

ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΣΤΙΣ
ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ Ι**

Επιμέλεια:

Σκραπαρλής Νικόλαος
Μολασιώτης Βασίλειος
Τσιαμήτρος Δημήτριος
Αλχαζίδης Λάζαρος

Κοζάνη, Οκτώβριος 2012

Περιεχόμενα

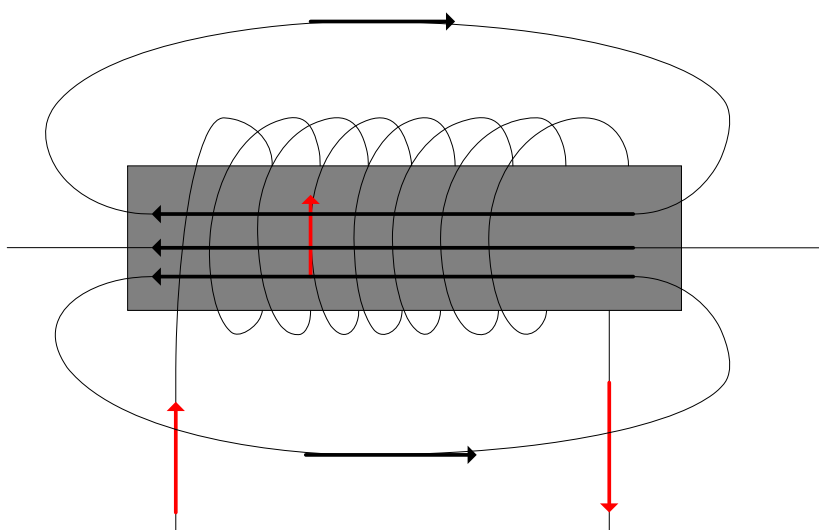
Εργαστηριακή άσκηση 1: Εισαγωγή στους μετασχηματιστές	4
1.1 Βασικές γνώσεις Ηλεκτρομαγνητικού Πεδίου (H/M)	4
1.2 Ιδανικός μονοφασικός μετασχηματιστής	5
1.3 Πραγματικό Ισοδύναμο κύκλωμα Μετασχηματιστή	6
Εργαστηριακή άσκηση 2: Δοκιμές ανοικτού κυκλώματος και βραχυκύκλωσης	8
2.1 Δοκιμή ανοικτού κυκλώματος ή εν κενώ	8
2.2 Δοκιμή βραχυκύκλωσης	9
2.3 Πειραματικό μέρος	11
Α) Δοκιμή εν κενώ:	11
Β) Δοκιμή βραχυκύκλωσης:	12
Γ) Έλεγχος ορθότητας προσεγγίσεων των δύο πειραμάτων	13
Εργαστηριακή άσκηση 3: Φόρτιση ΜΣ με ωμικό φορτίο	16
Εργαστηριακή άσκηση 4: Φόρτιση ΜΣ με επαγωγικό και χωρητικό φορτίο	19
4.1 Μεταβλητή αντίσταση και αυτεπαγωγή:	19
4.2 Μεταβλητή αντίσταση και χωρητικότητα:	21
Εργαστηριακή άσκηση 5: Δοκιμή πολικότητας μονοφασικού ΜΣ	22
5.1 Ορισμός αντίστοιχων άκρων ΜΣ	22
5.2 Παράλληλη λειτουργία ΜΣ	23
Εργαστηριακή άσκηση 6: Τριφασικοί Μετασχηματιστές	26
Εργαστηριακή άσκηση 7: Εισαγωγή στις μηχανές Συνεχούς Ρεύματος	31
7.1 Θεωρητικά στοιχεία: Αρχή λειτουργίας	31
7.2 Θεωρητικά στοιχεία: Είδη μηχανών ΣΡ	32
7.3 Οι ΜΣΡ του εργαστηρίου	33
7.4 Πειραματικά στοιχεία: Μέτρηση παραμέτρων	33
7.5 Πειραματικά στοιχεία: Επίδειξη λειτουργίας ενός τύπου ΜΣΡ	34
Εργαστηριακή άσκηση 8: Γεννήτρια Ξένης Διέγερσης	35
8.1 Μεταβολή της τάσης εξόδου	37
8.2 Δημιουργία χαρακτηριστικής καμπύλης:	37
8.3 Σταθερή η τάση ανεξάρτητα με το φορτίο που συνδέεται στην έξοδο της γεννήτριας.	37
Εργαστηριακή άσκηση 9: Γεννήτρια Παράλληλης Διέγερσης	39
9.1 Μεταβολή της ΗΕΔ ως προς το ρεύμα διέγερσης	40
9.2 Μεταβολή της ΗΕΔ ως προς την ταχύτητα περιστροφής:	41
9.3 Αναπαράσταση της καμπύλης 9.1	41
Εργαστηριακή άσκηση 10: Γεννήτρια Διέγερσης Σειράς	42
10.1 Μεταβολή της τάσης εξόδου ως προς το ρεύμα μέχρι το μέγιστο της τάσης.	43

10.2 Μεταβολή της τάσης εξόδου ως προς το ρεύμα μέχρι το ονομαστικό ρεύμα.	44
10.3 Μεταβολή της τάσης εξόδου ως προς το ρεύμα πέραν του ονομαστικού ρεύματος.	44
Εργαστηριακή άσκηση 11: Γεννήτρια Σύνθετης Διέγερσης.....	45
Εργαστηριακή άσκηση 12: Κινητήρες Ξένης και Παράλληλης Διέγερσης	46
Εργαστηριακή άσκηση 13: Κινητήρας Διέγερσης Σειράς	49
Εργαστηριακή άσκηση 14: <i>Μέτρηση συμβατικής απόδοσης Μηχανών Συνεχούς Ρεύματος</i>	52

Εργαστηριακή άσκηση 1: Εισαγωγή στους μετασχηματιστές

1.1 Βασικές γνώσεις Ηλεκτρομαγνητικού Πεδίου (H/M)

Στο ακόλουθο σχήμα απεικονίζεται ένας ηλεκτρομαγνήτης με σιδερένιο πυρήνα ή αλλιώς ένα πηνίο. Η φορά των μαγνητικών γραμμών που διέρχονται από τον πυρήνα καθορίζονται από τον κανόνα του δεξιού χεριού. Δηλαδή αν ο αντίχειρας δείχνει τη φορά των μαγνητικών γραμμών που διέρχονται μέσα από το σιδερένιο πυρήνα, τα υπόλοιπα δάχτυλα ενωμένα πρέπει να δείχνουν τη φορά του ρεύματος που διαρρέει το τύλιγμα. Στο παρακάτω σχήμα, το ρεύμα έχει σταθερή φορά και το ίδιο και το μαγνητικό πεδίο. Αν το ρεύμα αλλάζει φορά, το ίδιο συμβαίνει και με το μαγνητικό πεδίο.



Τα βασικά μεγέθη που περιγράφουν το παραπάνω μαγνητικό πεδίο και τα οποία θα χρειαστούν στη μελέτη των μετασχηματιστών (ΜΣ) παρακάτω είναι:

Μαγνητική ροή Φ : Μετρίεται σε Weber (Wb) ή σε $V \cdot s$.

Ένταση μαγνητικού πεδίου H : Μετρίεται σε A/m.

Μαγνητική επαγωγή B : Μετρίεται σε Wb/m^2 .

Μαγνητική διαπερατότητα του κενού $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Henry/m. Εκφράζει το βαθμό διαπερατότητας του κενού από μαγνητικές γραμμές.

Σχετική μαγνητική διαπερατότητα ενός υλικού μ_r : Εκφράζει την ικανότητα ενός υλικού να φέρει μαγνητικές γραμμές σε σχέση με το κενό. Πρόκειται για σχετικό μέγεθος, δηλαδή δεν έχει μονάδα μέτρησης.

Για παράδειγμα το υλικό κατασκευής του μαγνητικού κυκλώματος των μετασχηματιστών ισχύος έχει σχετική μαγνητική διαπερατότητα 6000 περίπου, δηλαδή μπορεί να φέρει 6000 περισσότερες μαγνητικές γραμμές από ό,τι το κενό ή ο αέρας.

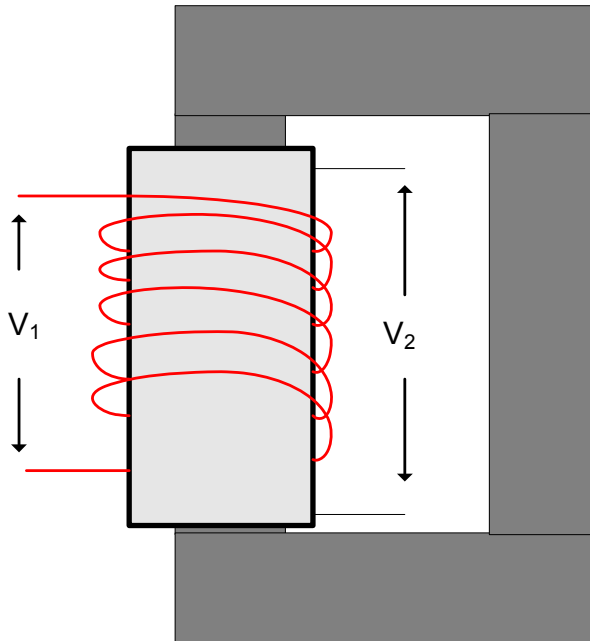
Η απόλυτη μαγνητική διαπερατότητα ενός υλικού σε Henry/m προκύπτει από το γινόμενο της σχετικής με τη μαγνητική διαπερατότητα του κενού $\mu = \mu_r \cdot \mu_0$.

Μαγνητική αντίσταση υλικού R : Καθορίζει τη δυσκολία που αντιμετωπίζουν οι μαγνητικές γραμμές να περάσουν μέσα από ένα υλικό. Δίνεται από τον τύπο: $R = \frac{l}{\mu S}$,

όπου στον αριθμητή βρίσκεται το μήκος του υλικού και στον παρονομαστή η μαγνητική διαπερατότητα και η διατομή του η κάθετη στις μαγνητικές γραμμές. Η μονάδα μέτρησης είναι (Ampere*Tesla/Wb).

Ένα φαινόμενο που πρέπει να γνωρίζουμε πριν προχωρήσουμε στη μελέτη των μετασχηματιστών είναι ο **κορεσμός των μαγνητικών υλικών**. Κορεσμός ενός σιδηρομαγνητικού υλικού λέγεται η αδυναμία να περάσουν από αυτό περισσότερες μαγνητικές γραμμές. Όσο πιο κορεσμένο είναι ένα υλικό, τόσο αυξάνεται η ροή σκέδασης, δηλαδή η μαγνητική ροή που δεν περνά από το υλικό αλλά από τον περιβάλλοντα χώρο.

1.2 Ιδανικός μονοφασικός μετασχηματιστής



Το παραπάνω σχήμα απεικονίζει έναν πραγματικό μονοφασικό μετασχηματιστή. Αποτελείται από ένα πλαίσιο (πυρήνα) από σιδηρομαγνητικό υλικό και που είναι και το μαγνητικό του κύκλωμα, δηλαδή ο «δρόμος» από τον οποίο επιδιώκεται να περάσουν όλες οι μαγνητικές γραμμές. Στο ένα στέλεχος του μαγνητικού κυκλώματος τυλίγονται τα δύο τυλίγματα, το ένα μέσα στο άλλο, χωρισμένα φυσικά με μόνωση. Πάντα, το τύλιγμα υψηλής τάσης τυλίγεται από έξω (κόκκινο), γιατί έτσι εξασφαλίζεται υψηλότερη απόσταση και καλύτερη μόνωση από τον πυρήνα, ώστε να μειωθεί ο κίνδυνος ηλεκτρικού τόξου με τον πυρήνα. Επίσης, αυτός ο τρόπος κατασκευής εξασφαλίζει και μικρότερο κορεσμό στον πυρήνα, αφού οι αμπεροστροφές του ενός τυλίγματος εξουδετερώνονται από τις αμπεροστροφές του άλλου.

Αν θεωρηθεί ότι στο τύλιγμα με τάση V_1 συνδέεται η τροφοδοσία του ΜΣ, στην έξοδο του ΜΣ θα επαχθεί τάση V_2 , μόνο εάν η τάση V_1 είναι εναλλασσόμενη, άρα και το μαγνητικό πεδίο που παράγει μεταβαλλόμενο. Και αυτό γιατί, σύμφωνα με το νόμο του Faraday, σε έναν αγωγό που βρίσκεται μέσα σε μαγνητικό πεδίο επάγεται τάση, μόνο εάν ο αγωγός κινείται ή το πεδίο είναι μεταβαλλόμενο ($E = N d\Phi/dt$, όπου N είναι το πλήθος των τυλιγμάτων του αγωγού και $d\Phi/dt$, ο ρυθμός μεταβολής της μαγνητικής ροής που περνά από τον αγωγό).

Σύμφωνα με τον παραπάνω τύπο, είναι προφανές ότι η επαγόμενη τάση εξαρτάται από το πλήθος των τυλιγμάτων. Για αυτό, ο λόγος των τυλιγμάτων καθορίζει το λόγο μετασχηματισμού, τόσο των τάσεων, όσο και των ρευμάτων. Πιο συγκεκριμένα ισχύουν οι τύποι:

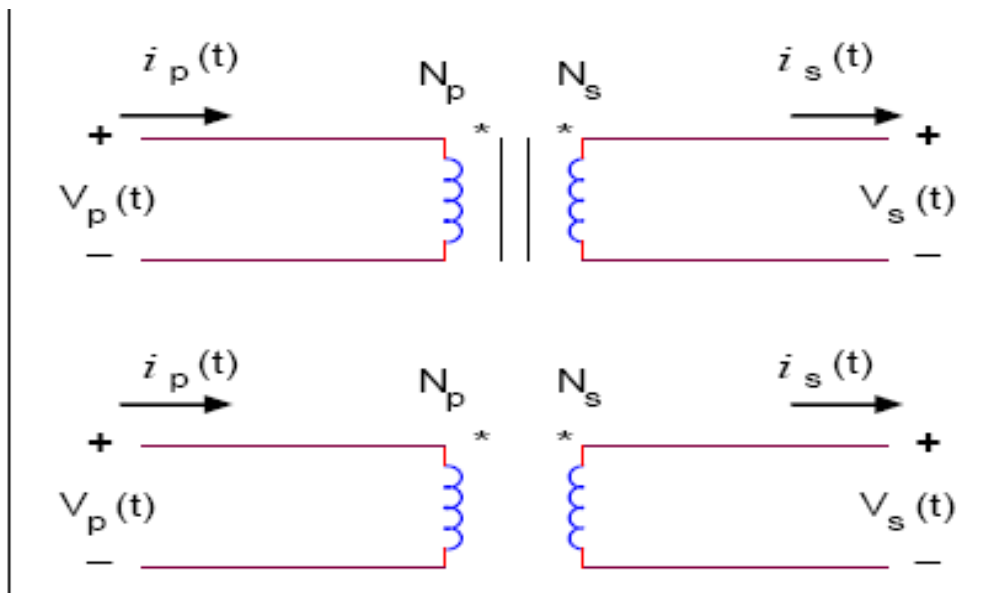
$$V_1/V_2 = N_1/N_2$$

$$I_1/I_2=N_2/N_1$$

Για να κατασκευάσουμε το ισοδύναμο κύκλωμα του πραγματικού ΜΣ, πρέπει να ξεκινήσουμε από το απλοποιημένο ισοδύναμό του και να προχωρήσουμε προς το πιο σύνθετο ισοδύναμό του. Για να παραστήσουμε το πιο απλό ισοδύναμο του μετασχηματιστή, πρέπει να κάνουμε τις παρακάτω παραδοχές;

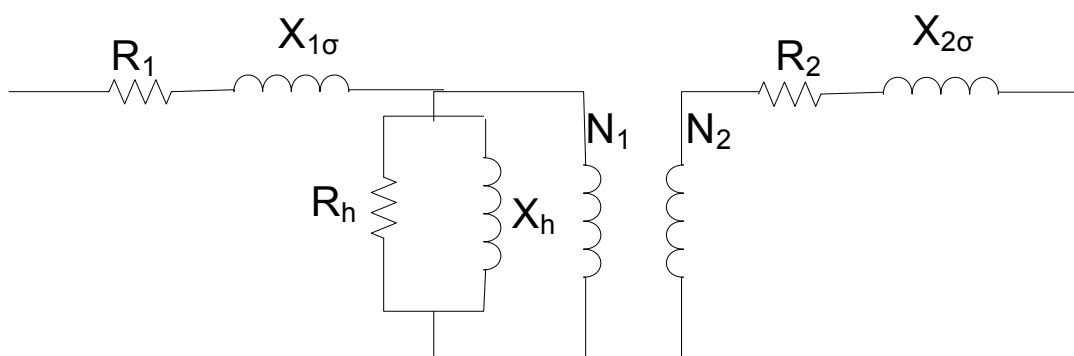
- 1) Η αντίσταση των τυλιγμάτων είναι αμελητέα, άρα οι απώλειες θερμότητας στα τυλίγματα είναι μηδέν.
- 2) Η μαγνητική διαπερατότητα του πυρήνα είναι άπειρη, άρα δεν υπάρχει το φαινόμενο της **σκέδασης** μαγνητικών γραμμών.
- 3) Οι ενδοχωρητικότητες του ΜΣ αμελούνται
- 4) Η καμπύλη μαγνητισμού θεωρείται γραμμική, άρα δεν υπάρχουν απώλειες υστέρησης.

Λαμβάνοντας υπόψη τις παραπάνω παραδοχές το απλοποιημένο ισοδύναμο του ΜΣ είναι:



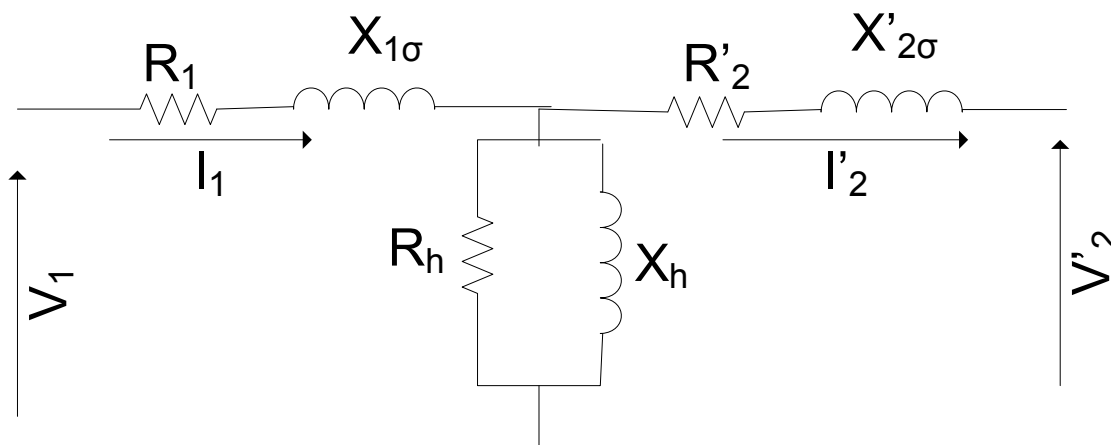
1.3 Πραγματικό Ισοδύναμο κύκλωμα Μετασχηματιστή

Αν ληφθούν υπόψη η παραδοχές της προηγούμενης παραγράφου, το πραγματικό ισοδύναμο κύκλωμα του ΜΣ γίνεται:



Όπου R_1 , R_2 είναι οι αντιστάσεις των τυλιγμάτων του ΜΣ. R_h και X_h η αντίσταση δινορευμάτων και υστέρησης και η αντίδραση μαγνήτισης. Τέλος, $X_{1\sigma}$ και $X_{2\sigma}$ οι αντιδράσεις σκέδασης. Εδώ να τονιστεί ότι οι αντιστάσεις του εγκάρσιου άξονα (R_h και X_h) έχουν πολύ μεγαλύτερη τιμή από τις υπόλοιπες.

Για την ευκολότερη επίλυση του παραπάνω κυκλώματος, καλό είναι όλα τα μεγέθη στο δευτερεύον να αναχθούν στο πρωτεύον. Έτσι προκύπτει το ακόλουθο κύκλωμα, όπου με τόνο φαίνονται τα ανηγμένα μεγέθη.



Η μετατροπή όλων των μεγεθών του δευτερεύοντος έγινε με τους εξής τύπους:

$$R'_2 = R_2 \cdot (N_1/N_2)^2$$

$$X'_{2\sigma} = X_{2s} \cdot (N_1/N_2)^2$$

$$V'_2 = V_2 \cdot (N_1/N_2)$$

$$I'_2 = I_2 \cdot (N_2/N_1)$$

Στις εργαστηριακές ασκήσεις θεμελιώδης σημασία πρέπει να δοθεί στα επιτρεπτά ρεύματα που μπορεί να διαρρεύσουν το πρωτεύον και το δευτερεύον τύλιγμα του ΜΣ. Και αυτό γιατί, αν περάσουν μεγαλύτερες τιμές από αυτές για μεγάλο χρονικό διάστημα, θα καταστρέψουν το ΜΣ.

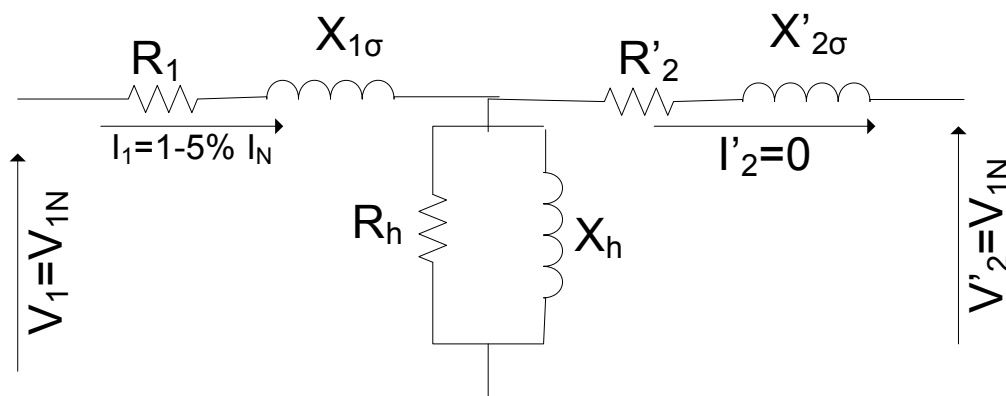
Οι μέγιστες τιμές των ρευμάτων στα δύο τυλίγματα του ΜΣ υπολογίζονται εύκολα ως εξής: Αν η ονομαστική φαινόμενη ισχύς ενός ΜΣ είναι $S_N = 250 \text{ VA}$ και ο λόγος μετασχηματισμού $220/42 \text{ V}$, το ονομαστικό ρεύμα στο πρωτεύον προκύπτει από τη διαίρεση $S_N/V_1 = 250/220 = 1,13 \text{ A}$ και στο δευτερεύον $S_N/V_2 = 250/42 = 5,95 \text{ A}$.

Εργαστηριακή άσκηση 2: Δοκιμές ανοικτού κυκλώματος και βραχυκύκλωσης

Ο προσδιορισμός των σύνθετων αντιστάσεων του ΜΣ ή αλλιώς των στοιχείων του ισοδύναμου κυκλώματος προσδιορίζονται με δύο απαραίτητες δοκιμές: τη δοκιμή εν κενώ ή ανοικτού κυκλώματος και τη δοκιμή βραχυκύκλωσης.

2.1 Δοκιμή ανοικτού κυκλώματος ή εν κενώ

Κατά τη δοκιμή αυτή επιβάλλεται στο πρωτεύον του ΜΣ τάση ίση με την ονομαστική, ενώ το δευτερεύον είναι χωρίς φορτίο (το ρεύμα I_2 είναι μηδέν).



Μετρίεται το ρεύμα I_1 και η ισχύς στο πρωτεύον. Το ρεύμα που διαρρέει το πρωτεύον σε αυτή την περίπτωση θα είναι πολύ μικρό (1-5 % του ονομαστικού). Άρα προκαλείται αμελητέα πτώση τάσης στην αντίσταση R_1 και στην αντίδραση $X_{1\sigma}$ και οι απώλειες χαλκού θεωρούνται αμελητέες. Συνεπώς, η ονομαστική τάση θα είναι ίση με την τάση στον εγκάρσιο άξονα υστέρησης-μαγνήτισης και η ισχύς καταναλώνεται μόνο στην αντίσταση δινορευμάτων και υστέρησης.

Από τις παραπάνω διαπιστώσεις προκύπτει ένα βασικό συμπέρασμα: Η τάση στην έξοδο του μετασχηματιστή (δευτερεύον) είναι ίση με την ονομαστική τάση εξόδου, κατά τη δοκιμή ανοικτού κυκλώματος. Άρα διαιρώντας τις τάσεις πρωτεύοντος με δευτερεύοντος μπορούμε να υπολογίσουμε το λόγο μετασχηματισμού $V_{1N}/V_{2(\text{open circuit})} = N_1/N_2$.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η πειραματική διάταξη όπως θα υλοποιηθεί στο εργαστήριο. Στο σχήμα φαίνεται και η συνδεσμολογία του ψηφιακού βαττομέτρου, που διαφέρει από αυτή του αναλογικού, που γνωρίζαμε ως τώρα.

Εφόσον, όπως είπαμε θεωρούμε αμελητέα την πτώση τάσης πάνω στην αντίσταση R_1 και $X_{1\sigma}$, ο λόγος της μετρούμενης τάσης προς το μετρούμενο ρεύμα είναι:

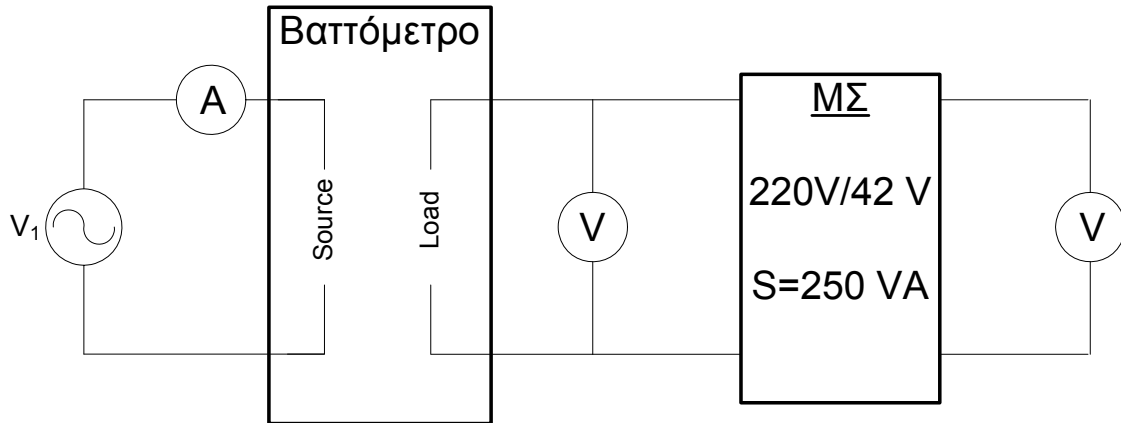
$$\frac{V_{1N}}{I_1} = Z_h, \text{ (για τριφασικό } \frac{V_{1N}}{\sqrt{3}I_1} = Z_h, \text{ αν } V_{1N} \text{ είναι η πολική ονομαστική τάση)}$$

όπου Z_h είναι το μέτρο της σύνθετης αντίστασης του εγκάρσιου κλάδου. Αυτή λοιπόν υπολογίζεται πολύ εύκολα από τη διαίρεση της μετρούμενης τάσης προς το μετρούμενο ρεύμα.

Από την άλλη, όπως προαναφέραμε, η μετρούμενη ισχύς καταναλώνεται μόνο πάνω στην αντίσταση R_h , και είναι ίση με

$$P_1 = \frac{V_{1N}^2}{R_h} \Leftrightarrow R_h = \frac{V_{1N}^2}{P_1}$$

Δηλαδή η αντίσταση δινореυμάτων και υστέρησης προκύπτει πολύ εύκολα από τον τη διαίρεση της μετρούμενης τάσης στο τετράγωνο προς τη μετρούμενη ισχύ.



Επειδή η συνολική σύνθετη αντίσταση του εγκάρσιου κλάδου είναι η συνισταμένη των R_h , X_h , θα είναι ένα διάνυσμα. Άρα, επειδή πρόκειται για παράλληλο συνδυασμό αντιστάσεων, έχουμε:

$$\frac{1}{Z_h} = \frac{1}{R_h} + \frac{1}{X_h \angle 90^\circ} \Rightarrow \frac{1}{Z_h} = \frac{X_h \angle 90^\circ}{R_h X_h \angle 90^\circ} + \frac{R_h}{R_h X_h \angle 90^\circ} \Rightarrow$$

$$\frac{1}{Z_h} = \frac{\sqrt{R_h^2 + X_h^2} \angle \varphi}{R_h X_h \angle 90^\circ} \Rightarrow Z_h = \frac{R_h X_h}{\sqrt{R_h^2 + X_h^2}} \angle 90^\circ - \varphi$$

Το μέτρο της σύνθετης αντίστασης είναι το κλάσμα με τη ρίζα και η γωνία $90^\circ - \varphi$ είναι η γωνία της σύνθετης αντίστασης. Αν χρησιμοποιήσουμε μόνο την ισότητα για τα μέτρα και την υψώσουμε στο τετράγωνο έχουμε:

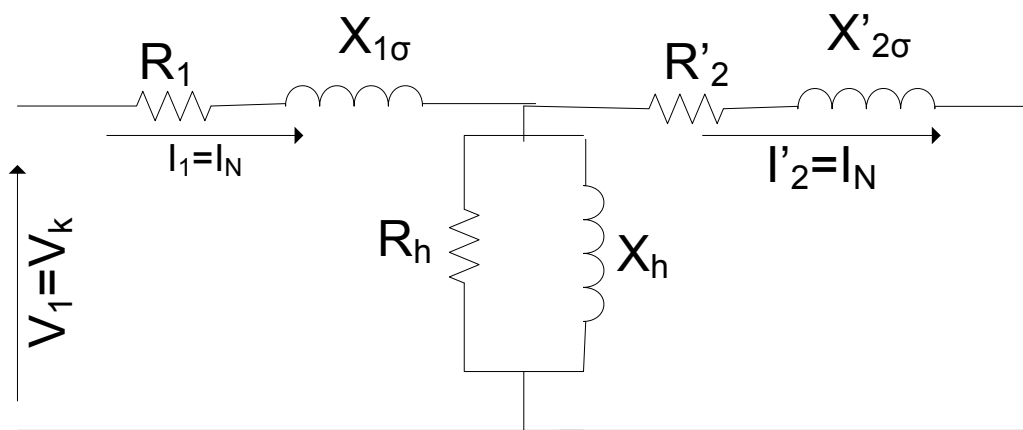
$$Z_h^2 = \frac{R_h^2 X_h^2}{R_h^2 + X_h^2} \Rightarrow Z_h^2 R_h^2 + Z_h^2 X_h^2 = R_h^2 X_h^2 \Rightarrow Z_h^2 R_h^2 = R_h^2 X_h^2 - Z_h^2 X_h^2 \Rightarrow$$

$$Z_h^2 R_h^2 = (R_h^2 - Z_h^2) X_h^2 \Rightarrow X_h^2 = \frac{Z_h^2 R_h^2}{(R_h^2 - Z_h^2)} \Rightarrow X_h = \frac{Z_h R_h}{\sqrt{R_h^2 - Z_h^2}}$$

Με τον τύπο αυτό υπολογίζεται και η αντίδραση μαγνήτισης του ΜΣ. Άρα από τη δοκιμή του ΜΣ εν κενώ μπορούμε να υπολογίσουμε την αντίσταση δινореυμάτων και υστέρησης και την αντίδραση μαγνήτισης.

2.2 Δοκιμή βραχυκύκλωσης

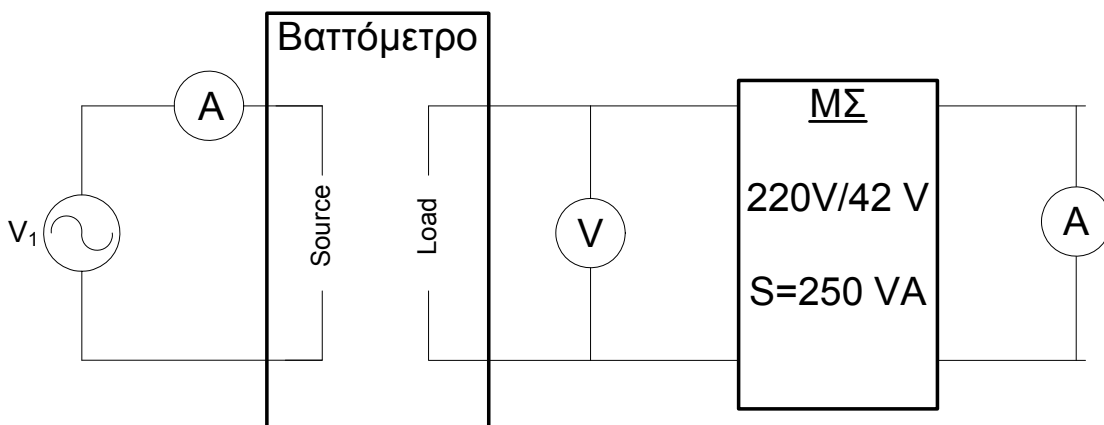
Κατά τη δοκιμή βραχυκύκλωσης, το δευτερεύον βραχυκυκλώνεται και η τάση στο πρωτεύον αυξάνεται από το μηδέν, μέχρι το ρεύμα στο πρωτεύον να γίνει ίσο με το ονομαστικό.



Μετρίεται η τάση στο πρωτεύον και η ισχύς στο πρωτεύον. Η τάση στο πρωτεύον σε αυτή την περίπτωση δεν θα ξεπεράσει το 14 % της ονομαστικής. Η τάση αυτή είναι μικρή και συνεπώς δημιουργεί και μικρή μαγνητική ροή, που μας επιτρέπει να αμελήσουμε τον εγκάρσιο κλάδο. Όπως θα δούμε και στη θεωρία, ένας άλλος λόγος που μας επιτρέπει να αμελήσουμε τον εγκάρσιο κλάδο είναι η μεγάλη αντίστασή του, συγκριτικά με τις αντιστάσεις των τυλιγμάτων και τις αντιδράσεις σκέδασης, επιτρέποντας έτσι μόνο ένα πολύ μικρό μέρος του ονομαστικού ρεύματος να περάσει μέσα από τον εγκάρσιο κλάδο.

Η παράλειψη του εγκάρσιου κλάδου οδηγεί στο συμπέρασμα ότι το ρεύμα στο δευτερεύον είναι επίσης ίσο με το ονομαστικό, γεγονός που σημαίνει ότι αν διαιρέσουμε τα δύο ρεύματα προκύπτει ο αντίστροφος λόγος μετασχηματισμού: $I_{1N}/I_{2(\text{short circuit})} = N_2/N_1$

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η πειραματική διάταξη όπως θα υλοποιηθεί στο εργαστήριο. Στο σχήμα φαίνεται και η συνδεσμολογία του ψηφιακού βαττομέτρου, που διαφέρει από αυτή του αναλογικού, που γνωρίζαμε ως τώρα.



Εφόσον αμελείται ο εγκάρσιος κλάδος του ΜΣ, ο λόγος της μετρούμενης τάσης προς το μετρούμενο ρεύμα είναι ίσος με τη συνολική σύνθετη αντίσταση του ΜΣ, δηλαδή:

$$\frac{U_k}{I_{1N}} = \sqrt{R_T^2 + X_T^2} = Z_T, \text{ όπου } R_T = R_1 + R'_2 \text{ και } X_T = X_{1\sigma} + X'_{2\sigma}$$

Η τάση V_k ή U_k ονομάζεται τάση βραχυκύκλωσης. Συνήθως δίνεται από τον κατασκευαστή ως ποσοστό της ονομαστικής, δηλαδή σε pu: $u_k = V_k/V_{1N}$.

Από την άλλη, εφόσον αμελείται ο εγκάρσιος κλάδος, η ισχύς που μετρίεται είναι αυτή που καταναλώνεται στις δύο αντιστάσεις των τυλιγμάτων:

$$R_T = R_1 + R_2'$$

Η ισχύς αυτή είναι

$$P_k = R_T I_{1N}^2$$

ή

$$P_k = 3 R_T I_{1N}^2, \text{ αν πρόκειται για τριφασικό ΜΣ.}$$

Δηλαδή η αντίσταση των τυλιγμάτων του ΜΣ, ανηγμένη στο πρωτεύον είναι

$$R_T = \frac{P_k}{I_{1N}^2}$$

Από τις δύο παραπάνω σχέσεις, μπορούμε εύκολα να υπολογίσουμε τη συνολική αντίδραση σκέδασης του ΜΣ.

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2}$$

Αν χρειαστεί να γίνει κατανομή αντίστασης και αντίδρασης σε πρωτεύον και δευτερεύον, γίνεται ως εξής:

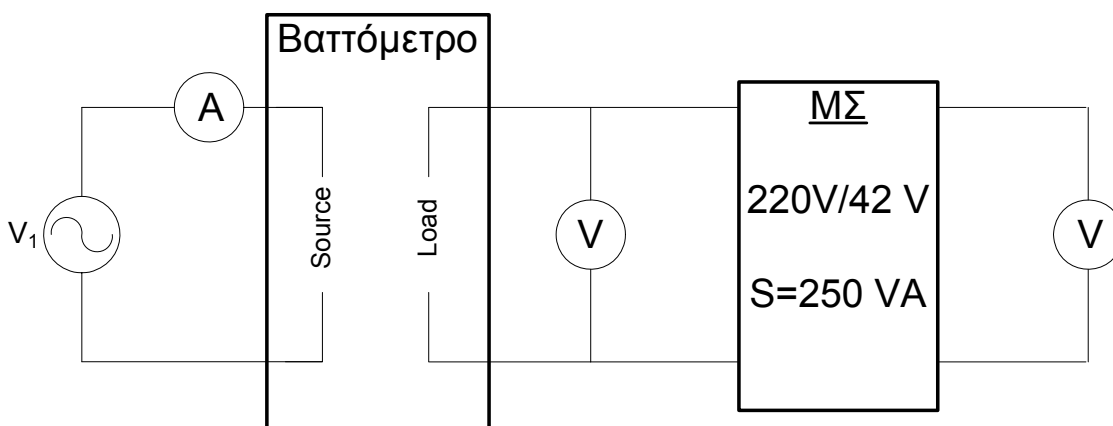
$$R_1 = R_2' = R_T/2 \text{ και } X_{1\sigma} = X_{2\sigma}' = X_T/2$$

Άρα με τη δοκιμή βραχυκύκλωσης μπορεί να υπολογιστεί η αντίσταση των τυλιγμάτων του ΜΣ και η αντίδραση σκέδασης.

2.3 Πειραματικό μέρος

A) Δοκιμή εν κενώ:

Το κύκλωμα που θα υλοποιηθεί είναι το παρακάτω:



Το βατόμετρο είναι ψηφιακό και συνδέεται με τον τρόπο που υποδεικνύεται στο παραπάνω σχήμα. Αρχικά, πριν τροφοδοτηθεί το κύκλωμα, πρέπει να γίνει η ρύθμιση του βατομέτρου. Δηλαδή αφού πιεστεί και μείνει πατημένο το πλήκτρο με την ένδειξη {W}, πρέπει να ρυθμιστεί το βατόμετρο ώστε η ένδειξή του να είναι μηδέν.

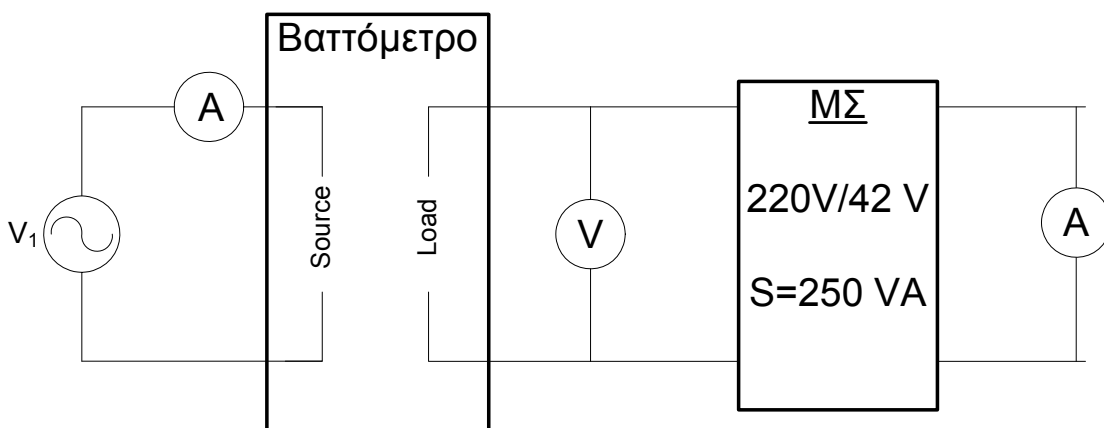
Η πηγή τάσης είναι μεταβλητή. Αρχικά, για να βεβαιωθείτε η συνδεσμολογία είναι σωστή, ρυθμίστε την τάση στα 40 V και ελέγξτε ότι η ένδειξη του βαττομέτρου είναι περίπου στο 1 W και το ρεύμα δεν ξεπερνά το ονομαστικό (1,13 A). Στη συνέχεια ανεβάστε την τιμή της πηγής τάσης στα 220 V, και πραγματοποιήστε το πείραμα ανοικτού κυκλώματος, συμπληρώνοντας τον παρακάτω πίνακα. Για να διακόψετε το κύκλωμα, μειώστε την τάση τροφοδοσίας σιγά-σιγά και κατόπιν διακόψτε τον διακόπτη τροφοδοσίας.

Δοκιμή εν κενώ						
Από μετρήσεις				Με υπολογισμό		
$V_1 \{V\}$	$I_1 \{A\}$	$V_2 \{V\}$	$P_1 \{W\}$	$Z_h \{\Omega\}$	$R_h \{\Omega\}$	$X_h \{\Omega\}$
220						

Πώς μπορείτε, από τις παραπάνω μετρήσεις, να υπολογίσετε το λόγο μετασχηματισμού (σπειρών) του μετασχηματιστή;

B) Δοκιμή βραχυκύκλωσης:

Το κύκλωμα που θα υλοποιηθεί είναι το παρακάτω:



Αρχικά η πηγή τάσης ρυθμίζεται στο μηδέν. Στη συνέχεια με πολύ αργές κινήσεις και προσέχοντας το αμπερόμετρο στο πρωτεύον, αυξάνουμε την τάση της πηγής, μέχρι το αμπερόμετρο να δείξει ρεύμα ίσο με το ονομαστικό (1,13 A). Την ίδια στιγμή πρέπει το ρεύμα στο δευτερεύον να είναι ίσο με το ονομαστικό (5,95 A). Τότε συμπληρώνουμε τον παρακάτω πίνακα.

Δοκιμή βραχυκύκλωσης								
Από μετρήσεις				Με υπολογισμό				
$V_1 \{V\} = V_k$	$I_1 \{A\} = I_{1N}$	$P_k \{W\}$	$I_2 = I_{2N}$	$Z_T \{\Omega\}$	$R_T \{\Omega\}$	$R_1, R'_2 = R_T/2$	$X_T \{\Omega\}$	$X_{1\sigma}, X'_{2\sigma} = X_T/2$

Για να διακόψετε το κύκλωμα, μειώστε την τάση τροφοδοσίας σιγά-σιγά και κατόπιν διακόψτε τον διακόπτη τροφοδοσίας. Πώς μπορείτε από τις παραπάνω μετρήσεις να υπολογίσετε το λόγο των σπειρών του ΜΣ; Συμφωνεί με την αντίστοιχη τιμή που βρήκατε από το πείραμα εν κενώ;

Γ) Έλεγχος ορθότητας προσεγγίσεων των δύο πειραμάτων

Γ1. Δοκιμή εν κενώ

Οι δύο βασικές προσεγγίσεις που κάνουμε κατά τους υπολογισμούς της δοκιμής εν κενώ είναι ότι η πτώση τάσης πάνω στην αντίσταση R_1 και την αντίδραση $X_{1\sigma}$ είναι αμελητέα και ότι η ισχύς που καταναλώνεται πάνω στην αντίσταση R_1 είναι επίσης αμελητέα. Δεν μένει παρά να διαπιστώσουμε πειραματικά αν αυτές οι παραδοχές ευσταθούν ή όχι.

Η διανυσματική πτώση τάσης που οφείλεται στην αντίσταση R_1 και την αντίδραση $X_{1\sigma}$ έχει μέτρο που υπολογίζεται από τον τύπο:

$$\Delta V = I_1 \sqrt{R_1^2 + X_{1\sigma}^2}$$

Η ισχύς που καταναλώνεται στην αντίσταση R_1 δίνεται από τον τύπο:

$$P_{Cu1} = I_1^2 R_1$$

Επαναλαμβάνουμε συνεπώς το πείραμα ανοικτού κυκλώματος και ξεκινώντας από τάση πηγής 40 V, αυξάνουμε την τάση μέχρι να φτάσει τα 240 V και συμπληρώνουμε τον παρακάτω πίνακα. Για να υπολογίσουμε το μέτρο της διανυσματικής πτώσης τάσης και τις απώλειες πάνω στην αντίσταση, θα χρησιμοποιήσουμε τις τιμές των R_1 και $X_{1\sigma}$ που υπολογίστηκαν στον πίνακα του πειράματος βραχυκύκλωσης. Είναι προφανές ότι για να θεωρήσουμε αμελητέα την πτώση τάσης και τις απώλειες της αντίστασης R_1 , πρέπει οι τιμές αυτές να είναι τουλάχιστον 10 φορές μικρότερες από την ονομαστική τάση του πρωτεύοντος και την ισχύ P_1 , που μετρίεται από το βατόμετρο. Δηλαδή στον πίνακα που θα συμπληρωθεί παρακάτω πρέπει οι σχετικές διαφορές επί τοις εκατό που θα

υπολογιστούν να ξεπερνούν το 90 %. Για να διακόψετε το κύκλωμα, μειώστε την τάση τροφοδοσίας σιγά-σιγά και κατόπιν διακόψτε τον διακόπτη τροφοδοσίας.

Δοκιμή χωρίς φορτίο							
Από μετρήσεις				Με υπολογισμό			
$V_1\{V\}$	$I_1\{A\}$	$V_2\{V\}$	$P_1\{W\}$	$\Delta V\{V\}$	$(V_1-\Delta V)/V_1(\%)$	$P_{Cu1}\{W\}$	$(P_1-P_{cu1})/P_1(\%)$
40							
80							
120							
180							
220							
240							

Από τις παραπάνω μετρήσεις να υπολογίσετε το λόγο των σπειρών του ΜΣ. Συμφωνεί με τις τιμές που βρήκατε από τα δύο προηγούμενα πειράματα;

Γ2. Δοκιμή βραχυκύκλωσης

Οι δύο βασικές προσεγγίσεις που κάνουμε κατά τους υπολογισμούς της δοκιμής βραχυκύκλωσης είναι ότι το ρεύμα που διαρρέει τον εγκάρσιο κλάδο είναι αμελητέο και ότι η ισχύς που καταναλώνεται πάνω στην αντίσταση δινορευμάτων και υστέρησης R_1 είναι αμελητέα. Δεν μένει παρά να διαπιστώσουμε πειραματικά αν αυτές οι παραδοχές ευσταθούν ή όχι.

Τα μέγιστο ρεύμα που είναι δυνατόν να διαρρέει τον εγκάρσιο κλάδο είναι

$$I_{h-max}=V_k/Z_h$$

Επίσης η μέγιστη ισχύς που μπορεί να καταναλώνεται στην αντίσταση R_h είναι

$$P_{h-max} = \frac{V_k^2}{R_h}$$

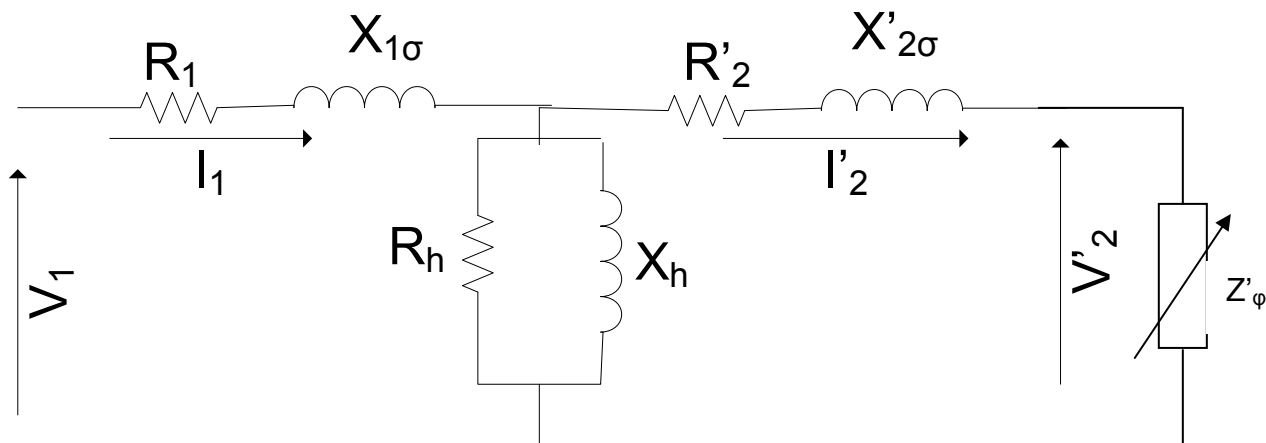
Επαναλαμβάνουμε συνεπώς το πείραμα βραχυκύκλωσης και συμπληρώνουμε τον παρακάτω πίνακα. Οι τιμές των Z_h και R_h θα ληφθούν από το πείραμα εν κενώ.

Είναι προφανές ότι για να θεωρήσουμε αμελητέα το εγκάρσιο ρεύμα και τις απώλειες της αντίστασης R_h , πρέπει οι τιμές αυτές να είναι τουλάχιστον 10 φορές μικρότερες από το ονομαστικό ρεύμα πρωτεύοντος και την ισχύ P_k , που μετριέται από το βαττόμετρο. Δηλαδή στον πίνακα που θα συμπληρωθεί παρακάτω πρέπει οι σχετικές διαφορές επί τοις εκατό που θα υπολογιστούν να ξεπερνούν το 90 %. Για να διακόψετε το κύκλωμα, μειώστε την τάση τροφοδοσίας σιγά-σιγά και κατόπιν διακόψτε τον διακόπτη τροφοδοσίας.

Δοκιμή βραχυκύκλωσης						
Από μετρήσεις			Με υπολογισμό			
$V_1 \{V\} = V_k$	$I_1 \{A\} = I_{1N}$	$P_k \{W\}$	$I_{h-max} \{A\}$	$\frac{(I_1 - I_{h-max})}{I_1}(\%)$	$P_{h-max} \{W\}$	$\frac{(P_k - P_{h-max})}{P_k}(\%)$

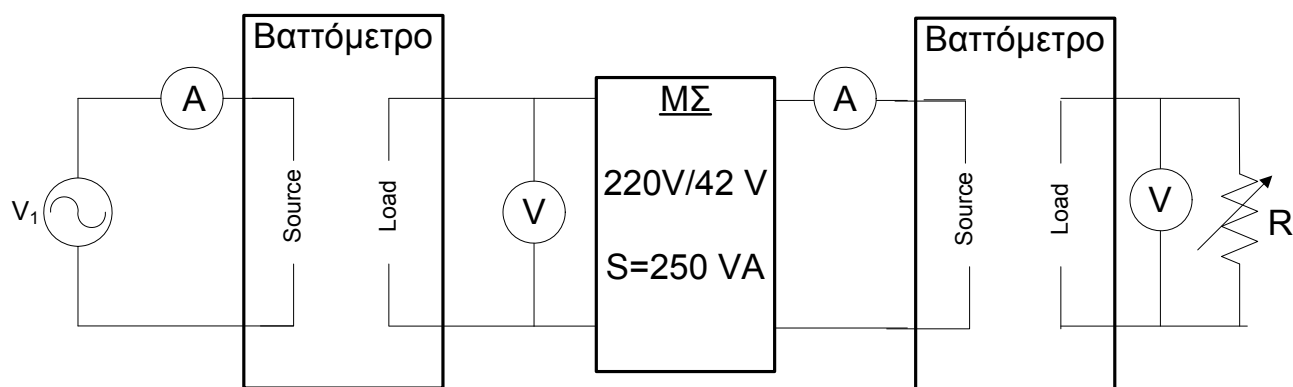
Εργαστηριακή άσκηση 3: Φόρτιση ΜΣ με ωμικό φορτίο

Η εργασία αυτή αποτελεί το πρώτο μέρος της επίδειξης της φόρτισης του ΜΣ. Το ισοδύναμο κύκλωμα του ΜΣ σε αυτή την περίπτωση είναι το παρακάτω.



Η αντίσταση φορτίου είναι ρυθμιζόμενη. Σε φόρτιση ΜΣ, το ρεύμα του ΜΣ είναι αρκετά μεγάλο και επειδή ο εγκάρσιος κλάδος έχει πολύ μεγάλη αντίσταση, άρα διαρρέεται από πολύ μικρό ρεύμα, μπορεί να αμεληθεί. Επειδή ανάμεσα στην έξοδο του ΜΣ και την είσοδό του μεσολαβούν οι αντιστάσεις των τυλιγμάτων και οι αντιδράσεις σκέδασης, η τάση στην τροφοδοσία θα μειώνεται λόγω της πτώσης τάσης σε αυτές τις 4 αντιστάσεις και αντιδράσεις. Άρα, σε φόρτιση ΜΣ, η τάση στην έξοδο δεν είναι ίση με την ονομαστική τάση στο δευτερεύον, αλλά μικρότερη. Αυτό θα διαπιστώσουμε και από την παρούσα εργαστηριακή άσκηση.

Το κύκλωμα που θα υλοποιηθεί είναι το ακόλουθο:



Κατά την εκκίνηση της άσκησης, η αντίσταση R πρέπει να είναι στη μέγιστη τιμή της (μικρό ρεύμα φορτίου), ώστε να αποφύγουμε αρχική υπερφόρτιση του ΜΣ. Επίσης, η τάση τροφοδοσίας V_1 πρέπει αρχικά να είναι μηδέν. Μόλις τροφοδοτηθεί το κύκλωμα πρέπει να αυξηθεί, στην ονομαστική της τιμή 220 V και να διατηρηθεί εκεί καθ' όλη τη διάρκεια της άσκησης. Κατόπιν, η αντίσταση του φορτίου πρέπει να μειωθεί σιγά-σιγά, μέχρι το ρεύμα να φτάσει στην ονομαστική του τιμή και να συμπληρωθεί ο παρακάτω πίνακας.

Ωμικό φορτίο						
Από μετρήσεις						Με υπολογισμό
$V_1\{V\}$	$I_1\{A\}$	$P_1\{W\}$	$V_2\{V\}$	$I_2\{A\}$	$P_2\{W\}$	$\eta = (P_2 / P_1) \cdot 100\%$
220 V						
220 V	0,3					
220 V	0,4					
220 V	0,5					
220 V	0,6					
220 V	0,7					
220 V	0,8					
220 V	0,9					
220 V	1					
220 V	1,13					

Καθ' όλη τη διάρκεια της άσκησης να ελέγχετε ότι τα ρεύματα στο πρωτεύον και στο δευτερεύον δεν ξεπερνούν τις ονομαστικές τους τιμές. Για να διακόψετε το κύκλωμα, μειώστε την τάση τροφοδοσίας σιγά-σιγά και κατόπιν διακόψτε τον διακόπτη τροφοδοσίας.

Τι παρατηρείτε στην έξοδο του ΜΣ; Πότε η τάση στην έξοδο είναι πιο κοντά στην ονομαστική (42 V) και γιατί;

Να επαναλάβετε την ίδια άσκηση και να συμπληρώσετε τον ακόλουθο πίνακα. Αυτή τη φορά, να φροντίζετε ώστε η τάση στο δευτερεύον να είναι σταθερή και ίση με 35 V. Σε αυτή την περίπτωση, η τάση στην είσοδο, σύμφωνα με το λόγο μετασχηματισμού θα

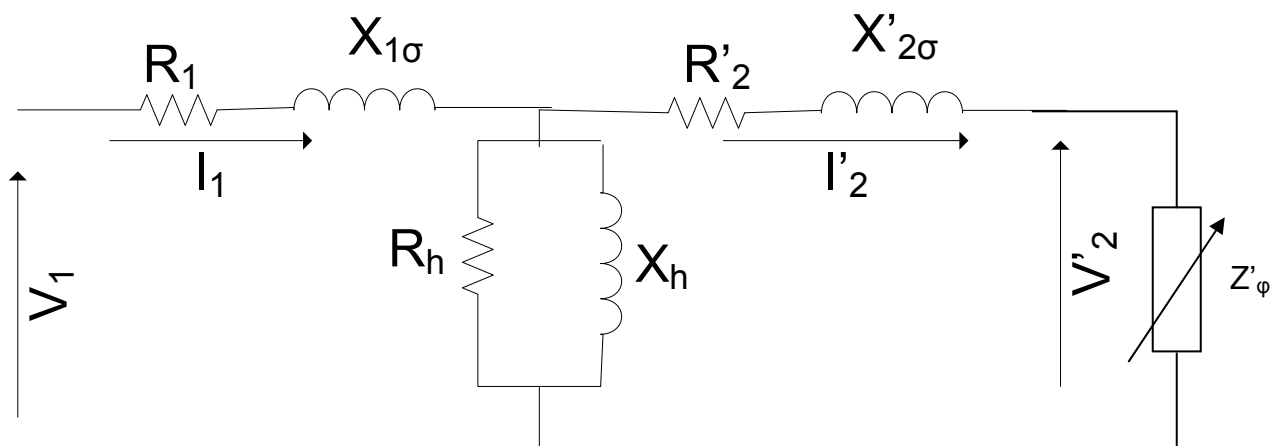
έπρεπε να είναι $V_1=(N_1/N_2)V_2=(220/42)*35=183$ V. Πόση είναι πραγματικά η τάση στην είσοδο του ΜΣ; Πότε είναι πιο κοντά στην αναμενόμενη (183 V) και γιατί;

Στο επόμενο εργαστήριο, απαραίτητη για τη διεξαγωγή της άσκησης είναι η κατοχή επιστημονικού υπολογιστή τσέπης.

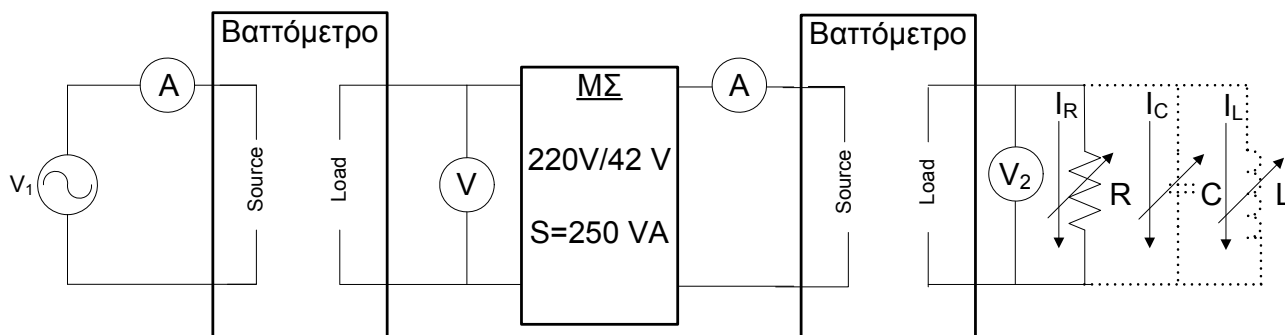
Ωμικό φορτίο						
Από μετρήσεις						Με υπολογισμό
$V_1\{V\}$	$I_1\{A\}$	$P_1\{W\}$	$V_2\{V\}$	$I_2\{A\}$	$P_2\{W\}$	$\eta=(P_2/P_1)\cdot 100\%$
			35			
			35	2		
			35	3		
			35	4		
			35	5		
			35	5,95		

Εργαστηριακή άσκηση 4: Φόρτιση ΜΣ με επαγωγικό και χωρητικό φορτίο

Η εργασία αυτή αποτελεί το δεύτερο μέρος της επίδειξης της φόρτισης του ΜΣ. Απαραίτητη για τη διεξαγωγή της άσκησης είναι η κατοχή επιστημονικού υπολογιστή τσέπης. Το ισοδύναμο κύκλωμα του ΜΣ σε αυτή την περίπτωση είναι το παρακάτω. Κατά τους υπολογισμούς, όπως αναφέραμε και στην προηγούμενη άσκηση, αμελείται ο εγκάρσιος κλάδος του ΜΣ.



Το κύκλωμα που θα υλοποιηθεί είναι το ακόλουθο:



Η άσκηση θα γίνει δύο φορές. Τη μία από τις δύο, το φορτίο θα αποτελείται από τη μεταβλητή αντίσταση και τη μεταβλητή αυτεπαγωγή και τη δεύτερη από τη μεταβλητή αντίσταση και τη μεταβλητή χωρητικότητα.

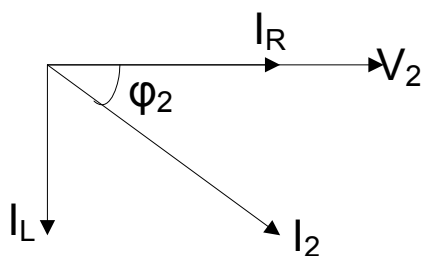
4.1 Μεταβλητή αντίσταση και αυτεπαγωγή:

Κατά την εκκίνηση της άσκησης, η αντίσταση R πρέπει να είναι, όπως και στην 3^η άσκηση, στη μέγιστη τιμή της (μικρό ρεύμα φορτίου). Η μεταβλητή αυτεπαγωγή αποτελείται από ένα σύστημα πηνίων, που συνδέονται παράλληλα. Επίσης, η τάση τροφοδοσίας V_1 πρέπει αρχικά να είναι μηδέν. Μόλις τροφοδοτηθεί το κύκλωμα πρέπει να αυξηθεί, στην ονομαστική της τιμή 220 V και να διατηρηθεί εκεί καθ' όλη τη διάρκεια της άσκησης. Κατόπιν, πρέπει να συμπληρωθεί ο παρακάτω πίνακας, όταν η φόρτιση του ΜΣ είναι κοντά στην ονομαστική και ο συντελεστής ισχύος του φορτίου είναι 0,8, το οποίο είναι το κατώτερο όριο που ζητά η ΔΕΗ από τους μεγάλους καταναλωτές.

Σύνθετο επαγωγικό φορτίο										
Από μετρήσεις							Με υπολογισμό			
$V_1\{V\}$	$I_1\{A\}$	$P_1\{W\}$	$V_2\{V\}$	$I_2\{A\}$	$P_2\{W\}$	$\cos\varphi_2$	$I_{2R}\{A\}$	$I_{2L}\{A\}$	$\varphi_1(^{\circ})$	$\varphi_2(^{\circ})$
220						0,8				

Για να υπολογίσουμε κάθε χρονική στιγμή και για οποιαδήποτε τιμή της αντίστασης και της αυτεπαγωγής, τα ρεύματα της αντίστασης I_R και του πηνίου I_L , έχοντας μετρήσεις από το ολικό ρεύμα I_2 , την τάση V_2 και την ισχύ P_2 , πρέπει να ακολουθηθεί η εξής διαδικασία:

Το διανυσματικό διάγραμμα τάσεων και ρευμάτων του φορτίου του ΜΣ είναι:



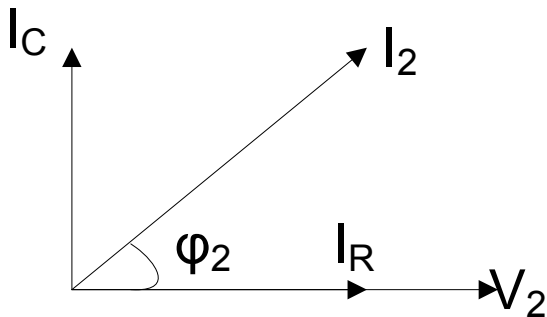
Από τις μετρήσεις I_2 , V_2 και P_2 , μπορούμε να υπολογίσουμε το συντελεστή ισχύος $\cos\varphi_2 = P_2/(V_2 I_2)$, άρα και τη γωνία φ_2 . Έχοντας γωνία φ_2 , υπολογίζουμε τα ρεύματα $I_R = I_2 \cdot \cos\varphi_2$ και $I_L = I_2 \cdot \sin\varphi_2$.

Επομένως, για να συμπληρώσουμε τον παραπάνω πίνακα, όταν ο συντελεστής ισχύος του φορτίου είναι 0,8, θα πρέπει να ακολουθηθεί μία διαδικασία δοκιμής και διόρθωσης. Δηλαδή, αφού η τάση τροφοδοσίας φτάσει τα 220 V και μειώσουμε αρκετά την αντίσταση ώστε το ρεύμα να φτάσει κοντά στο ονομαστικό, λαμβάνουμε τις μετρήσεις και υπολογίζουμε το συντελεστή ισχύος του φορτίου. Αν αυτός είναι κάτω από το 0,8, αυτό σημαίνει ότι το ρεύμα του πηνίου I_L είναι αρκετά μεγαλύτερο από ό,τι θα έπρεπε. Πρέπει συνεπώς με την αλλαγή της αυτεπαγωγής και στη συνέχεια με την παράλληλη αλλαγή της αντίστασης (ώστε να μην ξεπεράσω το ονομαστικό ρεύμα) να ξανακάνω τους υπολογισμούς ώστε να φτάσω σε συντελεστή ισχύος ίσο με 0,8.

Τελειώνοντας την άσκηση, η αντίσταση του φορτίου πρέπει να μειωθεί, η τροφοδοσία να μειωθεί και τότε να κλείσουμε την τροφοδοσία.

4.2 Μεταβλητή αντίσταση και χωρητικότητα:

Η ίδια ακριβώς διαδικασία θα ακολουθηθεί, αλλά αντί για μεταβλητές αυτεπαγωγές, θα συνδεθούν μεταβλητές χωρητικότητες. Φυσικά τότε το διανυσματικό διάγραμμα θα είναι:



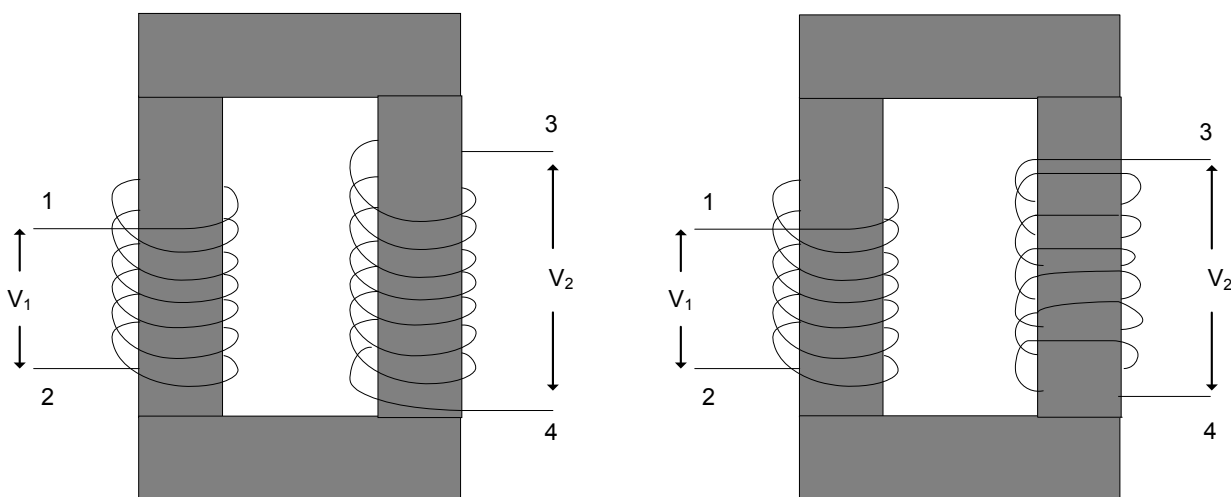
Ο παρακάτω πίνακας πρέπει να συμπληρωθεί.

Σύνθετο χωρητικό φορτίο										
Από μετρήσεις							Με υπολογισμό			
$V_1\{\text{V}\}$	$I_1\{\text{A}\}$	$P_1\{\text{W}\}$	$V_2\{\text{V}\}$	$I_2\{\text{A}\}$	$P_2\{\text{W}\}$	$\cos\varphi_2$	$I_{2R}\{\text{A}\}$	$I_{2C}\{\text{A}\}$	$\varphi_1(^{\circ})$	$\varphi_2(^{\circ})$
220						0,8				

Εργαστηριακή άσκηση 5: Δοκιμή πολικότητας μονοφασικού ΜΣ

5.1 Ορισμός αντίστοιχων άκρων ΜΣ

Κατά την κατασκευή ενός μονοφασικού ΜΣ, πρέπει να αποφασιστεί η φορά περιέλιξης των δύο τυλιγμάτων. Δύο δυνατές λύσεις υπάρχουν και φαίνονται στα παρακάτω σχήματα:

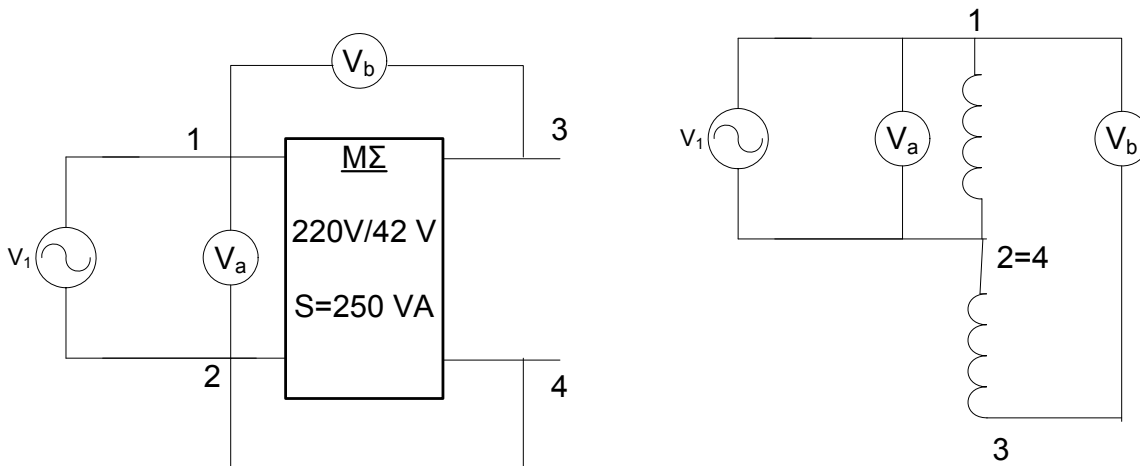


Σχήμα 5.1: (α) **Ομόρροπα** τυλίγματα (β) **Αντίρροπα** τυλίγματα

Για την περίπτωση των **ομόρροπων** τυλιγμάτων αποδεικνύεται ότι εάν τροφοδοτηθεί το πρωτεύον τύλιγμα με μία ημιτονοειδή τάση $V_1 = V_{1rms} \cdot \cos(\omega t)$, η τάση του δευτερεύοντος θα είναι $V_2 = V_{2rms} \cdot \cos(\omega t - 180^\circ)$, δηλαδή θα υπολείπεται κατά 180 μοίρες της τάσης του πρωτεύοντος. Για την περίπτωση των **αντίρροπων** τυλιγμάτων αποδεικνύεται ότι οι δύο τάσεις είναι συμφασικές, δηλαδή η διαφορά φάσης είναι 0 μοίρες.

Για να περιγράψουμε αυτό το φαινόμενο ορίζουμε δύο νέα μεγέθη, τα **αντίστοιχα άκρα** και τον **δείκτη επιπορείας k**. Στην περίπτωση των **ομόρροπων** τυλιγμάτων, εφόσον η διαφορά φάσης είναι 180 μοίρες, τα άκρα 1 και 4 έχουν ίδιο δυναμικό άρα είναι τα αντίστοιχα άκρα. Αντίθετα, στην περίπτωση των **αντίρροπων** τυλιγμάτων, η διαφορά φάσης είναι 0 μοίρες, άρα τα άκρα 1 και 3 έχουν το ίδιο δυναμικό και είναι τα αντίστοιχα άκρα. Όσον αφορά στο δείκτη επιπορείας, δείχνει τη διαφορά φάσης ανάμεσα στις δύο τάσεις και αποτελεί πολλαπλάσιο των 30 μοιρών. Έτσι στην πρώτη περίπτωση λέμε ότι ο δείκτης επιπορείας είναι 6, γιατί $6 \times 30 = 180$ μοίρες και στη δεύτερη περίπτωση είναι 0.

Συνήθως, τα αντίστοιχα άκρα των ΜΣ υποδεικνύονται με μία τελεία. Παρόλα αυτά, επιβάλλεται, όταν δεν είναι προφανής η υπόδειξη των αντίστοιχων άκρων, να οριστούν. Για αυτό το λόγο πραγματοποιείται η ακόλουθη συνδεσμολογία: Ενώνονται τα άκρα 2 και 4. Έτσι το σχήμα 5.2.α παριστάνεται καλύτερα στο σχήμα 5.2.β.



Σχήμα 5.2: (α) Συνδεσμολογία ΜΣ (β) Ισοδύναμο κύκλωμα

Η τάση τροφοδοσίας δεν χρειάζεται να είναι η ονομαστική. Το βολτόμετρο V_a μετράει την τάση του πρώτου τυλίγματος που είναι φυσικά και η τάση τροφοδοσίας. Από την άλλη το βολτόμετρο V_b μετράει την τάση του πρώτου τυλίγματος συν/πλην (+/-) την τάση του δεύτερου τυλίγματος. Τον αν προστίθεται ή αφαιρείται η μία τάση από την άλλη εξαρτάται από το δυναμικό των ακροδεκτών ή αλλιώς από το ποια άκρα είναι αντίστοιχα. Πιο συγκεκριμένα, αν το 1 και το 3 είναι τα αντίστοιχα άκρα, τότε το 1 και το 3 έχουν το ίδιο δυναμικό και συνεπώς οι τάσεις των δύο τυλιγμάτων είναι αντίθετες και αφαιρούνται. Αυτό σημαίνει ότι η τάση V_b είναι μικρότερη από την V_a . Από την άλλη, αν τα αντίστοιχα άκρα είναι τα 1 και 4, τότε έχουν το ίδιο δυναμικό και συνεπώς η V_b παράγεται από την πρόσθεση των τάσεων των δύο τυλιγμάτων και είναι μεγαλύτερη από την V_a . Συμπερασματικά λοιπόν προκύπτει ο ακόλουθος πίνακας:

Αν $V_b < V_a$, τα 1 και 3 είναι τα αντίστοιχα άκρα.

Αν $V_b > V_a$, τα 1 και 4 είναι τα αντίστοιχα άκρα.

Επαληθεύστε τον πίνακα αυτό.

5.2 Παράλληλη λειτουργία ΜΣ

Η παράλληλη σύνδεση ΜΣ επιβάλλεται από την αύξηση της ζήτησης του φορτίου ενός ΜΣ. Τότε είναι πολύ πιθανό να συμφέρει η αγορά ενός μικρότερου ΜΣ που θα συνδεθεί παράλληλα με τον αρχικό, τόσο από οικονομικής άποψης, όσο και από άποψη αξιοπιστίας και εφεδρείας του συστήματος των δύο ΜΣ.

Στην πιο απλή περίπτωση που πρέπει να παραλληλιστούν δύο μονοφασικοί ΜΣ, πρέπει να τηρούνται κάποιοι κανόνες για τη σωστή λειτουργία των δύο ΜΣ. Σωστή λειτουργία εννοούμε τη λειτουργία ΚΑΙ των δύο ΜΣ κοντά στις ονομαστικές τους τιμές ταυτόχρονα. Οι προϋποθέσεις επομένως που πρέπει να πληρούνται για να παραλληλιστούν δύο ΜΣ είναι οι εξής (ισχύουν για μονοφασικούς και τριφασικούς ΜΣ):

Α) Να έχουν ίδιες ονομαστικές τιμές και στις δύο πλευρές με μια ανοχή +/- 5%.

Β) Να έχουν την ίδια τάση βραχυκύκλωσης πάλι με μια ανοχή +/- 10 %.

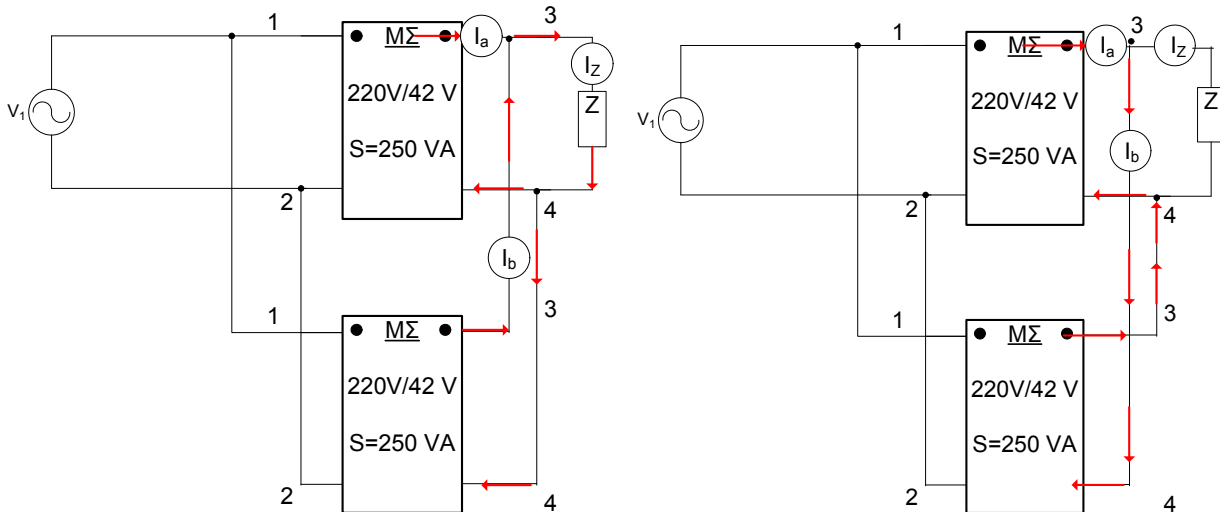
Γ) Να έχουν ίδιο δείκτη επιπορείας k ή να έχουν διαφορά αυτοί ίση με 6.

Δ) Ο λόγος των ονομαστικών φαινομένων ισχύων να κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 1 και 3.

Η τρίτη προϋπόθεση στην περίπτωση των μονοφασικών ΜΣ ουσιαστικά αφορά τα αντίστοιχα άκρα των δύο ΜΣ. Πρέπει δηλαδή τα αντίστοιχα άκρα να συνδεθούν σε κοινό κόμβο.

Στην εργασία αυτή θα δοκιμάσουμε τι θα συμβεί αν δεν πληρείται μία από τις παραπάνω προϋποθέσεις, η τρίτη.

Πραγματοποιείστε τις ακόλουθες συνδεσμολογίες:



Σχήμα 5.3: (α) Σύνδεση αντίστοιχων άκρων και (β) Σύνδεση μη αντίστοιχων άκρων.

Η τάση τροφοδοσίας δεν πρέπει να είναι πολύ υψηλή γιατί όπως θα δούμε παρακάτω κινδυνεύουν οι ΜΣ.

Έχοντας υπόψη ότι τα δευτερεύοντα τυλίγματα των ΜΣ είναι ουσιαστικά πηγές τάσης, παρατηρούμε ότι στο σχήμα 5.3.α, οι δύο «πηγές» συνδέονται παράλληλα, αφού συνδέονται τα άκρα με το ίδιο δυναμικό στον ίδιο κόμβο. Αυτό σημαίνει ότι αν οι μετασχηματιστές είναι ακριβώς ίδιοι ή καλύτερα αν οι τάσεις στα δευτερεύοντα είναι ακριβώς ίδιες, το ρεύμα τους αθροίζεται και τροφοδοτεί το φορτίο. **Με πιο απλά λόγια θα παρατηρήσουμε ότι το ρεύμα του φορτίου είναι πιο μεγάλο από τα ρεύματα των ΜΣ.**

Αντίθετα, στο σχήμα 5.3.β, παρατηρούμε ότι συνδέονται σε κοινό κόμβο τα άκρα με αντίθετο δυναμικό. Ουσιαστικά δηλαδή συνδέονται σε σειρά οι δύο πηγές και μάλιστα χωρίς να έχουν σε σειρά κάποιο φορτίο. Δηλαδή βραχυκυκλώνονται. Τότε, το ρεύμα που τροφοδοτεί το φορτίο είναι πολύ μικρό μιας και ουσιαστικά το μεγαλύτερο μέρος του ρεύματος ρέει μεταξύ των δύο τυλιγμάτων και εύκολα υπολογίζεται προσεγγιστικά ως:

$$I_{\beta\rho} = \frac{V_a + V_\beta}{Z_{\alpha 2} + Z_{\beta 2}}$$

Με πιο απλά λόγια θα παρατηρήσουμε ότι το ρεύμα του φορτίου είναι μικρότερο από το ρεύμα των δύο τυλιγμάτων.

Αυτό το ρεύμα λέγεται ρεύμα βραχυκύκλωσης και πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μικρότερο σε παράλληλες συνδέσεις ΜΣ. Αν τα αντίστοιχα άκρα συνδεθούν σωστά, αλλά οι ΜΣ δεν είναι ακριβώς ίδιοι, δηλαδή έχουν μια διαφορά 5 % στις τάσεις τους όπως αναφέρθηκε πριν, τότε το ρεύμα βραχυκύκλωσης είναι:

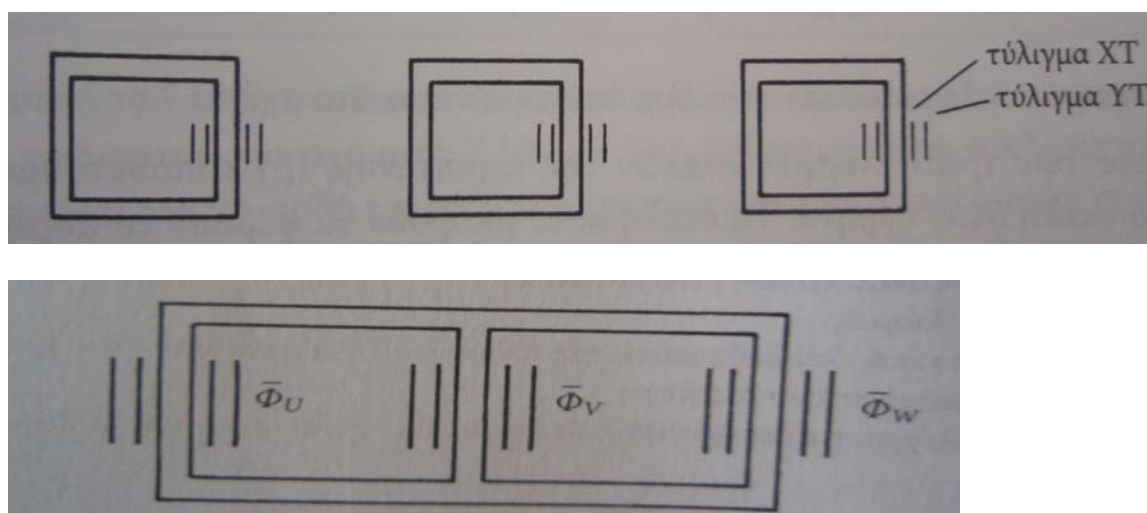
$$I_{\beta\rho} = \frac{V_a - V_\beta}{Z_{\alpha 2} + Z_{\beta 2}}$$

το οποίο είναι πολύ μικρό. Είναι προφανές λοιπόν ότι αν δεν γνωρίζουμε τα αντίστοιχα άκρα των ΜΣ είναι επικίνδυνο να τους παραλληλίσουμε.

Επαληθεύστε τα παραπάνω συμπεράσματα.

Εργαστηριακή άσκηση 6: Τριφασικοί Μετασχηματιστές

Ουσιαστικά ένας τριφασικός Μ/Σ προκύπτει από τρεις μονοφασικούς μετασχηματιστές με κατάλληλη σύνδεση των άκρων τους στην υψηλή και τη χαμηλή τάση. Παρόλα αυτά, αντί για την κατάλληλη σύνδεση τριών ξεχωριστών συσκευών, μπορεί να εξοικονομηθεί σιδηρομαγνητικό υλικό (πυρήνας), αν η συνδεσμολογία πραγματοποιηθεί στους ακροδέκτες μιας συσκευής, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



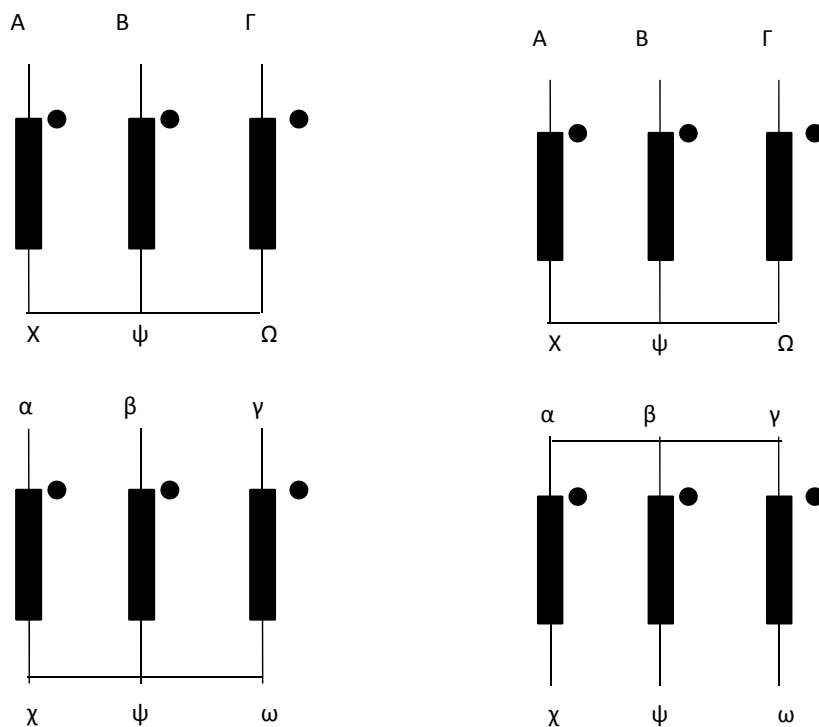
Σχήμα 6.1: Με τη χρήση τριών ζευγών τυλιγμάτων ανά πυρήνα σε μία συσκευή αντί για τρεις μονοφασικούς Μ/Σ εξοικονομούνται τρεις πυρήνες.

Οι συνδεσμολογίες των ακροδεκτών τόσο στην υψηλή τάση, όσο και στη χαμηλή είναι τριών ειδών: Αστέρα (Y για την υψηλή τάση, y για τη χαμηλή), Τριγώνου (D για την υψηλή τάση, d για τη χαμηλή) και ζιγκ-ζαγκ (Z για την υψηλή τάση, z για τη χαμηλή τάση).

Ανάλογα με τη συνδεσμολογία που εφαρμόζεται στην υψηλή και τη χαμηλή τάση, οι 3-φ Μ/Σ συμβολίζονται όπως φαίνεται στο ακόλουθο παράδειγμα: Dy5, όπου το κεφαλαίο γράμμα δηλώνει ότι στην υψηλή τάση τα τρία τυλίγματα συνδέονται σε **τρίγωνο**, στη χαμηλή τάση τα τρία τυλίγματα συνδέονται σε **αστέρα** και ο αριθμός στο τέλος **εξαρτάται από τις δύο προηγούμενες συνδεσμολογίες** και δηλώνει τη **διαφορά φάσης ανάμεσα στην πολική υψηλή και χαμηλή τάση**. Ο αριθμός αυτός λέγεται δείκτης επιτορείας.

Στο παραπάνω παράδειγμα το στρεφόμενο διάνυσμα της **πολικής υψηλής** τάσης προηγείται του διανύσματος της **πολικής χαμηλής** τάσης κατά $5 \times 30 = 150$ μοίρες. Ο αριθμός αυτός είναι άρρηκτα συνδεδεμένος με τη συνδεσμολογία στους ακροδέκτες της υψηλής και της χαμηλής τάσης. Δεν είναι δυνατόν για παράδειγμα να υπάρξει συμβολισμός Dy3 ή Yy9.

Παρακάτω φαίνονται οι κυριότερες συνδεσμολογίες 3-φ Μ/Σ και παρουσιάζεται ο τρόπος που προκύπτει ο δείκτης επιτορείας για κάθε μία από αυτές.



Σχήμα 6.2 (α): Συνδεσμολογία Υγ0, (β) Υγ6.

Στο Σχ. 6.2 φαίνεται ότι τόσο στην υψηλή όσο και στη χαμηλή τάση τα τυλίγματα είναι συνδεδεμένα σε αστέρια. Όμως, στο σχήμα (α), τόσο στην υψηλή, όσο και στη χαμηλή τάση, ο ουδέτερος προκύπτει από την ένωση των άκρων χωρίς αστερίσκο. Από την άλλη, στο (β), ο ουδέτερος στη χαμηλή τάση προκύπτει από την ένωση των άκρων με αστερίσκο.

Στην περίπτωση (α), η πολική υψηλή τάση είναι $V_{AB} = V_{AX} \sqrt{3}$

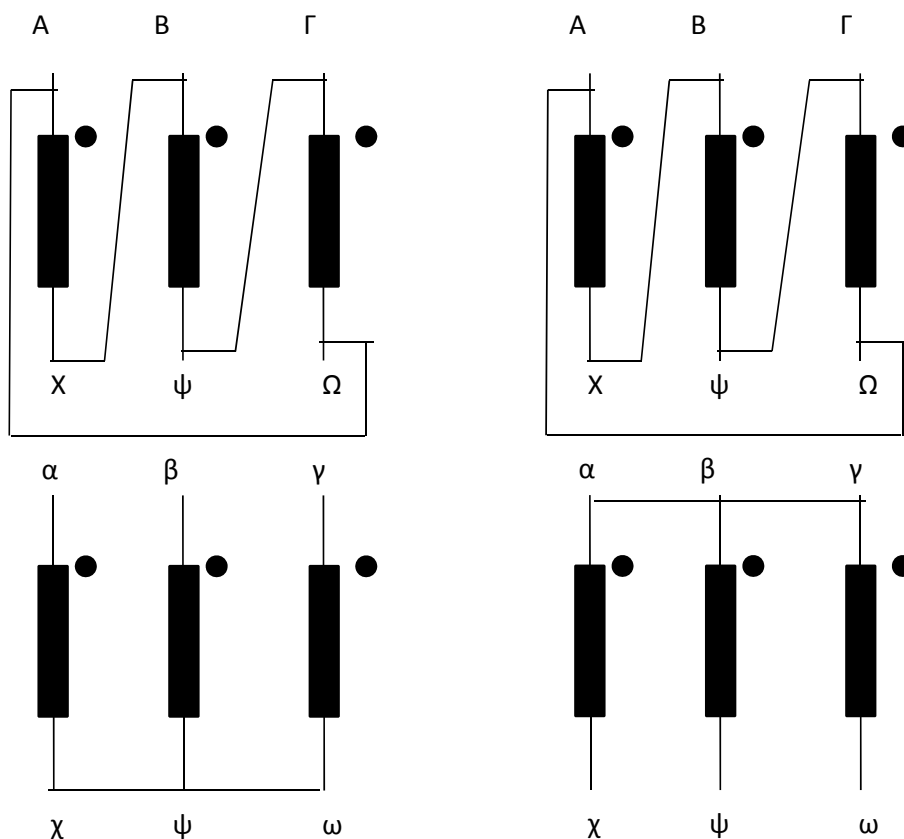
Η πολική χαμηλή τάση είναι $V_{\alpha\beta} = V_{\alpha\chi} \sqrt{3}$

Άρα ο λόγος των πολικών τάσεων $V_{AB}/V_{\alpha\beta}$, που είναι ο λόγος του 3-φ Μ/Σ είναι ίσος με το λόγο των φασικών τάσεων, δηλαδή ο λόγος του μονοφασικού μετασχηματιστή. Δηλαδή $V_{AB}/V_{\alpha\beta} = V_{AX}/V_{\alpha\chi}$. Και επειδή οι ακροδέκτες Α και α είναι τα αντίστοιχα άκρα, οι πολικές τάσεις είναι συμφασικές, δηλαδή δεν έχουν διαφορά φάσης.

Στην περίπτωση (β), η πολική υψηλή τάση είναι $V_{AB} = V_{AX} \sqrt{3}$

Η πολική χαμηλή τάση είναι $V_{\chi\psi} = V_{\chi\alpha} \sqrt{3}$

Άρα ο λόγος των πολικών τάσεων $V_{AB}/V_{\chi\psi}$, που είναι ο λόγος του 3-φ Μ/Σ είναι ίσος με το λόγο των φασικών τάσεων, δηλαδή ο λόγος του μονοφασικού μετασχηματιστή. Δηλαδή $V_{AB}/V_{\chi\psi} = V_{AX}/V_{\chi\alpha}$. Παρατηρούμε ότι τώρα αντί για $V_{\alpha\chi}$ έχουμε $V_{\chi\alpha}$. Αυτό σημαίνει αντιστροφή της πολικότητας της χαμηλής τάσης. Δηλαδή τώρα η διαφορά φάσης ανάμεσα στις δύο πολικές τάσεις είναι 180 μοίρες ή αλλιώς $6 \cdot 30$ μοίρες. Άρα τώρα ο δείκτης επιπορείας είναι 6.



Σχήμα 6.3 (α): Συνδεσμολογία Dy5, (β) Dy11.

Στο σχήμα 6.3 είναι φανερό ότι στην υψηλή τάση τα τυλίγματα συνδέονται σε τρίγωνο και στη χαμηλή σε αστέρα. Όμως, όπως και πριν, διαφέρουν τα άκρα που σχηματίζουν τον ουδέτερο κόμβο στη χαμηλή τάση.

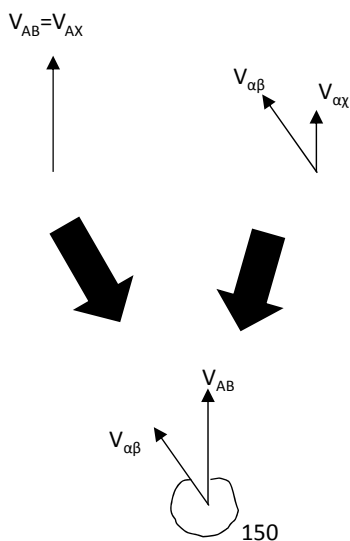
Στην περίπτωση (α), η πολική υψηλή τάση είναι $V_{AB} = V_{AX}$

Η πολική χαμηλή τάση είναι $V_{\alpha\beta} = V_{\alpha\chi} \sqrt{3}$

Επιπλέον όμως, είναι γνωστό ότι σε συνδεσμολογία αστέρα, δηλαδή στη χαμηλή τάση, η πολική τάση προηγείται της φασικής κατά 30 μοίρες. Δηλαδή η τάση $V_{\alpha\beta}$ προηγείται της $V_{\alpha\chi}$ κατά 30 μοίρες.

Τελικά, ο λόγος των πολικών τάσεων $V_{AB}/V_{\alpha\beta}$, που είναι ο λόγος του 3-φ M/Σ είναι $V_{AB}/V_{\alpha\beta} = V_{AX}/(\sqrt{3} V_{\alpha\chi})$. Επιπλέον όμως, λόγω της διαφορά φάσης των 30 μοιρών που προαναφέρθηκε, η τάση $V_{\alpha\beta}$ προηγείται της V_{AB} κατά 30 μοίρες ή διαφορετικά η τάση V_{AB} προηγείται της $V_{\alpha\beta}$ κατά $5 \times 30 = 150$ μοίρες. Άρα τώρα ο δείκτης επιπορείας είναι 5. Αυτό φαίνεται πιο παραστατικά στο σχήμα 6.4.

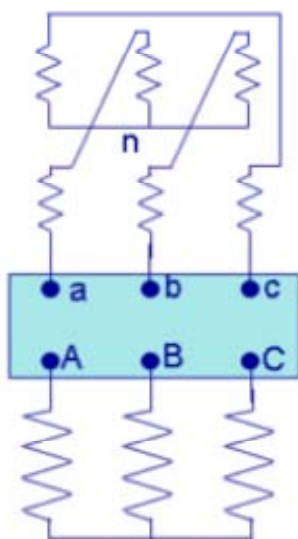
Τέλος, στην περίπτωση (β), όπως και πριν, λόγω των διαφορετικών άκρων που σχηματίζουν τον ουδέτερο, εισάγεται η αλλαγή πολικότητας στο δευτερεύον που έχει σαν αποτέλεσμα την επιπλέον καθυστέρηση κατά 180 μοίρες δηλαδή δείκτη επιπορείας $5+6=11$.



Σχήμα 6.4: Διαφορά φάσης υψηλής πολικής και χαμηλής πολικής τάσης.

Η συνδεσμολογία ζιγκ-ζαγκ, που φαίνεται στο σχήμα 6.5 χρησιμοποιείται όταν στο δίκτυο είτε της υψηλής είτε της χαμηλής τάσης υπάρχει έντονη ασυμμετρία μεταξύ των φάσεων. Για παράδειγμα στο σχήμα 6.5, οι τρεις γραμμές της χαμηλής τάσης φέρουν διαφορετικά φορτία. Για να μοιραστεί το φορτίο και στα τρία τυλίγματα, στη χαμηλή τάση γίνεται συνδεσμολογία ζιγκ-ζαγκ. Όπως φαίνεται, η φάση *a* μέχρι τον ουδέτερο *n* περιλαμβάνει δύο τυλίγματα.

Yz11



Σχήμα 6.5: Συνδεσμολογία ζιγκ-ζαγκ.

Στο πρακτικό μέρος της εργασίας αυτής θα φτιάξουμε τις συνδεσμολογίες Dy5, Dy11, Yy0, Yy6. Σε κάθε συνδεσμολογία θα φορτίσουμε την υψηλή τάση με τιμή αρκετά μικρότερη της ονομαστικής. Με τον παλμογράφο θα καταγράψουμε τις πολικές τάσεις στο πρωτεύον και στο δευτερεύον, με σκοπό να φανεί παραστατικά η διαφορά φάσης που προκύπτει από τους δείκτες επιπλορείας.

Κάντε σκαρίφημα με τη σχετική θέση των ημιτονοειδών καμπυλών πρωτεύοντος και δευτερεύοντος.

Εργαστηριακή άσκηση 7: Εισαγωγή στις μηχανές Συνεχούς Ρεύματος

7.1 Θεωρητικά στοιχεία: Αρχή λειτουργίας

Δύο είναι οι βασικοί νόμοι που διέπουν τις μηχανές Συνεχούς Ρεύματος (από και στο εξής ΣΡ): Ο νόμος του Faraday και ο νόμος του Laplace:

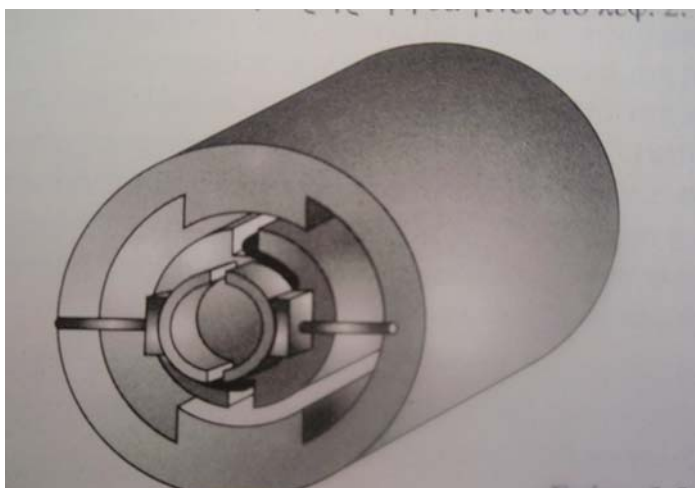
A) Ο νόμος του Faraday – επαγωγή τάσης (λειτουργία γεννήτριας):

Σε έναν ευθύγραμμο αγωγό που κινείται με σταθερή ταχύτητα u κάθετα σε ένα σταθερό μαγνητικό πεδίο B επάγεται ηλεκτρική τάση E ίση με $E = \mu B$, όπου m είναι το μήκος του αγωγού.

B) Ο νόμος του Laplace (λειτουργία κινητήρα):

Σε έναν ευθύγραμμο αγωγό που βρίσκεται εγκάρσια μέσα σε ένα σταθερό μαγνητικό πεδίο B και διαρρέεται από ρεύμα I ασκείται δύναμη F ίση με $F = mBI$, όπου m είναι το μήκος του αγωγού.

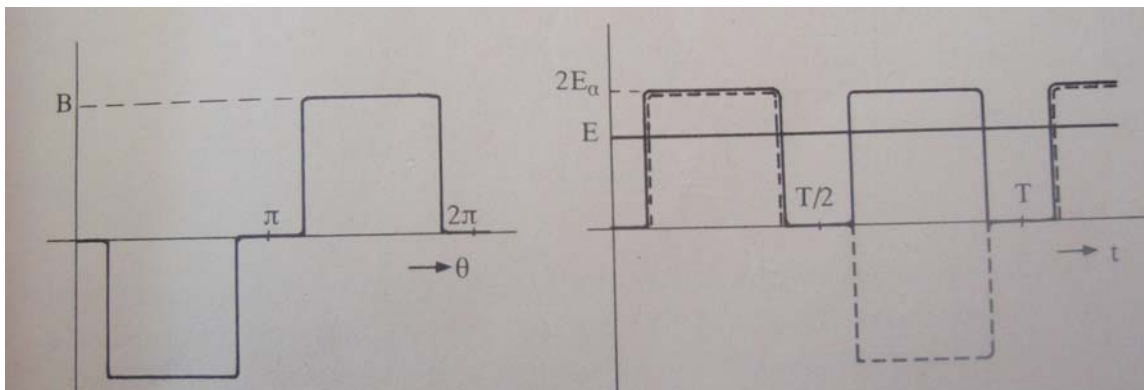
Προφανώς, επειδή δεν είναι πρακτικό να κινείται ένας αγωγός σε ένα μαγνητικό πεδίο σε ευθεία γραμμή, για να εφαρμοστούν οι δύο παραπάνω νόμοι έγινε εκμετάλλευση της κυκλικής κίνησης. Δηλαδή η κίνηση των αγωγών είναι κυκλική και η βασική ταχύτητα είναι η γωνιακή ταχύτητα ω .



Σχήμα 7.1: Απλή διάταξη μηχανής ΣΡ. Διακρίνεται ένα μόνο τύλιγμα.

Στο σχήμα 7.1 η μηχανή είναι διπολική, δηλαδή ο μόνιμος μαγνήτης που περιβάλλει το δρομέα έχει **δύο μόνο πόλους (είναι οι δύο προεξοχές του εξωτερικού κυλίνδρου)**. Τα αυλάκια στο δρομέα είναι **δύο**, όπου είναι τοποθετημένο **ένα** ελίκμα. Τα άκρα του ελίκματος καταλήγουν σε **δύο τομείς του συλλέκτη (τα δύο ημικύκλια που φαίνονται στο σχήμα)**. Οι τομείς ολισθαίνουν πάνω στις ακίνητες ψήκτρες.

Η περιστροφική ταχύτητα n προκαλείται από μια εξωτερική μηχανική ροπή. Όταν οι δύο απέναντι **αγωγοί του ελίκματος** κινούνται στο μαγνητικό πεδίο των πόλων, επάγεται τάση E_a , η οποία είναι εναλλασσόμενη, όπως φαίνεται στο σχήμα 7.2. Επειδή όμως οι ψήκτρες είναι ακίνητες, σε αυτές εμφανίζεται τάση σχεδόν σταθερή $2E_a$ (με ένα μικρό βύθισμα λόγω της αλλαγής στην επαφή με τον άλλο τομέα του συλλέκτη). Με τον τρόπο αυτό, δηλαδή την ολίσθηση των τομέων πάνω στις ακίνητες ψήκτρες πετυχαίνουμε μηχανική ανόρθωση της τάσης.



Σχήμα 7.2: Μηχανικά ανορθωμένη τάση στην έξοδο της γεννήτριας του σχήματος 7.1.

Συνεπώς, η τάση στην έξοδο της γεννήτριας του σχήματος 7.1 είναι περίπου $2E_\alpha$. Για να αυξηθεί η τάση στην έξοδο της γεννήτριας πρέπει προφανώς να βρεθεί τρόπος να αυξηθεί η τιμή της επαγόμενης τάσης E_α . Αυτή δίνεται όπως προαναφέρθηκε από το νόμο του Faraday: $E_\alpha = \mu B$. Τρεις τρόποι υπάρχουν για να γίνει αυτό:

- A) Ή να αυξηθεί το μήκος των ελιγμάτων (m)
- B) ή να αυξηθεί η ταχύτητα (υ).
- Γ) ή να αυξηθεί το πεδίο (B).

Η ταχύτητα εξαρτάται από την κινητήρια μηχανή και δύσκολα μπορεί να υπερβεί τις 3000 rpm.

Για την αύξηση του μήκους η λύση είναι να αυξηθεί ο αριθμός των ελιγμάτων. Από δύο δηλαδή που είναι εδώ να γίνουν περισσότερα. Παρόλα αυτά δεν πρέπει αυτή η αύξηση να μεγαλώσει πολύ την αντίσταση των ελιγμάτων, γιατί τότε θα υπάρχει μεγάλη πτώσης τάσης στη γεννήτρια και πολλές απώλειες θερμότητας. Συνεπώς, τα ελίγματα του δρομέα κατασκευάζονται από σύρμα μεγάλης διατομής και ο αριθμός των ελιγμάτων είναι τόσος ώστε να διατηρείται η αντίσταση του συνόλου των ελιγμάτων σε αποδεκτές τιμές.

7.2 Θεωρητικά στοιχεία: Είδη μηχανών ΣΡ

Για την αύξηση του μαγνητικού πεδίου, αντί για μόνιμους μαγνήτες χρησιμοποιούνται ηλεκτρομαγνήτες. Η τροφοδοσία των τυλιγμάτων του ηλεκτρομαγνήτη, δηλαδή των τυλιγμάτων που μπαίνουν στους πόλους του μαγνήτη, καθορίζει και τα είδη των μηχανών ΣΡ. Έτσι, αν η τροφοδοσία των τυλιγμάτων αυτών προέρχεται από εξωτερική πηγή, η μηχανή λέγεται **μηχανή ΣΡ ξένης ή ανεξάρτητης διέγερσης**. Αν η τροφοδοσία προέρχεται από την επαγόμενη τάση E του δρομέα της ίδιας της μηχανής, λέγεται **μηχανή ΣΡ παράλληλης διέγερσης ή διέγερσης σειράς**, αν το τύλιγμα συνδέεται παράλληλα ή σε σειρά με τα τυλίγματα του δρομέα, αντίστοιχα. Τέλος, αν μέρος των **τυλιγμάτων του ηλεκτρομαγνήτη ή διέγερσης** όπως λέγεται συνδέεται σε σειρά και μέρος παράλληλα με τα τυλίγματα του δρομέα, λέγεται μηχανή ΣΡ σύνθετης διέγερσης.

Εδώ πρέπει να τονίσουμε την κατασκευαστική διαφορά μεταξύ των τυλιγμάτων π.δ. και δ.σ.. Τα πρώτα συνδέονται παράλληλα στο τύλιγμα του δρομέα. Αν είχαν μικρή αντίσταση, θα τραβούσαν μεγάλο ρεύμα από το δρομέα, το οποίο, λόγω κορεσμού του σιδηρομαγνητικού υλικού δεν θα παρήγαγε περισσότερο μαγνητικό πεδίο από ένα μικρότερο ρεύμα. Συνεπώς, τα τυλίγματα που βρίσκονται μεταξύ των ακροδεκτών $E1$ και $E2$ αποτελούνται από πολλές σπείρες μικρής διατομής. Μπορείτε να βρείτε τις αντίστοιχες κατασκευαστικές ιδιότητες των τυλιγμάτων δ.σ. που βρίσκονται μεταξύ των ακροδεκτών $D1$ και $D2$;

7.3 Οι ΜΣΡ του εργαστηρίου

Οι ΜΣΡ του εργαστηρίου είναι εκπαιδευτικοί και δίνουν τη δυνατότητα να κατασκευαστούν όλοι οι τύποι των ΜΣΡ: ανεξάρτητης, παράλληλης, σειράς και σύνθετης διέγερσης. Αυτό γίνεται, όπως φαίνεται από την πρόσοψή τους, με κατάλληλη σύνδεση των ακροδεκτών:

Τα τυλίγματα του δρομέα υποδηλώνονται από την εικόνα του δρομέα που υπάρχει μεταξύ των ακροδεκτών (μπόρνες) που συμβολίζονται με A1 και A2 συνήθως.

Τα τυλίγματα της παράλληλης διέγερσης του ηλεκτρομαγνήτη βρίσκονται μεταξύ των ακροδεκτών E1 και E2.

Τέλος τα τυλίγματα της διέγερσης σειράς του ηλεκτρομαγνήτη βρίσκονται μεταξύ των ακροδεκτών D1 και D2.

Εάν πρέπει να κατασκευαστεί ΜΣΡ ανεξάρτητης διέγερσης ή π.δ., μόνο ο δρομέας και τα τυλίγματα E1 και E2 χρησιμοποιούνται, ενώ για ΜΣΡ δ.σ. χρησιμοποιούνται οι ακροδέκτες D1, D2. Για ΜΣΡ σύνθετης διέγερσης, όλοι οι ακροδέκτες χρησιμοποιούνται.

7.4 Πειραματικά στοιχεία: Μέτρηση παραμέτρων

Για την μέτρηση παραμέτρων στις μηχανές Σ.Ρ., δηλαδή των εσωτερικών αντιστάσεων των τυλιγμάτων δρομέα και των διεγέρσεων ακολουθούνται τα παρακάτω βήματα. Πρώτα φυσικά πρέπει να καταγραφούν οι ονομαστικές τιμές που αναγράφονται πάνω στο ταμπελάκι της μηχανής.

α) Σε θερμοκρασία περιβάλλοντος μετράται η ωμική αντίσταση του τυλίγματος παράλληλης διέγερσης (E1E2) και του τυλίγματος τυμπάνου-δρομέα μαζί με τις ψήκτρες (A1A2). Το όργανο που χρησιμοποιείται είναι το κοινό πολύμετρο. Από εδώ υπολογίζονται δηλαδή οι αντιστάσεις R_a και $R_{\pi\delta}$.

β) Μετριέται η αυτεπαγωγή των δύο τυλιγμάτων με έμμεσο τρόπο, δηλ. τροφοδοτώντας το τύλιγμα του τυμπάνου με μεταβαλλόμενη AC τάση μέχρι το μισό του ονομαστικού ρεύματος $I_a=0,5I_{ov}$. Υπολογίζεται η σύνθετη αντίσταση (Z) με το νόμο του Ohm. Έχει συνδεθεί προηγουμένως ένα Αμπερόμετρο και ένα Βολτόμετρο. Εφόσον είναι γνωστή η Z_r μπορεί να υπολογιστεί η L_r . ($X=L\omega$). **Να παρατεθούν οι τύποι που χρησιμοποιήθηκαν για να υπολογιστεί η αυτεπαγωγή.**

Για την μέτρηση της αυτεπαγωγής του τυλίγματος παράλληλης διέγερσης συνδέονται πάλι τα όργανα με τη διαφορά ότι τώρα παρέχονται στο τύλιγμα 220V και σημειώνεται η ένδειξη του αμπερομέτρου. Υπολογίζεται η αυτεπαγωγή με τον ίδιο τρόπο.

γ) Υλοποιείται για τους φοιτητές από τους διδάσκοντες η συνδεσμολογία μηχανής συνθέτου διεγέρσεως. Στη συνέχεια συνδέεται φορτίο στην μηχανή, δουλεύει για μισή ώρα περίπου, και μετρούνται ξανά ωμικά τα τυλίγματα.

Να υπολογιστούν:

1) Η θερμοκρασία που αναπτύχθηκε στο τύλιγμα διέγερσης και η διαδικασία που ακολουθήθηκε.

2) από τι υλικό είναι φτιαγμένες οι ψήκτρες.

3) τι είναι τα R_a , L_a και από τι εξαρτώνται.

7.5 Πειραματικά στοιχεία: Επίδειξη λειτουργίας ενός τύπου ΜΣΡ

Από τους διδάσκοντες υλοποιείται η συνδεσμολογία για την γεννήτρια διέγερσης σειράς. Τίθεται η γεννήτρια σε λειτουργία με τον ονομαστικό αριθμό στροφών. Φορτίζοντας προοδευτικά, να σημειωθούν οι τιμές του Βολτομέτρου και του Αμπερομέτρου που συνδέονται στο φορτίο. Ζητούνται:

Α) Με τη βοήθεια των μετρήσεων, να χαραχθεί η γραφική παράσταση της τάσης εξόδου V σαν συνάρτηση του ρεύματος I , με τις στροφές σταθερές. Αυτή είναι η λεγόμενη χαρακτηριστική καμπύλη της γεννήτριας.

Β) Πώς υπολογίζεται από την καμπύλη η μέγιστη ισχύς της γεννήτριας.

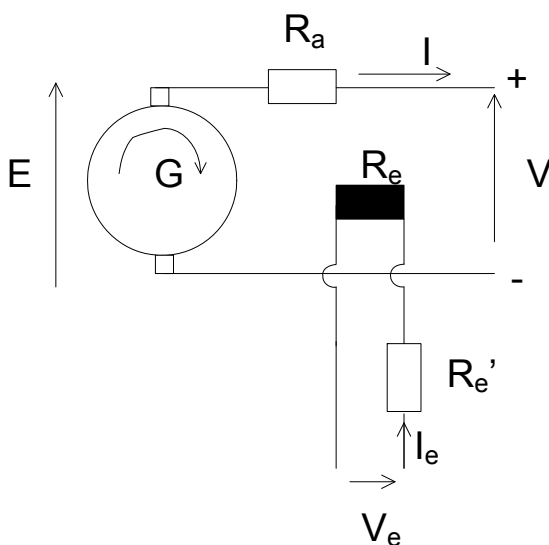
Γ) Πώς μπορεί να αλλάξει η πολικότητα της τάσεως στην έξοδο της μηχανής.

Δ) Γιατί λέμε ότι η γεννήτρια «αυτοπροστατεύεται» αν βραχυκυκλώσουμε τους ακροδέκτες στην έξοδο.

Εργαστηριακή άσκηση 8: Γεννήτρια Ξένης Διέγερσης

Στη γεννήτρια ξένης διέγερσης, η τροφοδοσία του τυλίγματος διέγερσης είναι διαφορετική από την τάση του δρομέα, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Δηλαδή το κύκλωμα της περιέλιξης διέγερσης και το κύκλωμα του δρομέα είναι γαλβανικά απομονωμένα-ξεχωριστά. Η ισχύς διέγερσης κυμαίνεται μεταξύ 2-6 % της ονομαστικής ισχύος της γεννήτριας.

Η πολικότητα της τάσης εξόδου της γεννήτριας αλλάζει με δύο τρόπους: Αν αλλάξουμε τη φορά του ρεύματος διέγερσης I_e και αν αλλάξουμε τη φορά περιστροφής του δρομέα. Αν αλλάξουμε και τα δύο φυσικά, δεν αλλάζει η πολικότητα της τάσης εξόδου.



Οι εξισώσεις που περιγράφουν το παραπάνω κύκλωμα είναι:

$$V = E - IR_a \quad (8.1)$$

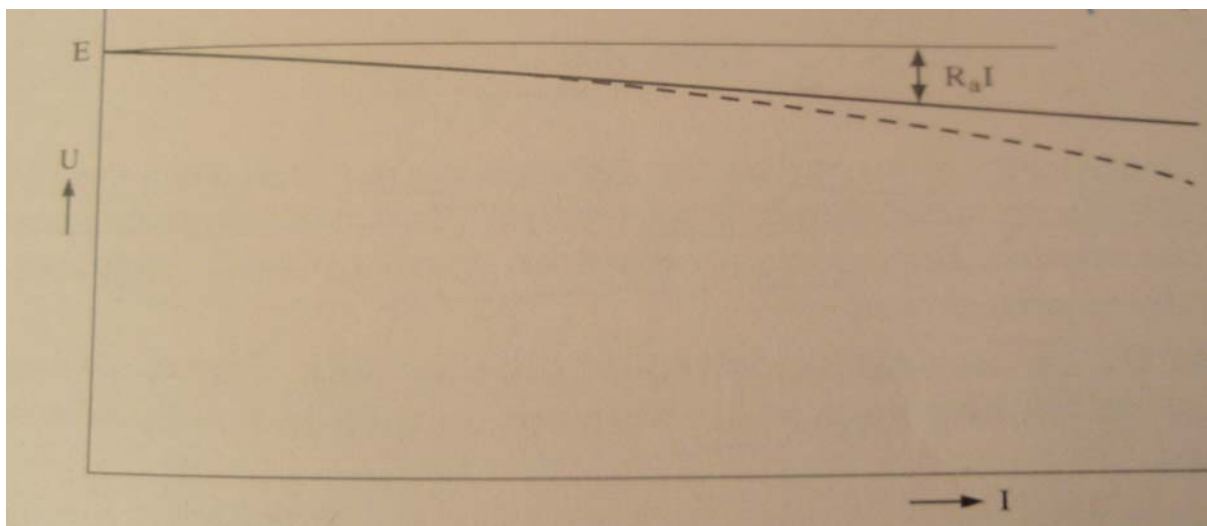
$$V_e = I_e(R + R_e) \quad (8.2)$$

$$E = c\Phi\omega_m \quad (8.3)$$

$$\Phi = \kappa I_e \quad (8.4)$$

Η σταθερά κ στην (8.4) είναι ανάλογη του αριθμού των σπειρών του τυλίγματος διέγερσης (R_e). Άρα, αν το τύλιγμα της διέγερσης αποτελείται από πολλές σπείρες μπορεί να παραχθεί αρκετή μαγνητική ροή Φ με μικρό ρεύμα διέγερσης I_e . Επίσης, αν το ρεύμα διέγερσης αυξηθεί πολύ, η μαγνητική ροή Φ παύει να αυξάνεται από τη στιγμή που το σιδηρομαγνητικό υλικό φτάσει σε κορεσμό. Άρα το ρεύμα διέγερσης πρέπει να είναι αρκετά μικρότερο του ρεύματος του δρομέα. Άρα η αντίσταση R_e πρέπει να έχει μεγάλη τιμή. Αυτό επιτυγχάνεται εκτός από τον μεγάλο αριθμό των σπειρών και με χρήση αγωγού μικρής διατομής.

Το γράφημα της τάσης εξόδου της γεννήτριας ως προς το ρεύμα του δρομέα ή με πιο απλά λόγια η γραφική αναπαράσταση της (8.1) για σταθερή διέγερση, δηλαδή για σταθερό ρεύμα I_e άρα για σταθερή Φ και συνεπώς σταθερή E (από τη σχέση 8.3), φαίνεται παρακάτω:



Σχήμα 8.1

Παρατηρούμε ότι η πτώση τάσης στην ονομαστική λειτουργία είναι πολύ μικρή (5 % της E). Συνεπώς αυτή η γεννήτρια μπορεί να θεωρηθεί ως μιας γεννήτρια παραγωγής σταθερής τάσης.

Από το παραπάνω γράφημα παρατηρούμε επίσης ότι σε περίπτωση βραχυκύκλωσης της εξόδου της γεννήτριας, δηλαδή $V=0$, το ρεύμα βραχυκύκλωσης $I_s=E/R_a$ είναι πολύ μεγάλο. Αυτό φαίνεται αν προεκτείνουμε την ευθεία γραμμή μέχρι να τμήσει τον οριζόντιο άξονα. Η τομή θα συμβεί για πολύ μεγάλο ρεύμα.

Τέλος, από τις σχέσεις (8.1)-(8.4) παρατηρούμε ότι για να μεταβάλλουμε την τάση εξόδου της γεννήτριας, πρέπει ουσιαστικά να αυξήσουμε την τάση E . Αυτό γίνεται με δύο τρόπους, όπως βλέπουμε από την (8.3): Είτε με αλλαγή της μαγνητικής ροής, άρα του ρεύματος διέγερσης, είτε με αλλαγή της ταχύτητας του άξονα.

Στο πειραματικό μέρος που ακολουθεί τρεις είναι οι στόχοι:

- A) Να φανεί πώς αλλάζει η τάση εξόδου της γεννήτριας,
- B) Να δημιουργηθεί από πειραματικά δεδομένα το γράφημα (8.1) και
- Γ) Να φανεί ότι η γεννήτρια αυτή μπορεί να παράσχει σχετικά εύκολα σταθερή τάση ανεξάρτητα από το φορτίο που τροφοδοτεί.

Πριν τη διεξαγωγή των πειραμάτων καταγράψτε τα ονομαστικά στοιχεία της μηχανής:

Ονομαστική ταχύτητα περιστροφής ω_{m-N}	(rpm)
Ονομαστική τάση V_N	(V)
Ονομαστικό ρεύμα I_N	(A)
Ονομαστική ισχύς P_N	(W)
Ονομαστικό ρεύμα διέγερσης I_{e-N}	(A)

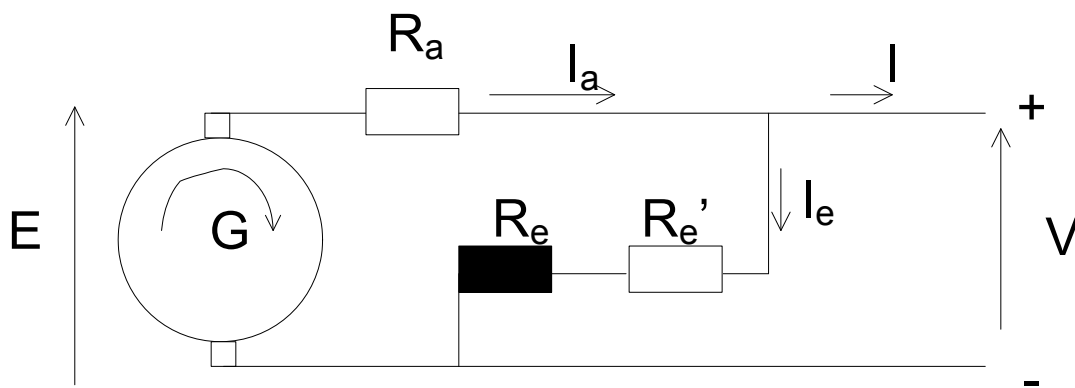
Το κύκλωμα που θα υλοποιηθεί είναι το παρακάτω:

Διατηρώντας σταθερές τις στροφές του άξονα και ίσες με τις ονομαστικές προσπαθήστε να διατηρήσετε σταθερή την τάση εξόδου της γεννήτριας στα 213 V. Με ποιον τρόπο μπορεί να γίνει κάτι τέτοιο; Πιο είναι το στοιχείο που πρέπει να συμπληρωθεί στον παρακάτω πίνακα; Τι αλλαγές υφίσταται η καμπύλη 8.1 για να διατηρηθεί σταθερή η τάση εξόδου στα 213 V;

Λειτουργία με φορτίο και $V=213\text{ V}$ και $n=n_{ov}$					
$I_{\text{φορτίου}}\text{ (A)}$	1,07	1,11	1,16	1,2	

Εργαστηριακή άσκηση 9: Γεννήτρια Παράλληλης Διέγερσης

Στη γεννήτρια παράλληλης διέγερσης, η τροφοδοσία του τυλίγματος διέγερσης γίνεται από το επαγωγικό τύμπανο του δρομέα, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Δηλαδή η τάση V_e και η τάση εξόδου της γεννήτριας V είναι ίδιες.



Σχήμα 9.1

Οι εξισώσεις που περιγράφουν το παραπάνω κύκλωμα είναι:

$$V = E - I_a R_a \quad (9.1)$$

$$V = I_e (R_e + R'_e) \quad (9.2)$$

$$I_a = I_e + I \quad (9.3)$$

$$E = c \Phi \omega_m \quad (9.4)$$

$$\Phi = k I_e \quad (9.5)$$

Όπως και στη γεννήτρια ξένης διέγερσης, έτσι και εδώ η αντίσταση διέγερσης είναι μεγάλη και συνεπώς αποτελείται από πολλές σπείρες και αγωγό λεπτής διατομής. Επειδή λοιπόν $R_a \ll R_e$, θεωρούμε ότι $I_a \gg I_e$.

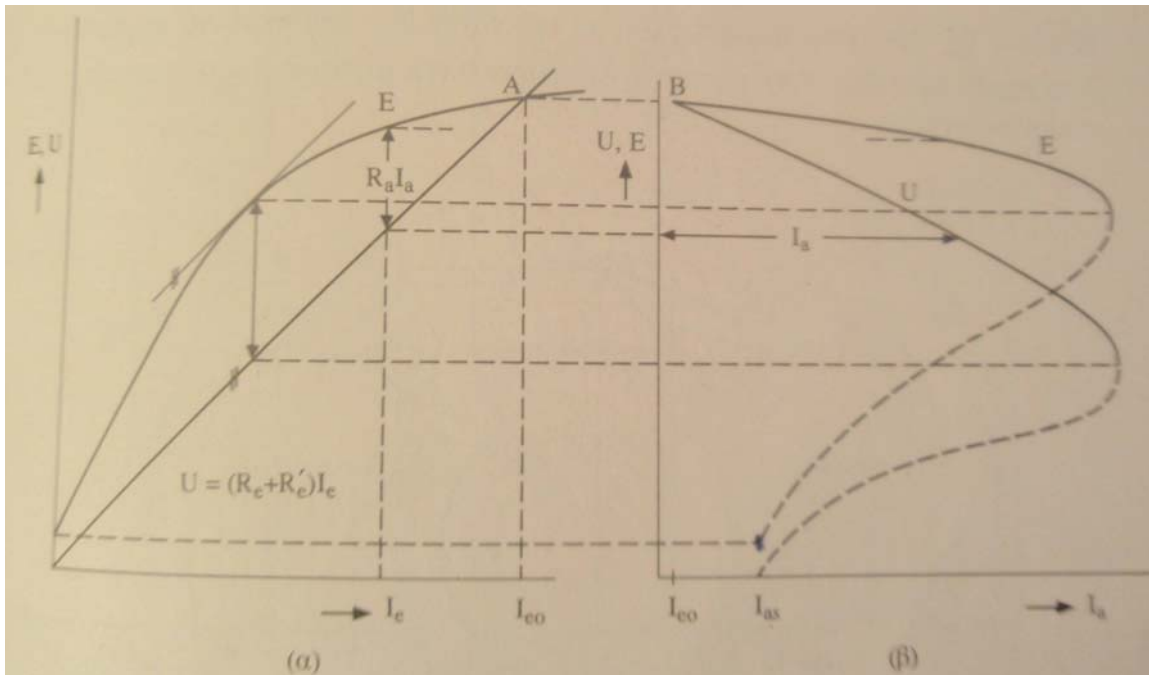
Εφόσον δεν υπάρχει πηγή τάσης που να τροφοδοτεί το τύλιγμα διέγερσης, η γεννήτρια παράλληλης διέγερσης αυτοδιεγείρεται εξαιτίας του παραμένουτος μαγνητισμού.

Στις παρακάτω καμπύλες εξηγείται η λειτουργία της γεννήτριας π.δ.:

Σε λειτουργία με σταθερή περιστροφική ταχύτητα, το ρεύμα διέγερσης δεν είναι σταθερό $I_e = V / (R_e + R'_e)$, αλλά εξαρτάται προφανώς από το ρεύμα φόρτισης I_a , **δηλαδή από το φορτίο**, που προκαλεί μεταβολή της τάσης V κατά $R_a I_a$. Έτσι μεταβάλλεται με το ρεύμα φόρτισης και η μαγνητική ροή Φ και η ΗΕΔ E .

Στο σημείο Α της καμπύλης αντιστοιχίζεται η λειτουργία της γεννήτριας εν κενώ, όπου το ρεύμα του δρομέα I_a και το ρεύμα της διέγερσης I_e είναι ίδια και η πτώσης τάσης $I_a R_a$ θεωρείται αμελητέα.

Στο σημείο με την μεγαλύτερη κατακόρυφη απόσταση μεταξύ των καμπυλών E και V , αντιστοιχίζεται η λειτουργία σε μέγιστο ρεύμα φόρτισης. Η κατάσταση ευσταθούς λειτουργίας της γεννήτριας ουσιαστικά βρίσκεται πάντα μεταξύ των δύο αυτών σημείων (Α και της μέγιστης διαφοράς). Αν το ρεύμα φόρτισης ξεπεράσει το μέγιστο ρεύμα φόρτισης, η γεννήτρια σιγά-σιγά αποδιεγείρεται, δηλαδή μειώνεται το ρεύμα φόρτισης και μειώνεται η τάση εξόδου V .

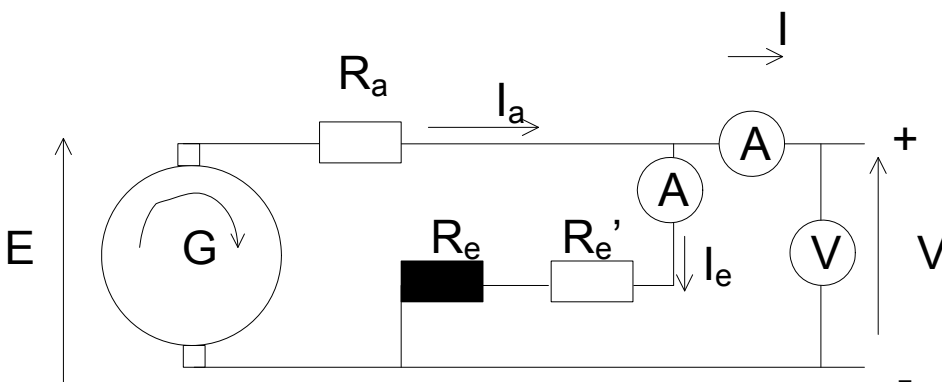


Σχήμα: 9.1

Στο πειραματικό μέρος που ακολουθεί τρεις είναι οι στόχοι:

- A) Να φανεί πώς επηρεάζει την ΗΕΔ της γεννήτριας E η αλλαγή του ρεύματος διέγερσης ($E = c\omega_m \Phi$),
- B) Να φανεί πώς επηρεάζει την ΗΕΔ της γεννήτριας E η αλλαγή της ταχύτητας περιστροφής του άξονα ($E = c\omega_m \Phi$) και
- Γ) Να δημιουργηθεί από πειραματικά δεδομένα το γράφημα 9.1.

Να υλοποιήσετε το ακόλουθο κύκλωμα:



9.1 Μεταβολή της ΗΕΔ ως προς το ρεύμα διέγερσης

Για να φανεί πιο καθαρά η αύξηση της ΗΕΔ E με την αύξηση του ρεύματος διέγερσης I_e , το πείραμα αυτό θα γίνει εν κενώ, δηλαδή χωρίς να έχει φορτίο η γεννήτρια. Αυτό σημαίνει ότι το ρεύμα του δρομέα θα είναι ίσο με το ρεύμα διέγερσης. Κατά τη διάρκεια του πειράματος θα διατηρηθούν οι στροφές του άξονα σταθερές ($n = n_{ov}$). Να υπενθυμίσουμε ότι σε αυτή την περίπτωση η γεννήτρια βρίσκεται στο σημείο λειτουργίας A της καμπύλης 9.1, όπου

θεωρούμε ότι $E=V$. Για να αυξηθεί το ρεύμα διέγερσης πρέπει συνεχώς να μειώνεται η ρυθμιστική αντίσταση R'_e . Συμπληρώστε τον παρακάτω πίνακα και σχεδιάστε το αντίστοιχο γράφημα:

Εν κενώ λειτουργία και $n=n_{ov}$					
$I_a=I_e$ (A)	0,03	0,04	0,06	0,18	
$V=E$ (V)					

9.2 Μεταβολή της ΗΕΔ ως προς την ταχύτητα περιστροφής:

Για να φανεί πιο καθαρά η αύξηση της ΗΕΔ E με την αύξηση της ταχύτητας περιστροφής, το πείραμα αυτό θα γίνει εν κενώ, δηλαδή χωρίς να έχει φορτίο η γεννήτρια. Αυτό σημαίνει ότι το ρεύμα του δρομέα θα είναι ίσο με το ρεύμα διέγερσης. Κατά τη διάρκεια του πειράματος το ρεύμα διέγερσης διατηρείται σταθερό και ίσο με $I_e=0,04$ A. Να υπενθυμίσουμε ότι σε αυτή την περίπτωση η γεννήτρια βρίσκεται στο σημείο λειτουργίας Α της καμπύλης 9.1, όπου θεωρούμε ότι $E=V$. Στο πείραμα αυτό είναι απαραίτητη η χρήση στροφόμετρου. Συμπληρώστε τον παρακάτω πίνακα και σχεδιάστε το αντίστοιχο γράφημα:

Λειτουργία εν κενώ και $I_e=0,04$ A					
n (rpm)	1513	1853			
$V=E$ (V)					

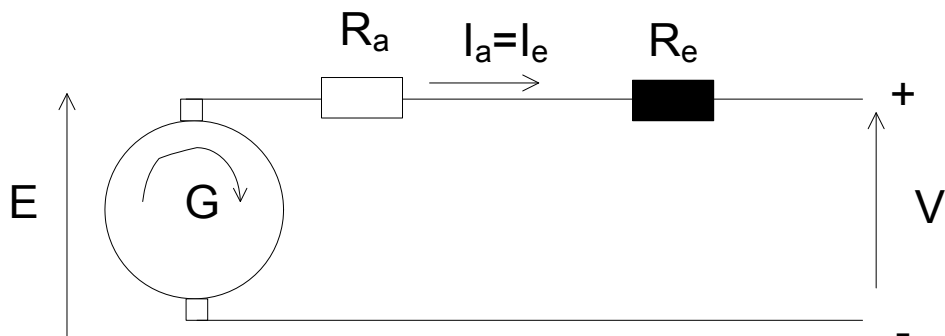
9.3 Αναπαράσταση της καμπύλης 9.1.

Διατηρώντας τις στροφές ίσες με τις ονομαστικές, αυξάνουμε διαρκώς το φορτίο της γεννήτριας. Το φορτίο στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι λάμπες πυρακτώσεως. Συμπληρώστε τον παρακάτω πίνακα και κάντε τις καμπύλες τάσης συναρτήσεως του ρεύματος φόρτισης και τάσης συναρτήσεως του ρεύματος διέγερσης. Τι παρατηρείτε; Επιβεβαιώνεται το φαινόμενο της αποδιέγερσης που αναφέρθηκε παραπάνω;

Λειτουργία με φορτίο και $V=213$ V και $n=n_{ov}$					
$I_{φορτίου}$ (A)	0,17	0,32	0,45	0,6	0,72
I_e (A)					
V (V)					

Εργαστηριακή άσκηση 10: Γεννήτρια Διέγερσης Σειράς

Στη γεννήτρια διέγερσης σειράς, η τροφοδοσία του τυλίγματος διέγερσης γίνεται από το επαγωγικό τύμπανο του δρομέα, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Δηλαδή το ρεύμα I_e και το ρεύμα της γεννήτριας είναι ίδια.



Σχήμα 10.1

Οι εξισώσεις που περιγράφουν το παραπάνω κύκλωμα είναι:

$$V = E - I_a(R_a + R_e) \quad (10.1)$$

$$I_a = I_e = I \quad (10.2)$$

$$E = c\Phi\omega_m \quad (10.3)$$

$$\Phi = kI_e \quad (10.4)$$

Αντίθετα από τη γεννήτρια ξένης και παράλληλης διέγερσης, η αντίσταση διέγερσης είναι μικρή και συνεπώς αποτελείται από λίγες σπείρες και αγωγό μεγάλης διατομής.

Εφόσον δεν υπάρχει πηγή τάσης που να τροφοδοτεί το τύλιγμα διέγερσης, η γεννήτρια παράλληλης διέγερσης αυτοδιεγείρεται εξαιτίας του παραμένουτος μαγνητισμού, μόνο όταν κλείσει κύκλωμα, δηλαδή μόνο υπό φορτίο.

Στις παρακάτω καμπύλες εξηγείται η λειτουργία της γεννήτριας δ.σ.:

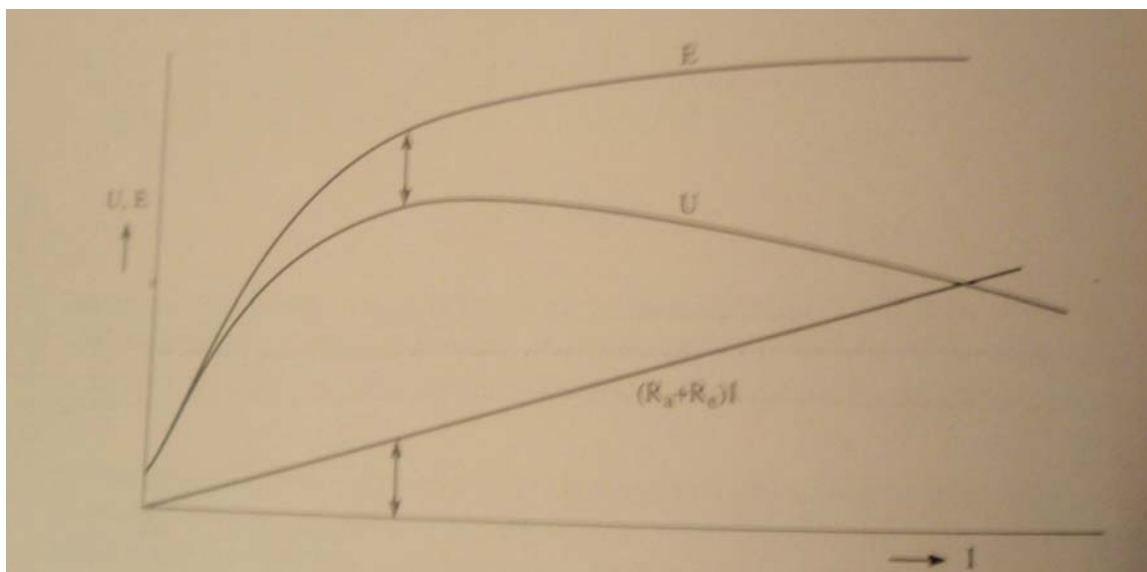
Όσο αυξάνεται το ρεύμα φόρτισης και συνεπώς το ρεύμα διέγερσης, αυξάνεται και διαφορά μεταξύ της τάσης εξόδου U και της ΗΕΔ E . Η διαφορά είναι τόση όση είναι η πτώση όση είναι η πτώση τάσης πάνω στις αντιστάσεις.

Στο πειραματικό μέρος που ακολουθεί στόχος είναι να αν αναπαρασταθεί το παρακάτω γράφημα σε τρία στάδια:

A) Μέχρι το μέγιστο της τάσης εξόδου,

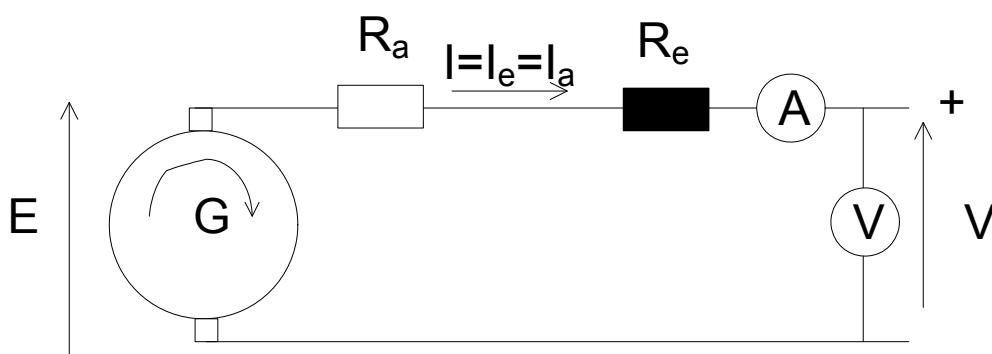
B) Μέχρι το ονομαστικό ρεύμα

Γ) Πέραν του ονομαστικού ρεύματος.



Σχήμα: 10.1

Να υλοποιήσετε το ακόλουθο κύκλωμα:



10.1 Μεταβολή της τάσης εξόδου ως προς το ρεύμα μέχρι το μέγιστο της τάσης.

Συνδέστε το μικρότερο φορτίο (λάμπες πυρακτώσεως) στην έξοδο της γεννήτριας. Τροφοδοτήστε τον ασύγχρονο κινητήρα (που είναι η κινητήρια μηχανή μας) που δίνει κίνηση στη γεννήτρια ΣΡ δ.σ. και κρατήστε τις στροφές του άξονα της γεννήτριας στις ονομαστικές (2820 rpm). Αυξήστε σταδιακά το ηλεκτρικό φορτίο της γεννήτριας Συμπληρώστε τον παρακάτω πίνακα μέχρι η τάση να φτάσει τη μέγιστη τιμή της και σχεδιάστε το αντίστοιχο γράφημα:

$n=n_{ov}$					
$I_a=I_e$ (A)					
V (V)					V_{max}

10.2 Μεταβολή της τάσης εξόδου ως προς το ρεύμα μέχρι το ονομαστικό ρεύμα.

Αυξήστε περαιτέρω το ηλεκτρικό φορτίο της γεννήτριας. Συμπληρώστε τον παρακάτω πίνακα, από εκεί που σταμάτησε ο προηγούμενος, μέχρι το ρεύμα να φτάσει την ονομαστική του τιμή και συνεχίστε τη σχεδίαση στο προηγούμενο γράφημα:

$n=n_{ov}$					
$I_a=I_e$ (A)					I_{ov}
V (V)	V_{max}				

10.3 Μεταβολή της τάσης εξόδου ως προς το ρεύμα πέραν του ονομαστικού ρεύματος.

Αυξήστε περαιτέρω το ηλεκτρικό φορτίο της γεννήτριας. Συμπληρώστε τον παρακάτω πίνακα, από εκεί που σταμάτησε ο προηγούμενος, με ρεύμα μεγαλύτερο του ονομαστικού και συνεχίστε τη σχεδίαση στο προηγούμενο γράφημα:

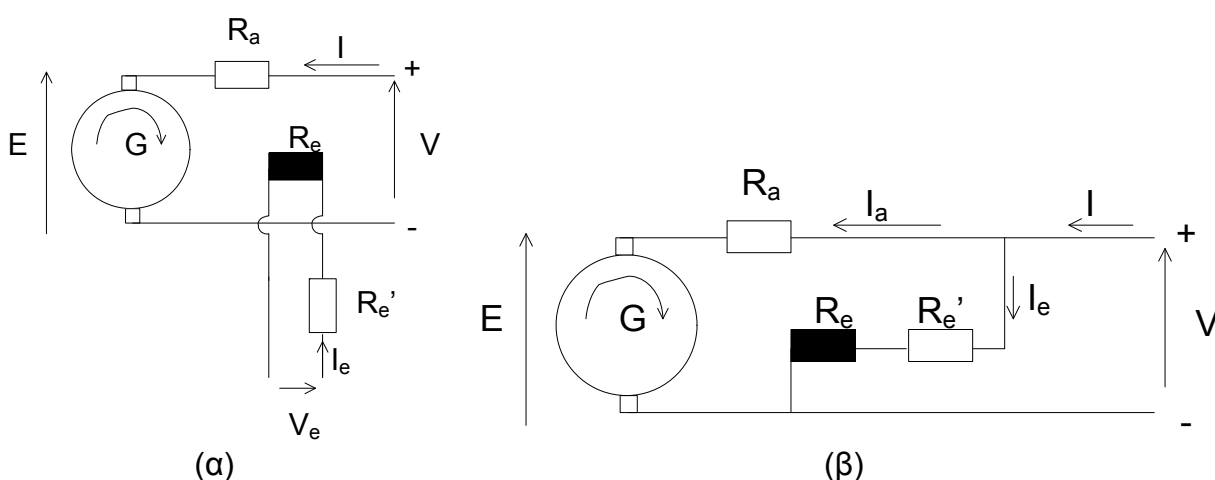
$n=n_{ov}$					
$I_a=I_e$ (A)	I_{ov}				
V (V)					

Εργαστηριακή άσκηση 11: Γεννήτρια Σύνθετης Διέγερσης

(ΣΕΛΙΔΑ ΣΚΟΠΙΜΑ ΚΕΝΗ)

Εργαστηριακή άσκηση 12: Κινητήρες Ξένης και Παράλληλης Διέγερσης

Με την προϋπόθεση ότι η τάση τροφοδοσίας του κινητήρα μένει σταθερή, οι δύο αυτοί κινητήρες δεν έχουν καμία διαφορά. Δεδομένου όμως ότι στον κινητήρα ξένης διέγερσης, η τάση τροφοδοσίας μπορεί να μεταβληθεί κατά βούληση, η ρύθμιση των στροφών διαφέρει από τον κινητήρα παράλληλης διέγερσης: Στον κινητήρα παράλληλης διέγερσης το ρεύμα διέγερσης είναι δυνατόν μόνο να μειωθεί (με την αύξηση της ρυθμιστικής αντίστασης διέγερσης), άρα όπως θα δούμε παρακάτω να αυξηθούν οι στροφές. Αντίθετα στον κινητήρα ξένης διέγερσης, η αύξηση ή μείωση της τάσης τροφοδοσίας της διέγερσης μπορεί να αυξήσει ή να μειώσει αντίστοιχα το ρεύμα διέγερσης και συνεπώς οι στροφές του κινητήρα είναι δυνατόν να μειωθούν ή να αυξηθούν αντίστοιχα. Τα ισοδύναμα κυκλώματα φαίνονται στο σχήμα 12.1.



Σχήμα 12.1. (α) Κινητήρας ξένης διέγερσης και (β) Κινητήρας παράλληλης διέγερσης

Επειδή όπως προαναφέρθηκε οι δύο κινητήρες δεν διαφέρουν πουθενά παρά μόνο στη ρύθμιση στροφών, που δεν είναι αντικείμενο μελέτης σε αυτό το μάθημα, θα αναλύσουμε από εδώ και στο εξής τον κινητήρα παράλληλης διέγερσης. Οι σχέσεις που περιγράφουν τον κινητήρα π.δ. είναι:

$$E = V - I_a R_a \quad (12.1)$$

$$V = I_e (R_e + R_{e'}) \quad (12.2)$$

$$I = I_e + I_a \quad (12.3)$$

$$E = c \Phi \omega_m \text{ ή } \omega_m = E / (c \Phi) \quad (12.4)$$

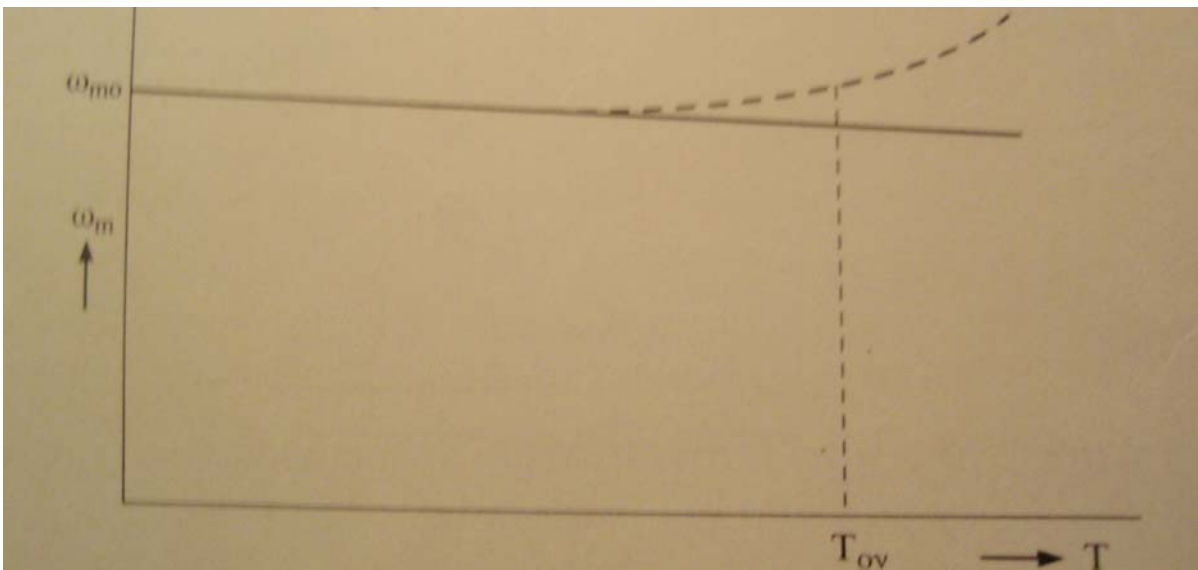
$$\Phi = k I_e \quad (12.5)$$

$$T = c \Phi I_a \text{ ή } I_a = T / (c \Phi) \quad (12.6)$$

Αν αντικαταστήσουμε τη σχέση (12.6) στην (12.1) και στη συνέχεια την (12.1) στην (12.4), προκύπτει η ακόλουθη σχέση, που είναι η χαρακτηριστική καμπύλη λειτουργίας του κινητήρα π.δ.:

$$\omega_m = \frac{U}{c\Phi} - \frac{R_a + R}{c^2\Phi^2}T \quad (12.7)$$

Η σχέση αυτή παριστάνεται στο ακόλουθο διάγραμμα ως μια ευθεία με αρνητική κλίση. Η διακεκομμένη καμπύλη οφείλεται στο φαινόμενο της παραμόρφωσης του πεδίου κάτω από τους πόλους, το οποίο συμβαίνει σε φόρτιση και μόνο σε κινητήρες που δεν έχουν περιέλιξη αντιστάθμισης. Η κλίση της καμπύλης είναι πού μικρή, της τάξης του 5 %, γεγονός που σημαίνει ότι η ταχύτητα του κινητήρα παράλληλης διέγερσης μένει σταθερή ακόμα και σε ονομαστική φόρτιση. Η ταχύτητα ω_{m0} είναι η περιστροφική ταχύτητα εν κενώ (χωρίς φορτίο) και είναι ίση με $V/(c\Phi)$.



Σχήμα 12.2

Η μετάβαση από λειτουργία κινητήρα σε λειτουργία γεννήτριας γίνεται μόνο με αλλαγή της φοράς της εξωτερικής ροπής, άρα και φορά της εσωτερικής ροπής. Όπως φαίνεται από τη σχέση (12.6) αυτό γίνεται μόνο με αλλαγή της φοράς του ρεύματος του δρομέα, χωρίς να χρειαστεί να αλλάξει η πολικότητα ή η φορά περιστροφής. Το ρεύμα διέγερσης συνεπώς στον κλάδο διέγερσης παραμένει ίδιο.

Ο έλεγχος της περιστροφικής ταχύτητας γίνεται με τους ακόλουθους τρόπους:

A) Με την αλλαγή της τάσης τροφοδοσίας, ώστε στη σχέση (12.7) να μεταβληθεί η ταχύτητα εν κενώ και να μετατοπιστεί η ευθεία στο σχήμα 12.2. Αυτό όμως πρέπει να συμβεί με σταθερή ροή Φ και συνεπώς με σταθερό ρεύμα διέγερσης. Για αυτό, όπως προαναφέρθηκε, αυτή η διαδικασία προτιμάται σε γεννήτριες ξένης διέγερσης.

B) Με μεταβολή του ρεύματος διέγερσης. Όπως φαίνεται από το κύκλωμα 12.1.β και από τη σχέση (12.7), μείωση του ρεύματος διέγερσης δηλαδή μείωση της μαγνητικής ροής Φ προκαλεί αύξηση της ταχύτητας περιστροφής. Από την άλλη, αύξηση του ρεύματος διέγερσης με τη ρυθμιστική αντίσταση R'_e δεν μπορεί να επιτευχθεί εύκολα αλλά ακόμα και να συμβεί δεν έχει νόημα να αυξηθεί πάνω από μία τιμή, καθώς επέρχεται κορεσμός του σιδηρομαγνητικού υλικού και δεν μπορεί να αυξηθεί περαιτέρω η μαγνητική ροή Φ . Συνεπώς αυτή η μεθοδολογία χρησιμοποιείται μόνο για αύξηση της ταχύτητας.

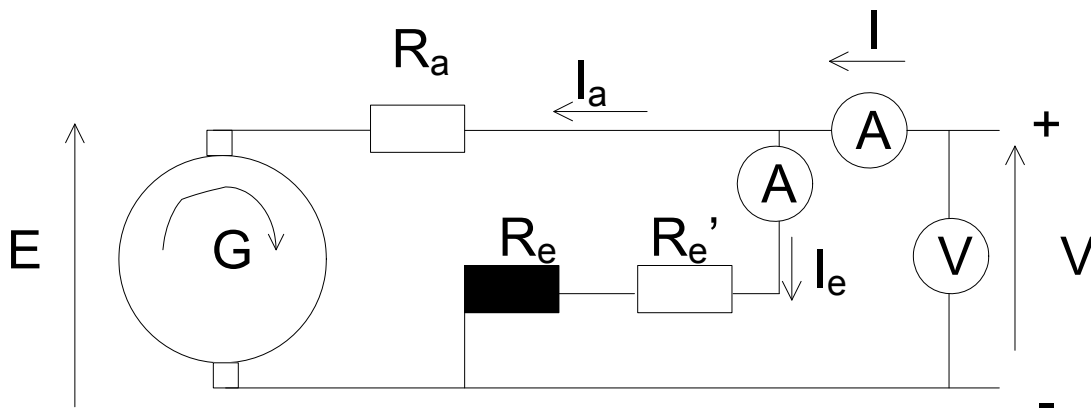
Γ) Με μια αντίσταση σε σειρά με το κύκλωμα του δρομέα (αντίσταση R στη σχέση (12.7)), ώστε να αυξηθεί η πτώση τάσης στο δρομέα και να μειωθεί η περιστροφική ταχύτητα.

Όπως είναι φανερό, η μέθοδος αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μείωση της ταχύτητας του άξονα.

Στο πειραματικό μέρος που ακολουθεί δύο είναι οι στόχοι:

- A) Να φανεί η αύξηση της ταχύτητας του κινητήρα με τη μείωση του ρεύματος διέγερσης και
 B) Να παραχθεί η χαρακτηριστική ευθεία του σχήματος 12.2

Υλοποιήσετε το ακόλουθο κύκλωμα:



A) Για να φανεί καλύτερη η αύξηση της ταχύτητας το πείραμα θα γίνει σε εν κενώ λειτουργία. Τροφοδοτούμε το τύλιγμα διέγερσης με το ονομαστικό του ρεύμα και εφαρμόζουμε μία τάση V την οποία διατηρούμε σταθερή σε όλη την διάρκεια του πειράματος. (Προσοχή η τάση πρέπει να είναι αρκετά μικρότερη της ονομαστικής). Διατηρώντας την τάση σταθερή μειώνουμε σταδιακά το ρεύμα διέγερσης, αυξάνοντας τη ρυθμιστική αντίσταση R'_e και μετράμε κάθε φορά το ρεύμα I_a και τον αριθμό στροφών n .

Λειτουργία εν κενώ και V =σταθερό					
I_e (A)	I_{ov}				
n (rpm)					
I_a (A)					

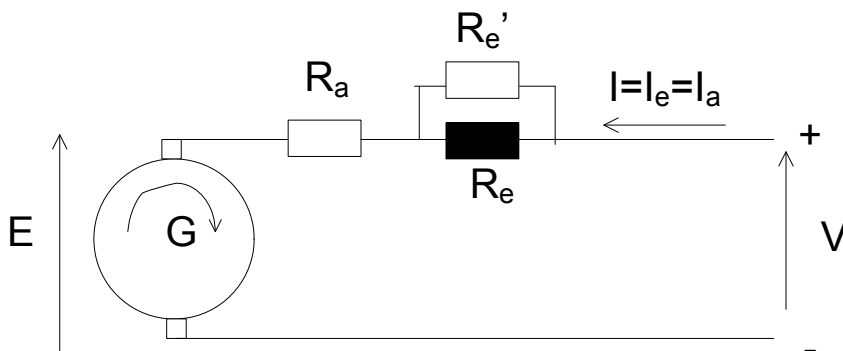
B) Διατηρούμε την τάση τροφοδοσίας V σταθερή. Αυξάνουμε το ρεύμα διέγερσης στην ονομαστική του τιμή (σε όλη την διάρκεια του πειράματος το διατηρούμε σταθερό). Σταδιακά μεταβάλλουμε το φορτίο μετρώντας ταυτόχρονα τη ροπή του φορτίου και μετράμε το ρεύμα I_a καθώς και τις στροφές n μέχρι να γίνει το ρεύμα φορτίου ίσο με το ονομαστικό. Συμπληρώστε τον παρακάτω πίνακα και σχεδιάστε το γράφημα της ταχύτητας του άξονα ως προς τη ροπή. Τι παρατηρείτε;

Λειτουργία με φορτίο και V =σταθερό και I_e σταθερό					
I_a (A)					
n (rpm)					
T (Nm)					

Εργαστηριακή άσκηση 13: Κινητήρας Διέγερσης Σειράς

Στον κινητήρα διέγερσης σειράς το τύλιγμα της διέγερσης είναι συνδεδεμένο σε σειρά με το τύλιγμα του επαγωγικού τυμπάνου. Από τα ανωτέρω προκύπτει ότι $I_a = I_e$. Το ρεύμα I_a κατά κανόνα έχει μεγάλη τιμή άρα για να δημιουργηθεί η απαιτούμενη μαγνητική ροή $\Phi = kI_e$ αρκούν λίγες σπείρες. Επίσης οι αγωγοί πρέπει να έχουν μεγάλη διατομή (μικρή αντίσταση, λίγες απώλειες)

Το ισοδύναμο κύκλωμα του κινητήρα φαίνεται παρακάτω.



Σχήμα 13.1

Οι σχέσεις που περιγράφουν τον κινητήρα δ.σ. είναι:

$$E = V - I_a(R_a + R_e) \quad (12.1)$$

$$I = I_e = I_a \quad (12.2)$$

$$E = c\Phi\omega_m \text{ ή } \omega_m = E/(c\Phi) \quad (12.3)$$

$$\Phi = kI_e \quad (12.4)$$

$$T = c\Phi I_a \text{ ή } I_a = T/(c\Phi) \quad (12.5)$$

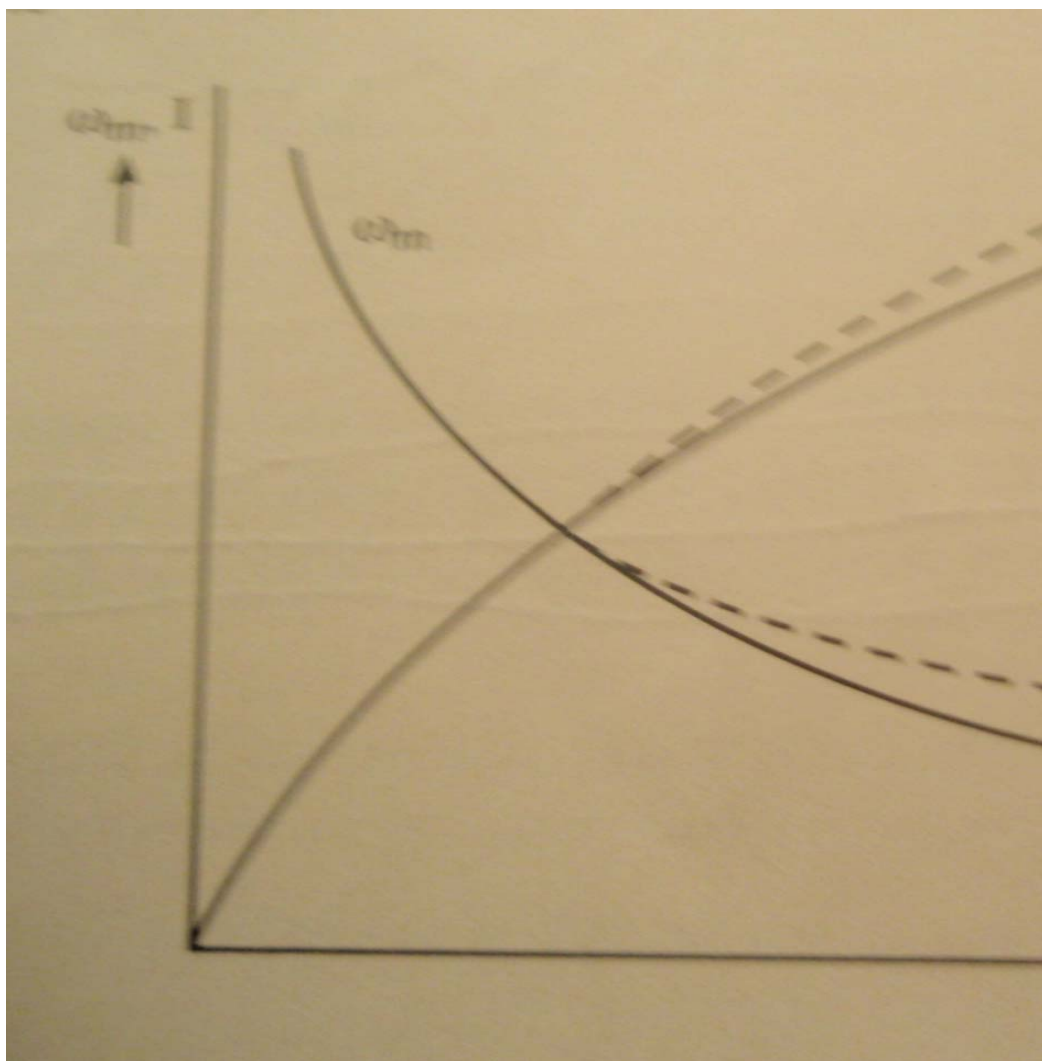
Από τις σχέσεις (12.4) και (12.5) προκύπτει:

$$\Phi = \sqrt{\frac{\kappa T}{c}} \quad (12.6)$$

Αν αντικαταστήσουμε τη σχέση (12.1) στην (12.3) και στη συνέχεια τις (12.6) και (12.4) στη (12.3), προκύπτει η ακόλουθη σχέση, που είναι η χαρακτηριστική καμπύλη λειτουργίας του κινητήρα δ.σ.:

$$\omega_m = \frac{U}{\sqrt{ckT}} - \frac{R_e + R_a}{ck} \quad (12.7)$$

Το παρακάτω γράφημα παριστάνει την καμπύλη της ταχύτητας περιστροφής ως προς τη ροπή και το ρεύμα ως προς τη ροπή.



Σχήμα 13.2

Οι διακεκομμένες γραμμές λαμβάνουν υπόψη το μαγνητικό κορεσμό.

Σε εν κενώ λειτουργία, όπου η ροπή είναι μηδέν, η ταχύτητα όπως φαίνεται και από την καμπύλη γίνεται άπειρη. Στην πράξη δεν γίνεται αυτό λόγω τριβών, απλά γίνεται πάρα πολύ μεγάλη. **Παρόλα αυτά, οι κινητήρες αυτοί πρέπει πάντα να εκκινούν ΜΕ φορτίο.**

Από την ίδια καμπύλη παρατηρούμε ότι για χαμηλές στροφές (πχ στην εκκίνηση) ο κινητήρας παρουσιάζει μεγάλη ροπή. Άρα είναι ιδανικός για εφαρμογές που απαιτούν μεγάλη ροπή εκκίνησης, όπως μίζες αυτοκινήτων, ανελκυστήρες, γερανοί, κτλ.

Για αλλαγή της φοράς περιστροφής στους κινητήρες διέγερσης σειράς πρέπει να αλλάξουμε την πολικότητα ή του ρεύματος διέγερσης ή του τυμπάνου. Εάν αλλάξουμε και τα δύο η φορά περιστροφής παραμένει η ίδια. Συνεπώς, κατά τη μετάβαση από λειτουργία κινητήρα σε λειτουργία γεννήτριας, αλλάζει το φορά το ρεύμα του δρομέα, άρα και της διέγερσης άρα και η μαγνητική ροή. Συνεπώς δεν αλλάζει φορά η εσωτερική ροπή (σχέση (12.5)). Άρα θα αλλάξει η φορά περιστροφής. Για να μην συμβεί αυτό, πρέπει να αλλάξει η πολικότητα του τυλίγματος διέγερσης.

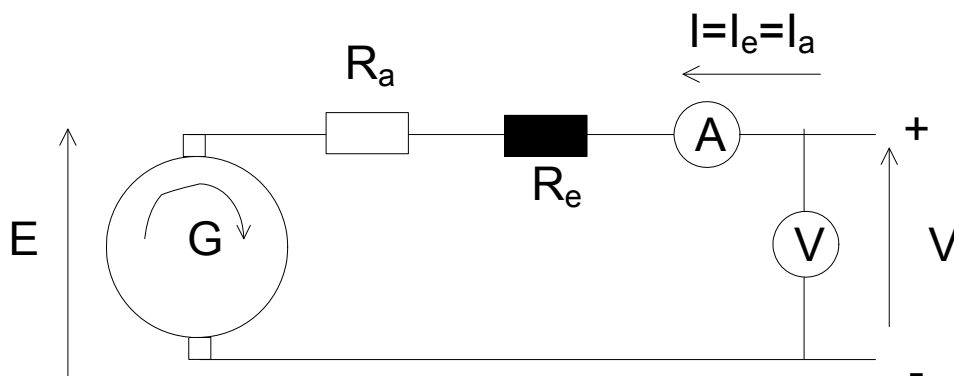
Ένας τρόπος για να μεταβάλλουμε την ταχύτητα περιστροφής είναι η αλλαγή της τάσης τροφοδοσίας V . Όπως φαίνεται από τη σχέση (12.7), η ταχύτητα περιστροφής είναι ανάλογη της τάσης του τυμπάνου.

Στο πειραματικό μέρος που ακολουθεί δύο είναι οι στόχοι:

A) Να φανεί η αύξηση της ταχύτητας του κινητήρα με την αύξηση της τάσης τροφοδοσίας και

B) Να παραχθεί η χαρακτηριστική ευθεία του σχήματος 13.2

Υλοποιήσετε το ακόλουθο κύκλωμα:



A) Όπως τονίσαμε πριν η εκκίνηση του κινητήρα γίνεται υπό φορτίο. Διατηρώντας το φορτίο σταθερό ($T=\text{σταθερή}$), αυξάνουμε την τάση τροφοδοσίας. Συμπληρώστε τον παρακάτω πίνακα:

Λειτουργία υπό φορτίο $T=\text{σταθερό}$					
V (V)					
n (rpm)					

B) Ξεκινώντας πάντα υπό φορτίο και διατηρώντας την τάση τροφοδοσίας σταθερή, αυξάνουμε το φορτίο (δηλαδή τη ροπή T). Συμπληρώστε τον παρακάτω πίνακα και σχεδιάστε τις καμπύλες της ταχύτητας ως προς τη ροπή και του ρεύματος ως προς τη ροπή. Τι παρατηρείτε;

Λειτουργία υπό φορτίο $V=\text{σταθερό}$					
T (Nm)					
n (rpm)					
I (A)					

Εργαστηριακή άσκηση 14: Μέτρηση συμβατικής απόδοσης Μηχανών Συνεχούς Ρεύματος

Η απόδοση των ηλεκτρικών μηχανών μπορεί να υπολογιστεί γενικά με δύο τρόπους:

- Με την άμεση και
- Την έμμεση μέθοδο

A) Η άμεση μέθοδος περιλαμβάνει τη λειτουργία της μηχανής υπό το κατάλληλο φορτίο και τη μέτρηση της ισχύος εισόδου και της ισχύος εξόδου. Αυτή η απόδοση ονομάζεται συνήθως πραγματική απόδοση. Η μέθοδος αυτή παρουσιάζει κάποιες δυσκολίες για αυτό και είναι εφαρμόσιμη σε μηχανές χαμηλής ισχύος.

- Σε ΜΣΡ η μία από τις δύο ισχύς είναι μηχανική, που σημαίνει ότι είναι δύσκολα μετρήσιμη.
- Σε μηχανές υψηλής ισχύος υπεισέρχονται μεγάλα σφάλματα στις μετρήσεις.

B) Η έμμεση μέθοδος περιλαμβάνει τον υπολογισμό της απόδοσης μετά από μια σειρά μετρήσεων που δίνουν τις απώλειες σε διάφορες συνθήκες φόρτισης. Αυτή η μέθοδος ενδείκνυται σε μηχανές υψηλής ισχύος, δηλαδή πάνω από 10 kW. Επειδή όλες οι απώλειες δεν μπορούν να μετρηθούν με την ίδια ακρίβεια και δεν αφορούν στις ίδιες συνθήκες φόρτισης, είναι απαραίτητο να ακολουθηθούν κάποιες πρότυπες διαδικασίες αναγωγής των διαφορετικών μετρήσεων στις ίδιες συνθήκες λειτουργίας. Επειδή λοιπόν η απόδοση προκύπτει αφού όλες οι απώλειες υπολογιστούν σύμφωνα με κάποιες πρότυπες συμβάσεις, ονομάζεται Συμβατική Απόδοση.

Για μία γεννήτρια συνεχούς ρεύματος σύνθετης διέγερσης ο υπολογισμός της απόδοσης περιλαμβάνει τον υπολογισμό των ακόλουθων απωλειών:

- 1) Μηχανικές απώλειες και απώλειες σιδήρου (P_{im}): Μετρούνται σε ονομαστική ταχύτητα και ονομαστική τάση. Θεωρούνται σταθερές κατά τη μετάβαση από την εν κενώ στην ονομαστική λειτουργία.
- 2) Απώλειες χαλκού (P_{Cu}) (στα τυλίγματα τυμπάνου, βοηθητικών πόλων και διέγερσης σειράς): Υπολογίζονται από τον τύπο $I_a^2 R$, όπου R είναι το άθροισμα των αντιστάσεων των τυλιγμάτων σε θερμοκρασία $75^\circ C$ και I_a είναι το ρεύμα των τυλιγμάτων σε συγκεκριμένες συνθήκες φόρτισης.
- 3) Απώλειες Joule στην επαφή ψηκτρών-συλλέκτη (P_J): Επειδή η αντίσταση αυτής της επαφής δεν είναι σταθερή, συμβατικά θεωρείται ίση με $2 \cdot I_a$ Watt, όταν οι ψήκτρες είναι από άνθρακα και $0,6 \cdot I_a$, όταν οι ψήκτρες είναι μεταλλικές. Το σύμβολο I_a είναι το ρεύμα του τυμπάνου.
- 4) Απώλειες διέγερσης (P_e) (παράλληλης): Σε ονομαστικές συνθήκες, η μηχανή δουλεύει με σταθερό ρεύμα παράλληλης διέγερσης. Η ισχύς αυτή υπολογίζεται από τον τύπο $P = V I_e$, όπου V είναι η ονομαστική τάση και I_e το ονομαστικό ρεύμα διέγερσης.
- 5) Επιπλέον απώλειες (P_a): Λόγω της μικρής τους τιμής για ΜΣΡ, υπολογίζονται από τον τύπο $P = (0,5 \%) \cdot P_{out}$, όπου P_{out} είναι η ισχύς εξόδου.

Διαδικασία υπολογισμού: Συνήθως οι υπολογισμοί γίνονται για τα ακόλουθα ρεύματα φόρτισης:

- 0 A
- $(1/4) I_N$
- $(2/4) I_N$
- $(3/4) I_N$

