μετάβασης. Πραγματοποιείται για αύξηση του αριθμού στροφών πάνω από τις $\Omega_{ον}$. Το όριο βάσει των κανονισμών είναι $\Omega_{επιτ} = \max\{1,5 \cdot \Omega_{ον}, 1,2 \cdot \Omega_{μεγ.λειπ}\}$

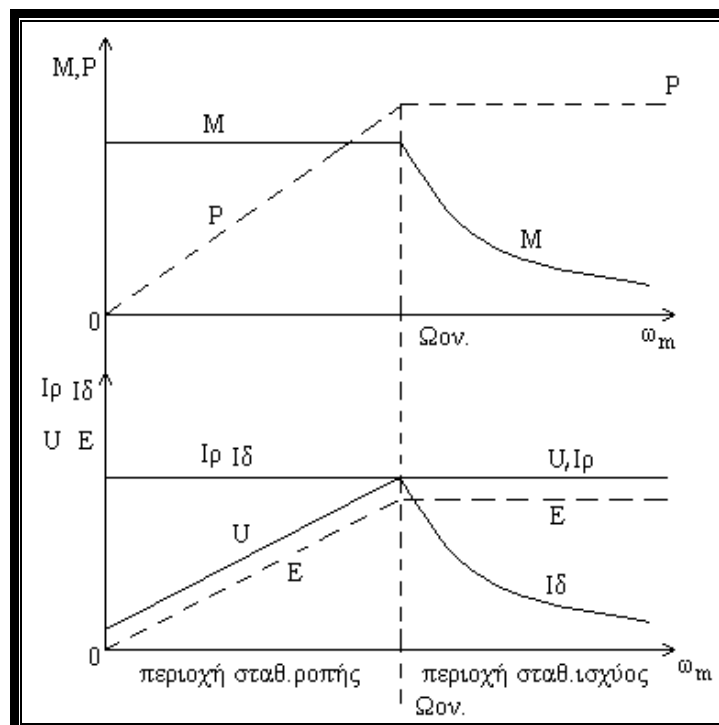
Αν δίνονται τα όρια των στροφών π.χ. $n=500 \div 1500 \text{rpm}$ τότε $n_{επιτ} = \{1,5 \cdot 500 = 750, 1,2 \cdot 1500 = 1800\} \text{rpm}$.

ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΣΤΟ ΚΥΚΛΩΜΑ ΤΥΜΠΑΝΟΥ

Αυτή προκαλεί μείωση της τάσης του τυμπάνου, και μείωση της περιστροφικής ταχύτητας όπως προκύπτει από την σχέση των στροφών. Η διέγερση μένει σταθερή επειδή το ρεύμα παραμένει το ίδιο. Με την σύνδεση της αντίστασης αυτής η ταχύτητα μειώνεται κατά την σταθερή ποσότητα $\Delta\omega = R/C \cdot K$ ανεξάρτητα από την φόρτιση όπως φαίνεται στο σχήμα. Η εξέταση του θέματος αυτού έχει γίνει σε προηγούμενο μάθημα που αναφέρεται στην εκκίνηση του ίδιου κινητήρα. Στο σχήμα εκείνο βλέπουμε ότι για μια σταθερή ροπή, μπορούμε να έχουμε διαφορετικές στροφές για διαφορετικές τιμές των αντιστάσεων. Αυτά ισχύουν για κινητήρα ανεξάρτητης ή παράλληλης διέγερσης.



ΜΙΑ ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΕΞΕΤΑΣΗ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΩΝ U, Φ



Εδώ διακρίνουμε την περιοχή σταθερής ροπής U , την περιοχή σταθερής ισχύος την περιοχή σταθερής ροπής από 0 στροφές έως τις Ω ισχύουν οι σχέσεις

$$M_{εσ} = \Phi(I_{\delta}) \cdot I_p \cdot C \quad (1)$$

$$U = E + I_p \cdot R_p \quad (2)$$

$$\Omega = \frac{U - I_p \cdot R_p}{C \cdot \Phi} \quad (3)$$

$$P_{εσ} = M_{εσ} \cdot \Omega \quad (4)$$

Από τις σχέσεις αυτές φαίνεται ποια μεγέθη πρέπει να μεταβληθούν και ποια να παραμείνουν σταθερά για να έχουμε σταθερή ροπή, όταν οι στροφές μεταβάλλονται από 0 μέχρι Ω . Από την σχέση (1) για να είναι $M =$ σταθερό πρέπει το I_{δ} να είναι σταθερό όπως και το I_p . Όμως επειδή οι στροφές μεταβάλλονται το I_{δ} , I_p είναι σταθερά πρέπει να αυξάνεται η τάση U και η E , αφού

$$E = \Phi(I_{\delta}) \cdot \Omega \cdot C \sim \Omega$$

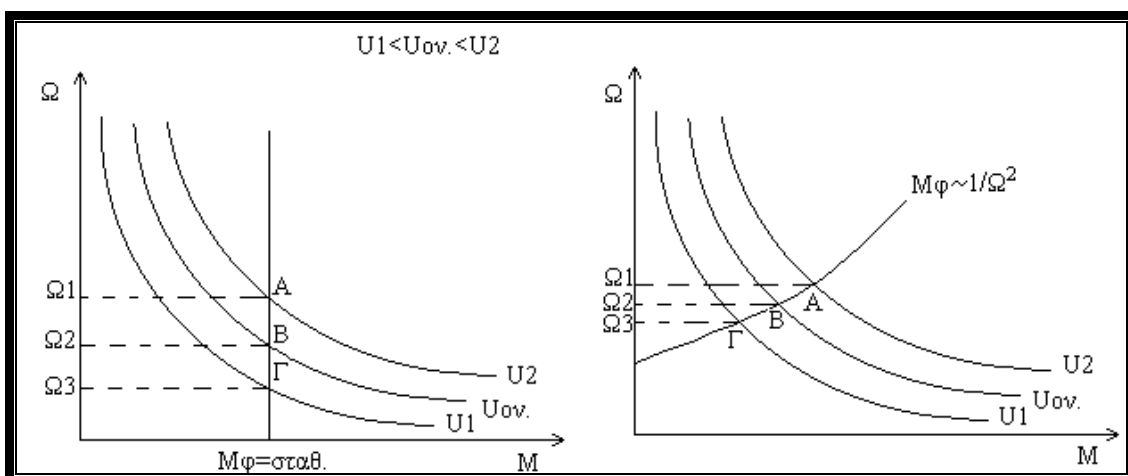
Η ισχύς P είναι ανάλογη του Ω αφού $M_{εσ}$ είναι σταθερό.

Στην περιοχή σταθερής ισχύος πέραν των ονομαστικών στροφών ισχύουν τα εξής: η σχέση (4) μας λέει ότι $M \cdot \Omega =$ σταθερό. Η M μεταβάλλεται από την σχέση (1) συνεπώς το $\Phi(I_{\delta})$ μεταβάλλεται και το I_p παραμένει σταθερό. Αφού I_p είναι σταθερό από την σχέση (2) συνεπάγεται ότι τα $U, E =$ σταθερά. Συνεπώς για να έχουμε σταθερή ισχύ πέρα από τις ονομαστικές στροφές πρέπει τα U, I_p να είναι σταθερά και να μεταβάλλουμε το ρεύμα διέγερσης.

ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΙΚΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΣΕ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΔΙΕΓΕΡΣΗΣ ΣΕΙΡΑΣ

ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΤΑΣΗΣ

Η μεταβαλλόμενη τάση που εφαρμόζεται σε κινητήρα σειράς προέρχεται από μετατροπείς ηλεκτρονικών ισχύος. Αν ο κινητήρας σειράς δοκιμασθεί με φορτίο και με τάσεις $U_1, U_2, U_{ον}$. τότε οι μηχανικές χαρακτηριστικές του κινητήρα θα μετατοπισθούν προς τα κάτω και για ένα φορτίο σταθερής ροπής ή ένα άλλο αυξανόμενης ροπής, θα έχουν την μορφή των παρακάτω σχημάτων.



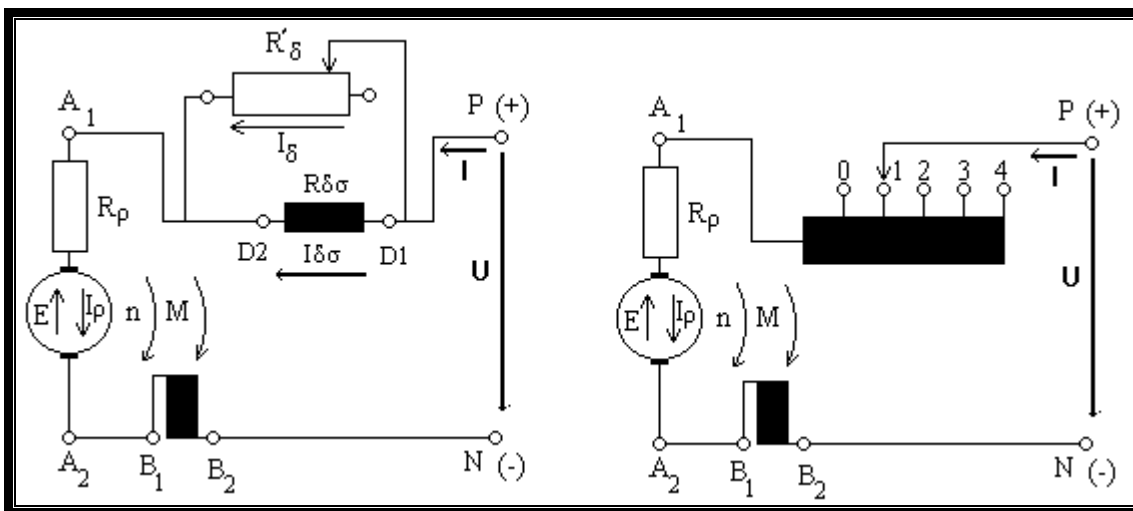
Σε αυτές τις χαρακτηριστικές παρατηρούμε ότι μπορούμε να οδηγήσουμε τα αναφερθέντα φορτία με μικρότερη τάση και ομαλή εκκίνηση με ταχύτητες $\omega_1, \omega_2, \omega_{ον}$ ή και περισσότερες. Η μέθοδος αυτή είναι όμοια με την μέθοδο μεταβολής της αντίστασης του δρομέα.

ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΔΙΕΓΕΡΣΗΣ

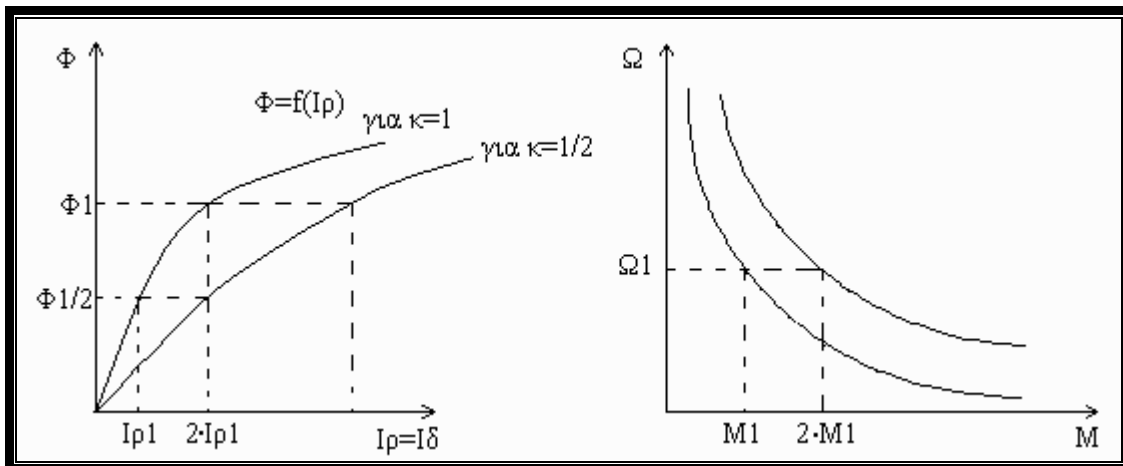
Η εξασθένιση του πεδίου γίνεται με την σύνδεση ροοστάτη , παράλληλα στο τύλιγμα διέγερσης. Εδώ είναι επικίνδυνη η βραχυκύκλωση του ροοστάτη, η οποία θα προκαλούσε μηδενισμό της διέγερσης και συνεπώς αύξηση των στροφών στο άπειρο και καταστροφή της μηχανής. Σε αυτή την περίπτωση το $I = I_{\delta} + I_{\delta\sigma} = I_p$ και

$$I_{\delta} < I_p \quad \Omega = \frac{(U - I_p \cdot R_p)}{C \cdot \Phi(I_{\delta})} \quad \text{και} \quad I_{\delta\sigma} R_{\delta\sigma} = I_{\delta} R_{\delta} \quad \text{Αν η } R_{\delta} \text{ αυξηθεί τότε το ρεύμα } I_{\delta}$$

μειώνεται, το ρεύμα $I_{\delta\sigma}$ αυξάνεται και συνεπώς οι στροφές μειώνονται. Αν η R_{δ} μειωθεί τότε το ρεύμα I_{δ} αυξάνεται, το ρεύμα $I_{\delta\sigma}$ μειώνεται και οι στροφές αυξάνονται. Άλλος τρόπος για την εξασθένιση του πεδίου είναι να χρησιμοποιήσουμε τύλιγμα διέγερσης με λήψεις του αριθμού σπειρών του τυλίγματος διέγερσης που είναι και ο τρόπος που προτιμάται περισσότερο όπως φαίνεται στο σχήμα



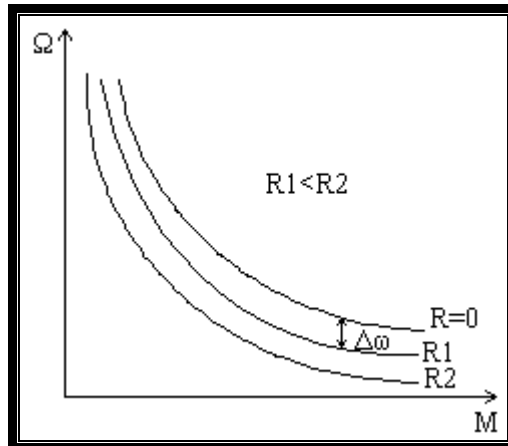
Η μαγνητική ροή (Φ) συναρτήσει του ρεύματος διέγερσης έχει την μορφή του παρακάτω σχήματος.



όπου $k = \frac{R_{\delta\sigma}}{R_{\delta\sigma} + R'_{\delta}}$ και $\alpha = \frac{1}{k}$. Στην περίπτωση των σπειρών $k = \frac{W}{W_{\omega}}$ όπου w οι σπείρες περνά

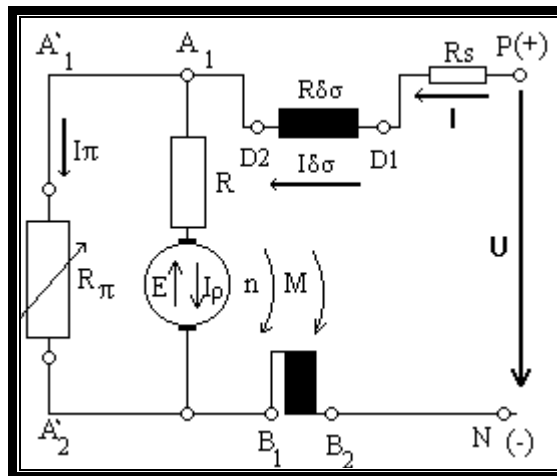
το ρεύμα διέγερσης και w_{ω} ο ολικός αριθμός σπειρών. Στο σχήμα φαίνεται ότι για να αναπτύξει ο κινητήρας την ίδια ροπή πρέπει να στραφεί με περισσότερες στροφές

ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΣΤΟ ΚΥΚΛΩΜΑ ΤΟΥ ΤΥΜΠΑΝΟΥ



Με τη σύνδεση αντίστασης σε σειρά με το τύλιγμα διέγερσης επιτυγχάνεται μείωση της περιστροφικής ταχύτητας κατά τη σταθερή ποσότητα $\Delta\omega = R/C$ ανεξάρτητα από τη φόρτιση. Η εξέταση του θέματος αυτού είναι ίδια με την θεωρία της εκκίνησης ενός κινητήρα σειράς με αντίσταση στο κύκλωμα του δρομέα (υπολογισμός βαθμίδων της αντίστασης εκκίνησης)

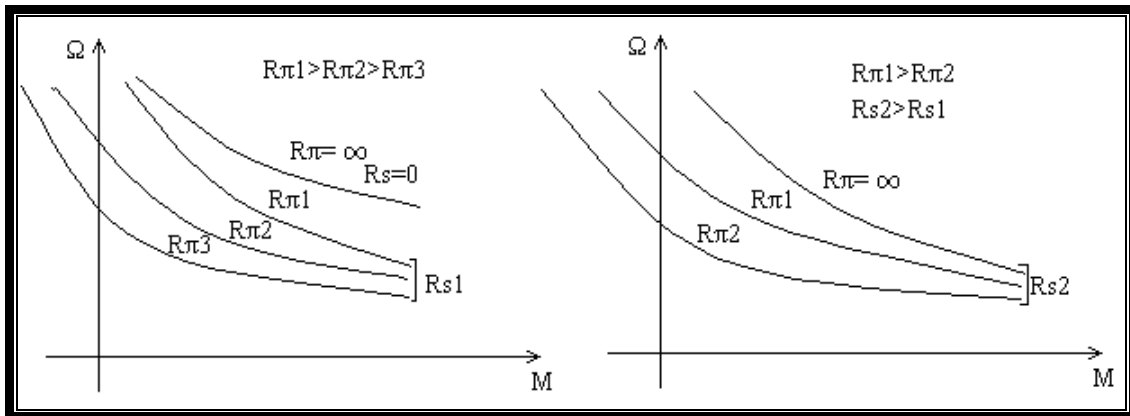
ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΩΝ ΣΤΡΟΦΩΝ ΜΕ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΠΑΡΑΛΛΗΛΗ ΣΤΟΝ ΔΡΟΜΕΑ



Στο σχήμα αυτό φαίνεται η συνδεδεμένη αντίσταση R_{π} που είναι παράλληλη στον δρομέα. Οι σχέσεις που ισχύουν εδώ είναι οι εξής: $I_{\delta\sigma} = I$ (1) $I = I_r + I_{\delta\sigma}$ (2) $U_{AB} = U - I_r R_{\delta\sigma} = U - I R_{\delta\sigma}$ (3) $U_{A_1 B_1} = E + I_r R_r$ (4) Η διέγερση του κινητήρα είναι πλήρης γιατί το ρεύμα που περνά είναι και ρεύμα δικτύου. Αυτό που μεταβάλλεται είναι η ροπή γιατί το ρεύμα I διακλαδίζεται στην R_{π} και στην R_r . Η ροπή γίνεται μικρότερη γιατί το $I_r < I = I_{\delta\sigma}$ [η ροπή $M = C \cdot I_r \cdot \Phi(I_{\delta\sigma})$]. Έτσι ο κινητήρας στρέφεται με λιγότερες στροφές. Παρατηρούμε ότι στην λειτουργία του κινητήρα χωρίς φορτίο οι στροφές έχουν περιορισμένη τιμή από το γεγονός πως η μαγνητική ροή δεν είναι ίση με το μηδέν όπως θα ήταν στην περίπτωση που δεν θα υπήρχε η αντίσταση R_{π} . Το ρεύμα που δημιουργεί αυτή την ροπή είναι

$$I_{\delta\sigma} = I = I_{\pi} = \frac{U_{AB}}{R_{\pi}} \text{ Από την σχέση αυτή φαίνεται ότι το } I \sim \frac{1}{R_{\pi}}$$

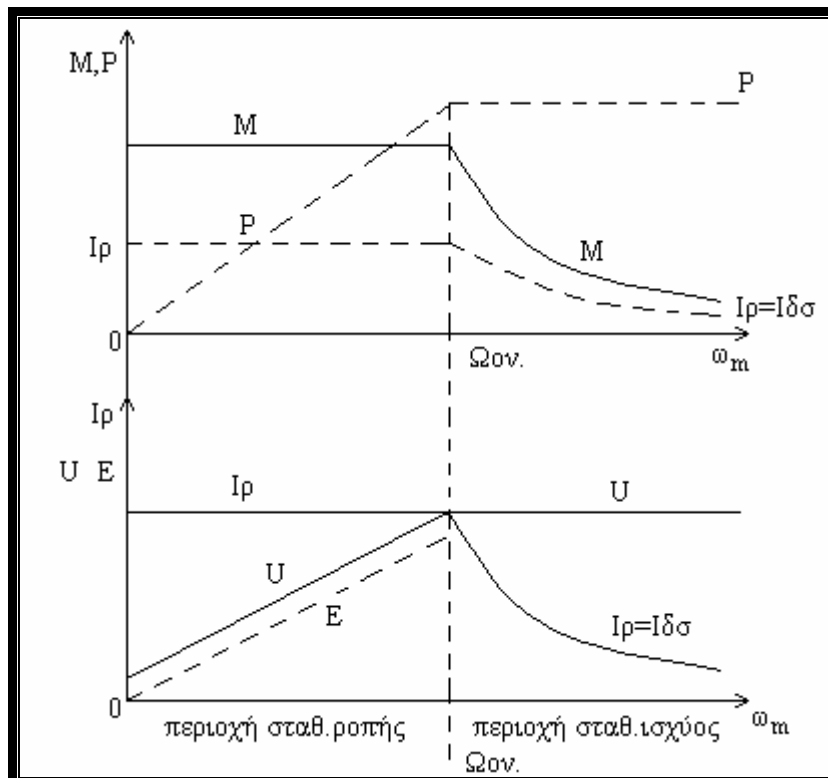
Επειδή είναι $I_{\delta\sigma} \sim \Phi \sim \frac{1}{\Omega}$ έπεται ότι $\Omega \sim R_{\pi}$. Δηλαδή όσο μικρότερη είναι η R_{π} τόσο χαμηλότερα κατεβαίνει η μηχανική χαρακτηριστική $\Omega=f(M)$. Στα παρακάτω σχήματα φαίνονται οι μηχανικές χαρακτηριστικές για ορισμένες τιμές της αντίστασης R_{π} και R_s



Αυτή η μέθοδος εφαρμόζεται στην κίνηση ανυψωτικών μηχανημάτων και έχει απώλειες λόγω των αντιστάσεων R_{π} , R_s .

ΟΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ $M, P=f(\omega)$ και $I_p, I_{\delta\sigma}=f(\omega)$

Μια συνοπτική εξέταση της μηχανικής χαρακτηριστικής από την επίδραση της μεταβολής των U , Φ



Εδώ διακρίνουμε την περιοχή σταθερής ροπής και την περιοχή σταθερής ισχύος. Εάν θέλουμε να έχουμε σταθερή ροπή τότε θα πρέπει το ρεύμα $I_p = \text{σταθερό}$ από την σχέση $M = k I_p^2$. Για

να είναι όμως το I_p σταθερό αφού μεταβάλλονται οι στροφές πρέπει από την σχέση $I_p = \frac{U - E}{R_p}$

(το $E = \Phi \Omega C$ συνεπώς μεταβάλλεται) η τάση U να μεταβληθεί για να φθάσουμε από ο στροφές στις ονομαστικές και να έχουμε σταθερή ροπή .

Στην περιοχή πέρα από τις $\omega_{\text{ων}}$ για να έχουμε σταθερή ισχύ $P = M \cdot \Omega = \text{σταθερό}$ πρέπει να ελέγχω το M έτσι ώστε το γινόμενο να είναι σταθερό . Το $M = \frac{E \cdot I_p}{\Omega} = \frac{(U - I_p R_p) \cdot I_p}{\Omega}$,άρα θα κρατήσουμε την τάση σταθερή

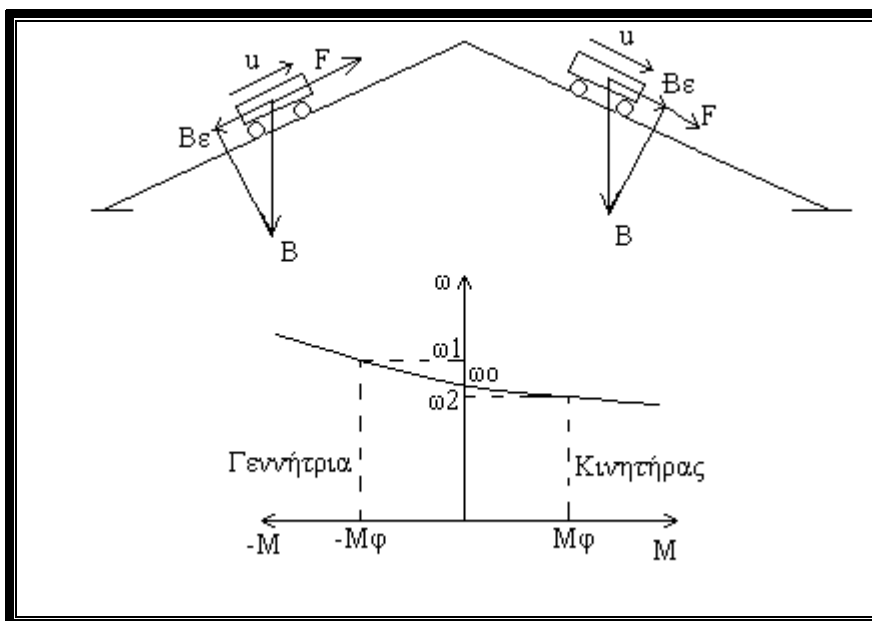
4ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΠΕΔΗΣΗ ΣΕ ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΚΙΝΗΣΕΙΣ

Τί είναι πέδηση; Πέδηση είναι το αντίθετο του φαινομένου της εκκίνησης. Μπορούμε δηλαδή να μεταβούμε από ένα αριθμό στροφών n , σε στάση $n=0$. Η ηλεκτρική πέδηση έχει πλεονεκτήματα έναντι της μηχανικής πέδης διότι α) δεν έχουμε τριβόμενα μέρη β) το έργο της πέδησης μετατρέπεται σε ωφέλιμο γ) υπάρχει η δυνατότητα να το ρυθμίσουμε. Υπάρχουν δύο είδη πέδησης. Α) η μία είναι όταν η μηχανή αλλάζει λειτουργία από κινητήρας σε γεννήτρια και β) αν αλλάξουμε πολικότητα ενώ δουλεύει ως κινητήρας. Η πέδηση δηλαδή η λειτουργία της μηχανής ως γεννήτριας χρησιμοποιείται στις εξής περιπτώσεις :

ΩΦΕΛΙΜΗ ΠΕΔΗΣΗ

Ηλεκτρικός σιδηρόδρομός σε κατήφορο



Την κίνηση προκαλεί η συνιστώσα του βάρους που είναι παράλληλη προς το κεκλιμένο επίπεδο της τροχιάς. Στη μόνιμη κατάσταση η ταχύτητα είναι σταθερή διότι ισχύει

$$M_{εξ} = M_2 + M_{τρ}$$

$M_{εξ}$ η ροπή κίνησης που προκαλεί η F

$M_{τρ}$

M_2 η ροπή του κινητήρα στον άξονα

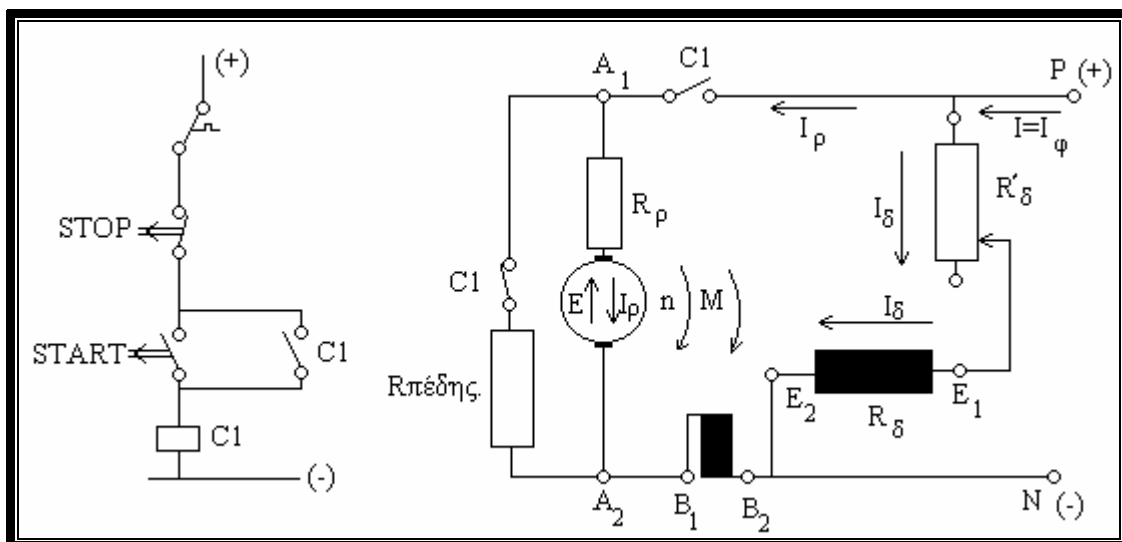
Εδώ διακρίνουμε δύο περιπτώσεις 1) Πέδηση ωφέλιμης ενέργειας. Σε αυτή περιορίζεται ο αριθμός στροφών γύρω από το n_0 (στροφές χωρίς φορτίο). Έτσι έχουμε ένα σταθερό αριθμό στροφών και μια ροπή. Το βάρος έχει επίσης μια ομότροπη ροπή και έτσι επιταχύνει την κίνηση προς τα κάτω. Όταν όμως το n γίνει αρκετά μεγάλο τότε η ΗΕΔ μεγαλύτερη από την U [όπου $\Phi = \text{σταθ.}$ και $U = \text{τάση δικτύου}$] άρα θα έχουμε λειτουργία της μηχανής ως γεννήτρια. Η φορά του ρεύματος θα αναστραφεί

άρα και η $M = \Phi \cdot I_p \cdot C = - M \text{ βάρους}$ δηλαδή αντίρροπη της ροπής του βάρους και επομένως έχουμε πέδηση .Η ενέργεια που επιστρέφει στο δίκτυο είναι (25 ÷ 30)% αυτής που απαιτείται για την ανύψωση του βάρους επειδή παρεμβάλλεται ο συντελεστής απόδοσης του κινητήρα και του τυμπάνου που περυτιλίγεται το συρματόσχοινο .Έτσι για $\eta_k = \eta_r = 0,80$ και $\eta_t = 0,65$ αν το σύστημα απορροφά 10 Kw τότε το φορτίο παραλαμβάνει $10 \cdot 0,85 \cdot 0,6 = 5,2 \text{ KW}$. Στην κάθοδο επανέρχονται από αυτήν την ισχύ $5,2 \cdot 0,80 \cdot 0,65 = 2,704 \text{ KW}$. Απαραίτητη προϋπόθεση για την ωφέλιμη πέδηση είναι α) να υπάρχει σύνδεση της μηχανής με το δίκτυο στο οποίο να υπάρχει τάση .β)να υπάρχουν καταναλωτές που θα παραλάβουν την ηλεκτρική ενέργεια π.χ. αντιστάσεις για την θέρμανση νερού ή την φόρτιση συσσωρευτών. Αν δεν υπάρχει μια από τις προϋποθέσεις αυτές το βάρος θα κατέλθει με μεγάλη ταχύτητα .Γι' αυτό η πέδηση αυτή συνδυάζεται και με μηχανικά μέσα πέδησης. Ο κινητήρας σειράς χρησιμοποιείται με δυσκολία γιατί με αλλαγή του ρεύματος I αλλάζει και η φορά της μαγνητικής ροής Φ . Χρειάζεται λοιπόν ειδική διάταξη για την διατήρηση της φοράς της ροής Φ . Η ενέργεια αυτή που παράγεται μπορεί να επιστραφεί στο δίκτυο μέσω CHOPPER.

ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΠΕΔΗΣΗ ΜΕ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ Ή ΜΕ ΕΛΕΓΧΟ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΠΕΔΗΣ (για κινητήρα ανεξάρτητης ή παράλληλης διέγερσης)

Η ηλεκτρική μηχανή χωρίζεται από το διάκενο στην περίπτωση που ήταν προηγουμένως συνδεδεμένη με αυτό και το κύκλωμα της κλείνεται με ωμική αντίσταση ενώ η διέγερση παραμένει σταθερή.

Η κινητική ενέργεια του μηχανήματος εργασίας μετατρέπεται από την ηλεκτρική μηχανή που λειτουργεί ως γεννήτρια σε ηλεκτρική ενέργεια η οποία καταστρέφεται υπό μορφή θερμικών απωλειών joule στην αντίσταση R.

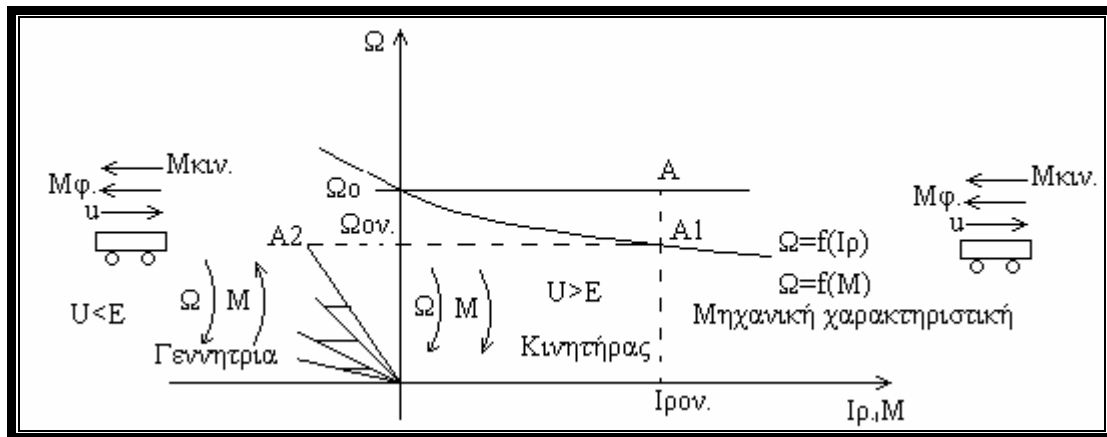


$W = I^2 \cdot R \cdot t$. Η αντίσταση δεν μπορεί να μειωθεί πολύ .Το $I_p = \frac{E}{R_p + R_\pi} = \frac{\Phi \Omega C}{R_p + R_\pi}$, $M = \Phi \cdot I_p \cdot C$ και

$\Omega = \frac{M \cdot (R_p + R_\pi)}{(C \cdot \Phi)^2}$ = Το κύκλωμα της διέγερσης παραμένει υπό τάση σταθερή . Η ταχύτητα της

μηχανής δεν μπορεί να γίνει μηδέν διότι ρεύμα παράγεται μόνον εφόσον η μηχανή στρέφεται. Η ταχύτητα είναι ανάλογη της αντίστασης R_π .

α) Εφαρμογή(πέδηση με έλεγχο της αντίστασης πέδης)

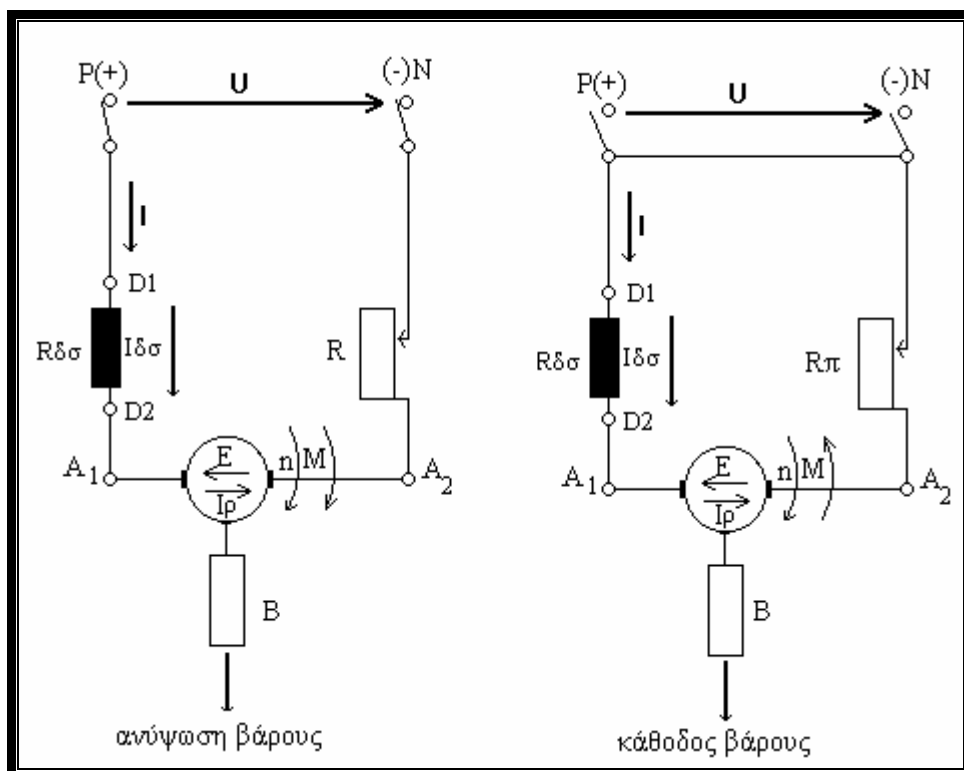


Έστω ότι το σημείο αρχικής λειτουργίας της μηχανής ως κινητήρα ήταν το A1 και το όχημα έχει μία ορισμένη κινητική ενέργεια.

Την πρώτη στιγμή μετά την μετατροπή της συνδεσμολογίας η περιστροφική ταχύτητα μένει αμετάβλητη λόγω της αδράνειας των περιστρεφόμενων μαζών, επομένως το νέο σημείο λειτουργίας είναι το A2. Η ροπή της γεννήτριας (G) πέδη το όχημα και μειώνει την περιστροφική ταχύτητα.

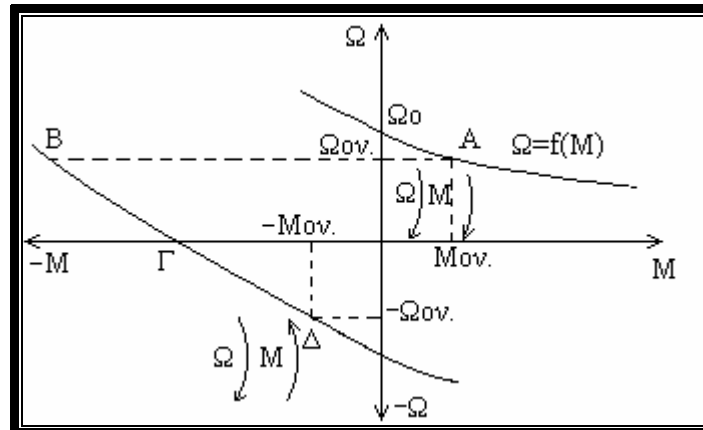
Σύμφωνα με την καμπύλη όμως μειώνεται και η ίδια η ροπή. Για αποτελεσματικότερη πέδηση χρησιμοποιείται κλιμακωτή αντίσταση (όπως στην εκκίνηση) με την οποία επιτυγχάνεται μεγάλη ροπή πέδησης ακόμη και όταν έχει μειωθεί πολύ η περιστροφική ταχύτητα.

Στην κίνηση ηλεκτρικών οχημάτων (έλξη) εφαρμόζεται συχνά η πέδηση με αντίσταση, σε κινητήρες με διέγερση σειράς. Η μηχανή λειτουργεί ως αυτοδιεγειρόμενη γεννήτρια.

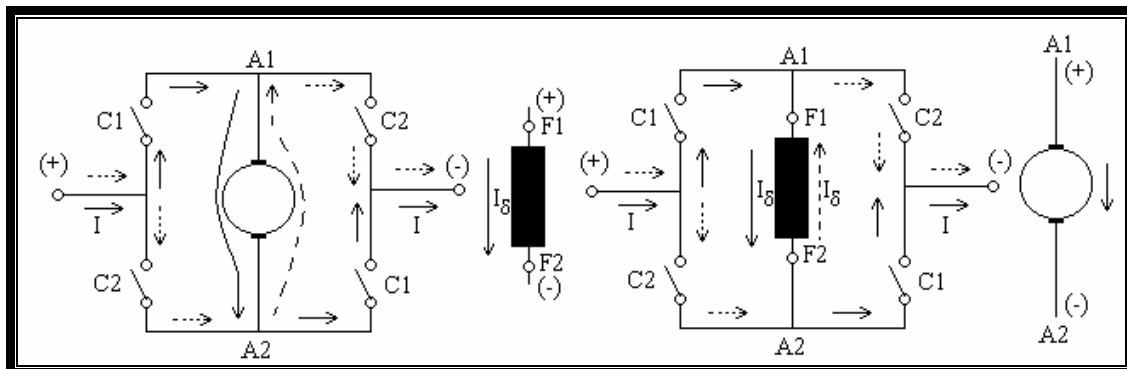


Ο κινητήρας αποσυνδέεται από το δίκτυο και γεφυρώνεται το τύλιγμα διέγερσης με την αντίσταση R_p . Τότε η ΗΕΔ = $E = \Phi \Omega C = I(R_p + R_{\delta\sigma} + R_p)$ και $M = \Phi \cdot I_p \cdot C$. Εφόσον $M = \text{σταθ.}$ και $I_p = \text{σταθ.}$ άρα από το $\Omega = \frac{M(R_p + R_{\delta\sigma} + R_p)}{(C\Phi)^2}$ συνεπάγεται ότι $\Omega \sim R$ και μικρή R σημαίνει ταχύτητα (Ω) μικρή.

ΠΕΔΗΣΗ ΜΕ ΑΛΛΑΓΗ ΠΟΛΙΚΟΤΗΤΑΣ



Αν ενώ περιστρέφεται ο κινητήρας αλλάξουμε την πολικότητα της διέγερσης αντιστρέφεται η μαγνητική ροή και η ΗΕΔ (η περιστροφική ταχύτητα δεν μεταβάλλεται λόγω αδράνειας) ενώ το ρεύμα γίνεται πολύ μεγάλο.



Στο σχήμα φαίνεται το κύριο κύκλωμα ενός αυτοματισμού αλλαγής πολικότητας. Με ένα μπουτών διπλής επαφής (κλειστή – ανοικτή) λειτουργεί ο ηλεκτρονόμος C1 και το ρεύμα έχει την φορά από το A1 προς το A2. Αν ενώ λειτουργεί ο κινητήρας πιάσουμε ένα άλλο μπουτών όμοιο του πρώτου (reverse) ο ηλεκτρονόμος C1 θα αποδιεγερθεί οι επαφές του C1 θα ανοίξουν και θα ενεργοποιηθεί ο ηλεκτρονόμος C2 οπότε το ρεύμα θα αλλάξει φορά και θα πηγαίνει από το A2 προς το A1. Στην μετάβαση αυτή οι στροφές του κινητήρα περνούν από το μηδέν και μετά αλλάζει φορά περιστροφής.

$$I = \frac{U - (-E)}{R_p} = \frac{U + E}{R_p}$$

Η αντίστοιχη ροπή $M = C \cdot I \cdot \Phi$ γίνεται πολύ μεγάλη και έχει αντίθετη φορά (ροπή πέδησης) τη φορά περιστροφής της μηχανής.

Η ροπή αυτή όχι μόνο πέδη την μηχανή έως την ακινητοποίηση, αλλά, εκκινεί τη μηχανή με την αντίθετη φορά περιστροφής π.χ κινητήρας που κινεί όχημα προς μία κατεύθυνση με σταθερή ταχύτητα.

Η χαρακτηριστική του κινητήρα παράλληλης διέγερσης είναι

$$\omega_{m1} = -\omega_{m0} - \frac{R_p}{(C \cdot \Phi)^2} \cdot M$$

$$\omega_{m2} = \omega_{m0} - \frac{R_p}{(C \cdot \Phi)^2} \cdot M \quad \omega_o = \frac{U}{C \cdot \Phi}$$

Η γωνιακή ταχύτητα κενού έγινε αρνητική λόγω της αντιστροφής της.

Η στιγμιαία ροπή πέδησης είναι πολύ μεγάλη (σημείο Β) ακινητοποιεί τον κινητήρα (σημείο Γ) και τον εκκινεί προς την αντίθετη φορά μέχρι το σημείο Δ όπου ισορροπεί.

Το όχημα κινείται τώρα με ταχύτητα ίση προς την αρχική, ενώ η ροπή φόρτισης έχει αντιστραφεί.

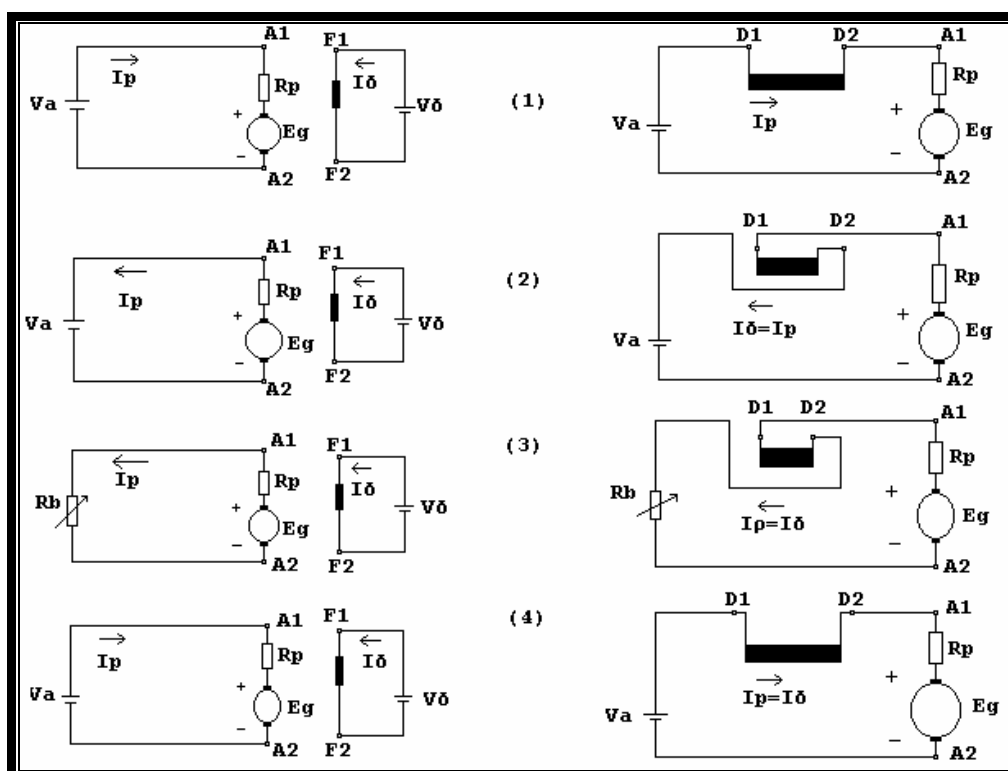
Η μέθοδος αυτή είναι ανεπίτρεπτη προπαντός για μεγάλες μηχανές και υπό πλήρη τάση. Μπορεί όμως να εφαρμοστεί με μειωμένη τάση ή με την παρεμβολή ωμικής αντίστασης.

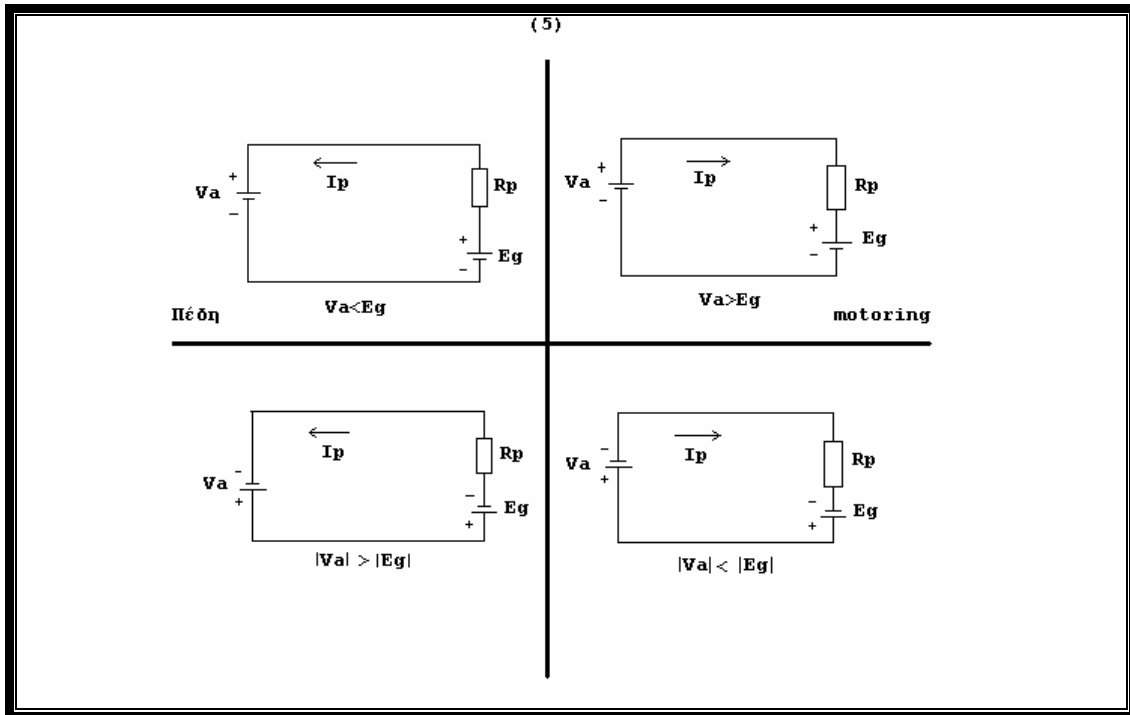
Το ίδιο αποτέλεσμα έχουμε, αν με αμετάβλητη διέγερση αλλάξουμε την φορά του ρεύματος στον δρομέα. Γι' αυτό η μέθοδος αυτή λέγεται και μέθοδος του αντιθέτου ρεύματος.

5^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΟΔΗΓΗΣΗ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΜΕ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ ΙΣΧΥΟΣ

Στα παρακάτω σχήματα φαίνονται οι λειτουργικές καταστάσεις ενός κινητήρα ανεξάρτητης διέγερσης και ενός κινητήρα σειράς. Στο σχήμα 1 λειτουργούν ως κινητήρες. Στο σχήμα 2 λειτουργούν ως γεννήτριες και επιστρέφουν ενέργεια στο δίκτυο (επανακτητική πέδη). Στο σχήμα 3 λειτουργούν ως γεννήτριες και την ενέργεια που παράγουν την καταναλώνουν επάνω στην αντίσταση. Είναι ένας τρόπος πέδης (δυναμική πέδη). Στο σχήμα 4 με κατάλληλο αυτοματισμό (ηλεκτρονόμοι) μπορεί να αλλάξει η φορά του ρεύματος και μπορούμε κάτω από ορισμένες προϋποθέσεις να σταματήσουμε ή και να αλλάξουμε φορά περιστροφής στους παρακάτω κινητήρες. Στο σχήμα 5 φαίνεται το ισοδύναμο ενός κινητήρα που λειτουργεί στα τέσσερα τεταρτημόρια κάτω από ορισμένες συνθήκες.



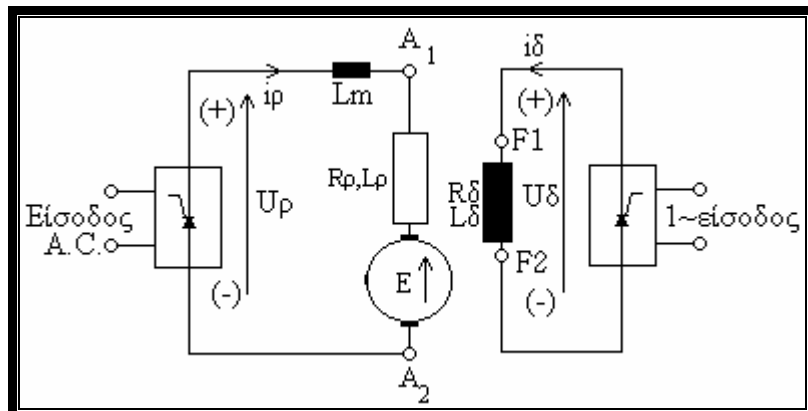


- 1] ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ
- 2] ΕΠΑΝΑΚΤΗΤΙΚΗ ΠΕΔΗ
- 3] ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΠΕΔΗ
- 4] ΠΕΔΗ ΑΝΤΙΘΕΤΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ
- 5] ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΤΑ ΤΕΣΣΕΡΑ ΤΕΤΑΡΤΗΜΟΡΙΑ

Η παραγόμενη E_g πρέπει να ικανοποιεί την σχέση

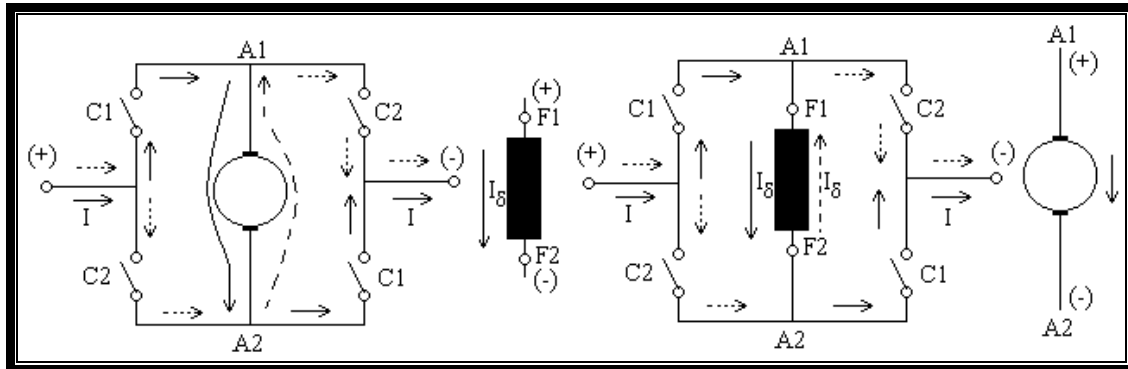
$$|U_a| < |E_g|$$

Αν το κύκλωμα του δρομέα ενός dc κινητήρα συνδεθεί στην έξοδο ενός μονοφασικού ελεγχόμενου ανορθωτή, η τάση του δρομέα μπορεί να μεταβληθεί μεταβάλλοντας την γωνία έναυσης του μετατροπέα. Οι AC – DC μετατροπείς μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να βελτιώσουν το $\Sigma.I.$ και να μειώσουν τις αρμονικές. Το βασικό κύκλωμα φαίνεται στο παρακάτω σχήμα για ένα κινητήρα ανεξάρτητης διέγερσης.



Για μικρή γωνία έναυσης το ρεύμα του δρομέα μπορεί να είναι ασυνεχές και αυξάνει τις απώλειες στον κινητήρα, τότε συνδέουμε ένα πηνίο εξομάλυνσης του ρεύματος, σε σειρά με το κύκλωμα του δρομέα για να μειώσει την διακύμανση του ρεύματος σε μια επιθυμητή τιμή. Επίσης ένας μετατροπέας συνδέεται στο κύκλωμα διέγερσης για να ελέγχεται το ρεύμα διέγερσης, με γωνία έναυσης thyristors αδ

Για να λειτουργήσει ο κινητήρας σε μια κατάσταση από τις προηγούμενες, χρειάζεται πολλές φορές να χρησιμοποιήσουμε ηλεκτρονόμους στο κύκλωμα του δρομέα ή στο κύκλωμα της διέγερσης, όπως στο σχήμα για αναστροφή του ρεύματος

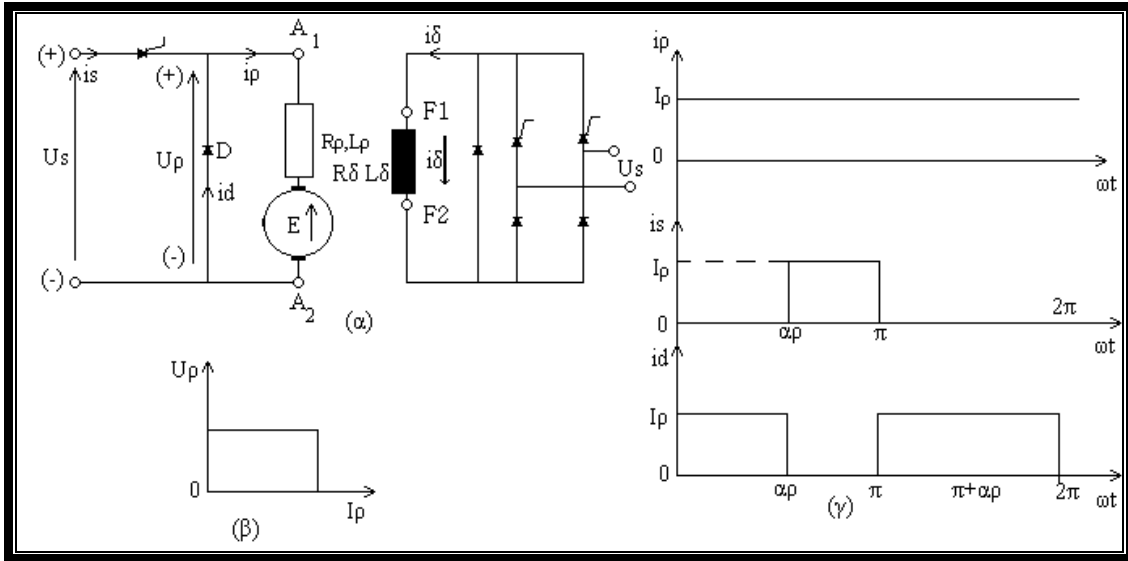


Για να μην πάρει μεγάλη τιμή η τάση της εξ' επαγωγής, το ρεύμα του δρομέα ή της διέγερσης στην αναστροφή πρέπει να είναι μηδέν. Η γωνία έναυσης ρυθμίζεται έτσι ώστε να δίνει ρεύμα μηδέν και επιπρόσθετα ένας νεκρός χρόνος 2-10ms της υπολογίζεται έτσι ώστε σίγουρα το ρεύμα να γίνει μηδέν. Διότι ένας αναλογικά σταθερά μεγάλος χρόνος του τυλίγματος διέγερσης, θα πάρει επίσης πολύ χρόνο για να αναστραφεί το πεδίο.

Ένας ημί ή πλήρως ελεγχόμενος μετατροπέας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να μεταβάλλει την τάση διέγερσης. Αλλά ένας πλήρως ελεγχόμενος μετατροπέας είναι προτιμότερος και αυτό οφείλεται στην ικανότητά του να αναστρέφει την τάση και να μειώνει το ρεύμα διέγερσης, πολύ γρηγορότερα από ένα ημιελεγχόμενο.

Οι μονοφασικοί μετατροπείς μπορούν να υποδιαιρεθούν σε:

- Μονοφασικοί μισού κύματος
- Μονοφασικοί ημιελεγχόμενοι
- Μονοφασικοί πλήρως ελεγχόμενοι
- Μονοφασικοί διπλοί μετατροπείς
- Μονοφασικός μισού κύματος converter



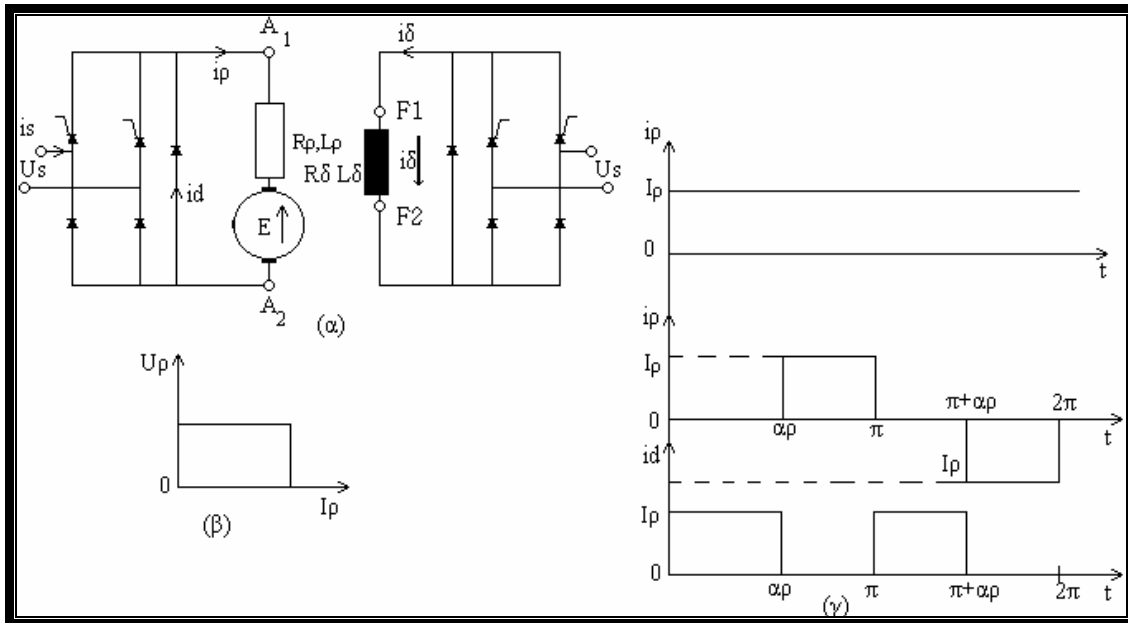
Το παραπάνω σχήμα δείχνει μια διάταξη μετατροπέα που τροφοδοτεί ένα κινητήρα ανεξάρτητης διέγερσης. Το ρεύμα του δρομέα είναι ασυνεχές αν δεν συνδεθεί μια μεγάλη επαγωγή (πηνίο) σε σειρά με το κύκλωμα του δρομέα. Επίσης μια δίοδος ελεύθερης ροής απαιτείται για ένα κινητήρα με φορτίο όταν λειτουργεί στο 1ο τεταρτημόριο όπως δείχνει το σχήμα.(α) Η εφαρμογή αυτής της οδήγησης είναι για ισχύ μέχρι ½ KW. Το σχήμα(γ), δείχνει τις κυματομορφές για μια υψηλής τιμής επαγωγή. Ο μετατροπέας στο κύκλωμα διέγερσης μπορεί να είναι ημιελεγχόμενος. Ένας ημιελεγχόμενος μετατροπέας στο κύκλωμα διέγερσης θα αυξήσει τις μαγνητικές απώλειες του κινητήρα λόγω της μεγάλης διακύμανσης του ρεύματος διέγερσης. Με ένα μονοφασικό μισού κύματος μετατροπέας στο κύκλωμα του δρομέα η μέση τιμή της τάσεως που δίνεται είναι :

$$U_{\rho} = \frac{U_m}{2\pi} (1 + \cos \alpha_a) \quad 0 \leq \alpha_a \leq \pi$$

όπως U_m είναι το πλάτος της τάσεως εισόδου U_s . Στο τύλιγμα διέγερσης με ημιελεγχόμενο μετατροπέα η τάση είναι :

$$U_{\delta} = \frac{U_m}{\pi} (1 + \cos \alpha_{\delta}) \quad 0 \leq \alpha_{\delta} \leq \pi$$

Μονοφασικός ημieleγχόμενος μετατροπέας



Δείχνει μια διάταξη ημieleγχόμενου μετατροπέα που τροφοδοτεί το κύκλωμα του δρομέα ενός κινητήρα ανεξάρτητης διέγερσης. Λειτουργεί στο 1ο τεταρτημόριο και είναι για εφαρμογές μέχρι 15KW. Το τύλιγμα διέγερσης μπορεί να τροφοδοτηθεί με ημieleγχόμενο converter.

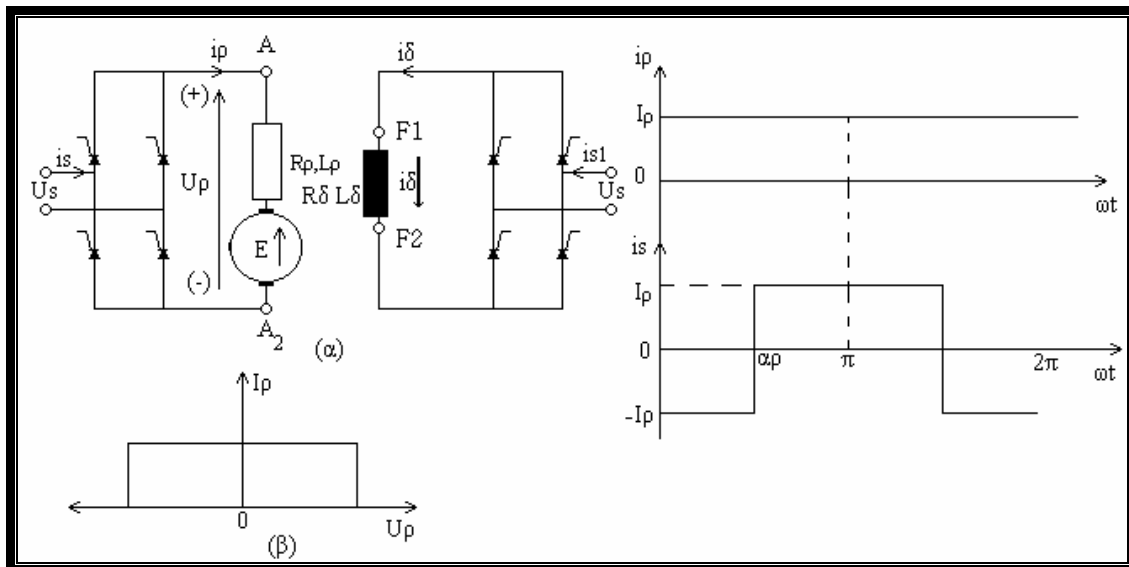
Οι κυματομορφές του ρεύματος φαίνονται στο σχήμα (η επαγωγή είναι υψηλής τιμής). Ο μονοφασικός ημieleγχόμενος μετατροπέας δίνει στο κύκλωμα του δρομέα τάση

$$U_{\rho} = \frac{U_m}{\pi} (1 + \cos \alpha_a) \quad 0 \leq \alpha_a \leq \pi$$

Επίσης με ημieleγχόμενο μετατροπέα στο τύλιγμα διέγερσης η τάση που εφαρμόζεται είναι:

$$U_{\delta} = \frac{U_m}{\pi} (1 + \cos \alpha_{\delta}) \quad 0 \leq \alpha_{\delta} \leq \pi$$

Μονοφασικός πλήρως ελεγχόμενος converter



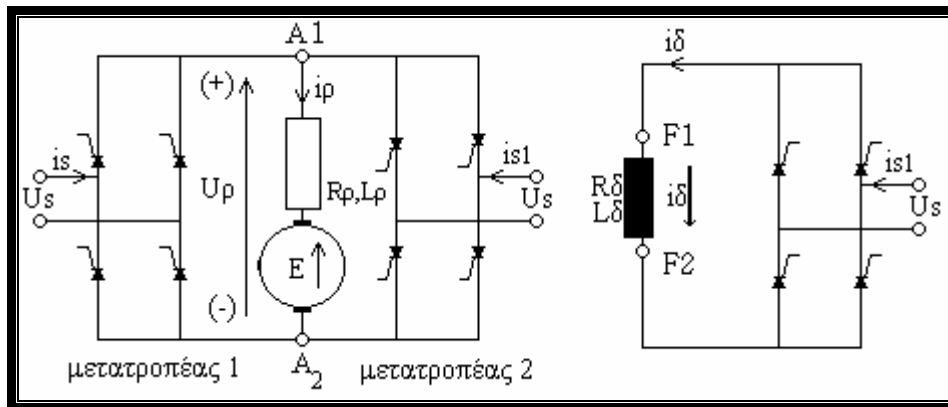
Η τάση στον δρομέα μεταβάλλεται με ένα πλήρως ελεγχόμενο μετατροπέα όπως δείχνει το σχήμα(α). Ο κινητήρας με τον μετατροπέα αυτόν λειτουργεί σε 2 τεταρτημόρια και είναι για εφαρμογές πάνω από 15KW. Ο μετατροπέας στον δρομέα δίνει +V, -V και επιτρέπει λειτουργία αυτού στο 1^ο και στο 4^ο τεταρτημόριο. Κατά τη διάρκεια της επανάκτησης ενέργειας για αλλαγή της διεύθυνσης ροής ισχύος, η ΑΗΕΔ του κινητήρα μπορεί να αναστραφεί αλλάζοντας τη φορά του ρεύματος στο τύλιγμα διέγερσης. Ο μετατροπέας στο τύλιγμα διέγερσης μπορεί να είναι ένας ημι – ή πλήρης ελεγχόμενος ή ακόμη και ένας διπλός μετατροπέας. Η αναστροφή του ρεύματος , του δρομέα ή του πεδίου διέγερσης, θα επιτρέψει τη λειτουργία στο 2^ο και 3^ο τεταρτημόριο. Οι κυματομορφές του ρεύματος φαίνονται στο σχήμα (γ) για μια υψηλή τιμή επαγωγής. Η μέση τιμή της τάσης που εφαρμόζεται στον δρομέα είναι :

$$U_\rho = \frac{2U_m}{\pi} \cos \alpha_a \quad 0 \leq \alpha_a \leq \pi$$

και στη διέγερση για ένα μονοφασικό πλήρως ελεγχόμενο μετατροπέα

$$U_\delta = \frac{2U_m}{\pi} \cos \alpha_\delta \quad 0 \leq \alpha_\delta \leq \pi$$

Μονοφασικοί διπλοί μετατροπείς



Δύο μονοφασικοί πλήρως ελεγχόμενοι μετατροπείς συνδέονται όπως δείχνει το σχήμα. Όταν λειτουργεί ο converter1, έχουμε μια τάση θετική στον δρομέα +V και όταν λειτουργεί ο μετατροπείς 2, έχουμε μια τάση στον δρομέα αρνητική $-U$. Ο μετατροπείς 1 επιτρέπει την λειτουργία του κινητήρα στο 1^ο και 4^ο τεταρτημόριο και ο μετατροπείς 2 στο 2^ο και 3^ο τεταρτημόριο. Αυτή η διάταξη είναι για να μπορεί να λειτουργεί ο κινητήρας και στα 4 τεταρτημόρια.

- Λειτουργία κινητήρα (δεξιόστροφη)
- Πέδηση επανακτητικής ενέργειας (γεννήτρια)
- Λειτουργία κινητήρα (αριστερόστροφη)
- Πέδηση επανακτητικής ενέργειας (αριστερόστροφη)
- Εφαρμόζεται σε ισχύς > 15 KW. Όταν λειτουργεί ο μετατροπείς 1 η μέση τιμή της τάσης είναι:

$$U_{\rho} = \frac{2U_m}{\pi} \cos \alpha_{a1} \quad 0 \leq \alpha_{a1} \leq \pi$$

όταν λειτουργεί ο con2 όπου $\alpha_2 = \pi - \alpha_1$

$$U_{\rho} = \frac{2U_m}{\pi} \cos \alpha_{a2} \quad 0 \leq \alpha_{a2} \leq \pi$$

Στο κύκλωμα του τυλίγματος διέγερσης

$$U_{\delta} = \frac{2U_m}{\pi} \cos \alpha_{\delta} \quad 0 \leq \alpha_{\delta} \leq \pi$$

Οδήγηση με τριφασικό μετατροπέα

Το κύκλωμα του δρομέα συνδέεται στην έξοδο ενός τριφασικού μετατροπέα ac-dc .Οι τριφασικοί μετατροπείς οδηγού χρησιμοποιούνται για μεγάλης ισχύος εγκαταστάσεις .(Megawatts) Η συχνότητα κυμάτωσης(μεταβολής) της τάσης του δρομέα είναι συχνότερη από ότι στους μονοφασικούς οδηγούς και γι' αυτό απαιτείται μια επαγωγή στο κύκλωμα του δρομέα που να ρυθμίζει την κυμάτωση του ρεύματος . Το ρεύμα του δρομέα γίνεται περισσότερο συνεχές και γι' αυτό η λειτουργία (συμπεριφορά) του κινητήρα είναι καλύτερη σε σύγκριση με τους μονοφασικούς οδηγούς .Οι τριφασικοί οδηγοί διαιρούνται όπως και οι μονοφασικοί στους εξής τύπους :

- 1) Τριφασικός μετατροπέας μισού κύματος
- 2) Τριφασικός ημιελεγχόμενος μετατροπέας
- 3) Τριφασικός πλήρως ελεγχόμενος μετατροπέας
- 4) Διπλός πλήρως ελεγχόμενος τριφασικός μετατροπέας

1) Τριφασικός μετατροπέας μισού κύματος

Η λειτουργία του κινητήρα με αυτόν τον μετατροπέα γίνεται σε ένα τεταρτημόριο και χρησιμοποιείται σε εγκαταστάσεις μεγαλύτερες από 40 KW. Η τροφοδοσία του τυλίγματος διέγερσης με μονοφασικό ή τριφασικό μετατροπέα. Αυτή η οδήγηση δεν χρησιμοποιείται σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις γιατί η ac τάση περιέχει dc συνιστώσες. Η τάση που δίνει στο

δρομέα ένας τέτοιος μετατροπέας είναι $U_p = \frac{3\sqrt{3} \cdot U_m}{2\pi} \cos \alpha_a$ για $0 \leq \alpha_a \leq \pi$. Οπου U_m είναι η

peak φασική τάση ενός σε αστέρα συνδεδεμένο με ac τάσεις εισόδου. Με ένα τριφασικό

ημιμετατροπέα στο τύλιγμα διέγερσης η τάση είναι $U_d = \frac{3\sqrt{3} \cdot U_m}{2\pi} (1 + \cos \alpha_\delta)$ για $0 \leq \alpha_\delta \leq \pi$

2) Τριφασικός ημιελεγχόμενος μετατροπέας

Ο Τριφασικός αυτός μετατροπέας οδηγείται στο ένα τεταρτημόριο χωρίς αναστροφή πεδίου και περιορίζεται σε εφαρμογές έως 115 KW. Ο μετατροπέας πεδίου μπορεί να είναι μονοφασικός ή τριφασικός. Με το τριφασικό ημιμετατροπέα στο κύκλωμα του δρομέα δίνει την τάση δρομέα ίση με

$$U_p = \frac{3\sqrt{3} \cdot U_m}{2\pi} (1 + \cos \alpha_\delta) \quad \text{για } 0 \leq \alpha_a \leq \pi$$

Με το τριφασικό μετατροπέα στο κύκλωμα διέγερσης η τάση διέγερσης είναι

$$U_d = \frac{3\sqrt{3} \cdot U_m}{2\pi} (1 + \cos \alpha_\delta) \quad \text{για } 0 \leq \alpha_\delta \leq \pi$$

3) Τριφασικός πλήρως ελεγχόμενος μετατροπέας

Ο τριφασικός πλήρους κύματος μετατροπέας οδηγείται σε δύο τεταρτημόρια χωρίς καθόλου αναστροφή πεδίου και περιορίζεται σε εφαρμογές έως 1500 KW. Κατά την αναστροφή του της διεύθυνσης ροής ενέργειας η ΑΗΕΔ ενός κινητήρα αντιστρέφεται αλλάζοντας τη φορά του τυλίγματος διέγερσης. Ο μετατροπέας στο τύλιγμα διέγερσης μπορεί να είναι μονοφασικός ή τριφασικός.

Η τάση του δρομέα που δίνει αυτός ο μετατροπέας είναι

$$U_p = \frac{3\sqrt{3}.U_m}{2\pi} \cos \alpha_\alpha \text{ για } 0 \leq \alpha_\alpha \leq \pi$$

Η τάση διέγερσης αυτού του μετατροπέα είναι

$$U_\delta = \frac{3\sqrt{3}.U_m}{2\pi} \cos \alpha_\delta \text{ για } 0 \leq \alpha_\delta \leq \pi$$

4) Τριφασικός πλήρως ελεγχόμενος διπλός μετατροπέας

Δύο τριφασικοί πλήρους κύματος μετατροπείς συνδέονται όπως στην εικόνα . Ο ένας μετατροπέας λειτουργεί με την θετική τάση οπλισμού +V_a και ο άλλος μετατροπέας με την αρνητική τάση οπλισμού -V_a . Είναι μετατροπέας που λειτουργεί και στα τέσσερα τεταρτημόρια και περιορίζεται σε εφαρμογές μέχρι 1500 KW. Παρομοίως στο μονοφασικό μετατροπέα ,ο μετατροπέας πεδίου μπορεί να είναι πλήρους κύματος ή ημιμετατροπέας . Η τάση του δρομέα αν ο μετατροπέας 1 λειτουργεί με διαφορά φάσης α_{a1} δίνει την μέση τάση του δρομέα που είναι

$$U_p = \frac{3\sqrt{3}.U_m}{2\pi} \cos \alpha_{a1} \text{ για } 0 \leq \alpha_{a1} \leq \pi$$

Αν ο μετατροπέας 2 λειτουργεί με διαφορά φάσης α_{a2} τότε η τάση του δρομέα είναι

$$U_p = \frac{3\sqrt{3}.U_m}{2\pi} \cos \alpha_{a2} \text{ για } 0 \leq \alpha_{a2} \leq \pi$$

Για αυτόν τον διπλό μετατροπέα η τάση διέγερσης είναι

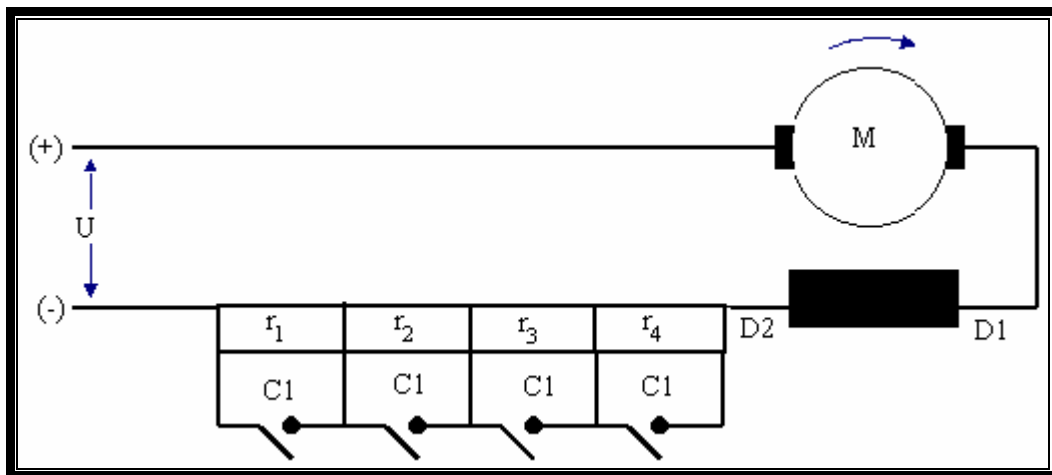
$$U_\delta = \frac{3\sqrt{3}.U_m}{2\pi} \cos \alpha_\delta \text{ για } 0 \leq \alpha_\delta \leq \pi$$

ΕΝ ΣΕΙΡΑ ΚΑΙ ΠΑΡΑΛΛΗΛΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

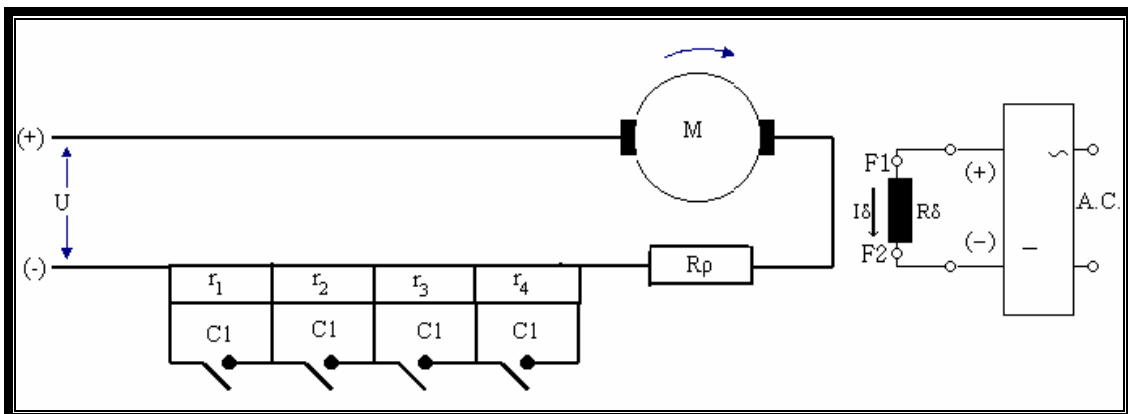
Στην ηλεκτρική κίνηση μέσω μαζικής μεταφοράς χρειάζεται πολλές φορές να συνδέσουμε ηλεκτρικά δύο κινητήρες οι οποίοι αναγκάζονται να αποδίδουν ίδιες στροφές ανεξαρτήτως του φορτίου που αναλαμβάνει ο καθένας και που εξαρτάται από την μηχανική του χαρακτηριστική. Έτσι μπορούμε να παραλληλίσουμε δύο κινητήρες ανεξάρτητης διέγερσης ή δύο κινητήρες σειράς. Πιο εύκολα παραλληλίζονται οι κινητήρες σειράς επειδή η μηχανική τους χαρακτηριστική έχει μεγάλη κλίση.

Η συνισταμένη ροπή $\Omega = f(M_{\sigma\lambda})$ όπου $M_{\sigma\lambda} = M_1 + M_2$ προκύπτει με την πρόσθεση των τεμημένων M_1, M_2 των χαρακτηριστικών $\Omega_1 = f(M_1)$ $\Omega_2 = f(M_2)$. Ακολουθούν τα σχήματα κινητήρα ανεξάρτητης διέγερσης και κινητήρα σειράς με τα μέσα προστασίας, τις αντιστάσεις βαθμίδων καθώς και τα σχήματα της εν σειρά και παράλληλης σύνδεσής τους στην κίνηση ενός μέσου μαζικής μεταφοράς.

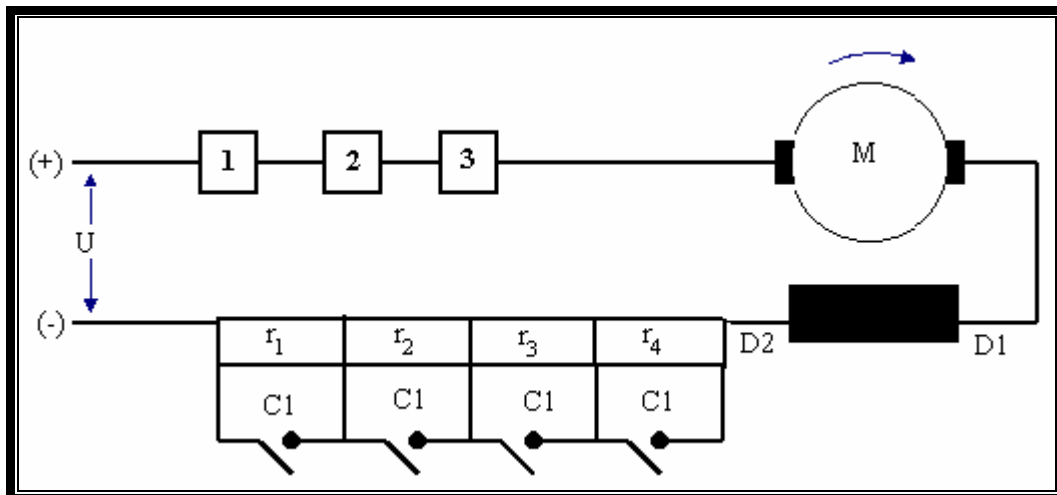
Κινητήρας σειράς



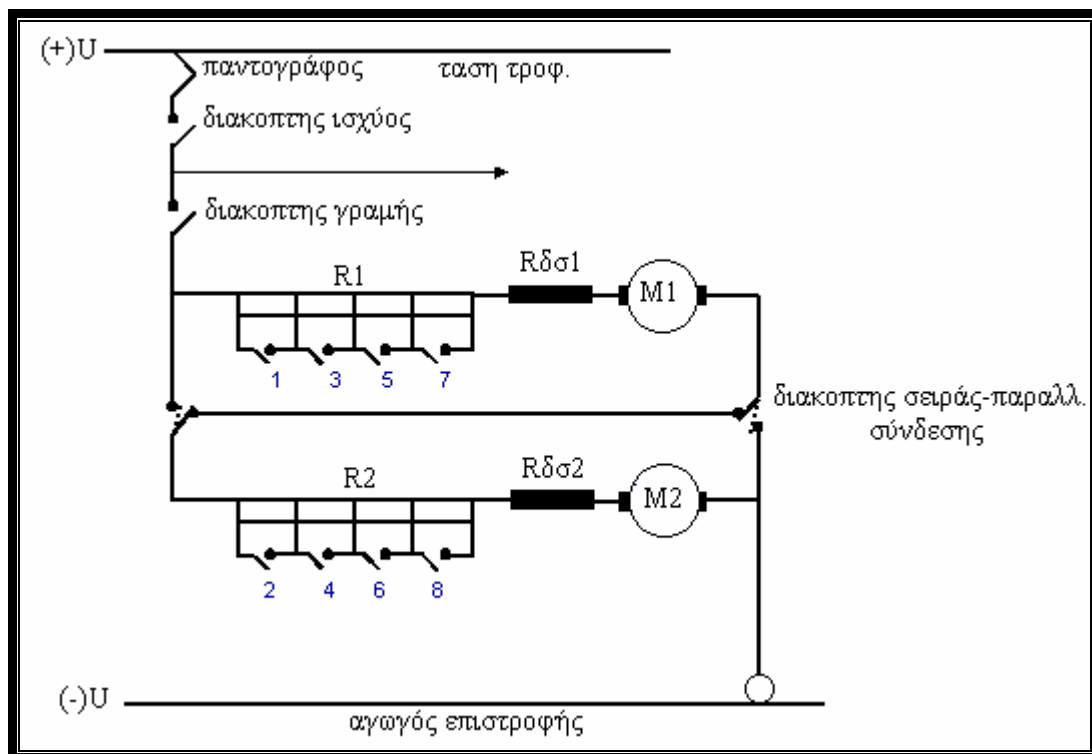
Κινητήρας ανεξάρτητης διέγερσης

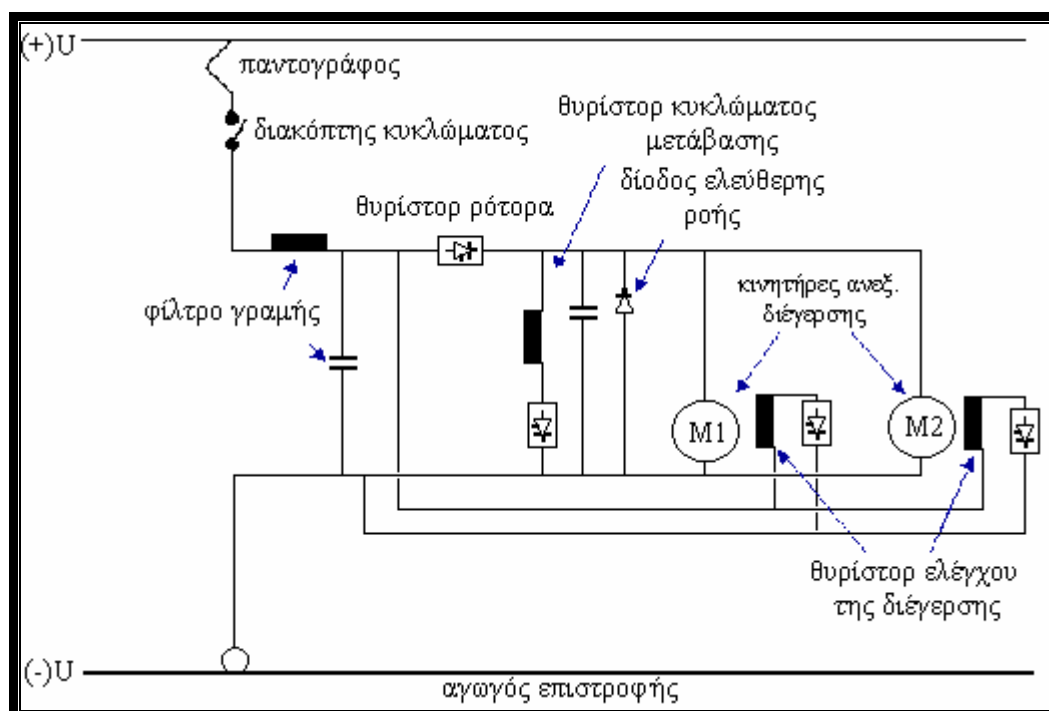
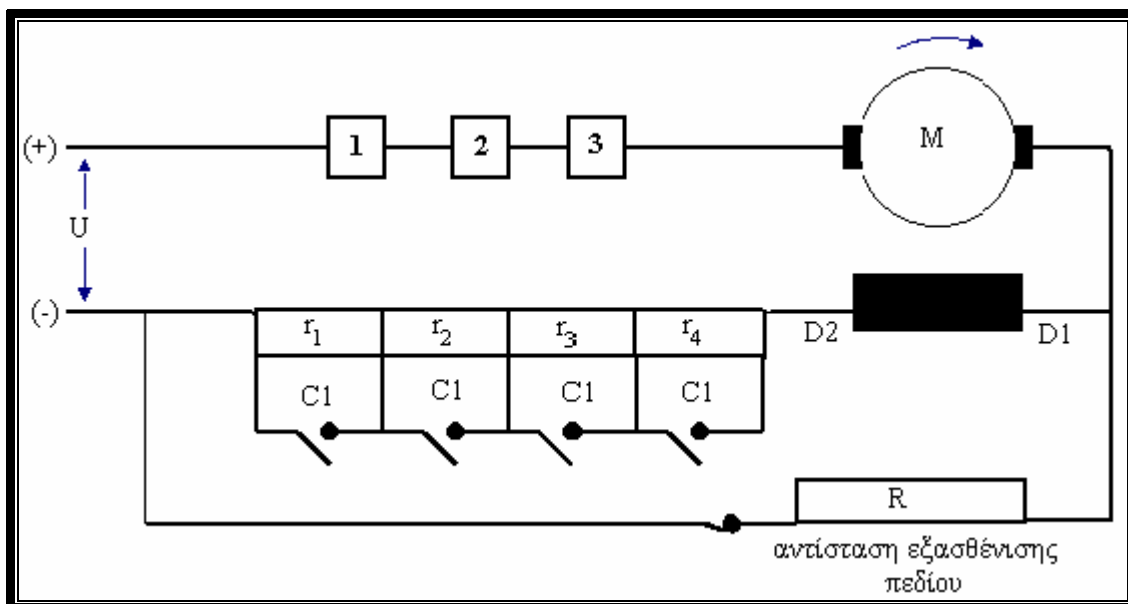
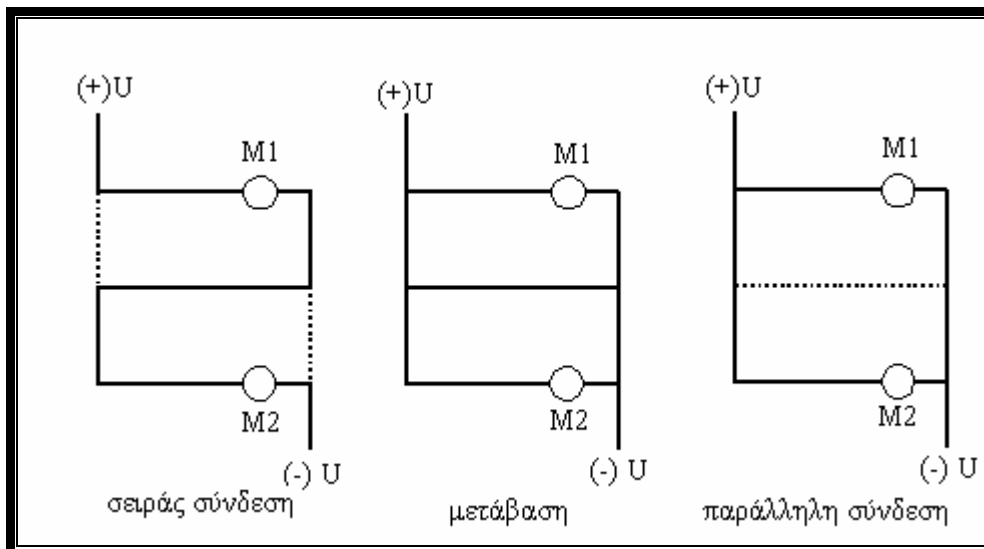


Μέσα προστασίας



1. Ρελέ διακοπής
2. Ρελέ έλλειψης τάσης,
3. Ρελέ υπερφόρτισης,





Οι κινητήρες που είναι συνδεδεμένοι μέσω μηχανικών συνδέσμων με το ίδιο φορτίο αναγκάζονται να περιστραφούν από αυτό με τον ίδιο αριθμό στροφών $\Omega_1 = \Omega_2 = \Omega$.

Αν είναι συνδεδεμένοι σε σειρά τότε $I_{1\rho} = I_{2\rho} = I\phi$

$$\text{και } U_1 = E_1 + I_{1\rho} \cdot R_{\rho 1} = \Phi_1 \cdot \Omega_1 C_1 + I_{1\rho} R_{\rho 1}$$

$$U_2 = E_2 + I_{2\rho} \cdot R_{\rho 2} = \Phi_2 \cdot \Omega_2 C_2 + I_{2\rho} R_{\rho 2} \quad (\text{για κινητήρες ανεξάρτητης διέγερσης})$$

$$U_1 = E_1 + I_{1\rho} \cdot (R_{\rho 1} + R_{\delta\sigma 1}) = \Phi_1 \cdot \Omega_1 C_1 + I_{1\rho} (R_{\rho 1} + R_{\delta\sigma 1})$$

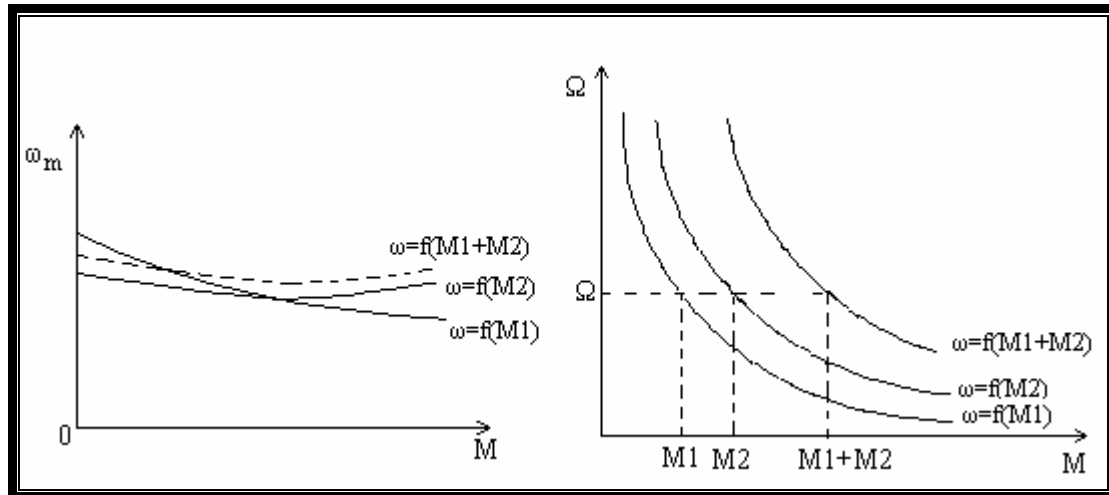
$$U_2 = E_2 + I_{2\rho} \cdot (R_{\rho 2} + R_{\delta\sigma 2}) = \Phi_2 \cdot \Omega_2 C_2 + I_{2\rho} (R_{\rho 2} + R_{\delta\sigma 2}) \quad (\text{για κινητήρες σειράς διέγερσης})$$

$$\text{Η ολική τάση } U_{\Delta} = U_1 + U_2 = \Omega (C_1 \cdot \Phi_1 + C_2 \cdot \Phi_2) + I\phi \cdot (R_{\rho 1} + R_{\rho 2})$$

Ο κάθε κινητήρας δίνει μια ροπή ανάλογη της αντιΗΕΔ. Αν $C_1 = C_2$ τότε η κατανομή φορτίου γίνεται ανάλογη με το ρεύμα διέγερσης των κινητήρων. Στην εκκίνηση μπορούμε να συνδέσουμε αυτούς παράλληλα. Στην σύνδεση σε σειρά η τάση που εφαρμόζεται σε κάθε έναν είναι η μισή της U_{δ} και έτσι έχουμε λίγες στροφές, ενώ σε παράλληλη σύνδεση εφαρμόζεται όλη η τάση του δικτύου και έχουμε περισσότερες στροφές. Αν οι χαρακτηριστικές των σχημάτων είναι για την σύνδεση των κινητήρων σε σειρά, οι χαρακτηριστικές αυτές σε σύνδεση παράλληλη θα μετατοπισθούν προς τα πάνω, με συνέπεια το ίδιο φορτίο να οδηγείται με περισσότερες στροφές. Αυτά συμβαίνουν όταν οι κινητήρες αυτοί τροφοδοτούνται από σταθερό δίκτυο. Για να υπάρχει όμως έλεγχος των στροφών από μηδενικές στροφές σε κινητήρα ανεξάρτητης διέγερσης αυτός τροφοδοτείται με ελεγχόμενη τάση μέσω πλήρως ελεγχόμενων γεφυρών ηλεκτρονικών ισχύος. Στο παράδειγμα που αναφέρεται πιο κάτω υπάρχει ο κινητήρας σειράς ο οποίος μπορεί να τροφοδοτείται από σταθερό δίκτυο αλλά οι στροφές ελέγχονται μέσω της αντίστασης και της αντίστασης ρύθμισης του ρεύματος διέγερσης.

Ο έλεγχος σειράς παράλληλης σύνδεσης φαίνεται στο παραπάνω διάγραμμα. Υπάρχουν τρία στάδια τα οποία λειτουργούν με την ακόλουθη σειρά: σε σειρά – μετάβαση – παράλληλα. Οι συνδέσεις αλλάζουν αυτόματα καθώς το τραίνο επιταχύνεται. Στην εκκίνηση οι κινητήρες συνδέονται σε σειρά ο καθένας με τον άλλον και οι αντιστάσεις είναι όλες εντός κύκλωματος. Οι αντιστάσεις βγαίνουν εκτός με βήματα και το τραίνο επιταχύνεται στο μέγιστο της ταχύτητας <σειράς> όταν οι αντιστάσεις είναι όλες εκτός. Το τραίνο μπορεί να κινείται με ταχύτητα 30 Km/h. Αν έχει επιλεγεί η μέγιστη ταχύτητα το κύκλωμα μετάβασης θα μας προετοιμάσει το παράλληλο κύκλωμα μεταξύ δύο άκρων τροφοδοσίας. Έμμεσα αυτό είναι δοσμένο. Οι δύο συνδέσεις σειράς θα ανοίξουν και οι αντιστάσεις θα μπουν σε κάθε κύκλωμα του κινητήρα. Οι αντιστάσεις βγαίνουν πάλι εκτός με βήματα και το τραίνο θα επιταχυνθεί μέχρι την επιλεγμένη ταχύτητα σε παράλληλη σύνδεση. Στην διάρκεια όλης της διαδικασίας η σωστή σειρά ελέγχου διατηρείται με μια διάταξη χαμηλής τάσης και κάτω υπό την επίβλεψη του master control για επιλογή παράλληλης – σειράς σύνδεσης. Τον κινητήρα, μπορούμε να τον κάνουμε να τρέχει με μεγαλύτερη ταχύτητα, αν προσθέσουμε μια αντίσταση παράλληλα στην $R_{\text{εκ}} + R_{\delta\sigma}$. Αυτή η αντίσταση μπορεί να είναι και μεταβλητή, έτσι ώστε να έχουμε διαφορετικές τιμές αντιστάσεων και συνεπώς διαφορετικές ταχύτητες. Με αυτό τον τρόπο μπορεί ένα τραίνο να αποκτήσει ταχύτητα μεγαλύτερη της ονομαστικής. Μερικά μέσα μεταφοράς χρησιμοποιούν 6 βήματα στην αντίσταση εξασθένισης του πεδίου. Αυτά αναφέρονται στους κινητήρες σειράς. Μια άλλη παράλληλη λειτουργία κινητήρων ανεξάρτητης διέγερσης φαίνεται στο παραπάνω σχήμα σε μέσο μεταφοράς υπό τον έλεγχο ηλεκτρονικών ισχύος. Οι μηχανικές χαρακτηριστικές για τους κινητήρες σειράς και τους κινητήρες ανεξάρτητης διέγερσης που δουλεύουν παράλληλα και για μια

συγκεκριμένη ταχύτητα φαίνονται στα παρακάτω σχήματα. Αν οι κινητήρες αυτοί αντίστοιχα συνδεθούν σε σειρά οι μηχανικές τους χαρακτηριστικές θα μετατοπισθούν προς τα κάτω, γιατί θα τροφοδοτούνται με την μισή τάση της προηγούμενης σύνδεσης με αποτέλεσμα το ίδιο φορτίο να το κινούν με λιγότερες στροφές.



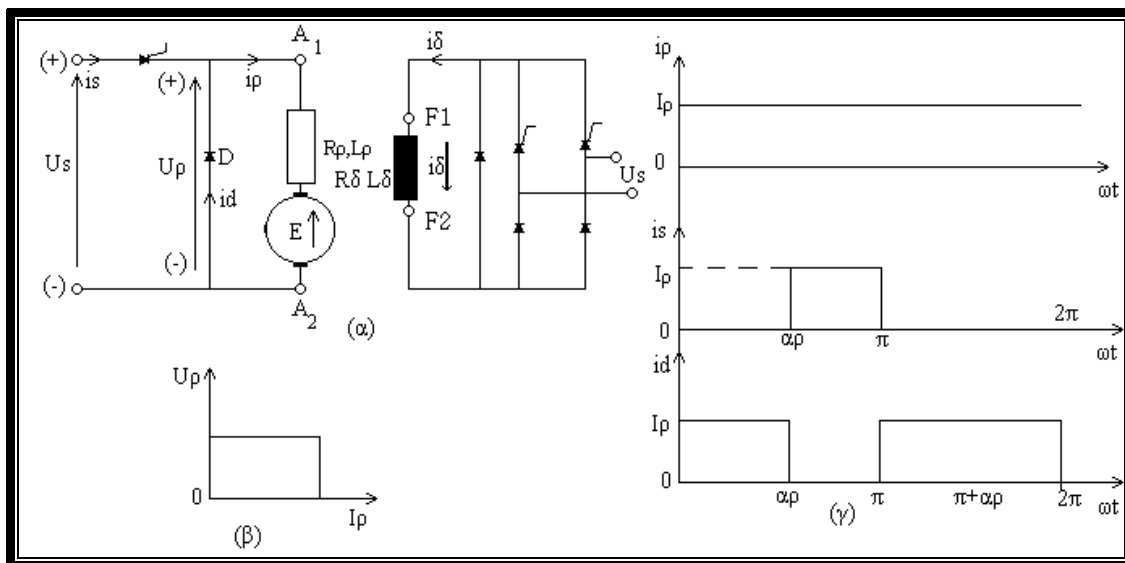
ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΜΕ CHOPPER

Το chopper χρησιμοποιείται ευρύτατα στις εγκαταστάσεις κίνησης. Αυτό συνδέεται μεταξύ μιας σταθερής πηγής τάσης και ενός κινητήρα έτσι ώστε να μεταβάλλει την τάση τροφοδοσίας του κινητήρα. Επιπρόσθετα με αυτόν τον έλεγχο της τάσης μπορεί το chopper να αποτελέσει τον ενδιάμεσο επιστροφής ενέργειας στο δίκτυο. Αυτή η εξοικονόμηση ενέργειας είναι σημαντική στα μαζικά μέσα μεταφοράς με συχνά σταματήματα. Ένας dc κινητήρας μπορεί να λειτουργήσει σε ένα ή στα τέσσερα τεταρτημόρια ελέγχοντας την τάση του δρομέα ή την τάση διέγερσης (ρεύμα διέγερσης). Συχνά απαιτείται να αλλάξουμε τα άκρα του δρομέα ή της διέγερσης ανάλογα με την λειτουργία του κινητήρα στο αντίστοιχο τεταρτημόριο. Αν η τάση δεν είναι αποδεκτή κατά την επανάκτηση ενέργειας, η κύρια τάση θα αυξηθεί και γι' αυτό τον λόγο δεν θα χρησιμοποιηθεί αυτός ο τρόπος πέδης αλλά μια άλλη μέθοδος όπως είναι η μέθοδος με ροοστάτη. Οι δυνατές λειτουργικές καταστάσεις ενός chopper για οδήγηση κινητήρων είναι

- έλεγχος ισχύος ή επιτάχυνσης
- έλεγχος επανάκτησης ενέργειας (λειτουργία του κινητήρα στο 2^ο τεταρτημόριο ως γεννήτρια)
- έλεγχος πέδης με τη μέθοδο του ροοστάτη
- συνδυασμός των παραπάνω (2,3) περιπτώσεων

ΑΡΧΗ ΕΛΕΓΧΟΥ ΙΣΧΥΟΣ

Το chopper στα ηλεκτρονικά ισχύος χρησιμοποιείται για να ελέγχουμε την τάση του δρομέα ενός dc κινητήρα .



Στο σχήμα βλέπουμε την λειτουργία ενός κινητήρα ανεξάρτητης διέγερσης στο 1ο τεταρτημόριο. Οι κυματομορφές της $U_{\rho}(t)$, $i_{\rho}(t)$, $i_{\varsigma}(t)$, $U_{\varsigma}(t)$, φαίνονται στο σχήμα .Η μέση τάση του δρομέα είναι $U_{\rho} = \kappa U_{\varsigma}$ όπου U_{ς} η τάση του δικτύου και κ ο κύκλος λειτουργίας του chopper . Το I_{ρ} είναι η μέση τιμή του ρεύματος του δρομέα χωρίς κυμάτωση .Αν υποθέσουμε ότι το chopper είναι χωρίς απώλειες η ισχύς εισόδου θα είναι $P_1 = U_{\rho} \cdot I_{\rho} = \kappa \cdot U_{\varsigma} \cdot I_{\rho}$.Η μέση τιμή του ρεύματος $I_{\varsigma} = \kappa \cdot I_{\rho}$. Η

ισοδύναμη αντίσταση του chopper είναι $R_{ισοδ.} = \frac{U_{\varsigma}}{I_{\varsigma}} = \frac{U_{\varsigma}}{\kappa \cdot I_{\rho}} = \frac{U_{\varsigma}}{I_{\rho}} \cdot \frac{1}{\kappa}$ Μεταβάλλοντας λοιπόν τον

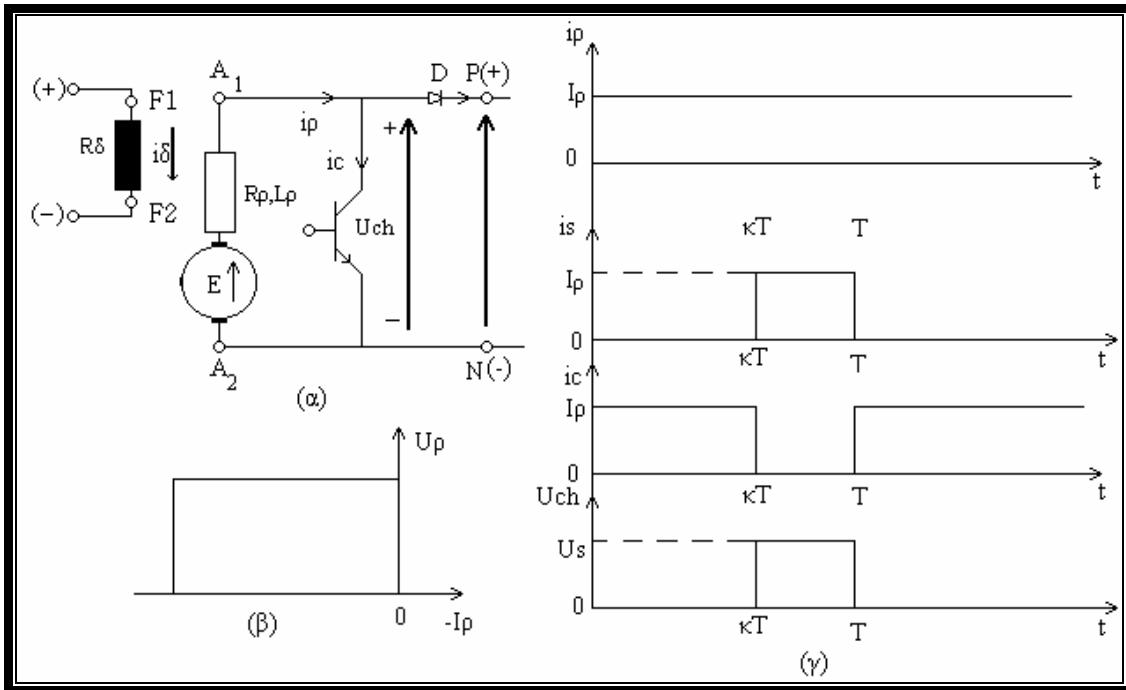
κύκλο λειτουργίας κ μπορούμε να ρυθμίσουμε την ισχύ P_1 και τις στροφές .Για μια ορισμένη τιμή της επαγωγής μπορεί να βρεθεί η κυμάτωση του ρεύματος από κορυφή σε κορυφή.

$\Delta I_{max.} = \frac{U_{\varsigma}}{R_m} \cdot \tanh \frac{R_m}{4f \cdot L_m}$ όπου R_m , L_m είναι η ολική αντίσταση του κυκλώματος του δρομέα η

επαγωγή αντίστοιχα .Για ένα κινητήρα ανεξάρτητης διέγερσης $R_m = R_{\rho} +$ κάποια αντίσταση σε σειρά και $L_m = L_{\rho} +$ κάποια επαγωγή σε σειρά . Για ένα κινητήρα σειράς $R_m = R_{\rho} + R_{\delta\sigma} +$ και κάποια αντίσταση σε σειρά και $L_m = L_{\rho} + L_{\delta\sigma} +$ κάποια επαγωγή σε σειρά .

ΑΡΧΗ ΕΠΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕ ΕΛΕΓΧΟ ΤΗΣ ΠΕΔΗΣ

Σε αυτή την περίπτωση ο κινητήρας λειτουργεί ως γεννήτρια και η κινητική ενέργεια του κινητήρα και του φορτίου επιστρέφεται στο δίκτυο .Η αρχή της μεταφοράς ενέργειας από μια πηγή dc σε κάποια άλλη υψηλότερης τάσης έχει λυθεί ως πρόβλημα και γι' αυτό μπορεί να εφαρμοστεί σε επανάκτηση ενέργειας στους dc κινητήρες .Η εγκατάσταση του chopper μπορεί να εξηγηθεί με το παρακάτω σχήμα.



Αυτό απαιτεί να διακοπεί η τροφοδότηση του δρομέα και να παραμείνει της διέγερσης. Ας υποθέσουμε ότι ο δρομέας του κινητήρα ανεξάρτητης διέγερσης κινείται από την αδράνεια της μάζας του δρομέα και του φορτίου. Εάν το T_r είναι ON το ρεύμα θα περάσει μέσα από τα βραχυκυκλωμένα άκρα του δρομέα. Αν το chopper είναι OFF η διόδος D_m μπορεί να είναι ON και η ενέργεια αποθηκεύεται στην επαγωγή του κυκλώματος του δρομέα και μεταφέρεται στην πηγή, με την προϋπόθεση ότι αυτή την δέχεται. Έτσι λειτουργεί στο δεύτερο τεταρτημόριο. Οι κυματομορφές της τάσης και του ρεύματος είναι συνεχείς και χωρίς κυμάτωση. Η μέση τάση κατά μήκος του chopper είναι $U_{ch} = (1-k) U_s$. Αν I_p είναι η μέση τιμή του ρεύματος η ισχύς που παίρνουμε λόγω της πέδης είναι: Ισχύς επανακτητική $P_g = I_p \cdot U_s \cdot (1-k)$. Η τάση E_g λόγω της λειτουργίας του κινητήρα ως γεννήτρια είναι $E_g = C \cdot I_\delta \cdot \Omega = U_{ch} + R_m \cdot I_p = (1-k) U_s + R_m I_p$ όπου C η σταθερά της μηχανής και Ω rad/sec. Η ισοδύναμη αντίσταση φορτίου του κινητήρα που λειτουργεί ως γεννήτρια είναι

$$R_{ισοδ.} = \frac{E_g}{I_p} = \frac{U_s}{I_p} (1-k) + R_m \quad . \quad \text{Τώρα μεταβάλλοντας τον κύκλο λειτουργίας του chopper η}$$

ισοδύναμη αντίσταση αν την <δούμε> από την πλευρά του κινητήρα μπορεί να μεταβληθεί από R_m

εως $R_m + \frac{U_s}{I_p}$ και συνεπώς η ισχύς πέδης μπορεί να ρυθμιστεί. Η σχέση ρυθμιζόμενης ισχύος είναι

$0 < U_s < E$. Η U_s πρέπει να είναι μικρότερη από την E για να μεταφερθεί ισχύς από μεταβλητή πηγή σε σταθερή d.c τάση. Επίσης $0 \leq (E_g - R_m I_p) \leq U_s$. Έτσι έχουμε την μικρότερη ταχύτητα πέδης του

κινητήρα. $E_g = C \cdot \Omega_{min} \cdot I_\delta = R_m \cdot I_p$ ή $\omega_{min.} = \frac{R_m \cdot I_p}{C \cdot I_\delta}$ και $\omega > \omega_{min}$. Η μέγιστη ταχύτητα πέδης σε ένα

κινητήρα σειράς είναι $C \cdot I_\delta \cdot \omega_{max} - R_m I_p = U_s$ και $\omega_{max.} = \frac{U_s}{C \cdot I_\delta} + \frac{R_m}{C} \cdot \frac{I_p}{I_\delta}$ και $\omega \leq \omega_{max}$. Η

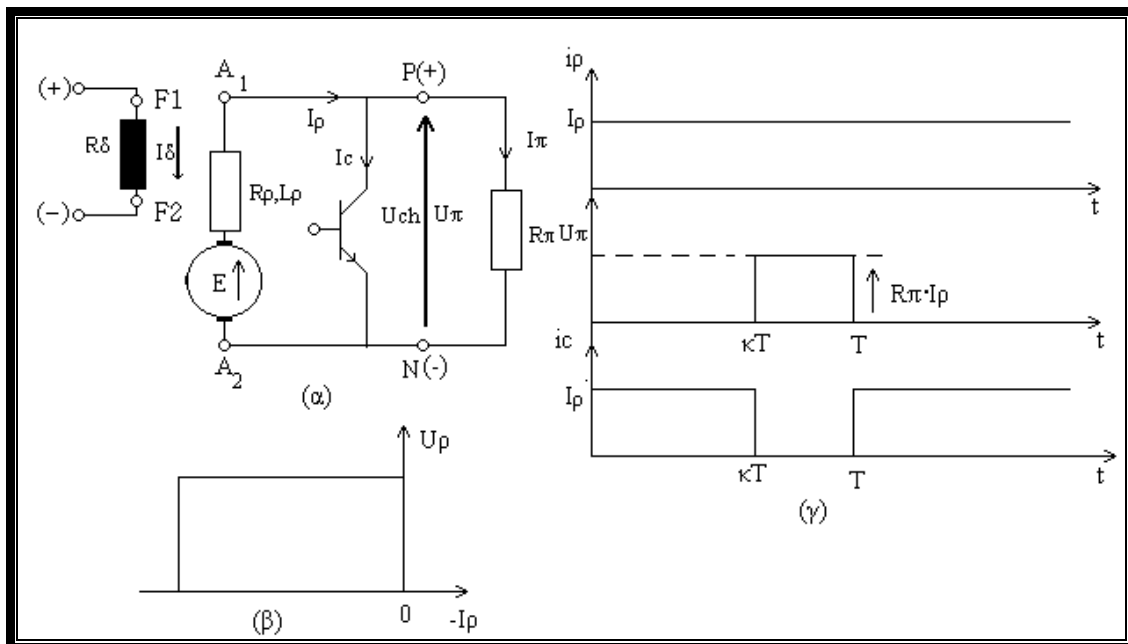
επανάκτηση ενέργειας είναι εφικτή μόνο αν η ταχύτητα του κινητήρα είναι μεταξύ δύο ορίων $\omega_{min} \leq \omega \leq \omega_{max}$. Για ταχύτητα μικρότερη του ω_{min} απαιτείται άλλη διάταξη. Οι κινητήρες σειράς παραδοσιακά χρησιμοποιούνται σε εγκαταστάσεις κίνησης λόγω της υψηλής ροπής εκκίνησης και θα πρέπει να ξέρουμε ότι μια γεννήτρια σειράς είναι σε ασταθή λειτουργία όταν συνεργάζεται με μια πηγή σταθερής

τάσης. Έτσι για την λειτουργία της σε συστήματα έλξης ,απαιτείται ένας ανεξάρτητος έλεγχος διέγερσης ,και μια άλλη διάταξη του κινητήρα σειράς έτσι ώστε να μπορεί να ανταποκριθεί στην επιστροφή ενέργειας στο δίκτυο όταν λειτουργεί ως γεννήτρια. Γι' αυτό χρειάζεται ένα chopper για γρήγορη δυναμική απόκριση .Ένας κινητήρας ανεξάρτητης διέγερσης είναι περισσότερο ευέλικτος στην πέδη αυτή, γιατί ο δρομέας και η διέγερση μπορούν να ελεγχθούν ανεξάρτητα και να μας δώσουν την απαιτούμενη ροπή εκκίνησης .Τα chopper αυτά για τους κινητήρες σειράς και ανεξάρτητης διέγερσης ενδείκνυνται για τις εγκαταστάσεις κίνησης .

Έτσι για την λειτουργία της σε έλξη, απαιτείται ένας ανεξάρτητος έλεγχος διέγερσης και μια άλλη διάταξη στον κινητήρα σειράς, έτσι ώστε να μπορεί να ανταποκριθεί στην επιστροφή ενέργειας στο δίκτυο όταν λειτουργεί ως γεννήτρια. Γι' αυτό χρειάζεται ένα chopper με γρήγορη δυναμική απόκριση

ΑΡΧΗ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΠΕΔΗΣ

Στην πέδη με ροοστάτη, η ενέργεια καταναλώνεται στον ροοστάτη .Στα συστήματα μαζικών μέσων μεταφοράς, η ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την θέρμανση των τρένων. Η πέδη αυτή είναι γνωστή ως δυναμική πέδη. Μια διάταξη για τη μέθοδο του ροοστάτη για πέδη ενός dc κινητήρα ανεξάρτητης διέγερσης φαίνεται στο σχήμα.



Στο πρώτο τεταρτημόριο δουλεύει ως κινητήρας και στο δεύτερο του γεννήτρια. Οι κυματομορφές της τάσης και του ρεύματος έχουν σχεδιαστεί υποθέτοντας ότι το ρεύμα του δρομέα είναι συνεχές και χωρίς κυμάτωση.

Η μέση τιμή του ρεύματος στην αντίσταση πέδης είναι : $I_{\pi} = I_r(1-k)$ και η μέση τιμή της τάσης κατά

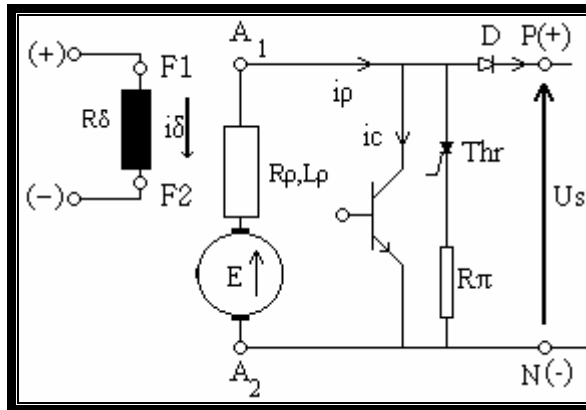
μήκος της αντίστασης πέδης είναι $V_{\pi} = R_{\pi} \cdot I_r(1-k)$ η ισοδύναμη αντίσταση $R_{1600} = \frac{U_{\pi}}{I_r} = R_{\pi}(1-k) + R_m$

Η ισχύς που καταναλώνεται στην αντίσταση είναι : $P_{\pi} = I_r^2 \cdot R_{\pi}(1-k)$

Ελέγχοντας τον κύκλο λειτουργίας k μπορούμε να ρυθμίσουμε την αντίσταση σε τιμές R_m , $R_m + R_{\pi}$ και έτσι ελέγχεται η ισχύς P_{π} . Η αντίσταση πέδης R_{π} καθορίζει την μέγιστη ονομαστική τάση του choper.

ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΕΠΑΝΑΚΤΗΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΡΟΟΣΤΑΤΙΚΗΣ ΠΕΔΗΣ

Ο συνδυασμός αυτών των δύο μπορεί να μας αποδώσει τα μέγιστα σε συστήματα μεταφοράς.

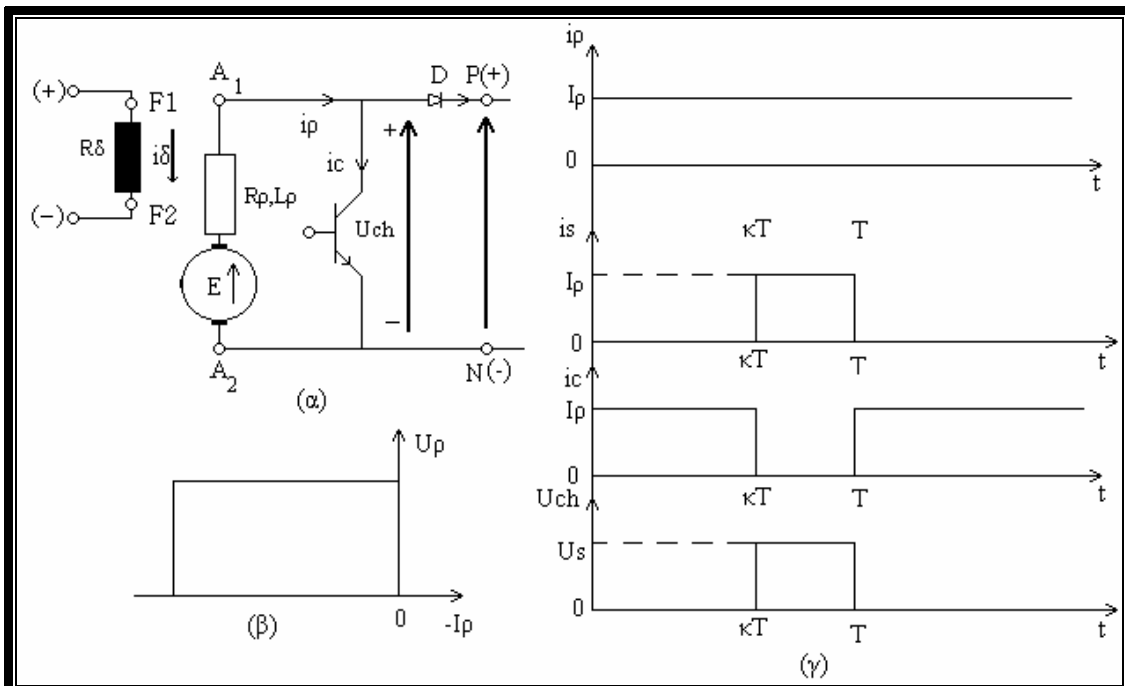


Το σχήμα δείχνει μια διάταξη στην οποία η μέθοδο του ροοστάτη για πέδη συνδυάζεται με την πέδη επανάκτησης ενέργειας. Είχαμε δει σε προηγούμενο κεφάλαιο το σύστημα WARD - LEONARD, στο οποίο ο κινητήρας μπορεί να λειτουργεί περιστρεφόμενος δεξιόστροφα και να φρενάρει λειτουργώντας ως γεννήτρια στο 2^ο τεταρτημόριο και να λειτουργεί περιστρεφόμενος αριστερόστροφα και να φρενάρει λειτουργώντας ως γεννήτρια στο 4^ο τεταρτημόριο.

Δείτε τη μηχανική χαρακτηριστική του κινητήρα ανεξάρτητης διέγερσης του συστήματος WARD – LEONARD και όσων αναφέρονται πιο πάνω για να έχετε μια εικόνα του ελέγχου των κινητήρων (σύγχρονη).

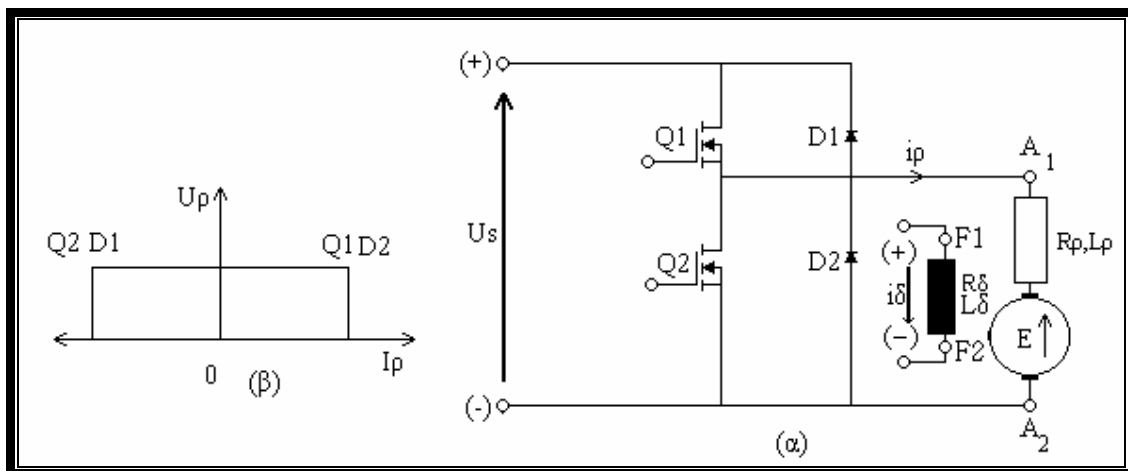
ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΚΑΙ ΣΤΑ ΔΥΟ ΤΕΤΑΡΤΗΜΟΡΙΑ

Κατά την διάρκεια του ελέγχου ισχύος, ένα chopper οδηγεί τον κινητήρα στο 1^ο τεταρτημόριο όπου η τάση και το ρεύμα του δρομέα, είναι θετικά. Στην επανακτητική πέδη ο κινητήρας δουλεύει ως γεννήτρια, στο 2^ο τεταρτημόριο όπου η τάση είναι θετική, το ρεύμα όμως είναι αρνητικό συνεπώς η ροπή $M = \Phi \cdot I_p \cdot C$ είναι αρνητική όπως φαίνεται στο σχήμα .



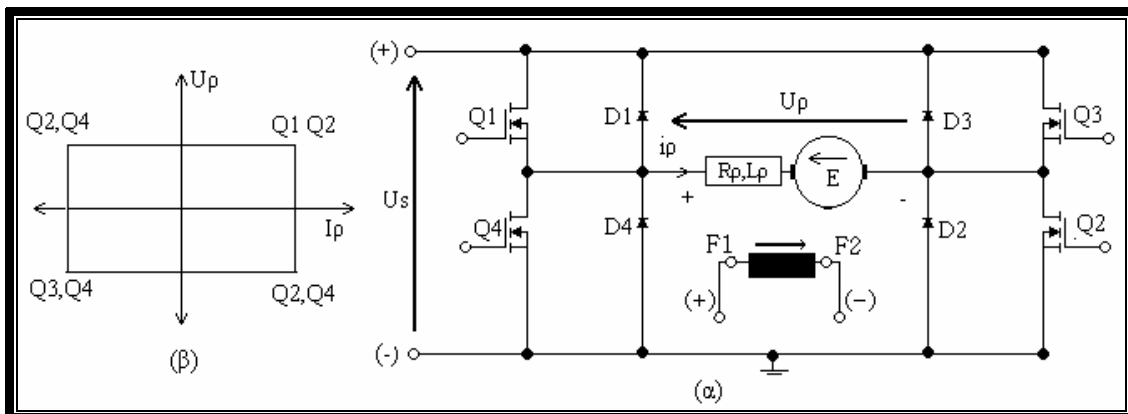
Στη λειτουργία στα δύο τεταρτημόρια όπως δείχνει το παρακάτω σχήμα χρειάζεται να δώσουμε ισχύ

και να ελέγξουμε την επανακτητική πέδη.



α) Έλεγχος ισχύος : Το Tr, Q1 και η διόδος D2 λειτουργούν όταν Q1 είναι on και η τάση V συνδέεται στα άκρα του δρομέα. Όταν Q1 είναι off το ρεύμα του δρομέα που ρέει δια μέσου της D2 μειώνεται.

β) Έλεγχος επανάκτησης ενέργειας : Το τρανζίστορ Q2 και η D1 λειτουργούν όταν το Q2 είναι on, ο κινητήρας λειτουργεί ως γεννήτρια και το ρεύμα του δρομέα αυξάνεται.



Όταν το Q2 είναι off ο κινητήρας λειτουργεί ως γεννήτρια και επιστρέφει ενέργεια στο δίκτυο διαμέσου της D1.

Έλεγχος στα 4 τεταρτημόρια

(Το παραπάνω σχήμα δείχνει τον έλεγχο αυτό)

- α) Έλεγχος ισχύος στην δεξιόστροφη κίνηση.

Τα Q1, Q2 λειτουργούν τα Q3, Q4 είναι off. Όταν τα Q1, Q2 λειτουργούν μαζί η τάση δικτύου εφαρμόζεται στον δρομέα και το ρεύμα αυξάνει. Όταν το Q1 είναι off και το Q2 είναι ακόμη on το ρεύμα μειώνεται διαμέσου των Q2 και D4. Εναλλακτικά τα Q1, Q2 να είναι off ενώ το ρεύμα τείνει να μειωθεί διαμέσου των D4, D3.

- β) Επανάκτηση ενέργειας

Τα Q1, Q2, Q3 είναι off. Όταν το Q4 είναι on το ρεύμα του δρομέα αυξάνει και διέρχεται από το Q4, D2.

Όταν το Q4 είναι off, ο κινητήρας λειτουργεί ως γεννήτρια επιστρέφοντας ενέργεια στο δίκτυο διαμέσου των D1,D2.

- γ) Έλεγχος ισχύος στην αριστερόστροφη κίνηση.

Τα Q3,Q4 λειτουργούν, ενώ τα Q1,Q2 όχι. Όταν Q3,Q4 λειτουργούν μαζί το ρεύμα του δρομέα αυξάνεται και ρέει στην αντίθετη κατεύθυνση. Όταν το Q3 είναι off και το Q4 on το ρεύμα του δρομέα ρέει διαμέσου των Q4,D2. Εναλλακτικά τα Q3,Q4 μπορεί να είναι off ενώ το ρεύμα του δρομέα τείνει να μειωθεί διαμέσου των D1,D2.

- δ) Επανάκτηση ενέργειας στην αριστερόστροφη λειτουργία

Τα Q1,Q3,Q4 είναι off. Όταν το Q2 είναι on το ρεύμα του δρομέα ρέει διαμέσου των Q2,D4. Όταν το Q2 είναι off το ρεύμα του δρομέα πέφτει και ο κινητήρας επιστρέφει ενέργεια στο δίκτυο διαμέσου των D3,D4.

ΛΥΜΕΝΕΣ ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΩΝ ΚΑΙ
ΜΗΧΑΝΩΝ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

ΑΣΚΗΣΗ (1) Ιδανικός μετασχηματιστής, μονοφασικός, με λόγο $\frac{w_1}{w_2} = \frac{1000}{600}$ συνδεδεμένος στο

πρωτεύον σε τάση 380V, 50Hz, απορροφά ρεύμα κενής λειτουργίας $I_{1m} = 1A$ (μαγνήτισης). Να υπολογιστούν κατά την λειτουργία στο κενό

- α) Η ΗΕΔ του πρωτεύοντος
- β) Ο συντελεστής αυτεπαγωγής L
- γ) Η απαιτούμενη μαγνητική ροή
- δ) Η μαγνητική αντίσταση του πυρήνα
- ε) Η ΗΕΔ του δευτερεύοντος και η V_{20}
- στ) Το διανυσματικό διάγραμμα

ΛΥΣΗ

α) Από την πρώτη συνθήκη ισορροπίας ιδανικού μετασχηματιστή έχουμε $\vec{E}_1 = -\vec{V}_1$, αλλά $\vec{V}_1 = 380\angle 0^\circ V$, έτσι $\vec{E}_1 = -(380\angle 0^\circ V) \Rightarrow$

$$\vec{E}_1 = 380\angle 180^\circ V$$

β) $\omega = 2\pi f \Rightarrow \omega = 2 \times 3,14 \times 50\text{Hz} \Rightarrow \omega = 314\text{sec}^{-1}$

$$\vec{I}_{1m} = \frac{\vec{V}_1}{j\omega L_1} \Rightarrow \vec{I}_{1m} = -j \frac{\vec{V}_1}{\omega L_1} \Rightarrow L_1 = -j \frac{\vec{V}_1}{\omega \vec{I}_{1m}} \Rightarrow$$

$$L_1 = -j \frac{380\angle 0^\circ V}{314\text{sec}^{-1} \times 1\angle -90^\circ A} \Rightarrow L_1 = -j1,215\angle 90^\circ \Rightarrow L_1 = 1,215\text{Henry}$$

$$\gamma) \vec{E}_1 = -j4,44f w_1 \Phi_m \Rightarrow \vec{E}_1 = 4,44f w_1 \Phi_m \Rightarrow \Phi_m = \frac{\vec{E}_1}{4,44f w_1} \Rightarrow$$

$$\Phi_m = \frac{380V}{4,44 \times 50\text{Hz} \times 1000} \Rightarrow \Phi_m = 1,715 \times 10^{-3} \text{Wb}$$

$$\delta) \Theta_m = \Theta \times \sqrt{2} \Rightarrow \Theta_m = I_1 w_1 \sqrt{2}$$

$$\Phi_m = \frac{\Theta_m}{R_m} \Rightarrow R_m = \frac{\Theta_m}{\Phi_m} \Rightarrow R_m = \frac{I_1 w_1 \sqrt{2}}{\Phi_m} \Rightarrow R_m = \frac{1A \times 1000 \times \sqrt{2}}{1,715 \times 10^{-3} \text{Wb}} \Rightarrow$$

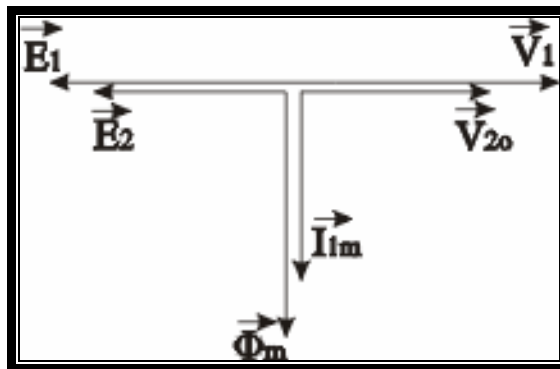
$$R_m = 827 \times 10^3 \Omega$$

$$\epsilon) E_2 = 4,44f_1 w_2 \Phi_m \Rightarrow E_2 = 4,44 \times 50\text{Hz} \times 600 \times 1,715 \times 10^{-3} \text{Wb} \Rightarrow$$

$$E_2 = 230\text{V} \text{ και } \vec{E}_2 = 230 \angle -180^\circ \text{V}$$

$$\text{Ομως } \vec{V}_{2o} = -\vec{E}_2 \Rightarrow \vec{V}_{2o} = -230 \angle -180^\circ \text{V} \Rightarrow \vec{V}_{2o} = 230 \angle 0^\circ \text{V}$$

στ) Το διανυσματικό διάγραμμα είναι



ΑΣΚΗΣΗ (2) Όταν ένας μετασχηματιστής 10KVA , 2400/240V βραχυκυκλώνεται μας δίνει τις παρακάτω μετρήσεις : $U_{βρζ} = 76,8\text{V}$, $I_1 = 4,17\text{A}$, $I_2 = 41,7\text{A}$, $P = 181\text{W}$. Να βρεθούν τα στοιχεία του μετασχηματιστή .

- $U_{βρζ}$

ΛΥΣΗ

Η ολική ωμική αντίσταση είναι

$$P = I^2 \times R_{ολ} \Rightarrow R_{ολ} = \frac{P}{I^2} \Rightarrow R_{ολ} = \frac{181\text{W}}{(4,17\text{A})^2} \Rightarrow R_{ολ} = 10,4\Omega$$

$$\text{Ο λόγος μετασχηματισμού } \alpha = \frac{V_1}{V_2} \Rightarrow \alpha = \frac{2400\text{V}}{240\text{V}} \Rightarrow \alpha = 10$$

Η σύνθετη αντίσταση

$$Z = \frac{U_{βρζ}}{I_1} \Rightarrow Z = \frac{76,8\text{V}}{4,17\text{A}} \Rightarrow Z = 18,4\Omega$$

Η ολική επαγωγική αντίδραση

$$Z_{ολ} = \sqrt{R_{ολ}^2 + x_{σολ}^2} \Rightarrow x_{σολ} = \sqrt{Z_{ολ}^2 - R_{ολ}^2} \Rightarrow x_{σολ} = \sqrt{(18,4\Omega)^2 - (10,4\Omega)^2} \Rightarrow x_{σολ} = 15,2\Omega$$

$$R_{o\lambda} = R_1 + R'_2 \Rightarrow 10,4\Omega = R_1 + R'_2 \Rightarrow R_1 = R'_2 = 5,2\Omega$$

$$x_{\sigma o\lambda} = x_{\sigma 1} + x'_{\sigma 2} \Rightarrow 15,2\Omega = x_{\sigma 1} + x'_{\sigma 2} \Rightarrow x_{\sigma 1} = x'_{\sigma 2} = 7,6\Omega$$

$$Z_{o\lambda} = Z_1 + Z'_2 \Rightarrow 18,4\Omega = Z_1 + Z'_2 \Rightarrow Z_1 = Z'_2 = 9,2\Omega$$

$$R'_2 = R_2 \times \alpha^2 \Rightarrow R_2 = \frac{R'_2}{\alpha^2} \Rightarrow R_2 = \frac{5,2\Omega}{10^2} \Rightarrow R_2 = 0,052\Omega$$

$$x'_{\sigma 2} = x_{\sigma 2} \times \alpha^2 \Rightarrow x_{\sigma 2} = \frac{x'_{\sigma 2}}{\alpha^2} \Rightarrow x_{\sigma 2} = \frac{7,6\Omega}{10^2} \Rightarrow x_{\sigma 2} = 0,076\Omega$$

$$Z'_2 = Z_2 \times \alpha^2 \Rightarrow Z_2 = \frac{Z'_2}{\alpha^2} \Rightarrow Z_2 = \frac{9,2\Omega}{10^2} \Rightarrow Z_2 = 0,092\Omega$$

ΑΣΚΗΣΗ (3) Ένας μονοφασικός μετασχηματιστής 10KVA , 2400/400V , 60Hz , έχει τα ακόλουθα στοιχεία : $R_1 = 5,2\Omega$, $R_2 = 0,052\Omega$, $x_{\sigma 1} = 7,6\Omega$, $x_{\sigma 2} = 0,076\Omega$. Οι απώλειες σιδήρου σε λειτουργία εν κενώ (και σε όλα τα φορτία) είναι 61W . Να βρεθεί η απόδοση

- α) Σε πλήρες φορτίο με συντελεστή ισχύος 1
- β) Σε μισό φορτίο με συντελεστή ισχύος 1
- γ) Σε πλήρες φορτίο με συντελεστή ισχύος 0,8

ΛΥΣΗ

$$I_1 = \frac{S}{V_1} \Rightarrow I_1 = \frac{10000VA}{2400V} \Rightarrow I_1 = 4,17A$$

$$I_2 = \frac{S}{V_2} \Rightarrow I_2 = \frac{10000VA}{240V} \Rightarrow I_2 = 41,7A$$

$$\text{Ο λόγος μετασχηματισμού είναι } \alpha = \frac{V_1}{V_2} \Rightarrow \alpha = \frac{2400V}{240V} \Rightarrow \alpha = 10$$

$$P_{1Cu} = I_1^2 \times R_1 \Rightarrow P_{1Cu} = (4,17A)^2 \times 5,2\Omega \Rightarrow P_{1Cu} = 90,5W$$

$$P_{2Cu} = I_2^2 \times R_2 \Rightarrow P_{2Cu} = (41,7A)^2 \times 0,052\Omega \Rightarrow P_{2Cu} = 90,5W$$

$$P_{Cuo\lambda} = 181W$$

α) Με πλήρες φορτίο και συντελεστή ισχύος 1 έχουμε

$$\text{συνφ} = \frac{P_2}{S_2} \Rightarrow P_2 = S_2 \times \text{συνφ} \Rightarrow P_2 = 10KVA \times 1 \Rightarrow P_2 = 10KW$$

$$\Sigma P_{\alpha\pi} = P_{Fe} + P_{Cu\sigma\lambda} \Rightarrow \Sigma P_{\alpha\pi} = 61W + 181W \Rightarrow \Sigma P_{\alpha\pi} = 242W$$

$$P_1 = P_2 + \Sigma P_{\alpha\pi} \Rightarrow P_1 = 10000W + 242W \Rightarrow P_1 = 10242W$$

$$n = \frac{P_2}{P_1} \Rightarrow n = \frac{10KW}{10,242KW} \Rightarrow n = 0,976$$

β) Σε μισό φορτίο δηλαδή $S=5KVA$ και συντελεστή ισχύος 1, έχουμε : Η ισχύς εξόδου θα είναι

$$\text{τώρα } \sigma\upsilon\nu\varphi = \frac{P_2}{S_2} \Rightarrow P_2 = S_2 \times \sigma\upsilon\nu\varphi \Rightarrow P_2 = 5KVA \times 1 \Rightarrow P_2 = 5KW$$

$$\text{Τα ρεύματα } I_1 = \frac{S}{V_1} \Rightarrow I_1 = \frac{5000VA}{2400V} \Rightarrow I_1 = 2,083A$$

$$I_2 = \frac{S}{V_2} \Rightarrow I_2 = \frac{5000VA}{240V} \Rightarrow I_2 = 20,83A$$

$$\text{Οι απώλειες χαλκού } P_{1Cu} = I_1^2 \times R_1 \Rightarrow P_{1Cu} = (2,083A)^2 \times 5,2\Omega \Rightarrow P_{1Cu} = 22,56W$$

$$P_{2Cu} = I_2^2 \times R_2 \Rightarrow P_{2Cu} = (20,83A)^2 \times 0,052\Omega \Rightarrow P_{2Cu} = 22,56W$$

$$\text{Οι συνολικές απώλειες χαλκού } P_{Cu\sigma\lambda} = 45,12W$$

Οι συνολικές απώλειες ισχύος

$$\Sigma P_{\alpha\pi} = P_{Fe} + P_{Cu\sigma\lambda} \Rightarrow \Sigma P_{\alpha\pi} = 61W + 45,12W \Rightarrow \Sigma P_{\alpha\pi} = 106,12W$$

$$\text{Η ισχύς εισόδου } P_1 = P_2 + \Sigma P_{\alpha\pi} \Rightarrow P_1 = 5000W + 106,12W \Rightarrow P_1 = 5106,12W$$

$$\text{Και ο βαθμός απόδοσης } n = \frac{P_2}{P_1} \Rightarrow n = \frac{5KW}{5,10612KW} \Rightarrow n = 0,979$$

γ) Με πλήρες φορτίο και συντελεστή ισχύος 0,8

$$\sigma\upsilon\nu\varphi = \frac{P_2}{S_2} \Rightarrow P_2 = S_2 \times \sigma\upsilon\nu\varphi \Rightarrow P_2 = 10KVA \times 0,8 \Rightarrow P_2 = 8KW$$

Τα ρεύματα και οι απώλειες ισχύος παραμένουν τα ίδια όπως στο ερώτημα α

$$P_1 = P_2 + \Sigma P_{\alpha\pi} \Rightarrow P_1 = 8000W + 242W \Rightarrow P_1 = 8242W$$

$$\text{Έτσι ο βαθμός απόδοσης θα είναι } n = \frac{P_2}{P_1} \Rightarrow n = \frac{8KW}{8,242KW} \Rightarrow n = 0,971$$

ΑΣΚΗΣΗ (4) Ένας μονοφασικός μετασχηματιστής 10KVA , 2400/400V , 60Hz , έχει τα ακόλουθα στοιχεία $R_1 = 3\Omega$, $R_2 = 0,03\Omega$, $x_{\sigma 1} = 15\Omega$, $x_{\sigma 2} = 0,015\Omega$. Να βρεθεί η απαιτούμενη τάση πρωτεύοντος για να έχουμε τάση δευτερεύοντος σε πλήρες φορτίο 240V , όταν ο συντελεστής ισχύος είναι

- α) 0,8 επαγωγικός
- β) 0,8 χωρητικός (προ πορείας)
- γ) Ωμικός

ΛΥΣΗ

Ο λόγος μετασχηματισμού είναι $\alpha = \frac{V_1}{V_2} \Rightarrow \alpha = \frac{2400V}{240V} \Rightarrow \alpha = 10$

Δουλεύουμε από την μεριά του δευτερεύοντος

$$R'_1 = \frac{R_1}{\alpha^2} \Rightarrow R'_1 = \frac{3\Omega}{10^2} \Rightarrow R'_1 = 0,03\Omega$$

$$x'_{\sigma 1} = \frac{x_{\sigma 1}}{\alpha^2} \Rightarrow x'_{\sigma 1} = \frac{15\Omega}{10^2} \Rightarrow x'_{\sigma 1} = 0,15\Omega$$

$$\vec{Z}_2 = R'_1 + R_2 + j(x'_{\sigma 1} + x_{\sigma 2}) \Rightarrow \vec{Z}_2 = (0,06 + j0,3)\Omega \quad \eta \quad \vec{Z}_2 = 0,3059 \angle 78,69^\circ \Omega$$

α) $\cos\phi=0,8$ επαγωγικό , $\phi=36,87^\circ$ (το ρεύμα καθυστερεί)

$$I_2 = \frac{S}{V_2} \Rightarrow I_2 = \frac{10000VA}{240V} \Rightarrow I_2 = 41,7A$$

Έτσι το ρεύμα είναι $\vec{I}_2 = 41,7 \angle -36,87^\circ A$

Παίρνουμε την V_2 ως τάση αναφοράς . Έτσι

$$\vec{V}'_1 = \vec{V}_2 + \vec{I}_2 \times \vec{Z}_2 \Rightarrow \vec{V}'_1 = 240 \angle 0^\circ V + 41,7 \angle -36,87^\circ A \times 0,3059 \angle 78,69^\circ \Omega \Rightarrow$$

$$\vec{V}'_1 = 240 + j0 + 9,506 + j8,506 \Rightarrow \vec{V}'_1 = (249,506 + j8,506)V \quad \eta$$

$$\vec{V}'_1 = 249,65 \angle 1,952^\circ V$$

$$\vec{V}'_1 = \frac{\vec{V}_1}{\alpha} \quad \text{και παίρνοντας τα μέτρα τους} \quad |\vec{V}_1| = |\vec{V}'_1| \times \alpha \Rightarrow V_1 = 2496,5V$$

β) $\cos\phi=0,8$ χωρητικό , $\phi=36,87^\circ$ (το ρεύμα προπορεύεται)

Έτσι το ρεύμα είναι $\vec{I}_2 = 41,7 \angle 36,87^\circ A$

$$\vec{V}'_1 = \vec{V}_2 + \vec{I}_2 \times \vec{Z}_2 \Rightarrow \vec{V}'_1 = 240 \angle 0^\circ V + 41,7 \angle 36,87^\circ A \times 0,3059 \angle 78,69^\circ \Omega \Rightarrow$$

$$\vec{V}'_1 = 240 + j0 - 5,505 + j11,51 \Rightarrow \vec{V}'_1 = (234,5 + j11,51)V \quad \eta \quad \vec{V}'_1 = 243,78 \angle 2,81^\circ V$$

$$\vec{V}'_1 = \frac{\vec{V}_1}{\alpha} \quad \text{και παίρνοντας τα μέτρα τους} \quad |\vec{V}'_1| = \frac{|\vec{V}_1|}{\alpha} \Rightarrow V_1 = 2437,8V$$

γ) Για ωμικό φορτίο έχουμε $\cos\phi=1$ δηλαδή $\phi=0^\circ$

$$\text{Ετσι} \quad \vec{I}_2 = 41,7 \angle 0^\circ A \Rightarrow \vec{I}_2 = (41,7 + j0)A$$

$$\vec{V}'_1 = \vec{V}_2 + \vec{I}_2 \times \vec{Z}_2 \Rightarrow \vec{V}'_1 = 240 \angle 0^\circ V + 41,7 \angle 0^\circ A \times 0,3059 \angle 78,69^\circ \Omega \Rightarrow$$

$$\vec{V}'_1 = 240 + j0 + 2,5 + j12,5 \Rightarrow \vec{V}'_1 = (242,5 + j12,5)V \quad \eta \quad \vec{V}'_1 = 242,8 \angle 2,95^\circ V$$

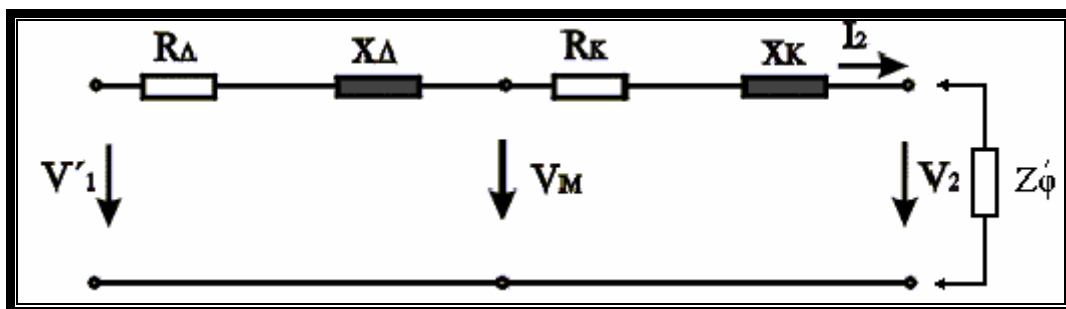
$$\vec{V}'_1 = \frac{\vec{V}_1}{\alpha} \quad \text{και παίρνοντας τα μέτρα τους} \quad |\vec{V}'_1| = \frac{|\vec{V}_1|}{\alpha} \Rightarrow V_1 = 2428 V$$

ΑΣΚΗΣΗ (5) Μονοφασικό φορτίο τροφοδοτείται από γραμμή μεταφοράς με σύνθετη αντίσταση $105+j360\Omega$ και μέσω ενός μετασχηματιστή $33/2,4KV$ του οποίου η ισοδύναμη σύνθετη αντίσταση είναι $0,26+j1,08\Omega$ ανοιγμένη στην πλευρά χαμηλής τάσης . Το φορτίο είναι $180KW$ με συντελεστή ισχύος $0,85$ χωρητικό και τάση $2250V$. Να υπολογιστούν

- α) Η τάση στην αρχή της γραμμής μεταφοράς
- β) Η τάση στους ακροδέκτες του πρωτεύοντος
- γ) Η πραγματική και άεργος ισχύ στην αρχή της γραμμής μεταφοράς

ΛΥΣΗ

Το σχήμα του ισοδύναμου κυκλώματος είναι



$$\text{Ο λόγος μετασχηματισμού είναι} \quad \alpha = \frac{V_1}{V_2} \Rightarrow \alpha = \frac{33KV}{2,4KV} \Rightarrow \alpha = 13,75$$

Ο συντελεστής ισχύος είναι $\cos\phi_2 = 0,85$ και η γωνία $\phi=31,79^\circ$

$$\varepsilon\phi\phi = \frac{Q_2}{P_2} \Rightarrow Q_2 = P_2 \times \varepsilon\phi\phi \Rightarrow Q_2 = 180\text{KW} \times 0,62 \Rightarrow Q_2 = 111,6\text{KVA}$$

α) Ανάγουμε τις αντιστάσεις του πρωτεύοντος στο δευτερεύον

$$(R_{\Gamma} + jX_{\Gamma})' = \frac{(R_{\Gamma} + jX_{\Gamma})}{\alpha^2} = \frac{(105 + j360)\Omega}{13,75^2} = (0,55 + j1,9)\Omega = 1,11\angle 76,46^\circ \Omega$$

$$R + jX = 0,26 + j1,08\Omega \text{ (είναι ήδη ανοιγμένη)}$$

και η συνολική αντίσταση είναι

$$Z = R_{\text{ολ}} + jX_{\text{ολ}} = (0,805 + j2,98)\Omega = 3,089\angle 74,7^\circ \Omega$$

$$P_2 = V_2 \times I_2 \times \text{συν}\phi \Rightarrow I_2 = \frac{P_2}{V_2 \times \text{συν}\phi} \Rightarrow I_2 = \frac{180000\text{W}}{2250\text{V} \times 0,85} \Rightarrow I_2 = 94,11\text{A}$$

Παίρνουμε την V_2 ως τάση αναφοράς $\vec{V}_2 = 2250\angle 0^\circ \text{V}$

$$\vec{V}'_1 = \vec{V}_2 + \vec{I}_2 \times \vec{Z} \Rightarrow \vec{V}'_1 = 2250\angle 0^\circ \text{V} + 94,11\angle 31,79^\circ \text{A} \times 3,089\angle 74,7^\circ \Omega \Rightarrow \vec{V}'_1 = 2170,3\angle 7,23^\circ \text{V}$$

$$V_1 = V'_1 \times \alpha \Rightarrow V_1 = 13,75 \times 2170,3\text{V} \Rightarrow V_1 = 29841,6\text{V}$$

β) Η τάση στους ακροδέκτες του πρωτεύοντος είναι

$$\vec{V}'_M = \vec{V}_2 + \vec{I}_2 \times (R + jX) \Rightarrow \vec{V}'_M = 2250\angle 0^\circ \text{V} + 94,11\angle 31,79^\circ \text{A} \times 1,11\angle 76,46^\circ \Omega \Rightarrow \vec{V}'_M = 2219,5\angle 2,56^\circ \text{V}$$

$$V_M = V'_M \times \alpha \Rightarrow V_M = 13,75 \times 2219,5\text{V} \Rightarrow V_M = 30518\text{V}$$

Η τάση εδώ είναι υψηλότερη απ' ότι στην αρχή της γραμμής εξαιτίας του φορτίου που είναι χωρητικό

γ) Η πραγματική ισχύς είναι

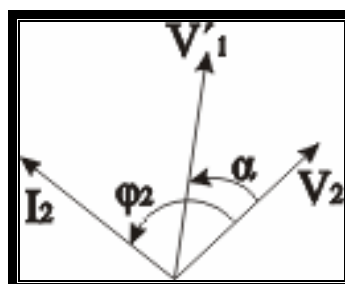
$$P_1 = V'_1 \times I_2 \times \text{συν}(\phi_2 - \alpha) \Rightarrow P_1 = 217,30\text{V} \times 94,11\text{A} \times \text{συν}24,46^\circ \Rightarrow P_1 = 185,871\text{KW}$$

και η άεργος

$$Q_1 = V'_1 \times I_2 \times \eta\mu(\phi_2 - \alpha) \Rightarrow Q_1 = 217,30\text{V} \times 94,11\text{A} \times \eta\mu 24,46^\circ \Rightarrow Q_1 = 84,57\text{KVAR}$$

$$\phi_2 - \alpha = \phi_2 - \phi_{V_1} = 31,79^\circ - 7,23^\circ = 24,46^\circ$$

Το διανυσματικό διάγραμμα δίνεται παρακάτω



ΑΣΚΗΣΗ (6) Μονοφασικού μετασχηματιστή , 500KVA , με λόγο $\frac{V_1}{V_{2o}} = \frac{10}{3,33} \text{KV}$, δίνονται τα ακόλουθα στοιχεία απλοποιημένου ισοδύναμου κυκλώματος $Z'_{2o} = (0,2 + j1)\Omega$ και του κλάδου μαγνήτισης: $R_{Fe} = 100\text{K}\Omega$, $x_m = 12\text{K}\Omega$.Ο μετασχηματιστής συνδέεται σε δίκτυο τάσης $V_1 = 10\text{KV}$ στο πρωτεύον και υπό φορτίο στο δευτερεύον οπότε έχουμε ρεύμα $I_2 = 165\text{A}$ με $\cos\phi_2 = 0,8$ επαγωγικό . Να υπολογιστούν

- α) Τα ονομαστικά στοιχεία $P_{Cu}, \dot{u}_R, \dot{u}_x, \dot{u}_k, \dot{i}_{Fe}, \dot{i}_m, \dot{i}_o, P_{Fe}$
- β) Για την παραπάνω φόρτιση να βρεθούν

- (i) Η τάση V_2 και η γωνία $\phi = (\vec{V}_1, \vec{V}_2) = (\vec{V}_{2o}, \vec{V}_2)$

- (ii) Το διανυσματικό διάγραμμα , υπό φορτίο με τάση αναφοράς την \vec{V}_2 και το ρεύμα \vec{I}_1 , όταν λαμβάνουμε υπ' όψη και το ρεύμα \vec{I}_o

- (iii) Η γωνία $\phi_1 = (\vec{V}_1, \vec{I}_1)$

ΛΥΣΗ

α) Ο λόγος μετασχηματισμού είναι $\alpha = \frac{V_1}{V_2} \Rightarrow \alpha = \frac{10000\text{V}}{3330\text{V}} \Rightarrow \alpha = 3$

Το ονομαστικό ρεύμα στο πρωτεύον είναι $I_{1ov} = \frac{S}{V_1} \Rightarrow I_{1ov} = \frac{500\text{KVA}}{10\text{KV}} \Rightarrow I_{1ov} = 50\text{A}$

Το ονομαστικό ρεύμα στο δευτερεύον είναι $I_{2ov} = \frac{S}{V_2} \Rightarrow I_{2ov} = \frac{500\text{KVA}}{3,33\text{KV}} \Rightarrow I_{2ov} = 150\text{A}$

Οι ονομαστικές απώλειες χαλκού

$$P_{Cuov} = I_{2ov}^2 \times R'_{2o} \Rightarrow P_{Cuov} = (150\text{A})^2 \times 0,2\Omega \Rightarrow P_{Cuov} = 4500\text{W}$$

$$\dot{u}_{Rov} = \frac{V_R}{V_2} \times 100 \Rightarrow \dot{u}_{Rov} = \frac{I_{2ov} \times R'_{2o}}{V_2} \times 100 \Rightarrow \dot{u}_{Rov} = \frac{150\text{A} \times 0,2\Omega}{3330\text{V}} \times 100 \Rightarrow$$

$$\dot{u}_{Rov} = 0,9\%$$

$$\dot{u}_{xov} = \frac{V_x}{V_2} \times 100 \Rightarrow \dot{u}_{xov} = \frac{I_{2ov} \times x'_{so\lambda}}{V_2} \times 100 \Rightarrow \dot{u}_{xov} = \frac{150\text{A} \times 1\Omega}{3330\text{V}} \times 100 \Rightarrow$$

$$\dot{u}_{xov} = 4,5\%$$

$$\dot{u}_{kov}^2 = \dot{u}_{xov}^2 + \dot{u}_{Rov}^2 \Rightarrow \dot{u}_{kov} = \sqrt{\dot{u}_{xov}^2 + \dot{u}_{Rov}^2} \Rightarrow \dot{u}_{kov} = \sqrt{4,5^2 + 0,9^2} \Rightarrow$$

$$\dot{u}_{\text{kov}} = 4,59\%$$

$$\text{Το ρεύμα σιδήρου } I_{Fe} = \frac{V_1}{R_{Fe}} \Rightarrow I_{Fe} = \frac{10KV}{100K\Omega} \Rightarrow I_{Fe} = 0,1A$$

$$\dot{u}_{Fe} = \frac{I_{Fe}}{I_1} \times 100 \Rightarrow \dot{u}_{Fe} = \frac{0,1A}{50A} \times 100 \Rightarrow \dot{u}_{Fe} = 0,2\%$$

Το σχετικό ρεύμα σιδήρου

$$I_m = \frac{V_1}{x_m} \Rightarrow I_m = \frac{10KV}{12K\Omega} \Rightarrow I_m = 0,843A$$

$$\dot{u}_m = \frac{I_m}{I_1} \times 100 \Rightarrow \dot{u}_m = \frac{0,843A}{50A} \times 100 \Rightarrow \dot{u}_m = 1,675\%$$

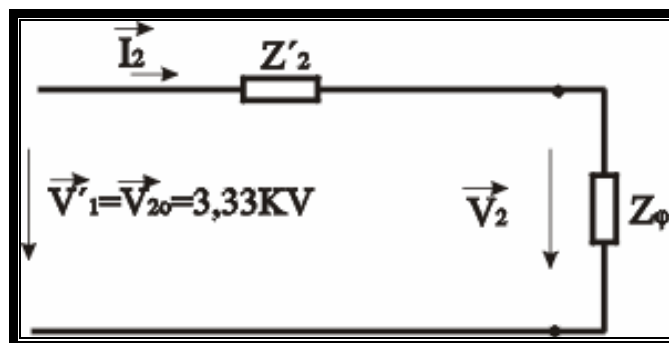
$$I_o^2 = I_m^2 + I_{Fe}^2 \Rightarrow I_o = \sqrt{I_m^2 + I_{Fe}^2} \Rightarrow I_o = \sqrt{(0,843A)^2 + (0,1A)^2} \Rightarrow I_o = 0,84A$$

$$\dot{u}_o = \frac{I_o}{I_1} \times 100 \Rightarrow \dot{u}_o = \frac{0,84A}{50A} \times 100 \Rightarrow \dot{u}_o = 1,68\%$$

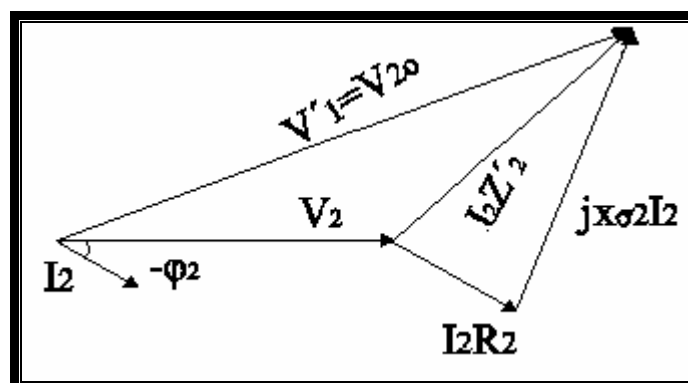
Η ονομαστική ισχύς σιδήρου

$$P_{Feov} = I_{Fe}^2 \times R_{Fe} \Rightarrow P_{Feov} = (0,1A)^2 \times 100K\Omega \Rightarrow P_{Feov} = 1000W$$

β) (i) Παρακάτω δίνεται το απλοποιημένο ισοδύναμο κύκλωμα ανοιγμένο στο δευτερεύον



Το διανυσματικό διάγραμμα είναι



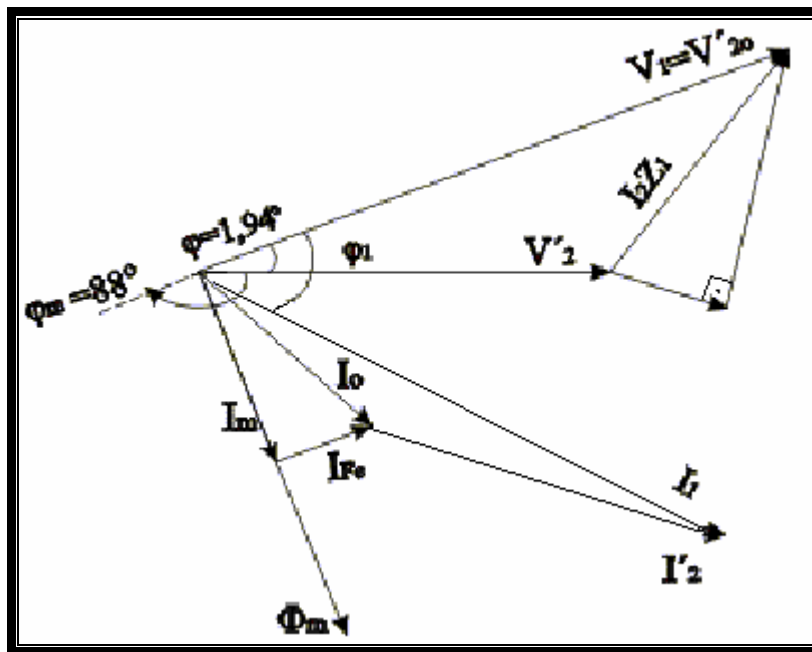
$$\vec{V}'_1 = \vec{V}_{2o} = \vec{V}_2 + \vec{I}_2 \times \vec{Z}'_2 \Rightarrow \vec{V}'_1 = \vec{V}_2 + (132 - j99)A \times (0,2 + j1)\Omega \Rightarrow$$

$$\vec{V}'_1 = (\vec{V}_2 + 125,4) + j112,2 \text{ και παίρνοντας τα μέτρα τους}$$

$$(3330V)^2 = (V_2 + 125,4)^2 + 112,2^2 \Rightarrow V_2 = 3204,6V$$

$$\varphi = \eta\mu \frac{112,2}{3330} \Rightarrow \varphi = \eta\mu 0,0333 \Rightarrow \varphi = 1,94^\circ$$

(ii) Το ζητούμενο διανυσματικό διάγραμμα δίνεται παρακάτω



Ανάγουμε το ισοδύναμο κύκλωμα στο πρωτεύον

Από το διανυσματικό διάγραμμα έχουμε $\varphi_m = -88^\circ$, $\varphi_{Fe} = 1,94^\circ$

$$\vec{I}_m = 0,834 \times (\cos(-88^\circ) + j\eta\mu(-88^\circ)) \Rightarrow \vec{I}_m = 0,029 - j0,832A$$

$$\vec{I}_{Fe} = 0,1 \times (\cos 1,94^\circ + j\eta\mu 1,94^\circ) \Rightarrow \vec{I}_{Fe} = 0,099 + j0,0035A$$

$$\vec{I}_0 = \vec{I}_m + \vec{I}_{Fe} \Rightarrow \vec{I}_0 = 0,029 - j0,832A + 0,099 + j0,0035A \Rightarrow \vec{I}_0 = 0,129 - j0,829A$$

$$\vec{I}'_2 = \frac{\vec{I}_2}{\alpha} \Rightarrow \vec{I}'_2 = \frac{132 - j99}{3} \Rightarrow \vec{I}'_2 = 44 - j33A$$

$$\vec{I}_1 = \vec{I}_0 + \vec{I}'_2 \Rightarrow \vec{I}_1 = 0,129 - j0,829A + 44 - j33A \Rightarrow \vec{I}_1 = 44,13 - j33,83A$$

$$\eta \vec{I}_1 = 55,7 \angle -37,5^\circ A$$

(iii) Η ζητούμενη γωνία είναι

$$\varphi_1 = (\vec{V}_1, \vec{I}_1) \Rightarrow \varphi_1 = (\vec{I}_1, \vec{V}'_2) + (\vec{V}'_2, \vec{V}_1) \Rightarrow \varphi_1 = 37,5^\circ + 1,94^\circ \Rightarrow$$

$$\varphi_1 = 39,5^\circ \text{ επαγωγικό}$$

ΑΣΚΗΣΗ (7) Δίνονται δύο τριφασικοί μετασχηματιστές I, II με τα παρακάτω στοιχεία

$S_{IN} = 400\text{KVA}$	$S_{IIN} = 630\text{KVA}$
20 / 0,4	20 / 0,4
$\check{U}_{KI} = 4\%$	$\check{U}_{KII} = 4,5\%$

Οι δύο μετασχηματιστές έχουν τον ίδιο συντελεστή ισχύος .Να βρεθούν

- α) Τα επιμέρους φορτία σε KVA, A στην χαμηλή τάση
- β) Τα επιμέρους φορτία όταν $V_{KI} = 4,5\%$ και $V_{KII} = 4\%$
- γ) Η διανομή ενός φορτίου 1000KVA όταν οι μετασχηματιστές έχουν $\check{U}_{KI} = 4\%$,
 $\check{U}_{KII} = 4,5\%$

ΛΥΣΗ

α)

$$S_I = S_{IN} \times \frac{\check{U}_K}{\check{U}_{KI}}$$

αφού

$$\check{U}_{KI} < \check{U}_{KII} \quad S_{IN} = S_I$$

$$\frac{S_I}{S_{IN}} = \frac{S_{II}}{S_{IIN}} \times \frac{\check{U}_{KII}}{\check{U}_{KI}} \Rightarrow 1 = \frac{S_{II}}{630\text{KVA}} \times \frac{4,5}{4} \Rightarrow S_{II} = 560\text{KVA}$$

$$S = S_I + S_{II} \Rightarrow S = 400\text{KVA} + 560\text{KVA} \Rightarrow S = 960\text{KVA}$$

$$I_{IN} = \frac{S_{IN}}{\sqrt{3}V_1} \Rightarrow I_{IN} = \frac{400\text{KVA}}{\sqrt{3} \times 0,4\text{KV}} \Rightarrow I_{IN} = 577,35\text{A}$$

$$I_{IIN} = \frac{S_{IIN}}{\sqrt{3}V_2} \Rightarrow I_{IIN} = \frac{630\text{KVA}}{\sqrt{3} \times 0,4\text{KV}} \Rightarrow I_{IIN} = 909,33\text{A}$$

$$\frac{U_{KII}}{U_{KI}} = \frac{4}{4,5} = \frac{8}{9}, \text{ έτσι το ρεύμα θα είναι}$$

$$I_{II} = \frac{8}{9} \times I_{IIN} \Rightarrow I_{II} = \frac{8}{9} \times 909,33A \Rightarrow I_{II} = 808,29A$$

$$I_C = I_I + I_{II} \Rightarrow I_C = 577,35A + 808,29A \Rightarrow I_C = 1,39KA$$

$$\beta) \frac{S_I}{S_{IN}} = \frac{S_{II}}{S_{IIN}} \times \frac{\ddot{U}_{KII}}{\ddot{U}_{KI}} \quad S_{IIN} = S_{II}$$

$$\frac{S_I}{S_{IN}} = \frac{S_{II}}{S_{IIN}} \times \frac{\ddot{U}_{KII}}{\ddot{U}_{KI}} \Rightarrow \frac{S_I}{400KVA} = \frac{630KVA}{630KVA} \times \frac{4}{4,5} \Rightarrow S_I = 355,56KVA$$

$$S = S_I + S_{II} \Rightarrow S = 355,56KVA + 630KVA \Rightarrow S = 985,56KVA$$

$$I_{IIN} = \frac{S_{IIN}}{\sqrt{3}V_2} \Rightarrow I_{IIN} = \frac{630KVA}{\sqrt{3} \times 0,4KV} \Rightarrow I_{IIN} = 909,33A$$

$$I_{IN} = \frac{S_{IN}}{\sqrt{3}V_1} \Rightarrow I_{IN} = \frac{355,56KVA}{\sqrt{3} \times 0,4KV} \Rightarrow I_{IN} = 513,21A$$

$$I = I_I + I_{II} \Rightarrow I = 909,33A + 513,21A \Rightarrow I = 1,42KA$$

γ) Όταν έχουμε συγκεκριμένο φορτίο , S=1000KVA , βρίσκουμε πάντα την ισοδύναμη τάση βραχυκύκλωσης

Έτσι η ισοδύναμη τάση βραχυκύκλωσης θα είναι

$$\ddot{U}_K = \frac{S}{\frac{S_I}{\ddot{U}_{KI}} + \frac{S_{II}}{\ddot{U}_{KII}}} \Rightarrow \ddot{U}_K = \frac{1000KVA}{\frac{400KVA}{4} + \frac{630KVA}{4,5}} \Rightarrow \ddot{U}_K = 4,17\%$$

$$S_I = S_{IN} \times \frac{\ddot{U}_K}{\ddot{U}_{KI}} \Rightarrow S_I = 400KVA \times \frac{4,17}{4} \Rightarrow S_I = 417KVA$$

$$S_{II} = S_{IIN} \times \frac{\ddot{U}_K}{\ddot{U}_{KII}} \Rightarrow S_{II} = 630KVA \times \frac{4,17}{4,5} \Rightarrow S_{II} = 583,8KVA$$

ΑΣΚΗΣΗ (8) Δύο τριφασικοί μετασχηματιστές, με ονομαστικά στοιχεία

I	30MVA	20/0,4KV	$\check{U}_{KI} = 6\%$
II	40MVA	20/0,4KV	$\check{U}_{KII} = 4\%$

έχουν την ίδια συνδεσμολογία και το ίδιο $\sigma_{\text{synf}} \kappa$, παραλληλίζονται στους ζυγούς Υ.Τ και Χ.Τ .

- α) Να εξετάσετε τι συμβαίνει αν οι δύο μετασχηματιστές φορτισθούν με συνολική ισχύ 1800KVA
- β) Να βρείτε τις απώλειες χαλκού των δύο μετασχηματιστών αν στην ονομαστική λειτουργία χωρίς παραλληλισμό ισχύει $\frac{R_K}{X_K} = \frac{1}{3}$
- γ) Αν ισχύει $\check{U}_{KI} = \check{U}_{KII} = 6\%$, να βρείτε σε ποια περιοχή ισχύος φόρτισης είναι συμφέρουσα από την άποψη συνολικών απωλειών η λειτουργία του ενός μετασχηματιστή και σε ποια περιοχή η παράλληλη λειτουργία . Οι απώλειες σιδήρου είναι $P_{Fe} = 0,3 \times P_{Cuov}$

ΛΥΣΗ

$$\alpha) S = S_I + S_{II} = 1800\text{KVA}$$

$$\frac{S_I}{S_{IN}} = \frac{S_{II}}{S_{IIN}} \times \frac{\check{U}_{KII}}{\check{U}_{KI}} \Rightarrow \frac{S_I}{S_{II}} = \frac{1000\text{KVA}}{1000\text{KVA}} \times \frac{4}{6} \Rightarrow S_I = \frac{4}{6} \times S_{II}$$

$$S_I = \frac{4}{6} \times S_{II} , S_I + S_{II} = 1800\text{KVA} \text{ λύνοντας αυτές τις δύο σχέσεις παίρνουμε}$$

$$S_I = 720\text{KVA} , S_{II} = 1080\text{KVA}$$

$$\beta) \text{ ισχύει } \frac{R_K}{X_K} = \frac{1}{3}$$

$$Z_{KI} = \frac{\check{U}_{KI} \times V_{IN}}{I_{IN}} \Rightarrow Z_{KI} = \frac{\check{U}_{KI} \times V_{IN} \times V_{IN}}{I_{IN} \times V_{IN}} \Rightarrow Z_{KI} = \check{U}_{KI} \times \frac{V_{IN}^2}{S_{IN}} \Rightarrow$$

$$Z_{KI} = 0,06 \times \frac{(20\text{KV})^2}{1000\text{KVA}} \Rightarrow Z_{KI} = 24\Omega$$

$$Z_{KII} = \frac{\check{U}_{KII} \times V_{IIN}}{I_{IIN}} \Rightarrow Z_{KII} = \check{U}_{KII} \times \frac{V_{IIN}^2}{S_{IIN}} \Rightarrow Z_{KII} = 0,04 \times \frac{(20\text{KV})^2}{1000\text{KVA}} \Rightarrow$$

$$Z_{KII} = 16\Omega$$

$$I_I = \frac{S_I}{\sqrt{3} \times V_I} \Rightarrow I_I = \frac{1000 \text{KVA}}{\sqrt{3} \times 20 \text{KV}} \Rightarrow I_I = 28,87 \text{A}$$

$$I_{IN} = I_{IIN} = 28,87 \text{A}$$

$$x_K = 3 \times R_K, \quad Z_K = \sqrt{R_K^2 + x_K^2} \Rightarrow Z_K = \sqrt{R_K^2 - (3 \times R_K)^2} \Rightarrow Z_K = \sqrt{10} \times R_K$$

$$R_{KI} = \frac{Z_{KI}}{\sqrt{10}} \Rightarrow R_I = \frac{24 \Omega}{\sqrt{10}} \Rightarrow R_{KI} = 7,59 \Omega$$

$$R_{KII} = \frac{Z_{KII}}{\sqrt{10}} \Rightarrow R_{II} = \frac{16 \Omega}{\sqrt{10}} \Rightarrow R_{KII} = 5,06 \Omega$$

Οι απώλειες χαλκού του μετασχηματιστή I είναι

$$P_{CuI} = 3 \times I_I^2 \times R_{KI} \Rightarrow P_{CuI} = 3 \times (28,87 \text{A})^2 \times 7,59 \Omega \Rightarrow P_{CuI} = 18,98 \text{KW}$$

Οι απώλειες χαλκού του μετασχηματιστή II είναι

$$P_{CuII} = 3 \times I_{II}^2 \times R_{KII} \Rightarrow P_{CuII} = 3 \times (28,87 \text{A})^2 \times 5,06 \Omega \Rightarrow P_{CuII} = 12,7 \text{KW}$$

Οι συνολικές απώλειες χαλκού είναι $P_{Cuολ} = P_{Cu1} + P_{Cu2} \Rightarrow P_{Cuολ} = 31,68 \text{KW}$

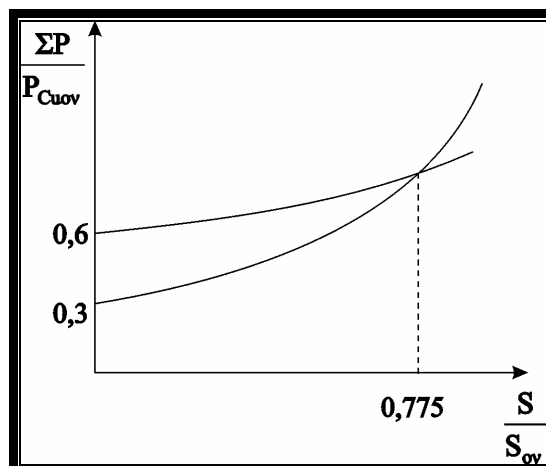
γ) Όταν δουλεύει ο ένας μετασχηματιστής ($P_{Fe} = 0,3 \times P_{Cuov}$) έχουμε

$$(1) \quad \Sigma P = P_{Fe} + \left(\frac{S}{S_{ov}} \right)^2 \times P_{Cuov} \Rightarrow \Sigma P = P_{Cuov} + \left(0,3 + \left(\frac{S}{S_{ov}} \right)^2 \right)$$

Όταν δουλεύουν και οι δύο μετασχηματιστές

$$(2) \quad \Sigma P = 2P_{Fe} + 2 \left(\frac{S}{2S_{ov}} \right)^2 \times P_{Cuov} \Rightarrow \Sigma P = P_{Cuov} + \left(0,6 + \frac{1}{2} \times \left(\frac{S}{S_{ov}} \right)^2 \right)$$

Σημείο εξίσωσης των απωλειών



Σ' αυτό το σημείο βάζω και τον δεύτερο μετασχηματιστή να δουλεύει με τον πρώτο

$$(1)=(2) \Rightarrow 0,3 + \left(\frac{S}{S_{ov}}\right)^2 = 0,6 + \frac{1}{2} \times \left(\frac{S}{S_{ov}}\right)^2 \Rightarrow \frac{S}{S_{ov}} = 0,775$$

S<775KVA για ένα μετασχηματιστή

S>775KVA για δύο μετασχηματιστές

$$I_1 = \frac{I \cdot R_\sigma}{R_\sigma + R} \Rightarrow I_1 \cdot (R_\sigma + R) = I \cdot R_\sigma \Rightarrow$$

$$\Rightarrow I_1 \cdot R_\sigma + I_1 \cdot R = I \cdot R_\sigma \Rightarrow I_1 \cdot R = I \cdot R_\sigma - I_1 \cdot R_\sigma \Rightarrow$$

$$\Rightarrow R = \frac{I \cdot R_\sigma - I_1 \cdot R_\sigma}{I_1} \Rightarrow R = \frac{200 \cdot 0,01 - 54 \cdot 0,01}{54} = 0,027 \Omega$$

$$E = U + I_\rho \cdot R_\rho + I \cdot \frac{R_\sigma \cdot R}{R_\sigma + R} \quad [1]$$

$$I_\rho = I_\delta + I \quad [2]$$

$$I = I_1 + I_\sigma$$

$$U + I \cdot \frac{R_\sigma \cdot R}{R_\sigma + R} - I_\delta R_\delta = 0 \Rightarrow U + I \cdot \frac{R_\sigma \cdot R}{R_\sigma + R} = I_\delta R_\delta \Rightarrow$$

$$\Rightarrow I_\delta = \frac{U + I \cdot \frac{R_\sigma \cdot R}{R_\sigma + R}}{R_\delta} = \frac{500 + 200 \cdot \frac{137}{125}}{125} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow I_\delta = 1,5 \text{ A}$$

$$[2] \quad I_\rho = 1,5 + 200 = 201,5 \text{ A}$$

$$[1] \quad E = 500 + 6 + 1,46 = 507,46 \text{ V}$$

ΑΣΚΗΣΗ (9) Γεννήτρια παράλληλης διέγερσης για $\eta = 500$ rpm έχει $R_p = 0,2 \Omega$

I_δ	0	3	4	5	6
E	50	630	800	920	1000

και $R_\delta = 160 \Omega$, $R_\sigma = 12 \Omega$ και για $\eta = 500$ rpm $P_{Fe} + P_{Tp} = \text{αμελ.}$

Ζητούνται :

- α) Το I_δ και E εν κενω.
- β) Τη χαρακτηριστική φόρτισης $V = F(I_\rho)$.
- γ) Την τάση δικτύου U , το I_δ , το ρεύμα δικτύου I , τη μηχανική ισχύ κίνησης P εξόδου, την ροπή M και το βαθμό απόδοσης σε λειτουργία φόρτισης με $I_\rho = 400 \text{ A}$.
- δ) Τα ρεύματα δρομέα και δικτύου όταν βραχυκυκλωθούν τα άκρα του τυμπάνου.

ΛΥΣΗ

α)

$$I_{\delta o}, E_o$$

$V = E - I_p R_p$ όμως $V = (R_{\delta} + 'R_{\delta}).I_{\delta}$ ή $V = 172.I_{\delta}$ χαρακτηριστική ευθεία $I = 0 \Rightarrow I_p = I_{\delta} \ll I$

Θεωρώντας $I_{\delta} \ll I \Rightarrow I_p R_{\delta} \sim 0 \Rightarrow V \sim E$

Χαράζτε την χαρακτηριστική ευθεία με κλίση $\psi = \alpha \chi$ $V = 172. I_{\delta}$

για $I_{\delta} = 1, 2, 3 \dots \Rightarrow$ η ευθεία διέγερσης .

Η τομή της εν κενό χαρακτηριστικής με την ευθεία διέγερσης μας δίνει το σημείο λειτουργίας $I_{\delta o}, E_o$ (5,7 , 975).

β)

Χαρακτηριστική φόρτισης $V = F(I_p)$

Για διάφορες τιμές του I_{δ} π.χ. 4,5,6 ... \Rightarrow αντιστοιχούν E_1, E_2, E_3

$$V_1 = I_{\delta} \cdot 172 \Rightarrow \text{τάση } V_1 \quad I_1 = (U_1 - E_1)/R_p \quad \text{σημείο } U_1, I_{p1}$$

$$V_2 = I_{\delta} \cdot 172 \Rightarrow \text{τάση } V_2 \quad I_2 = (U_2 - E_2)/R_p \quad \text{σημείο } U_2, I_{p2}$$

$$V_3 = I_{\delta} \cdot 172 \Rightarrow \text{τάση } V_3 \quad I_3 = (U_3 - E_3)/R_p \quad \text{σημείο } U_3, I_{p3}$$

γ)

$$\Delta U = E - U = I_p R_p = 400 \cdot 0,2 = 80 \text{ V}$$

μετατοπίζω την ευθεία διέγερσης προς τα πάνω

$$80 \text{ V} \gg U = 760 \text{ V}$$

$$E = 840 \text{ V} \quad I_{\delta} = 4,45 \text{ A}$$

$$\text{και } I = I_p - I_{\delta} = 400 - 4,45 = 395,55 \text{ A}$$

$$P_{T_p} = P_{F_e} = 0$$

$$P_1 = P_H + P_{F_e} \Rightarrow P_{\epsilon \xi} = P_H = E \cdot I_p = 840 \cdot 400 = 336 \text{ kW}$$

$$T = \frac{P_{\epsilon \xi}}{\omega m}$$

$$\omega = \frac{2 \pi n}{60} \Rightarrow T = \frac{336 \cdot 10^3}{52,33} = 6420 \text{ Nm}$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{U \cdot I}{R_H} = \frac{760 \cdot 395,5}{336 \cdot 10^3} = 0,89 \eta' 89 \%$$

δ)

$$V = 0$$

$$E = 50 \Rightarrow I_{\delta} = 0$$

$$I_{\beta p} = \frac{E_{\pi \cdot \mu}}{R_{\rho}} = \frac{50}{0,2} = 250 \text{ A}$$

ΑΣΚΗΣΗ (10) Γεννήτρια διέγερσης σειράς με $I = 25 \text{ A}$, $P_{\text{απ}} = 8\%P_{\text{εισόδου}}$

$n = 2000 \text{ rpm}$ και $R_{\phi} = 20 \Omega$ (P_{Fe} , $P_{\text{Τρ}} = 0$).

Να βρεθούν :

- α) U
- β) $P_{\text{εισ}}$, Η.Ε.Δ.
- γ) $P_{\text{ολ}} = R_{\sigma} + R_{\text{εισ}}$
- δ) $R_{\phi} = 18 \Omega$, $I = 25 \text{ A}$ $n = ?$;

ΛΥΣΗ

α)

$$U = I \cdot R_{\phi} = 25 \cdot 20 = 500 \text{ V}$$

β)

$$P_{\text{εξ}} = P_{\text{εισ}} - P_{\text{απ}} = P_{\text{εισ}} - 0,08 \cdot P_{\text{εισ}} = P_{\text{εισ}} \cdot (1 - 0,08) = 0,92 \cdot P_{\text{εισ}}$$

$$P_{\text{εξ}} = U \cdot I = 500 \cdot 25 = 12500 \text{ W}$$

$$P_{\text{εξ}} = 0,92 \cdot P_{\text{εισ}} \Rightarrow P_{\text{εισ}} = \frac{P_{\text{εξ}}}{0,92} \Rightarrow P_{\text{εισ}} = \frac{U \cdot I}{0,92} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow P_{\text{εισ}} = \frac{12500}{0,92} = 13600 \text{ W}$$

$$P_{\text{εισ}} = P_H = E \cdot I_{\rho} \Rightarrow E = \frac{P_H}{I_{\rho}} \Rightarrow E = \frac{13600}{25} \Rightarrow E = 544 \text{ V}$$

γ)

$$U = E - I_{\rho} \cdot (R_{\rho} + R_{\sigma}) \Rightarrow R_{\rho} + R_{\sigma} = \frac{E - U}{I_{\rho}} \Rightarrow R_{\rho} + R_{\sigma} = \frac{544 - 500}{25} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow R_{\rho} + R_{\sigma} = 1,75 \Omega$$

δ)

$$U' = I \cdot R'_{\phi} = 25 \cdot 18 = 450 \text{ V}$$

$$E = U' + I \cdot R_{\text{ολ}} = 450 + 25 \cdot 1,75 = 494 \text{ V}$$

$$\left. \begin{aligned} E_1 &= \Phi \Omega_1 C \Rightarrow E_1 = \Phi \cdot \frac{2\pi n_1}{60} \cdot C \\ E_2 &= \Phi \Omega_2 C \Rightarrow E_2 = \Phi \cdot \frac{2\pi n_2}{60} \cdot C \end{aligned} \right\} \frac{E_1}{E_2} = \frac{n_1}{n_2} \Rightarrow n_2 = n_1 \cdot \frac{E_2}{E_1} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow n_2 = 2000 \cdot \frac{495}{544} \Rightarrow n_2 = 1815 \text{ rpm}$$

ΑΣΚΗΣΗ (11) Γεννήτρια σύνθετης διέγερσης φορτίζεται με $U = 440 \text{ V}$

και $I = 9 \text{ A}$. Αν $R_p = 1,6 \Omega$, $R_\delta = 340 \Omega$ και $R_\sigma = 1 \Omega$.

Ζητούνται :

- α) Η τάση στις ψήκτρες και η Η.Ε.Δ. της γεννήτριας.
- β) Οι επιμέρους και οι συνολικές απώλειες χαλκού.
- γ) Ο βαθμός απόδοσης αν οι $P_{\text{τρ}}$ + P_{Fe} είναι αμελητέες .

ΛΥΣΗ

α)

$$U_{AB} = U_1 = U + I \cdot R_\sigma = 440 + 9 \cdot 1 = 449 \text{ V}$$

$$U_1 = I_{\delta\pi} \cdot R_{\delta\pi} \Rightarrow I_{\delta\pi} = \frac{U_1}{R_{\delta\pi}} \Rightarrow I_{\delta\pi} = \frac{449}{340} = 1,32 \text{ A}$$

$$I_p = I + I_{\delta\pi} \Rightarrow I_p = 9 + 1,32 = 10,32 \text{ A}$$

$$E = U_1 + I_p \cdot R_p = 449 + 10,32 \cdot 1,6 = 465,5 \text{ V}$$

β)

$$P_{\text{cu}\sigma} = I^2 \cdot R_\sigma = 9^2 \cdot 1 = 81 \text{ W}$$

$$P_{\text{cu}\delta} = I_{\delta\pi}^2 \cdot R_{\delta\pi} = 1,32^2 \cdot 340 = 592 \text{ W}$$

$$P_{\text{cu}p} = I_p^2 \cdot R_p = 10,32^2 \cdot 1,6 = 170 \text{ W}$$

$$\Sigma P_{\text{cu}} = P_{\text{cu}\sigma} + P_{\text{cu}\delta} + P_{\text{cu}p} = 81 + 592 + 170 = 843 \text{ W}$$

γ)

$$P_2 = U \cdot I = 440 \cdot 9 = 3960 \text{ W}$$

$$P_1 = U \cdot I + P_{\text{απωλ.}} = 3960 + 843 = 4803 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{3960}{4803} = 0,824 \text{ ή } 82,8\%$$

ΑΣΚΗΣΗ (12) Γεννήτρια σύνθετης διέγερσης 100kW, 500 V έχει $R_p = 0,03 \Omega$, $R_\delta = 125 \Omega$, $R_\sigma = 0,01 \Omega$. Τοποθετώ αντίσταση παράλληλα στην R_σ . Η αντίσταση αυτή διαρρέεται από ρεύμα $I = 54 \text{ A}$.

Ζητούνται :

- α) Η τιμή της αντίστασης αυτής στο πλήρες φορτίο.
- β) Η επαγωγική τάση στο τύμπανο υπό πλήρες φορτίο.

ΛΥΣΗ

α)

$$I = \frac{P}{V} = \frac{100000}{520} = 200 \text{ A}$$

β)

$$E = U + I_{\rho} * R_{\rho} + I * \frac{R_{\sigma} * R}{R_{\sigma} + R} \quad [1]$$

$$I_{\rho} = I_{\delta} + I \quad [2]$$

$$I = I_1 + I_{\sigma}$$

$$U + I * \frac{R_{\sigma} * R}{R_{\sigma} + R} - I_{\delta} R_{\delta} = 0 \Rightarrow U + I * \frac{R_{\sigma} * R}{R_{\sigma} + R} = I_{\delta} R_{\delta} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow I_{\delta} = \frac{U + I * \frac{R_{\sigma} * R}{R_{\sigma} + R}}{R_{\delta}} = \frac{500 + 200 * 137}{125} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow I_{\delta} = 1,5 \text{ A}$$

$$[2] I_{\rho} = 1,5 + 200 = 201,5 \text{ A}$$

$$[1] E = 500 + 6 + 1,46 = 507,46 \text{ V}$$

ΑΣΚΗΣΗ (13) Κινητήρας ανεξάρτητης διέγερσης με $U_{ov} = 220\text{V}$, $R_p = 0,2\Omega$, $n = 1000 \text{ rpm}$,

$M_{Hov} = 195 \text{ Nm}$ και $C_M = 14$ ενώ στην ονομαστική λειτουργία οι απώλειες είναι $P_{Fe} + P_{Tp} = 230 \text{ W}$.

Ζητούνται :

- α) Η Α.Η.Ε.Δ. στην ονομαστική λειτουργία I_p και η ανά πόλο μαγνητική ροή.
- β) Η ονομαστική ισχύς και ο βαθμός απόδοσης.

ΛΥΣΗ

α)

$$E = U - I_p * R_p \quad [1]$$

$$M_H = \frac{P_H}{\Omega} = \frac{E * I_p}{\Omega} \quad [2]$$

$$\Omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2 * 3,14 * 1000}{60} = 104,6$$

$$M_H * \Omega = E * I_p \Rightarrow \frac{M_H * \Omega}{I_p} = U - I_p * R_p \Rightarrow M_H * \Omega = U * I_p - I_p^2 * R_p \Rightarrow$$

$$\Rightarrow I_p^2 * R_p - U * I_p + M_H * \Omega = 0 \Rightarrow 0,2 * I_p^2 - 220 * I_p + 195 * 104,6 = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 0,2 * I_p^2 - 220 * I_p + 20410 = 0$$

$$\Delta = 220^2 - 4 * 0,2 * 20410 = 32072$$

$$I_p = \frac{220 + \sqrt{32072}}{2 * 0,2} = 997,7 A (\text{ΑΠΟΡ})$$

$$I_p = \frac{220 - \sqrt{32072}}{2 * 0,2} = 102,7 A (\text{ΔΕΚΤΗ})$$

$$E = U - I_p * R_p = 220 - 102,7 * 0,2 = 199,5V$$

$$M_H = \Phi IC \Rightarrow \Phi = \frac{M_H}{I * C} = \frac{195}{102,7 * 14} = 0,135 \text{ Wb}$$

β)

$$P_H = E * I_p = 199,5 * 102,7 = 20448,75 W$$

$$P_2 = P_H - (P_{Fe} + P_{\tau\rho}) = 20448,75 - 230 = 20218,75 W$$

$$P_1 = U * I = 220 * 102,7 = 22550 W$$

$$n = \frac{P_2}{P_1} = \frac{20218,75}{22550} = 0,897 \eta \quad n = 89,7 \%$$

ΑΣΚΗΣΗ (14) Κινητήρας σειράς $U = 250 V$, $R_p = 0,1\Omega$, $R_\sigma = 0,05 \Omega$. Όταν

ο κινητήρας παίρνει $I = 85 A$, η ταχύτητα του είναι $n = 600 \text{ rpm}$.

V ψηκτρών $= 3V$.

Ζητούνται :

- α) η ταχύτητα για ρεύμα $100 A$
- β) η ταχύτητα για ρεύμα $40 A$
Όταν ο κινητήρας δουλεύει στην γραμμική περιοχή της μαγνητικής χαρακτηριστικής.
- γ) Υπολογίστε το α) και β) χρησιμοποιώντας παράλληλη αντίσταση R_3 στην R_σ με τιμή $0,05 \Omega$.

ΛΥΣΗ

α)

$$E_2 = U - I(R_p + R_\sigma) - U_\psi = 250 - 100(0,15) - 3 = 232 V$$

$$E_1 = U - I(R_p + R_\sigma) - U_\psi = 250 - 85(0,15) - 3 = 234,3 V$$

$$\left. \begin{aligned} E_1 &= \Phi_1 \Omega_1 C \Rightarrow E_1 = \Phi_1 * \frac{2\pi n_1 * C}{60} \\ E_2 &= \Phi_2 \Omega_2 C \Rightarrow E_2 = \Phi_2 * \frac{2\pi n_2 * C}{60} \end{aligned} \right\} \frac{E_1}{E_2} = \frac{\Phi_1 * n_1}{\Phi_2 * n_2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow E_2 * \Phi_1 * n_1 = E_1 * \Phi_2 * n_2 \Rightarrow n_2 = n_1 * \frac{\Phi_1 * E_2}{\Phi_2 * E_1} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow n_2 = 600 * \frac{232}{234,3} = 506 \text{ rpm}$$

β)

$$E_{3\gamma} = U - I(R_\rho + R_\sigma) - U_\psi = 250 - 40 * (0,15) - 3 = 241V$$

$$n_3 = n_1 * \frac{E_{3\gamma}}{E_1} * \frac{\Phi_1}{\Phi_3} = 600 * \frac{241}{234,3} * \frac{85}{40} = 1260 \text{ rpm}$$

$$R_{\beta\gamma} = R_\sigma // R_3 = 0,025 \Omega$$

γ)

$$E_{2\gamma} = U - I(R_\rho + R_{\beta\gamma}) - U_\psi = 250 - 100 * (0,1 + 0,025) - 3 = 234,5V$$

$$E_{3\gamma} = U - I(R_\rho + R_{\beta\gamma}) - U_\psi = 250 - 40 * (0,1 + 0,025) - 3 = 242V$$

$$n_{2\gamma} = n_1 * \frac{E_{2\gamma}}{E_1} * \frac{\Phi_1}{\Phi_2} = 600 * \frac{234,5}{234,3} * \frac{85}{50} = 1022 \text{ rpm}$$

$$n_{3\gamma} = n_1 * \frac{E_{3\gamma}}{E_1} * \frac{\Phi_1}{\Phi_2} = 600 * \frac{242}{234,3} * \frac{85}{20} = 2630 \text{ rpm}$$

ΑΣΚΗΣΗ (15) Κινητήρας παράλληλης διέγερσης τροφοδοτείται με τάση 220V χωρίς φορτίο, και απορροφά ρεύμα $I = 5,2 \text{ A}$ και οι στροφές του είναι $n = 1800 \text{ rpm}$. $R_p = 0,3125 \Omega$ και $R_s = 110 \Omega$

Ζητούνται :

- α) $I_{\rho 0}$, H_0 , M_{H0} και οι απώλειες F_e , $P_{\tau\rho}$, $M_{\tau\rho}$ στην εν κενό λειτουργία.
- β) I_ρ , n_2 , P_2 , M_{H0} με απώλειες τις αυξημένες κατά 16 % από την εν κενό λειτουργία για ρεύμα φορτίου 58,5.

ΛΥΣΗ

α)

$$I_\delta = \frac{U}{R_\delta} = \frac{220}{110} = 2 \text{ A}$$

$$I_\rho = I - I_\delta = 5,2 - 2 = 3,2 \text{ A}$$

$$E_1 = U - I_\rho * R_\rho = 220 - 3,2 * 0,3125 = 219 \text{ V}$$

$$P_H = E * I_\rho = 219 * 3,2 = 700 \text{ W}$$

Εν κενό $P_2 = 0$

$$P_H = P_2 + P_{Fe} + P_{\tau\rho} = 700 \text{ W}$$

$$M_H = \frac{P_H}{\Omega} = \frac{P_H}{\frac{2\pi n}{60}} = 3,72 \text{ Nm}$$

β)

$$I_{\rho} = I - I_{\delta} = 58,5 - 2 = 56,5 \text{ A}$$

$$E_2 = U - I_{\rho} * R_{\rho} = 220 - 56,5 * 0,3125 = 202,35 \text{ V}$$

$$\left. \begin{array}{l} E_1 = \Phi \Omega_1 C \\ E_2 = \Phi \Omega_2 C \end{array} \right\} \frac{E_1}{E_2} = \frac{\Omega_1}{\Omega_2} \Rightarrow \frac{E_1}{E_2} = \frac{n_1}{n_2} \Rightarrow n_2 * E_1 = n_1 * E_2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow n_2 = 1800 * \frac{202,35}{219} = 1663 \text{ rpm}$$

$$P_H = E * I_{\rho} = 202,35 * 56,3 = 11400 \text{ W}$$

$$P_{Fe} + P_{\tau\rho} = 1,16 * 700 = 810 \text{ W}$$

$$P_2 = P_H - (P_{Fe} + P_{\tau\rho}) = 11400 - 810 = 10590 \text{ W}$$

$$M_2 = \frac{P_2}{\Omega_2} = \frac{10590}{\frac{2 * 3,14 * 1663}{60}} = 60,8 \text{ Nm}$$