

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
1253

ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΠΑΡΑΛΛΗΛΙΣΜΟΥ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ Ε.Ρ



ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΡΟΥΣΣΟΣ ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ

ΕΙΣΗΓΗΤΕΣ: ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ – ΝΕΚΤΑΡΙΟΣ ΧΑΡΑΛΑΜΠΑΚΟΣ
ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΡΑΠΤΗΣ

ΠΑΤΡΑ ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2012

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία πραγματεύεται την κατασκευή εκπαιδευτικής διάταξης, η οποία θα παρέχει τη δυνατότητα παραλληλισμού σύγχρονων τριφασικών γεννητριών. Η διάρθρωση της εργασίας που ακολουθήθηκε είναι η εξής:

Στο **κεφάλαιο 1** παρατίθενται οι αρχές λειτουργίας που διέπουν κάθε σύγχρονη τριφασική γεννήτρια, ενώ στη συνέχεια γίνεται ανάλυση της κατασκευαστικής τους δομής. Στο **κεφάλαιο 2**, υπάρχει εκτενής ανάλυση της αυτόνομης λειτουργίας μιας σύγχρονης τριφασικής γεννήτριας, ενώ πληθώρα σχημάτων επιτρέπουν στον αναγνώστη την κατανόηση σε βάθος της αυτόνομης λειτουργίας σύγχρονων γεννητριών. Στο **κεφάλαιο 3**, υπάρχει εκτενή αναφορά στη διαδικασία παραλληλισμού δύο σύγχρονων τριφασικών γεννητριών, η οποία όπως ήδη έχει αναφερθεί είναι και ο βασικός σκοπός της παρούσας εργασίας. Τέλος, στο **κεφάλαιο 4**, υπάρχει αναλυτική περιγραφή της διαδικασίας που ακολουθήθηκε, ώστε να κατασκευαστεί η διάταξη, ενώ υπάρχει λεπτομερής καταγραφή των οργάνων και των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν. Είναι κατανοητό λοιπόν πως αυτό το κεφάλαιο είναι και το σημαντικότερο της παρούσας πτυχιακής εργασίας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της πτυχιακής εργασίας είναι η κατασκευή μίας ολοκληρωμένης διάταξης μέσω της οποίας θα επιτυγχάνεται ο παραλληλισμός δυο σύγχρονων γεννητριών E.P. ή μιας σύγχρονης γεννήτριας E.P. με το δίκτυο της ΔΕΗ.

Οι δυνατότητες της διάταξης είναι οι εξής:

- Ο παραλληλισμός 2 σύγχρονων γεννητριών E.P και η από κοινού τροφοδοσία ενός τριφασικού φορτίου
- Ο παραλληλισμός μιας σύγχρονης γεννήτριας E.P. με το δίκτυο της ΔΕΗ.

Η διάταξη που κατασκευάστηκε περιλαμβάνει:

- α) Δύο (2) Αναλυτές ηλεκτρικής ενέργειας Multimet-01-96 της KAEL Electronics διαστάσεων 96*96 mm για την παρακολούθηση και μέτρηση ηλεκτρικών παραμέτρων σε τριφασικά συστήματα όπως Φασικές Τάσεις V_{L-N} (V), Πολικές Τάσεις V_{L-L} (V), Ρεύματα Γραμμών I_L (A) Συντελεστή Ισχύος $\cos\phi$, Συχνότητα f (Hz), Ενεργό $P(W)$ /Φαινόμενη $S(VA)$ /Αεργο $Q(VAR)$ Ισχύ. Για τη λειτουργία των οργάνων απαιτείται τροφοδοσία 220 VAC,
- β) 4 τριφασικοί διακόπτες
 - Δ1: Σύνδεση/Αποσύνδεση 1^{ης} Γεννήτριας.
 - Δ2: Σύνδεση/Αποσύνδεση 2^{ης} Γεννήτριας.
 - Δ3: Διακόπτης Παραλληλισμού.
 - Δ4: Σύνδεση/Αποσύνδεση Φορτίου.
- γ) 3 λαμπτήρες 380 V για τον έλεγχο της διαδικασίας συγχρονισμού.
- δ) Ένα αναλογικό Αμπερόμετρο για τη μέτρηση του ρεύματος φορτίου
- ε) Υποδοχή για την σύνδεση συγχρονοσκοπίου
- στ) Αυτόματες ασφάλειες για την προστασία των οργάνων και των γεννητριών που θα συνδεθούν στην διάταξη.

Μετά την κατασκευή, η διάταξη δοκιμάστηκε για τη σωστή λειτουργία της και πραγματοποιήθηκαν οι κατάλληλες μετρήσεις στο εργαστήριο Ηλεκτρικών Μηχανών χρησιμοποιώντας όλες τις σύγχρονες γεννήτριες του εργαστηρίου, προκειμένου να πιστοποιηθεί η ακρίβεια των οργάνων που χρησιμοποιεί.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο : Σύγχρονες Γεννήτριες

1_1: Εισαγωγή.....	6
1_2: Αρχή λειτουργίας Σύγχρονων Γεννητριών.....	6
1_2_1: Νόμος Faraday.....	6
1_2_2: Κατανομή Μαγνητεγερτικής Δύναμης και Μαγνητικής ροής.....	8
1_2_3: Επαγόμενη Τάση.....	9
1_2_4: Τάση εξ επαγωγής στα Άκρα Τριφασικού συστήματος Αγωγμών Πλαισίων.....	9
1_2_5: Ενεργός Τιμή της Τάσης στα Άκρα ενός Στάτη με Τριφασικό Τύλιγμα.....	10
1_2_6: Ταχύτητα Περιστροφής Σύγχρονων Γεννητριών.....	11
1_2_7: Ισοδύναμο κύκλωμα Σύγχρονης Γεννήτριας.....	12
1_2_8: Ισχύς και Απώλειες στις Σύγχρονες Γεννήτριες.....	13
1_3: Κατασκευαστική Δομή Σύγχρονων Γεννητριών.....	
1_3_1: Γενικά.....	15
1_3_2: Γεννήτριες με εξωτερικούς πόλους.....	15
1_3_3: Γεννήτριες με εσωτερικούς πόλους.....	17
1_3_4: Στροβιλογεννήτριες.....	20

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο : Αυτόνομη λειτουργία σύγχρονης γεννήτριας

2_1: Επίδραση της Μεταβολής του Φορτίου μιας Σύγχρονης Γεννήτριας κατά την Αυτόνομη Λειτουργία της.....	22
2_2: Χαρακτηριστικές Λειτουργίας Σύγχρονης Γεννήτριας.....	23

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο : Παραλληλισμός Γεννητριών Εναλλασσόμενου Ρεύματος

3_1: Γενικά.....	25
3_2: Προϋποθέσεις για τον Παραλληλισμό Σύγχρονων Γεννητριών.....	25
3_3: Διαδικασία Παραλληλισμού Σύγχρονων Γεννητριών.....	26
3_4: Παραλληλισμός Γεννήτριας με Γεννήτρια Ίδιου Μεγέθους.....	28
3_5: Σύνδεση Γεννήτριας στο δίκτυο.....	32

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο : Κατασκευή Διάταξης Παραλληλισμού Σύγχρονων Γεννητριών Ε.Ρ.

4_1: Σκοπός.....	36
4_2: Όργανα και Υλικά.....	36
4_2_1: Περιγραφή Υλικών και Οργάνων.....	36
4_2_2: Κυκλωματικό διάγραμμα.....	41
4_3: Φάσεις κατασκευής διάταξης παραλληλισμού.....	41
4_4: Φωτογραφίες κατασκευής.....	43
4_5: Λειτουργία κατασκευής.....	46
4_5_1: Τροφοδοσία γεννήτριας-σύνδεση συγχρονοσκόπιου.....	46
4_5_2: Παραλληλισμός σύγχρονης γεννήτριας με το δίκτυο.....	46
4_5_3: Τροφοδότηση φορτίου από γεννήτρια.....	50
4_5_3_1: Τροφοδότηση φορτίου από γεννήτρια παραλληλισμένη με το δίκτυο.....	50
4_5_3_2: Τροφοδότηση φορτίου από αυτόνομη γεννήτρια.....	51
4_5_4: Παραλληλισμός δύο όμοιων γεννητριών.....	52
Βιβλιογραφία.....	54
Ευχαριστίες.....	54

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το θέμα της πτυχιακής είναι η κατασκευή μίας διάταξης μέσω της οποίας θα επιτυγχάνεται ο παραλληλισμός 2 όμοιων εκπαιδευτικών τριφασικών γεννητριών Edutec 2.2 kW , Lucas Nulle 1 KW και De Lorenzo 1 kW.

Οι δυνατότητες της διάταξης είναι οι εξής:

- Ο παραλληλισμός 2 τριφασικών γεννητριών και η από κοινού τροφοδοσία τριφασικού φορτίου .
- Ο παραλληλισμός τριφασικής γεννήτριας με το δίκτυο.

Η διάταξη περιλαμβάνει

- α) 2 Αναλυτές ενέργειας Multimet-01-96 της KANEL Electronics διαστάσεων 96*96 mm για την παρακολούθηση και μέτρηση ηλεκτρικών παραμέτρων σε τριφασικά συστήματα όπως Φασικές Τάσεις V_{L-N} (V), Πολικές Τάσεις V_{L-L} (V), Ρεύματα Γραμμών I_L (A) Συντελεστή Ισχύος $\cos\phi$, Συχνότητα f (Hz), Ενεργό $P(W)$ /Φαινόμενη $S(VA)$ /Άεργο $Q(VAR)$ Ισχύ. Για τη λειτουργία των οργάνων απαιτείται τροφοδοσία 220 VAC.
- β) 5 τριφασικοί διακόπτες
 - Δ1: Σύνδεση/Αποσύνδεση 1^{ης} Γεννήτριας.
 - Δ2: Σύνδεση/Αποσύνδεση 2^{ης} Γεννήτριας.
 - Δ3: Διακόπτης Παραλληλισμού.
 - Δ4: Σύνδεση/Αποσύνδεση Φορτίου.
 - Δ5: Διακόπτης Τροφοδοσίας των 2 κινητήρων.
 -
- γ) 3 λαμπτήρες 380 V για τον έλεγχο του Συγχρονισμού κάθε φάσης.
- δ) Ένα αναλογικό Αμπερόμετρο για τη μέτρηση του ρεύματος φορτίου.
- ε) Αυτόματες ασφάλειες για την προστασία των οργάνων και των γεννητριών που θα συνδεθούν στη διάταξη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ (ΕΝΑΛΛΑΚΤΗΡΕΣ)

1.1 Εισαγωγή

Οι σύγχρονες μηχανές χρησιμοποιούνται κυρίως ως γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος γι' αυτό ονομάζονται και **εναλλακτήρες**.

Οι Σύγχρονες Γεννήτριες (synchronous generators) ή αλλιώς Εναλλακτήρες ονομάζονται οι ηλεκτρικές μηχανές που μετατρέπουν τη μηχανική ενέργεια στην είσοδο τους σε εναλλασσόμενη ηλεκτρική ενέργεια συγκεκριμένης τάσης και συχνότητας μέσω του φαινομένου της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής. Επειδή η συχνότητα της τάσης στην έξοδο της γεννήτριας προσδιορίζεται από την ταχύτητα περιστροφής του δρομέα, η οποία είναι ίδια με τη συχνότητα του στάτη, η μηχανή ονομάστηκε 'Σύγχρονη'. Στις Σύγχρονες Γεννήτριες Εναλλασσόμενου Ρεύματος βασίζεται η παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας σε ολόκληρο τον κόσμο. Χρησιμοποιούνται σε σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, σε εφεδρικά ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη για εργοστάσια, νοσοκομεία κτλ.

1.2 Αρχή Λειτουργίας Σύγχρονης Γεννήτριας ΕΡ

1.2.1 Νόμος Faraday

Η Αρχή λειτουργίας των σύγχρονων γεννητριών βασίζεται στο Νόμο του Faraday ο οποίος, παρουσιάζεται με δύο διαφορετικές μορφές.

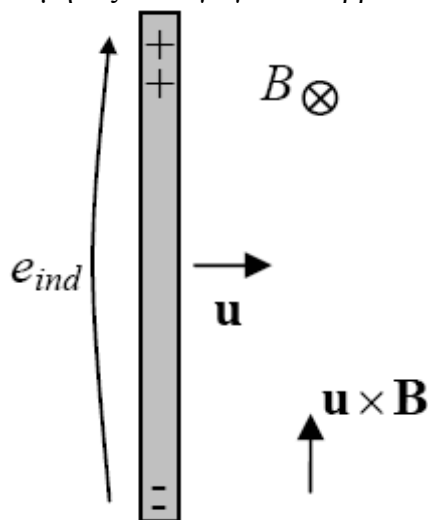
1. Έστω ότι ένας αγωγός μήκους l , ο οποίος κινείται μέσα σε ένα μαγνητικό πεδίο \mathbf{B} με ταχύτητα \mathbf{u} , τότε στα άκρα του θα επάγεται τάση ίση με

$$e_{ind} = (\mathbf{u} \times \mathbf{B}) \cdot \mathbf{l}$$

Όπου, \mathbf{B} = μαγνητική επαγωγή του πεδίου

\mathbf{u} = ταχύτητα αγωγού

l = διάνυσμα με μέτρο το μήκος του αγωγού που βρίσκεται μέσα στο μαγνητικό πεδίο



Σχήμα 1-1 Κινούμενος αγωγός μέσα σε μαγνητικό πεδίο

2. Αν μέσα σε μία σπείρα ενός πηνίου αποτελούμενο από N σπείρες διέρχεται μαγνητική ροή (μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο), τότε στα άκρα της επάγεται μία τάση e_{ind} ανάλογη του ρυθμού μεταβολής της μαγνητικής ροής ως προς το χρόνο. $f_e = \frac{n_m P}{120}$

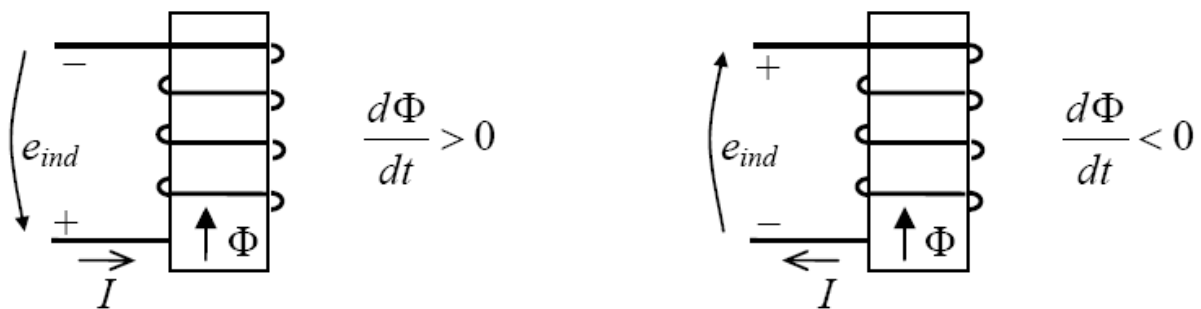
$$e_{ind} = -N \frac{d\phi}{dt}$$

Όπου, e_{ind} = επαγόμενη τάση στα άκρα του πηνίου

N = αριθμός σπειρών του πηνίου

Φ = μαγνητική ροή διερχόμενη από το πηνίο

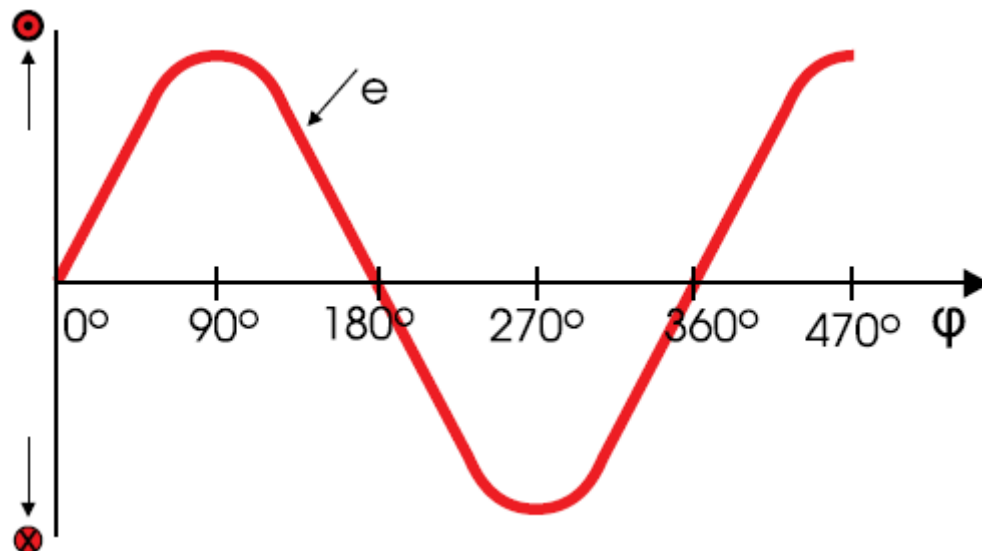
Το αρνητικό πρόσημο οφείλεται στο νόμο του Lenz σύμφωνα με τον οποίο η πολικότητα της τάσης που αναπτύσσεται είναι τέτοια ώστε αν βραχυκυκλωθούν τα άκρα του πηνίου, το παραγόμενο ρεύμα δημιουργεί μία αντίθετη μαγνητική ροή.



Σχήμα 1-2 Προσδιορισμός της πολικότητας της τάσης

Στις σύγχρονες γεννήτριες πετυχαίνουμε μεταβολή της μαγνητικής ροής με την βοήθεια του στρεφόμενου μαγνητικού πεδίου, το οποίο θα αναλυθεί στη συνέχεια.

Το ίδιο αποτέλεσμα, δηλαδή παραγωγή επαγόμενης τάσης e_{ind} θα έχουμε αν αντί για τον αγωγό περιστρέφεται το μαγνητικό πεδίο.



Σχήμα 1-3 Παραγωγή ημιτονοειδούς τάσης (εξ επαγωγής) κατά την περιστροφή του μαγνητικού πεδίου

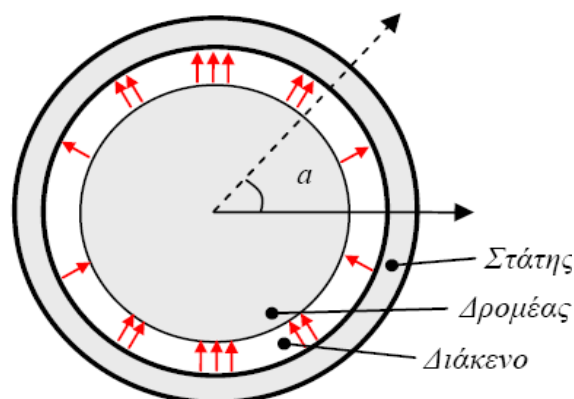
1.2.2 Κατανομή Μαγνητεγερτικής Δύναμης και Μαγνητικής ροής

Εξετάζοντας μία γεννήτρια εναλλασσόμενου ρεύματος με κυλινδρικό δρομέα, το διάνυσμα B της μαγνητικής επαγωγής μπορεί να θεωρηθεί παντού κάθετο στην επιφάνεια του δρομέα. Η παραγωγή ημιτονοειδούς τάσης απαιτεί την ημιτονοειδή μεταβολή της μαγνητικής επαγωγής κατά μήκος της περιφέρειας του διάκενου. Συνεπώς με τον ίδιο τρόπο θα πρέπει να μεταβάλλεται η ένταση του μαγνητικού πεδίου ή και κατ' επέκταση, η μαγνητεγερτική δύναμη F . Αυτό μπορεί να επιτευχθεί κατανέμοντας ανάλογα τους αγωγούς του τυλίγματος μέσα στα αυλάκια του στάτη. Αν N_c είναι το πλήθος των αγωγών σε κάθε αυλάκι του οποίου η θέση προσδιορίζεται από τη γωνία α τότε θα είναι

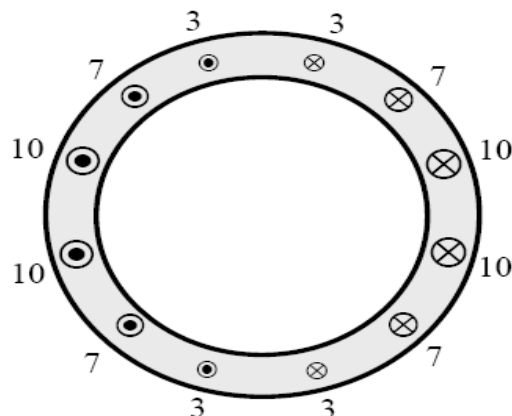
$$n_c = N_c \cos \alpha$$

Όπου N_c ο αριθμός των αγωγών που τοποθετούνται στο αυλάκι που αντιστοιχεί σε γωνία 0° .

Αυτή η ημιτονοειδής κατανομή των αγωγών, η οποία απαιτεί την πυκνή χάραξη των αυλακιών, μπορεί να εφαρμοστεί μόνο κατά προσέγγιση αφού το πλήθος των αγωγών σε κάθε αυλάκι είναι πάντα ακέραιος αριθμός. Έτσι επειδή η κατανομή της μαγνητεγερτικής δύναμης στο διάκενο είναι κατά προσέγγιση ημιτονοειδής, η εμφάνιση ανώτερων αρμονικών είναι αναπόφευκτη.



Σχήμα 1-4 Ημιτονοειδής κατανομή του πεδίου σε σύγχρονη γεννήτρια εναλλασσόμενου ρεύματος κυλινδρικού δρομέα.



Σχήμα 1-5 Κατανομή αγωγών με $N_c=10$ σε σύγχρονη γεννήτρια εναλλασσόμενου ρεύματος κυλινδρικού δρομέα.

1.2.3 Επαγόμενη Τάση

Θεωρώντας πως ο δρομέας μιας γεννήτριας εναλλασσόμενου ρεύματος περιστρέφεται με γωνιακή ταχύτητα ω , δημιουργείται στο εσωτερικό της γεννήτριας ένα ημιτονοειδώς κατανομημένο μαγνητικό πεδίο στο διάκενο με μέτρο $B = B_M \cos(\omega t - \alpha)$ και διεύθυνση ακτινική. Χρησιμοποιώντας τη σχέση $e = (u \times B) \cdot l$ και υπολογίζοντας την τάση σε κάθε πλευρά του πηνίου αθροίζοντας τις επιμέρους τιμές των τάσεων, προκύπτει ότι η τάση που επάγεται σε πηνίο αποτελούμενο από N_c αγωγούς είναι

$$e_{ind} = N_c \phi \omega \cos \omega t$$

Όπου, N_c : συστάδα αγωγών

Φαίνεται λοιπόν, πως η επαγόμενη τάση στα άκρα του τυλίγματος μιας γεννήτριας εναλλασσόμενου ρεύματος είναι ημιτονοειδής με πλάτος που εξαρτάται από τη μαγνητική ροή ϕ στο εσωτερικό της μηχανής, από τη γωνιακή ταχύτητα ω του δρομέα (ταχύτητα στρεφόμενου μαγνητικού πεδίου) και από μια σταθερά N_c που εκφράζει τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά της μηχανής.

1.2.4 Τάση Εξ Επαγωγής στα Άκρα Τριφασικού συστήματος Αγωγίμων Πλαισίων

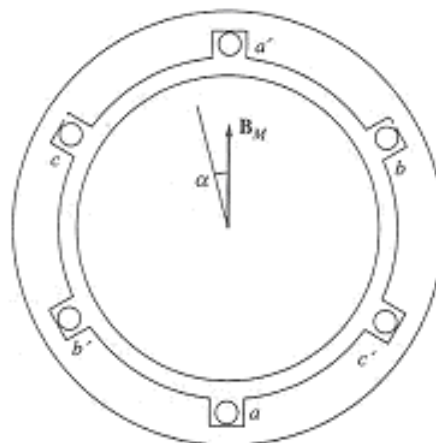
Αντίστοιχα αν το τύλιγμα είναι τριφασικό, δηλ υφίσταται διαφορά 120° μεταξύ των φάσεων, τότε οι αντίστοιχα επαγόμενες τάσεις είναι

$$e_{aa'} = N_c \phi \omega \sin(\omega t)$$

$$e_{bb'} = N_c \phi \omega \sin(\omega t - 120^\circ)$$

$$e_{cc'} = N_c \phi \omega \sin(\omega t - 240^\circ)$$

Το συμπέρασμα που εξάγεται από τα παραπάνω είναι ότι ένα ομοιόμορφο και στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο μπορεί να παράγει τριφασικό σύστημα τάσεων σε ένα τέτοιο στάτη.



Σχήμα 1-6 Παραγωγή τριφασικής τάσης στα άκρα ενός στάτη με συστάδες που απέχουν 120° μεταξύ τους.

1.2.5 Ενεργός Τιμή της Τάσης στα Άκρα ενός Στάτη με Τριφασικό Τύλιγμα

Το πλάτος της τάσης καθεμιάς από τις τρεις φάσεις ενός στάτη δίνεται από τη σχέση:

$$E_{\max} = N_c \phi \omega$$

Επειδή, $\omega = 2\pi f$ η εξίσωση γράφεται:

$$E_{\max} = 2\pi N_c \phi f$$

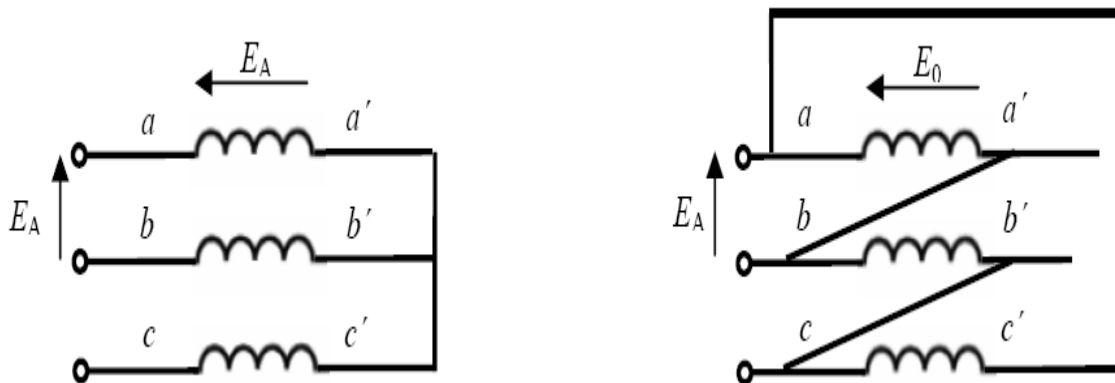
Έτσι η ενεργός τιμή της κάθε φασικής τάσης ενός τριφασικού στάτη είναι:

$$E_A = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} N_c \phi f$$

ή

$$E_A = \sqrt{2\pi} N_c \phi f$$

Η ενεργός τιμή της τάσης στα άκρα της γεννήτριας εξαρτάται από τον τρόπο σύνδεσης των τυλιγμάτων του στάτη. Αν τα τυλίγματα είναι συνδεδεμένα σε αστέρα, η πολική τάση στα άκρα της γεννήτριας είναι $\sqrt{3}E_A$. Όμως, αν είναι συνδεδεμένα σε τρίγωνο, η πολική τάση θα είναι ίση με E_A .



Σχήμα 1-7 Σύνδεση τυλιγμάτων σε Αστέρα

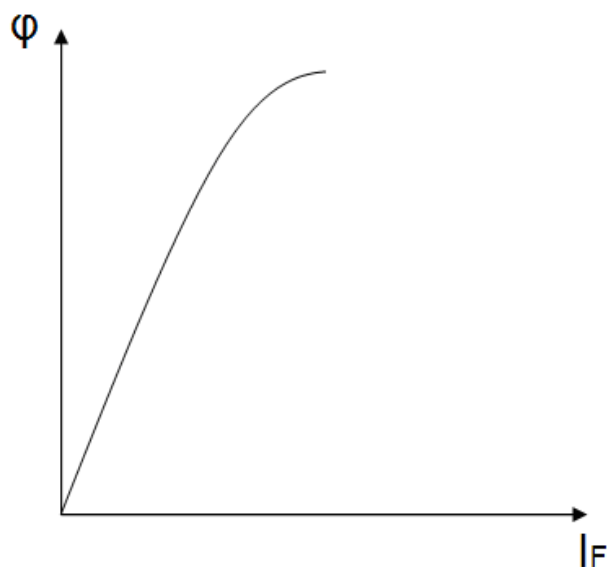
Σύνδεση τυλιγμάτων σε Τρίγωνο

Παρατηρώντας τον τελευταίο τύπο είναι σαφές ότι η ενεργός τιμή στα άκρα της γεννήτριας μπορεί να δοθεί από μία πιο απλή μορφή η οποία είναι:

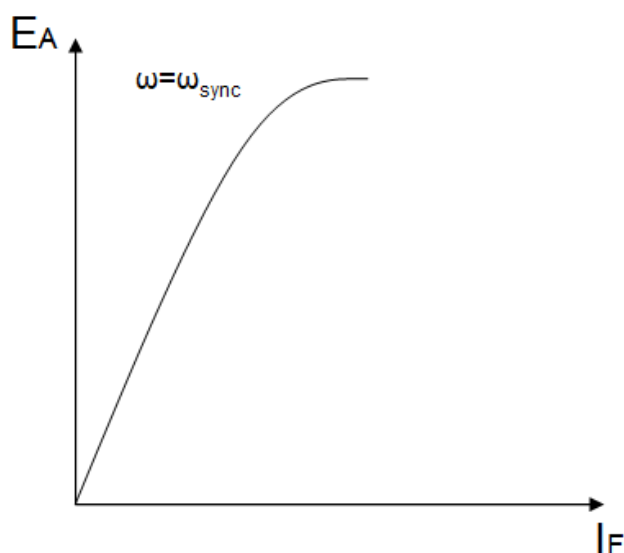
$$K = \frac{N_c}{\sqrt{2}} E_A = K \phi \omega$$

Όπου, $K = \frac{N_c}{\sqrt{2}}$ είναι μια σταθερά που εξαρτάται από τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά της γεννήτριας.

Παρατηρούμε ότι η τάση E_A εξαρτάται από τη μαγνητική ροή η οποία με τη σειρά της εξαρτάται από το ρεύμα διέγερσης του δρομέα I_F σύμφωνα με την παρακάτω καμπύλη. Τελικά αφού όπως είδαμε η E_A είναι ανάλογη της μαγνητικής ροής ϕ η σχέση της με το ρεύμα διέγερσης I_F δίνεται από την καμπύλη του παρακάτω σχήματος 1-9 η οποία λέγεται καμπύλη μαγνήτισης.



Σχήμα 1-8 Γραφική παράσταση μαγνητικής ροής στο εσωτερικό μιας σύγχρονης γεννήτριας ως προς το ρεύμα διέγερσης



Σχήμα 1-9 Καμπύλη μαγνήτισης σύγχρονης γεννήτριας

1.2.6 Ταχύτητα Περιστροφής Σύγχρονων Γεννητριών

Στις σύγχρονες γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος η συχνότητα των παραγόμενων τάσεων εξαρτώνται από την ταχύτητα περιστροφής του δρομέα. Η ηλεκτρική συχνότητα του στάτη συνδέεται με την ταχύτητα περιστροφής του μαγνητικού πεδίου από την παρακάτω σχέση

$$f_e = \frac{n_m P}{120}$$

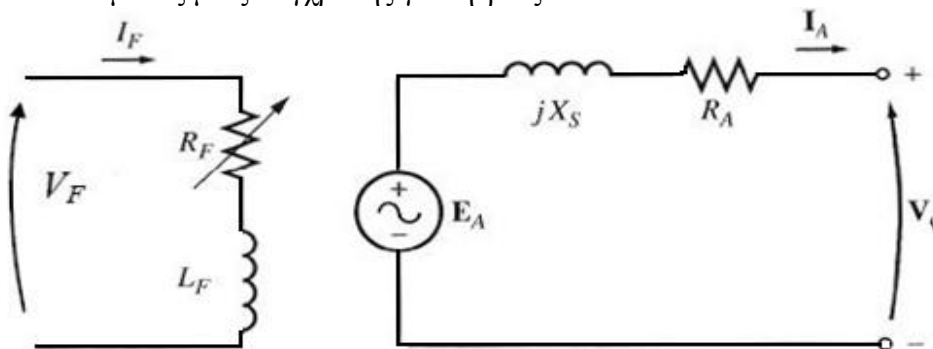
Όπου, f_e = ηλεκτρική συχνότητα σε Hz, n_m = ταχύτητα περιστροφής μαγνητικού πεδίου σε rpm(ταχύτητα περιστροφής δρομέα), P= αριθμός των πόλων

1.2.7 Ισοδύναμο κύκλωμα Σύγχρονης Γεννήτριας

Κατά την περιστροφή του δρομέα έχουμε την παραγωγή επαγόμενης τάσης E_A σε κάθε φάση του στάτη που οφείλεται στο μαγνητικό πεδίο του δρομέα B_R . Στην περίπτωση που η γεννήτρια είναι εν κενώ, δηλαδή δεν έχει συνδεδεμένο φορτίο στα άκρα της και κατά συνέπεια δεν έχουμε ροή ρεύματος στους αγωγούς του στάτη, η επαγόμενη τάση E_A θα είναι ίση με την τάση στους ακροδέκτες της γεννήτριας V_ϕ . Στην περίπτωση που συνδεθεί κάποιο φορτίο στους ακροδέκτες της γεννήτριας, τότε θα έχουμε ροή ρεύματος στους αγωγούς του στάτη το οποίο δημιουργεί ένα νέο μαγνητικό πεδίο B_S που επηρεάζει το αρχικό μαγνητικό πεδίο B_R μεταβάλλοντας την τάση στα άκρα της γεννήτριας V_ϕ , έχοντας ως αποτέλεσμα την επαγωγή επιπρόσθετης τάσης E_{stat} σε κάθε φάση του στάτη (αντίδραση οπλισμού). Η τάση στα άκρα του τυλίγματος κάθε φάσης του στάτη είναι

$$V_\phi = E_A + E_{stat}$$

Για να γίνουν κατανοητά τα παραπάνω θα βοηθούσε η παράθεση του μονοφασικού ισοδύναμου κυκλώματος μιας σύγχρονης γεννήτριας.



Σχήμα 1-10 Μονοφασικό ισοδύναμο κύκλωμα Σύγχρονης Γεννήτριας

Παρατηρούμε λοιπόν πως στο μονοφασικό ισοδύναμο κύκλωμα μιας σύγχρονης γεννήτριας η σύγχρονη επαγωγική αντίδραση συμβολίζεται με X_S και ισούται με

$$X_S = X + X_A$$

Το τυλίγμα διέγερσης παριστάνεται από την πηγή που τροφοδοτεί το δρομέα, μία αυτεπαγωγή L_F σε σειρά με μία αντίσταση R_F η οποία είναι συνδυασμός της εσωτερικής αντίστασης διέγερσης και της εξωτερικής ρυθμιστικής αντίστασης διέγερσης R_{adj} για τον έλεγχο του ρεύματος διέγερσης I_F .

Το τυλίγμα του στάτη παριστάνεται από την εμφάνιση της επαγόμενης τάσης E_A , από τη σύγχρονη αντίδραση X_S σε σειρά με την ωμική αντίσταση του τυλίγματος κάθε φάσης του στάτη. Από το μονοφασικό ισοδύναμο κύκλωμα προκύπτει ότι

$$V_\phi = E_A - jX_S I_A - R_A I_A$$

Σε περίπτωση που τα τυλίγματα του στάτη είναι συνδεδεμένα σε αστέρα οι πολικές τάσεις είναι

$$V_T = \sqrt{3}V_\phi$$

Και σε περίπτωση που τα τυλίγματα του στάτη είναι συνδεδεμένα σε τρίγωνο οι πολικές τάσεις είναι

$$V_T = V_\phi$$

1.2.8 Ισχύς και Απώλειες στις Γεννήτριες Εναλλασσόμενου Ρεύματος

Οι γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος καταναλώνουν μηχανική ισχύ και παράγουν ηλεκτρική. Η γεννήτρια δεν μετατρέπει όλη τη λαμβανόμενη ισχύ σε ωφέλιμη μορφή στο άλλο άκρο, καθώς έχουμε απώλειες κατά τη διαδικασία αυτή. Η απόδοση μιας σύγχρονης γεννήτριας εναλλασσόμενου ρεύματος ορίζεται από την εξίσωση

$$n = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

Η διαφορά μεταξύ της ισχύος εισόδου και της ισχύος εξόδου μιας σύγχρονης γεννήτριας είναι η απώλειες που εμφανίζονται στο εσωτερικό της. Επομένως

$$n = \frac{P_{in} - P_{loss}}{P_{in}} \times 100\%$$

Οι απώλειες που εμφανίζονται στις γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος χωρίζονται σε 4 κατηγορίες:

1. Ηλεκτρικές απώλειες ή απώλειες χαλκού(απώλειες I^2R)
2. Απώλειες Πυρήνα
3. Μηχανικές απώλειες
4. Κατανεμημένες απώλειες

Ηλεκτρικές απώλειες ή απώλειες Χαλκού

Οι απώλειες χαλκού είναι οι ωμικές απώλειες που εμφανίζονται στα τυλίγματα του στάτη (οπλισμός) και του δρομέα (πεδίο). Οι απώλειες χαλκού του στάτη(stator copper losses, SCL) σε μία τριφασική γεννήτρια εναλλασσόμενου ρεύματος δίνονται από την εξίσωση

$$P_{SCL} = 3I_A^2 R_A$$

Όπου, I_A είναι το ρεύμα που ρέει σε κάθε φάση του οπλισμού και R_A είναι η αντίσταση κάθε φάσης του οπλισμού. Οι απώλειες χαλκού του δρομέα(rotor copper losses, RCL) δίνονται από τη σχέση

$$P_{SCL} = 3I_A^2 R_A$$

Όπου, I_F είναι το ρεύμα που ρέει σε κάθε τύλιγμα του πεδίου και R_F είναι η αντίσταση κάθε τυλίγματος του πεδίου.

Απώλειες Πυρήνα

Οι απώλειες πυρήνα είναι οι απώλειες που εμφανίζονται στα μεταλλικά μέρη της γεννήτριας.

Μηχανικές Απώλειες

Οι μηχανικές απώλειες σε μία γεννήτρια εναλλασσόμενου ρεύματος οφείλονται στην τριβή και στον εξαερισμό. Οι απώλειες τριβής είναι απώλειες που προκαλούνται από την τριβή των τριβέων, ενώ οι απώλειες εξαερισμού είναι οι απώλειες που προκαλούνται από την τριβή μεταξύ των κινούμενων μερών της μηχανής και του αέρα.

Κατανεμημένες Απώλειες

Οι κατανεμημένες απώλειες είναι οι απώλειες που δεν μπορούμε να τις κατατάξουμε σε καμία από τις παραπάνω κατηγορίες. Στις περισσότερες μηχανές οι κατανεμημένες απώλειες θεωρούνται συμβατικά σαν το 1% του πλήρους φορτίου

Διάγραμμα Ροής Ισχύος

Το διάγραμμα ροής ισχύος για μία γεννήτρια εναλλασσόμενου ρεύματος παρουσιάζεται στο σχ. 1-11. Στο σχήμα η μηχανική ισχύς εισέρχεται στη γεννήτρια και κατόπιν αφαιρούνται οι κατανεμημένες απώλειες, οι απώλειες πυρήνα καθώς και οι μηχανικές απώλειες. Μετά την αφαίρεση η ισχύς που απομένει μετατρέπεται ιδανικά από μηχανική σε ηλεκτρική (P_{conv}). Η μηχανική ισχύς που μετατρέπεται σε ηλεκτρική δίνεται από τη σχέση

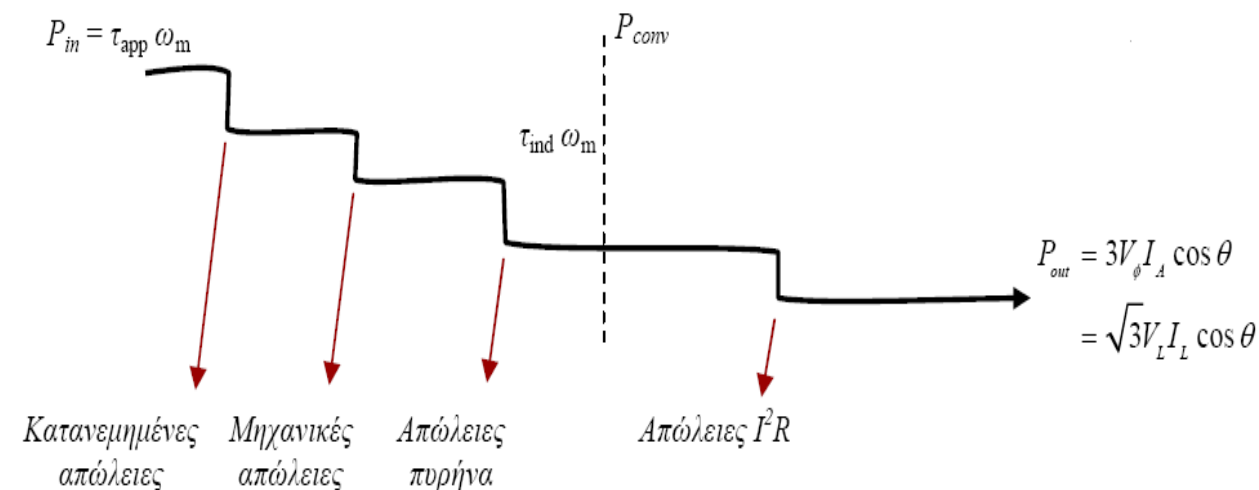
$$P_{conv} = \tau_{ind} \omega_m = 3E_A I_A \cos \gamma$$

Όπου γ η διαφορά φάσης μεταξύ E_A και I_A . Ωστόσο δεν πρόκειται για την ισχύ που εμφανίζεται στην έξοδο της γεννήτριας καθώς θα πρέπει να αφαιρεθούν και οι ηλεκτρικές απώλειες $I^2 R$. Η ενεργός ισχύς στην έξοδο της γεννήτριας είναι

$$P_{out} = 3V_\phi I_A \cos \theta = \sqrt{3} V_L I_L \cos \theta$$

Αντίστοιχα η άεργος ισχύς στην έξοδο της γεννήτριας είναι

$$Q_{out} = 3V_\phi I_A \sin \theta = \sqrt{3} V_L I_L \sin \theta$$



Σχήμα 1-11 Διάγραμμα ροής ισχύος τριφασικής γεννήτριας εναλλασσόμενου ρεύματος.

1.3 Κατασκευαστική Δομή Σύγχρονων Γεννητριών

1.3.1 Γενικά

Η σύγχρονη γεννήτρια αποτελείται από δύο μέρη: το ακίνητο μέρος που λέγεται στάτης (stator), στον οποίο υπάρχει το τριφασικό τύλιγμα και παράγεται η τάση και το κινητό μέρος που λέγεται δρομέας (ρότορας - rotor) στον οποίο υπάρχει το τύλιγμα της διέγερσης. Ο δρομέας της γεννήτριας μπορεί να είναι είτε κυλινδρικός είτε έκτυπων πόλων.

Για να λειτουργήσει μία σύγχρονη γεννήτρια πρέπει το τύλιγμα του δρομέα να τροφοδοτηθεί με συνεχές ρεύμα (DC – direct current). Το ρεύμα αυτό δημιουργεί ένα μαγνητικό πεδίο στο εσωτερικό της γεννήτριας και καθώς ο δρομέας περιστρέφεται από κάποια εξωτερική κινητήρια μηχανή, το πεδίο αυτό περιστρέφεται μαζί του. Ως αποτέλεσμα έχουμε το στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο να παράγει τριφασική τάση στα τυλίγματα του στάτη, που εμφανίζεται στην έξοδο της μηχανής.

Οι γεννήτριες διακρίνονται σε:

A) Γεννήτριες με εξωτερικούς πόλους οι οποίες χρησιμοποιούνται για μικρές ισχύεις και χαμηλές τάσεις, όπως σε μικρά ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη.

B) Γεννήτριες με εσωτερικούς ή περιστρεφόμενους πόλους οι οποίες χρησιμοποιούνται για μεγαλύτερες ισχύεις, αλλά για μικρές ταχύτητες περιστροφής, όπως οι γεννήτριες των υδροηλεκτρικών σταθμών.

Γ) Στροβιλογεννήτριες οι οποίες χρησιμοποιούνται για πολύ μεγάλες ισχύεις (300000kW) και μεγάλες ταχύτητες περιστροφής (3000 rpm). Γεννήτριες σαν κι αυτές χρησιμοποιούνται σε όλους τους μεγάλους θερμικούς σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

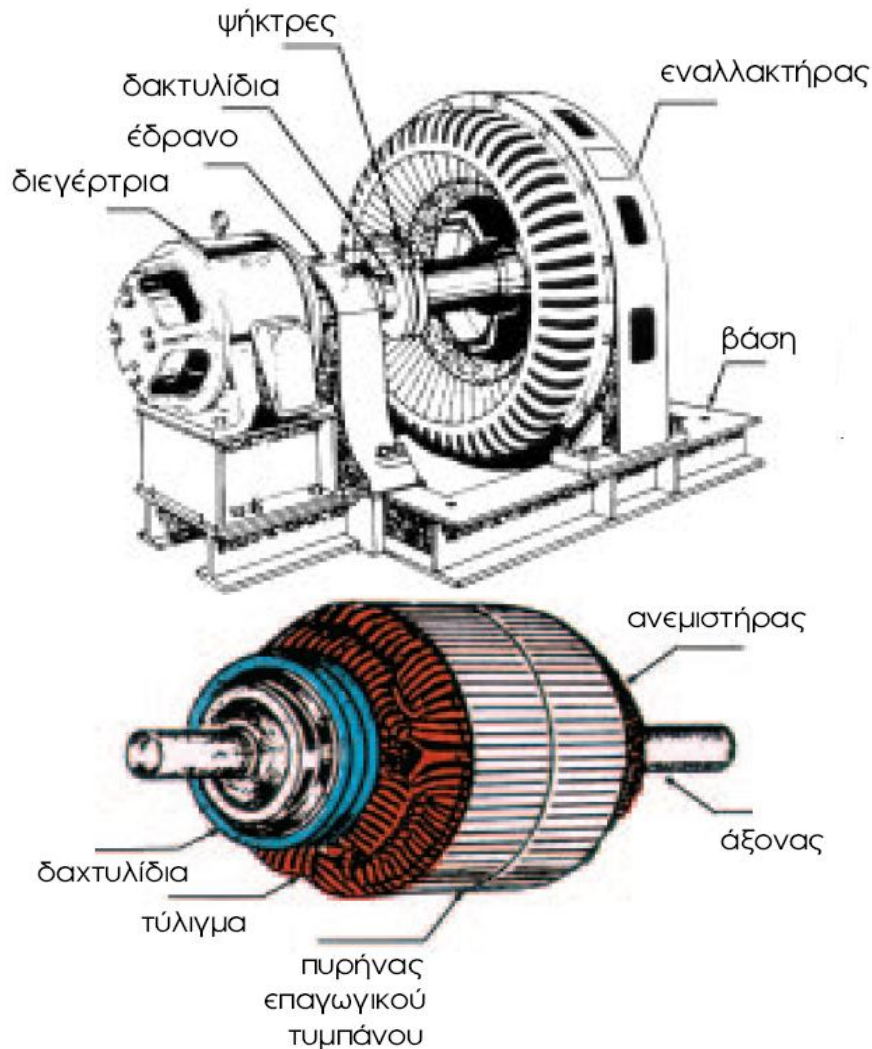
1.3.2 Γεννήτριες με εξωτερικούς πόλους

Στις γεννήτριες με εξωτερικούς πόλους η διέγερση, δηλ η δημιουργία του μαγνητικού πεδίου γίνεται από τους μαγνητικούς πόλους οι οποίοι είναι στερεωμένοι στο εσωτερικό του ζυγώματος του στάτη. Τα τυλίγματα των μαγνητικών πόλων τροφοδοτούνται με συνεχές ρεύμα από μία γεννήτρια συνεχούς ρεύματος, η οποία συνήθως είναι συνδεδεμένη απευθείας στον άξονα της γεννήτριας από τον οποίο παίρνει κίνηση όπως φαίνεται από το σχήμα 1-12. Η γεννήτρια αυτή ονομάζεται **διεγέρτρια**.

Ο δρομέας των γεννητριών με εξωτερικούς πόλους φέρει το επαγωγικό τύμπανο. Στα αυλάκια που σχηματίζουν οι οδοντώσεις του πυρήνα του επαγωγικού τυμπάνου είναι τοποθετημένο το τύλιγμα διέγερσης. Στις γεννήτριες με εξωτερικούς πόλους συλλέκτης δεν υπάρχει. Αντί για συλλέκτη έχουμε δακτυλίδια κατασκευασμένα από ορείχαλκο τα οποία είναι στερεωμένα στον άξονα του δρομέα όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα και είναι μονωμένα μεταξύ τους και προς τον άξονα. Ο αριθμός των δακτυλιδιών είναι 2, 3 ανάλογα με τον αριθμό των φάσεων της γεννήτριας. Τα δακτυλίδια συνδέονται με τα άκρα του τυλίγματος του επαγωγικού τυμπάνου. Το εναλλασσόμενο ρεύμα, το οποίο παράγεται από την ηλεκτρεγερτική δύναμη που αναπτύσσεται μέσα στο τύλιγμα, οδηγείται από τα δακτυλίδια στις ψήκτρες που εφάπτονται σε αυτά και από τις ψήκτρες στους ακροδέκτες της γεννήτριας. Στους ακροδέκτες αυτούς συνδέουμε το φορτίο που θέλουμε να τροφοδοτήσουμε με εναλλασσόμενο ρεύμα.

Οι γεννήτριες με εξωτερικούς πόλους έχουν τα εξής μειονεκτήματα: 1) όλο το ρεύμα του φορτίου διέρχεται από τα δακτυλίδια και τις ψήκτρες, 2) ο χώρος που διατίθεται για τις

οδοντώσεις στο τύμπανο είναι περιορισμένος και 3) Οι μονώσεις του τυλίγματος του επαγωγικού τυμπάνου καταπονούνται κατά τη λειτουργία της μηχανής από τις μεγάλες φυγόκεντρες δυνάμεις που αναπτύσσονται, όταν η γεννήτρια είναι πολύστροφη.



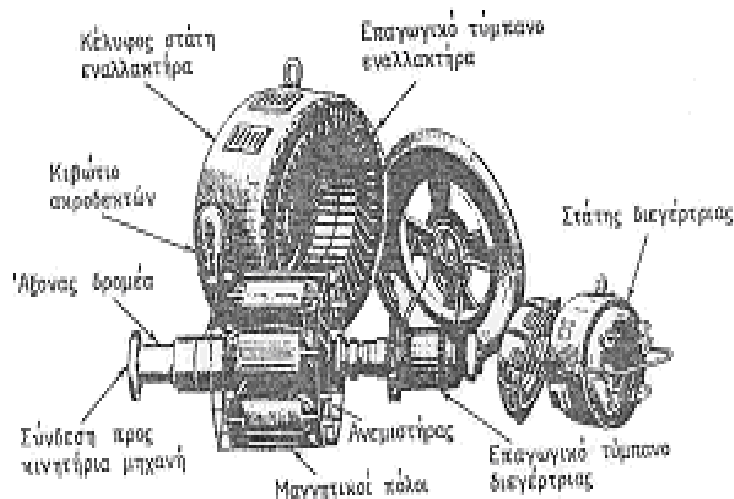
Σχήμα 1-12 Σύγχρονη γεννήτρια και ο δρομέας της



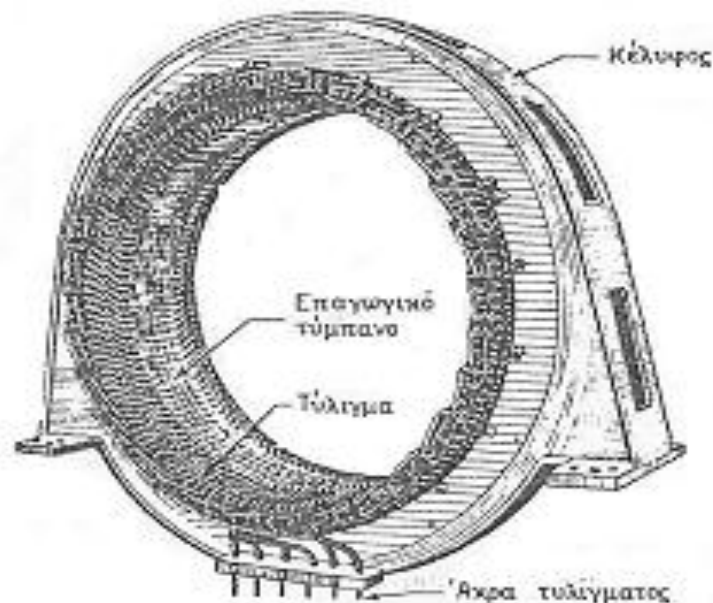
Σχήμα 1-13 Δακτυλίδια γεννήτριας

1.3.3 Γεννήτριες με εσωτερικούς πόλους

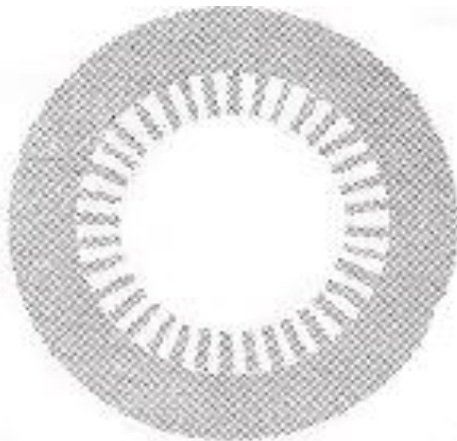
Στις γεννήτριες με εσωτερικούς πόλους το επαγωγικό τύμπανο είναι τοποθετημένο στο ακίνητο μέρος της μηχανής, δηλ το στάτη. Οι μαγνητικοί πόλοι είναι τοποθετημένοι ακτινικά στον άξονα του περιστρεφόμενου δρομέα γι' αυτό και ονομάζονται και γεννήτριες με περιστρεφόμενους πόλους. Στο σχ. 1-14 παρουσιάζεται μία αποσυναρμολογημένη γεννήτρια με εσωτερικούς πόλους, ώστε να φαίνονται τα διάφορα μέρη από τα οποία αποτελείται. Η διεγέρτρια είναι συνδεδεμένη απευθείας στον άξονα της γεννήτριας από τον οποίο παίρνει κίνηση. Στο σχ. 1-15 φαίνεται ο στάτης μίας γεννήτριας με εσωτερικούς πόλους. Όπως φαίνεται και στο σχήμα ο στάτης αποτελείται από ένα εξωτερικό κέλυφος, κατασκευασμένο από χαλύβδινα ελάσματα, μέσα στο οποίο τοποθετείται και στερεώνεται το επαγωγικό τύμπανο. Το επαγωγικό τύμπανο αποτελείται από τον πυρήνα και το τύλιγμα. Ο πυρήνας του τυμπάνου από πολλούς δίσκους οι οποίοι είναι κατασκευασμένοι από μαγνητικά ελάσματα πάχους συνήθως 0.5mm με επιφανειακή μόνωση από ειδικό βερνίκι. Τα δόντια που έχουν οι δίσκοι σχηματίζουν οδοντώσεις παράλληλες προς τον άξονα της μηχανής, μέσα στα αυλάκια των οποίων τοποθετείται το τύλιγμα



Σχήμα 1-14 Αποσυναρμολογημένη γεννήτρια εσωτερικών πόλων



Σχήμα 1-15 Στάτης γεννήτριας εσωτερικών πόλων

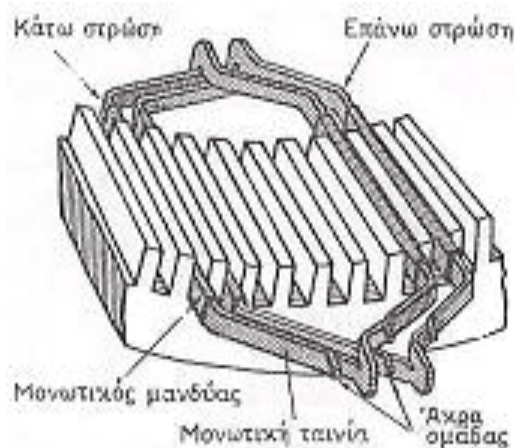


Σχήμα 1-16 Έλασμα πυρήνα επαγωγικού τυμπάνου

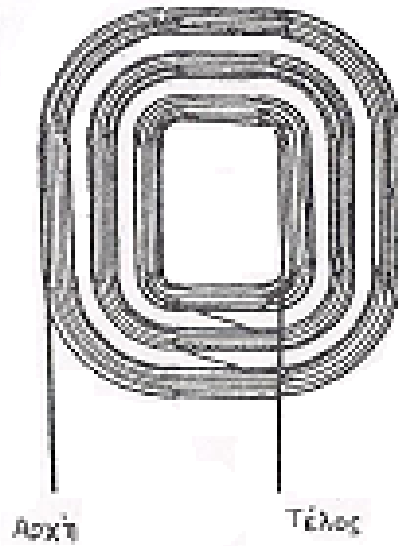
Τα τυλίγματα του επαγωγικού τυμπάνου κατασκευάζονται σε δύο βασικούς τύπους. Ο ένας είναι το **τύλιγμα σε δύο στρώσεις**. Κατασκευάζεται με διαμορφωμένες ομάδες σχ. 1-17 τα άκρα των οποίων συνδέονται μεταξύ τους, ώστε τελικά να μένουν ελεύθερα τα άκρα του τυλίγματος τα οποία οδηγούνται στους ακροδέκτες της μηχανής. Ο άλλος τρόπος κατασκευής των τυλιγμάτων εναλλασσόμενου ρεύματος είναι το **τύλιγμα σε μια στρώση**, οπότε σε κάθε αυλάκι των οδοντώσεων του τυμπάνου υπάρχει από ένα μόνο στοιχείο του τυλίγματος. Στην περίπτωση αυτή το τύλιγμα αποτελείται από συγκροτήματα ομάδων (σχ.1-18,) που κατασκευάζονται από σπείρες σύρματος κυκλικής διατομής. Με κατάλληλη διαμόρφωση των κεφαλών των ομάδων, τα συγκροτήματα τοποθετούνται στα αυλάκια των οδοντώσεων, όπως φαίνεται στο σχ.1-19. Τα άκρα των συγκροτημάτων συνδέονται μεταξύ τους και μένουν ελεύθερα τα άκρα του τυλίγματος.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω ο δρομέας των γεννητριών εσωτερικών πόλων φέρει μαγνητικούς πόλους στερεωμένους ακτινικά. Το σχ.1-20 δείχνει τον τρόπο στερέωσης των μαγνητικών πόλων στον άξονα του δρομέα με τη βοήθεια ειδικής πλήμνης. Στις τριφασικές γεννήτριες, όπως είναι όλες οι γεννήτριες των σταθμών παραγωγής, οι πυρήνες των πόλων και τα πέλδια τους είναι κατασκευασμένα από συμπαγή μαλακό χάλυβα. Το διάκενο πάχους μερικών mm που υπάρχει μεταξύ των πέλδων των μαγνητικών πόλων και του επαγωγικού τυμπάνου, επιτρέπει την ελεύθερη περιστροφή του δρομέα μέσα στο στάτη (σχ.1-21).

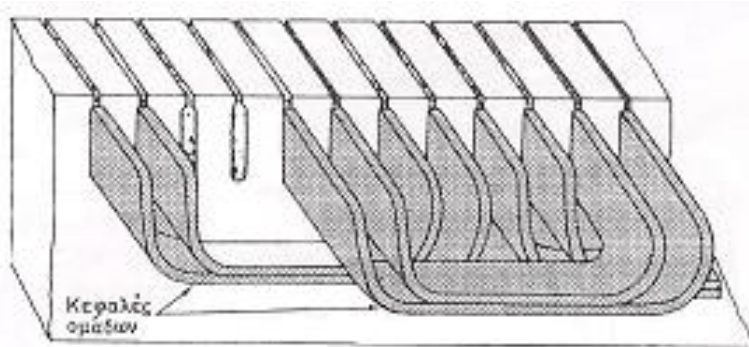
Τα τυλίγματα των πόλων τοποθετούνται επάνω στους πυρήνες πριν από την τοποθέτηση των πέλδων και συνδέονται μεταξύ τους, συνήθως σε σειρά, με τρόπο ώστε να δημιουργούνται διαδοχικά μαγνητικοί πόλοι με αντίθετη πολικότητα.



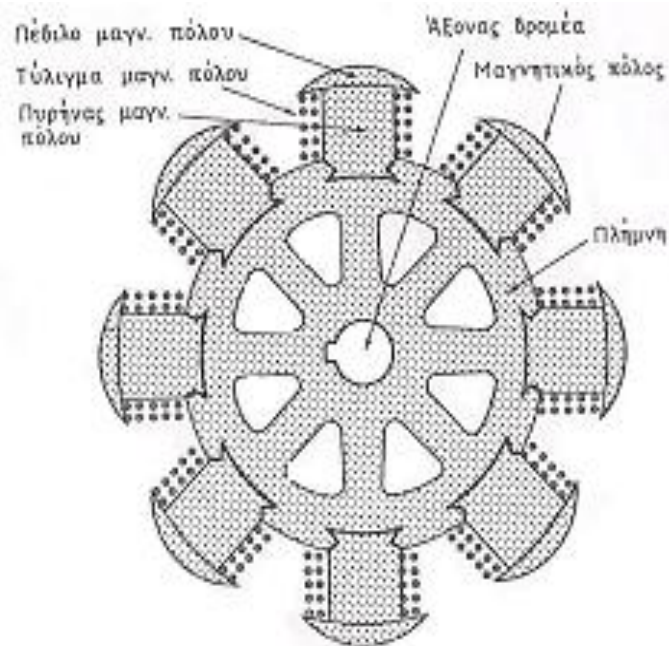
Σχήμα 1-17 Τύλιγμα σε δύο στρώσεις με διαμορφωμένες ομάδες



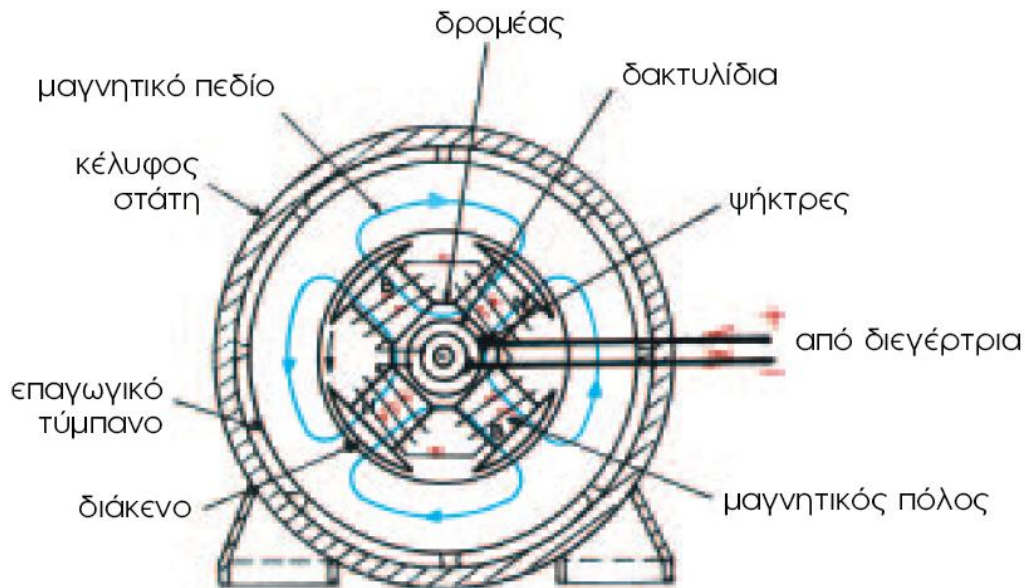
Σχήμα 1-18 Συγκρότημα ομάδων τυλίγματος σε μία στρώση



Σχήμα 1-19 Διαμόρφωση κεφαλών σε τύλιγμα μιας στρώσεως



Σχήμα 1-20 Μαγνητικοί πόλοι οκταπολικής γεννήτριας



Σχήμα 1-21 Διέγερση γεννήτριας με εσωτερικούς πόλους

Για τη δημιουργία του μαγνητικού πεδίου, δηλ για τη διέγερση της μηχανής, τα τυλίγματα των πόλων τροφοδοτούνται με συνεχές ρεύμα από τη διεγέρτρια. Γι' αυτό και χρησιμοποιούνται ψήκτρες και δύο δακτυλίδια, που είναι στερεωμένα επάνω στον άξονα του δρομέα. Η ένταση του ρεύματος διέγερσης έχει πολύ μικρότερη ένταση από το κύριο ρεύμα της γεννήτριας και συνεπώς η κατασκευή των δακτυλιδιών αυτών δεν παρουσιάζει δυσκολίες.

Στις γεννήτριες με περιστρεφόμενους πόλους, με την τοποθέτηση του επαγωγικού τυμπάνου στο στάτη και όχι στο δρομέα, διατίθεται περισσότερος χώρος για τις οδοντώσεις του πυρήνα. Έτσι γίνεται εύκολα η μόνωση των αγωγών του τυλίγματος ακόμα και όταν η γεννήτρια πρόκειται να παράγει υψηλή τάση (15000V).

Οι μαγνητικοί πόλοι οι οποίοι είναι τοποθετημένοι επάνω στο δρομέα καταπονούνται από φυγόκεντρες δυνάμεις που αναπτύσσονται κατά τη λειτουργία. Για το λόγο αυτό οι γεννήτριες με εσωτερικού πόλους δεν είναι κατάλληλες για μεγάλες ταχύτητες περιστροφής. Τις χρησιμοποιούμε όταν η κινητήρια μηχανή είναι σχετικά βραδύστροφη, όπως οι μεγάλες μηχανές εσωτερικής καύσεως και οι υδροστρόβιλοι των υδροηλεκτρικών σταθμών. Στην περίπτωση των υδροηλεκτρικών σταθμών οι γεννήτρια κατασκευάζεται με τον άξονα κατακόρυφα.

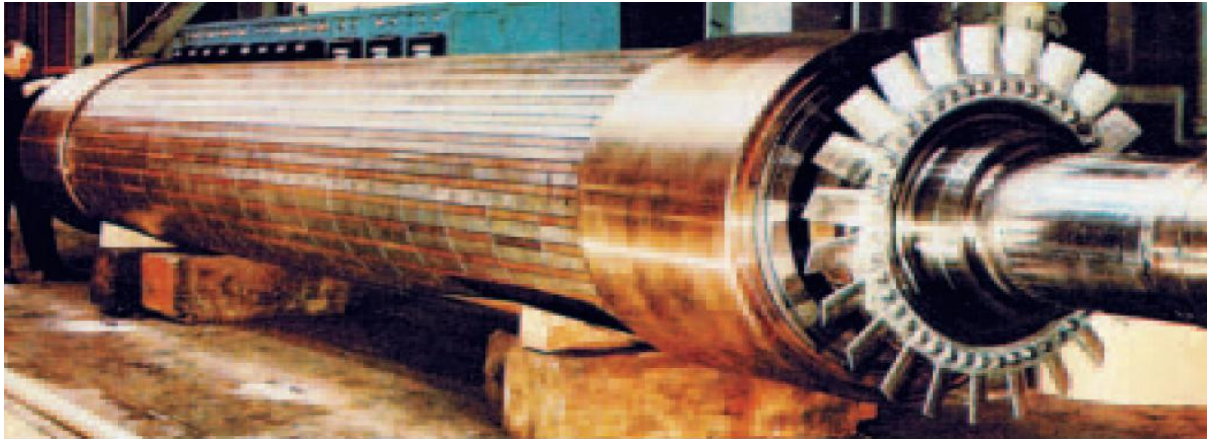
1.3.4 Στροβιλογεννήτριες

Οι στροβιλογεννήτριες ανήκουν στην κατηγορία των γεννητριών με περιστρεφόμενους πόλους και κατασκευάζονται για να λειτουργούν με κινητήριες μηχανές που έχουν μεγάλη ταχύτητα περιστροφής(3000rpm), όπως είναι οι ατμοστρόβιλοι. Από άποψη διαστάσεων χαρακτηριστικό αυτών των γεννητριών είναι ότι έχουν μικρή σχετικά διάμετρο δρομέα αλλά μεγάλο μήκος κατά τον άξονα.

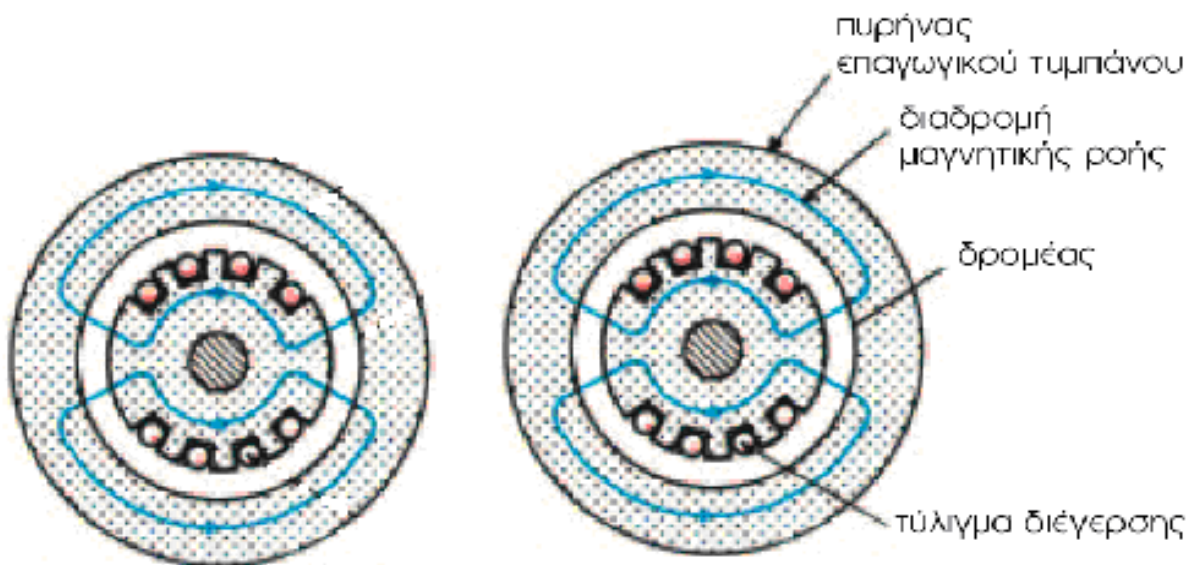
Ο στάτης των στροβιλογεννητριών δεν διαφέρει κατασκευαστικά από τον στάτη των γεννητριών με εσωτερικούς πόλους. Η διαφορετική μορφή που έχει το κέλυφος τους οφείλεται στις ανάγκες ψύξεως της μηχανής.

Ο δρομέας των στροβιλογεννητριών διαφέρει ουσιαστικά στην κατασκευή του από το δρομέα των γεννητριών με εσωτερικούς πόλους. Ο δρομέας των στροβιλογεννητριών δεν φέρει ορατούς πόλους, όπως στο σχ.1-22 αλλά αποτελείται από ένα συμπαγές κυλινδρικό τύμπανο από χυτοχάλυβα κοινό με τον άξονα.

Κατά μήκος της κυλινδρικής επιφάνειας υπάρχουν αυλάκια μέσα στα οποία τοποθετείται το τύλιγμα διέγερσης, το οποίο στερεώνεται με μεγάλη επιμέλεια. Οι σπείρες αυτού του τυλίγματος συνδεδεμένες μεταξύ τους σε σειρά, τροφοδοτούνται με συνεχές ρεύμα από τη διεγέρτρια. Αυτό γίνεται και εδώ με τη βοήθεια δακτυλιδίων στερεωμένων στον άξονα του δρομέα. Έτσι όπως φαίνεται στο σχ.1-23, δημιουργείται το μαγνητικό πεδίο διέγερσης με δύο πόλους το οποίο περιστρέφεται μαζί με το δρομέα.



Σχήμα 1-22 Δρομέας στροβιλογεννήτριας



Σχήμα 1-23 Μαγνητικό πεδίο διέγερσης στροβιλογεννήτριας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Αυτόνομη Λειτουργία Σύγχρονης Γεννήτριας

2.1 Επίδραση της Μεταβολής του Φορτίου μιας Σύγχρονης Γεννήτριας

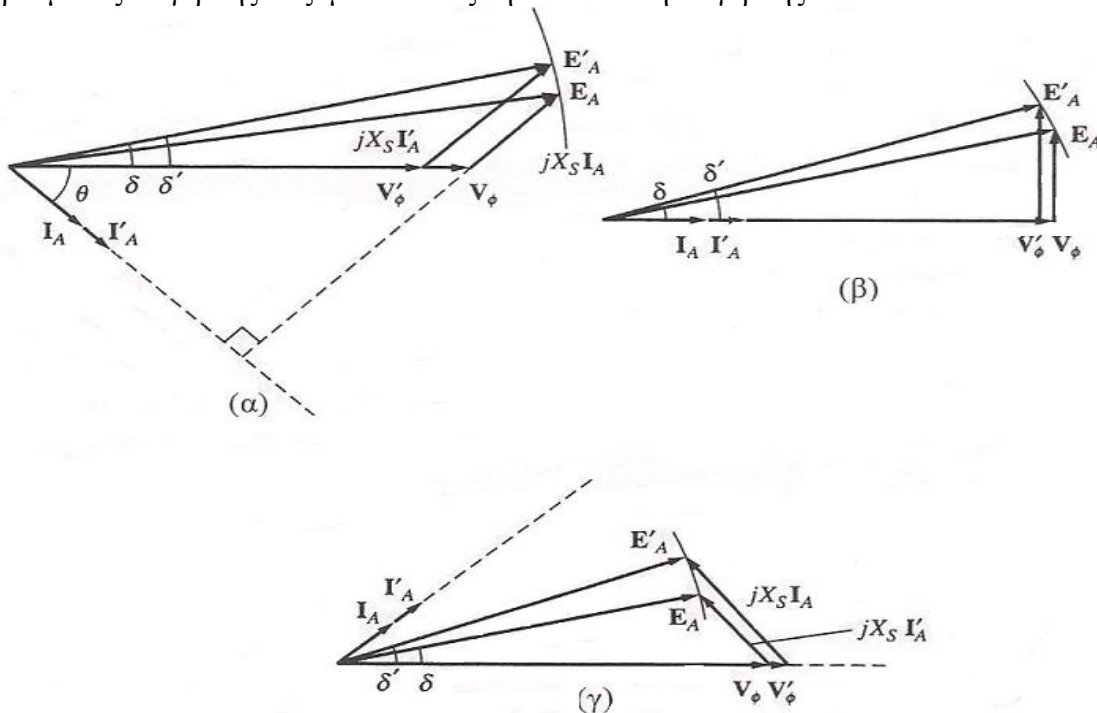
Στο κεφάλαιο αυτό θα εξεταστεί η συμπεριφορά μιας σύγχρονης γεννήτριας που λειτουργεί αυτόνομα και τροφοδοτεί κάποιο φορτίο. Διατηρώντας σταθερή την ταχύτητα της σύγχρονης γεννήτριας, όπως και τη μαγνητική ροή του πεδίου του δρομέα, θα μελετήσουμε τη μεταβολή της τάσης εξόδου κατά την αύξηση του ρεύματος του φορτίου σε διάφορες περιπτώσεις. Θεωρούμε ως δεδομένο ότι το πλάτος της επαγόμενης τάσης E_A διατηρείται πάντα το ίδιο, από τη στιγμή που δεν αλλάζει το ρεύμα διέγερσης και η ταχύτητα περιστροφής.

Η πρώτη περίπτωση αναφέρεται σε επαγωγικό φορτίο, με την αύξηση του ρεύματος να γίνεται με τέτοιο τρόπο, ώστε να μην αλλάζει ο συντελεστής ισχύος. Το γεγονός αυτό σημαίνει πως μεταβάλλεται(αυξάνεται) μόνο το μέτρο του διανύσματος I_A και όχι η φάση του. Επειδή το μέτρο της E_A διατηρείται αμετάβλητο (ορίζοντας έναν κύκλο συγκεκριμένης ακτίνας), η αυξημένη τιμή του πλάτους του διανύσματος $jX_S I_A$ συνεπάγεται μειωμένη τιμή για την τάση V_ϕ (σχ. 2-1α).

Η δεύτερη περίπτωση αναφέρεται σε ωμικό φορτίο διατηρώντας σταθερό το συντελεστή ισχύος του και διαπιστώνουμε πως με την αύξηση του φορτίου η τάση εξόδου V_ϕ υφίσταται μια μικρή μείωση (σχ. 2-1β).

Η τρίτη περίπτωση αναφέρεται σε χωρητικό φορτίο διατηρώντας σταθερό το συντελεστή ισχύος του και διαπιστώνουμε πως με την αύξηση του φορτίου παρατηρούμε αύξηση του πλάτους της τάσης (σχ. 2-1γ).

Σημειώνεται πως επειδή η γεννήτρια είναι επιθυμητό να παράγει σταθερή τάση στην έξοδό της, ανεξάρτητα από το συνδεδεμένο φορτίο, αυτό μπορεί να εξασφαλιστεί διορθώνοντας κάθε φορά (δηλ. σε κάθε αλλαγή του φορτίου) την τιμή της τάσης E_A , μέσω του ρεύματος διέγερσης αυξομειώνοντας την αντίσταση διέγερσης.



Σχήμα 2-1 Επίδραση της αύξησης του φορτίου μιας γεννήτριας στην τάση εξόδου(συντελεστής ισχύος σταθερός). (α) Επαγωγικό, (β) Ωμικό (γ) Χωρητικό.

Για τη σύγκριση δύο σύγχρονων γεννητριών με αναφορά στη συμπεριφορά της τάσης στα άκρα τους χρησιμοποιείται συχνά το μέγεθος της *διακύμανσης τάσης* (*voltage regulation*)

που ορίζονται από τη σχέση
$$VR = \frac{V_{nl} - V_{fl}}{V_{fl}} \times 100\%$$

Όπου V_{nl} : η τάση στα άκρα της γεννήτριας κατά τη λειτουργία χωρίς φορτίο

V_{fl} : η τάση στα άκρα της κατά τη λειτουργία υπό πλήρες φορτίο.

Όταν η γεννήτρια λειτουργεί με επαγωγικό φορτίο, η διακύμανση τάσης έχει αρκετά μεγάλη θετική τιμή. Όταν λειτουργεί με ωμικό φορτίο, η γεννήτρια εμφανίζει μία μικρή και θετική διακύμανση τάσης, ενώ όταν το φορτίο της είναι χωρητικό, η διακύμανση τάσης είναι αρνητική.

2.2 Χαρακτηριστικές Λειτουργίας Σύγχρονων Γεννητριών

Καθώς η κινητήρια μηχανή μια γεννήτριας αποτελεί και την πηγή της μηχανικής της ενέργειας, όταν παρατηρείται μια αύξηση της ισχύος που προσφέρεται στην γεννήτρια έχουμε και την εμφάνιση μιας μη γραμμικής μείωσης της ταχύτητας περιστροφής της κινητήριας μηχανής. Το παραπάνω συμπέρασμα αποτελεί ουσιαστικά ένα σύστημα το οποίο προσφέρει έναν έλεγχο ο οποίος καθιστά την μείωση της ταχύτητας της κινητήριας μηχανής γραμμική όταν έχουμε αύξηση της ισχύος που δίνει στην γεννήτρια. Συνεχίζοντας την ανάλυση μπορούμε να πούμε πως αυτός ο μηχανισμός ελέγχου δύναται να δίνει μια φθίνουσα χαρακτηριστική (μικρή κλίση) στην ταχύτητα της κινητήριας μηχανής, όταν το φορτίο αυξάνεται. Η προαναφερθείσα πτώση ταχύτητας περιγράφεται από την εξίσωση:

$$SD = \frac{n_{nl} - n_{fl}}{n_{fl}} \times 100\%$$

Όπου, n_{nl} και n_{fl} η ταχύτητα της κινητήριας μηχανής κατά τη λειτουργία χωρίς φορτίο και υπό πλήρες φορτίο αντίστοιχα. Επειδή η ταχύτητα περιστροφής της γεννήτριας συνδέεται με την

ηλεκτρική της συχνότητα μέσω της σχέσης $f_e = \frac{n_m P}{120}$ συνεπάγεται ότι και η ισχύς εξόδου

της γεννήτριας θα συνδέεται με την ηλεκτρική συχνότητα της.

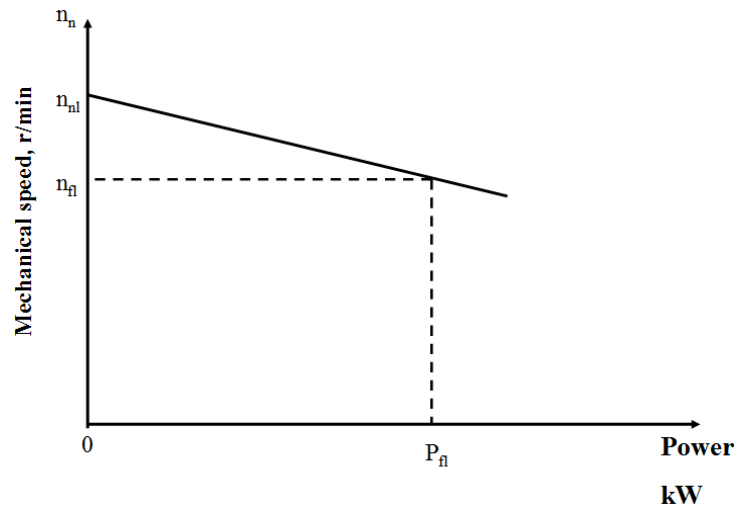
Η σχέση μεταξύ ισχύος και ηλεκτρικής συχνότητας εκφράζεται ποσοτικά με την παρακάτω εξίσωση

$$P = S_P (f_{nl} - f_{sys})$$

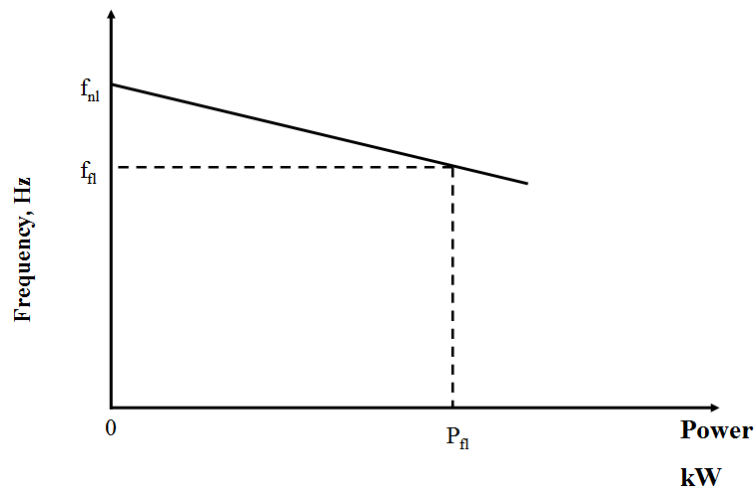
Όπου, P η ισχύς εξόδου της γεννήτριας, f_{nl} η συχνότητα της γεννήτριας κατά τη λειτουργία χωρίς φορτίο, f_{sys} η συχνότητα λειτουργίας του συστήματος και S_P η κλίση της καμπύλης σε kW/Hz ή MW/Hz

Έχουμε ήδη αναφέρει πως όταν η γεννήτρια τροφοδοτεί στα άκρα της επαγωγικό φορτίο αυτό συνεπάγεται μείωση της πολικής τάσης V_T , ενώ αντίθετα το χωρητικό προκαλεί αύξηση. Η χαρακτηριστική που ακολουθεί δεν είναι αναγκαστικά γραμμική αλλά πρέπει να τονίσουμε πως οι γεννήτριες συνήθως λειτουργούν παράλληλα με σταθεροποιητές τάσης οι οποίοι προσφέρουν την δυνατότητα αυτή. Επίσης είναι φανερό πως η παρακάτω καμπύλη μπορεί να μετακινείται πάνω η κάτω όταν μεταβάλουμε την τάση της γεννήτριας στην λειτουργία άνευ φορτίου. Αυτό γίνεται με την μετακίνηση του ρυθμιστή κλίμακας ενός σταθεροποιητή τάσης. Να επισημανθεί εδώ πως η σχέση που συνδέει την τάση εξόδου της γεννήτριας με την άεργο ισχύ έχει ίδια μορφή με την παραπάνω εξίσωση που συνδέει την συχνότητα και την πραγματική ισχύ. Αυτό βέβαια είναι δυνατό όταν το σύστημα έχει τον απαραίτητο σταθεροποιητή τάσης που αναφέραμε παραπάνω. Τέλος, όταν η γεννήτρια

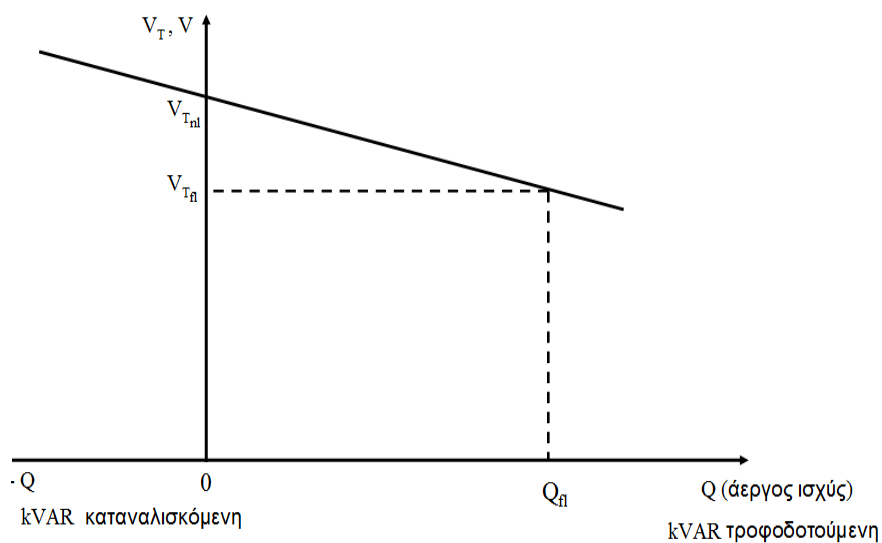
τροφοδοτεί αυτόνομα το φορτίο τόσο η ενεργός όσο και η άεργος ισχύς καθορίζονται από το ίδιο το φορτίο.



Σχήμα 2-2 Η χαρακτηριστική ταχύτητας-ισχύος μιας τυπικής κινητήριας μηχανής.



Σχήμα 2-3 Η χαρακτηριστική συχνότητας ισχύος μιας σύγχρονης γεννήτριας.



Σχήμα 2-4 Η χαρακτηριστική πολικής τάσης-άεργης ισχύος μιας σύγχρονης γεννήτριας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Παραλληλισμός Σύγχρονων Γεννητριών

3.1 Γενικά

Σε ένα δίκτυο ισχύος συνδέονται παράλληλα πολλές στον αριθμό γεννήτριες, για την ικανοποίηση των απαιτήσεων του συνολικού φορτίου της χώρας. Οι σύγχρονες γεννήτριες μπορούν εύκολα να λειτουργήσουν παράλληλα.

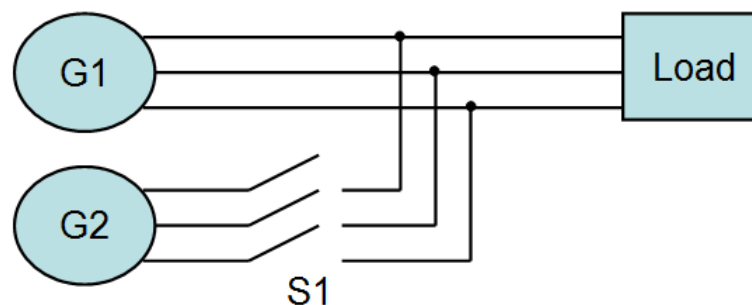
Οι βασικοί λόγοι που επιβάλλουν την παράλληλη λειτουργία σύγχρονων γεννητριών είναι οι παρακάτω:

1. Η τροφοδοσία πολύ μεγαλύτερου φορτίου απ' αυτό που είναι ικανή να τροφοδοτήσει μόνο μία γεννήτρια.
2. Μεγαλύτερη αξιοπιστία συστήματος, καθώς σε περίπτωση βλάβης σε μία από τις γεννήτριες το φορτίο θα συνεχίσει να τροφοδοτείται.
3. Κατά την παράλληλη λειτουργία πολλών σύγχρονων γεννητριών είναι δυνατή η απομάκρυνση και η διακοπή λειτουργίας σε μία από αυτές για λόγους συντήρησης χωρίς να υπάρχουν επιπτώσεις στο δίκτυο.
4. Κατά τον παραλληλισμό πολλών σύγχρονων γεννητριών είναι δυνατή η λειτουργία μερικών από αυτές. Έτσι, οι γεννήτριες που είναι ενεργοποιημένες κάθε φορά λειτουργούν σε πλήρη φόρτιση και με τη μέγιστη απόδοση.
5. Επιτυγχάνεται αυξημένη ηλεκτρική ευστάθεια του δικτύου.

3.2 Προϋποθέσεις για τον Παραλληλισμό Σύγχρονων Γεννητριών

Στο σχ.3-1 έχουμε ένα σύστημα αποτελούμενο από δύο γεννήτριες, η γεννήτρια G_1 που τροφοδοτεί το φορτίο και η γεννήτρια G_2 που πρόκειται να παραλληλιστεί με την πρώτη κλείνοντας το διακόπτη S_1 .

Ο διακόπτης S_1 θα πρέπει να κλείσει τη χρονική στιγμή που οι τάσεις και των τριών φάσεων της γεννήτριας G_2 είναι ίσες σε μέτρο και σε φάση με αυτές των αγωγών στους οποίους πρόκειται να συνδεθούν, αλλιώς οι γεννήτριες θα υποστούν βλάβη και το φορτίο θα πάψει να τροφοδοτείται με ισχύ επειδή οι τάσεις των τριών φάσεων της γεννήτριας G_2 δεν θα είναι ίσες με αυτές των αγωγών κι έτσι θα αναπτυχθούν μεγάλα ρεύματα.



Σχήμα 3-1 Παραλληλισμός μιας γεννήτριας σε ένα σύστημα ισχύος.

Αυτό σημαίνει ότι θα πρέπει να ικανοποιούνται οι παρακάτω προϋποθέσεις παραλληλισμού σύγχρονων γεννητριών

1. Οι ενεργές τιμές των πολικών τάσεων στα άκρα των δύο γεννητριών να είναι ίσες.
2. Η σειρά διαδοχής των φάσεων στις δύο γεννήτριες να είναι η ίδια.
3. Να μην υπάρχει φασική απόκλιση μεταξύ των φάσεων που πρόκειται να παραλληλιστούν.

4. Η συχνότητα της γεννήτριας που πρόκειται να εισαχθεί στο σύστημα και που ονομάζεται γεννήτρια προς παραλληλισμό (oncoming generator), να είναι ελαφρά μεγαλύτερη από τη συχνότητα λειτουργίας του υπάρχοντος συστήματος.

Στην πρώτη συνθήκη, για να είναι όμοιες οι τάσεις των φάσεων που πρόκειται να συνδεθούν μεταξύ τους, θα πρέπει να έχουν ίσες ενεργές τιμές και ίδια φάση (τρίτη συνθήκη).

Στη δεύτερη συνθήκη εξασφαλίζεται ότι οι τάσεις των φάσεων που πρόκειται να συνδεθούν μεταξύ τους θα παρουσιάζουν μέγιστο την ίδια χρονική στιγμή σχ.3-2(α). αν δεν συμβεί αυτό, οι τάσεις στο ένα ζεύγος των φάσεων θα είναι σε φάση, ενώ οι τάσεις των δύο άλλων ζευγών θα διαφέρουν κατά 120° . Στην περίπτωση θα έχουμε την ανάπτυξη ρευμάτων ικανών να καταστρέψουν τις δύο γεννήτριες. Η διόρθωση της σειράς διαδοχής των φάσεων μπορεί να γίνει με την αντιμετάθεση στις συνδέσεις των δύο φάσεων στη μία από τις δύο γεννήτριες.

Στην τέταρτη συνθήκη οι συχνότητες των δύο γεννητριών δεν πρέπει να είναι ακριβώς ίσες. Η διαφορά τους θα πρέπει να είναι πολύ μικρή, ώστε οι φάσεις των τάσεων της γεννήτριας προς παραλληλισμό να μεταβάλλονται πολύ αργά σε σχέση με τις φάσεις των τάσεων της υπάρχουσας γεννήτριας, έτσι ώστε ο διακόπτης S_1 να κλείσει τη χρονική στιγμή που οι αντίστοιχες τάσεις βρίσκονται σε φάση. Σε περίπτωση που οι συχνότητες των δύο γεννητριών δεν είναι σχεδόν ίσες, ο παραλληλισμός τους θα προκαλούσε ισχυρά μεταβατικά φαινόμενα, ώσπου το σύστημα να σταθεροποιηθεί σε μία κοινή συχνότητα.

3.3 Διαδικασία Παραλληλισμού Σύγχρονων Γεννητριών

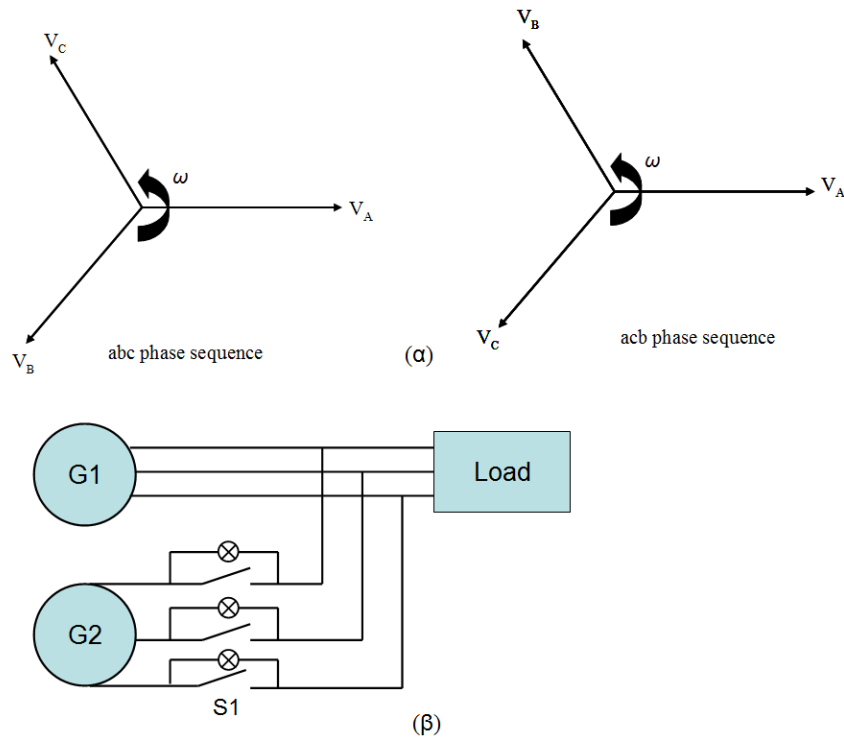
Έστω ότι η γεννήτρια G_2 πρόκειται να συνδεθεί στο σύστημα του σχ.3-2. Αρχικά ρυθμίζεται το ρεύμα διέγερσης της γεννήτριας προς παραλληλισμό G_2 , ενώ ταυτόχρονα μετρούνται οι πολικές τάσεις στη έξοδο της, ώστε να είναι ίσες με τις αντίστοιχες πολικές τάσεις της γεννήτριας G_1 .

Στη συνέχεια συγκρίνεται η σειρά διαδοχής των φάσεων των δύο γεννητριών με δύο τρόπους:

- Με τη σύνδεση ενός επαγωγικού κινητήρα διαδοχικά στα άκρα των δύο γεννητριών. Αν ο κινητήρας περιστρέφεται με την ίδια φορά, τότε η σειρά διαδοχής των φάσεων είναι η ίδια, αλλιώς αντιστρέφεται η σύνδεση των δύο από τις τρεις φάσεις της γεννήτριας προς παραλληλισμό και επιτυγχάνεται η σωστή σειρά διαδοχής των φάσεων.
- Με τη σύνδεση τριών λαμπτήρων φωτισμού στα άκρα του ανοιχτού διακόπτη σχ.3-2(β). Καθώς η διαφορά φάσης μεταξύ των δύο άκρων του κάθε λαμπτήρα μεταβάλλεται αυξομειώνεται η φωτεινότητα του αντίστοιχου λαμπτήρα. Αν οι λαμπτήρες αποκτήσουν ταυτόχρονα τη μέγιστη και την ελάχιστη φωτεινότητα, τότε οι δύο γεννήτριες παρουσιάζουν την ίδια σειρά διαδοχής φάσεων. Στην περίπτωση που οι λάμπες αποκτούν τη μέγιστη φωτεινότητα τους σε διαδοχικές χρονικές στιγμές, η σειρά διαδοχής των φάσεων στη γεννήτρια προς παραλληλισμό θα πρέπει να αντιμετωπιστεί.

Στη συνέχεια με ένα συχνόμετρο γίνεται η μέτρηση της συχνότητας της γεννήτριας προς παραλληλισμό G_2 και ρυθμίζεται σε τιμή λίγο μεγαλύτερη από τη συχνότητα της υπάρχουσας γεννήτριας. Η γεννήτρια προς παραλληλισμό G_2 θα πρέπει να διαθέτει λίγο μεγαλύτερη συχνότητα, ώστε να εισαχθεί στο σύστημα προσφέροντας ενέργεια.

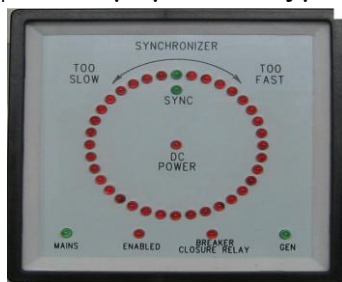
Επειδή οι δύο συχνότητες είναι περίπου ίσες η διαφορά φάσης στα δύο συστήματα μεταβάλλεται πολύ αργά ώστε τη στιγμή που μηδενίζεται με το κλείσιμο του διακόπτη S_1 και να επιτευχθεί ο παραλληλισμός.



Σχήμα3-2(α) Οι δύο δυνατές σειρές διαδοχής των φάσεων ενός τριφασικού συστήματος. (β) Η τεχνική ελέγχου της σειράς διαδοχής των φάσεων με τη χρήση τριών λαμπτήρων.

Ένας απλός τρόπος για την πραγματοποίηση του παραλληλισμού ακριβώς την κατάλληλη χρονική στιγμή είναι η παρατήρηση του συστήματος με τους τρεις λαμπτήρες που παρουσιάστηκε παραπάνω. Όταν τα δύο συστήματα βρίσκονται σε φάση, οι λαμπτήρες δεν εμφανίζουν στα άκρα τους διαφορά δυναμικού και είναι συνεχώς σβηστοί. Εκείνη τη στιγμή μπορεί να γίνει ο παραλληλισμός. Αυτός ο τρόπος είναι αρκετά απλός αλλά σχετικά ανακριβής. Μια άλλη μέθοδος προσδιορισμού της χρονικής στιγμής που τα δύο συστήματα δεν παρουσιάζουν διαφορά φάσης μεταξύ τους είναι η χρήση ενός οργάνου που ονομάζεται συγχρονισκόπιο (synchronoscope) σχ.3-3. Το συγχρονισκόπιο μετράει τη διαφορά φάσης μεταξύ δύο φάσεων που πρόκειται να συνδεθούν (πχ μεταξύ α και α'). Η ένδειξη 0° βρίσκεται στο πάνω μέρος και η ένδειξη 180° βρίσκεται στο κάτω μέρος του οργάνου. Επειδή οι συχνότητες έχουν μικρή διαφορά η βελόνα του οργάνου περιστρέφεται αργά και λόγω του ότι η συχνότητα της γεννήτριας προς παραλληλισμό είναι μεγαλύτερη, η βελόνα περιστρέφεται ωρολογιακά. Στην αντίθετη περίπτωση θα περιστρεφόταν ανωρολογιακά. Η παράλληλη σύνδεση των δύο γεννητριών μπορεί να επιτευχθεί μόνο όταν η βελόνα είναι στραμμένη κατακόρυφα προς τα πάνω.

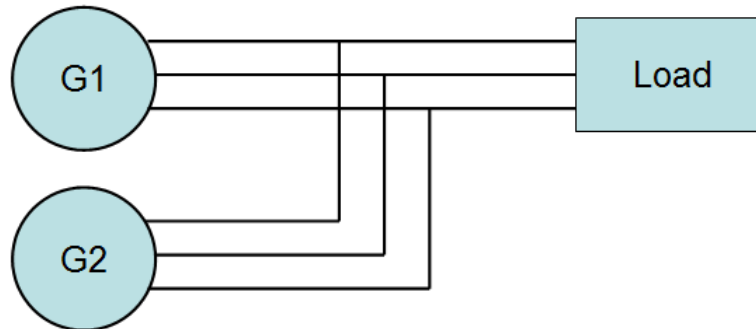
Επίσης, επειδή το συγχρονισκόπιο συνδέεται σε μία ή δύο από τις τρεις φάσεις, δεν εξασφαλίζεται η σωστή σειρά διαδοχής των φάσεων. Η σωστή διαδοχή των φάσεων πρέπει να εξασφαλιστεί με μία από τις μεθόδους που παρουσιάστηκαν παραπάνω.



Σχήμα 3-3 Συγχρονισκόπιο

3.4 Παραλληλισμός Γεννήτριας με Άλλες Γεννήτριες Ίδιου Μεγέθους

Στην ενότητα αυτή θα αναλυθεί η συμπεριφορά μιας γεννήτριας που συνδέεται παράλληλα με μια άλλη γεννήτρια ίδιου μεγέθους σχ.3-4. Σε ένα σύστημα όπου δύο γεννήτριες είναι συνδεδεμένες παράλληλα μεταξύ τους και τροφοδοτούν ένα φορτίο το άθροισμα της ενεργούς και άεργης ισχύος που παράγεται από τις δύο γεννήτριες είναι ίσο με τη συνολική ισχύ που απαιτεί το φορτίο τους. Η συχνότητα του συστήματος δεν είναι αναγκαστικά σταθερή, ούτε η ισχύς που προσφέρει η κάθε γεννήτρια.



Σχήμα 3-4 Παράλληλη λειτουργία δύο σύγχρονων γεννητριών ίδιου μεγέθους.

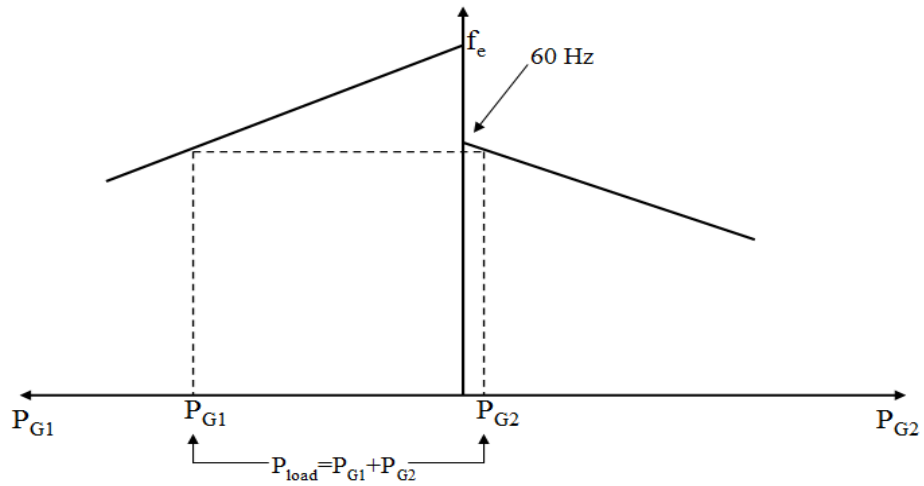
Στο σχ.3-5 φαίνονται οι χαρακτηριστικές ενεργού ισχύος-συχνότητας των δύο γεννητριών αμέσως μετά την είσοδο της γεννήτριας G_2 στο σύστημα. Η συνολική ενεργός ισχύς εξόδου των γεννητριών P_{tot} (που είναι ίση με την ισχύ του φορτίου τους P_{load}) δίνεται από τη σχέση

$$P_{tot} = P_{load} = P_{G1} + P_{G2}$$

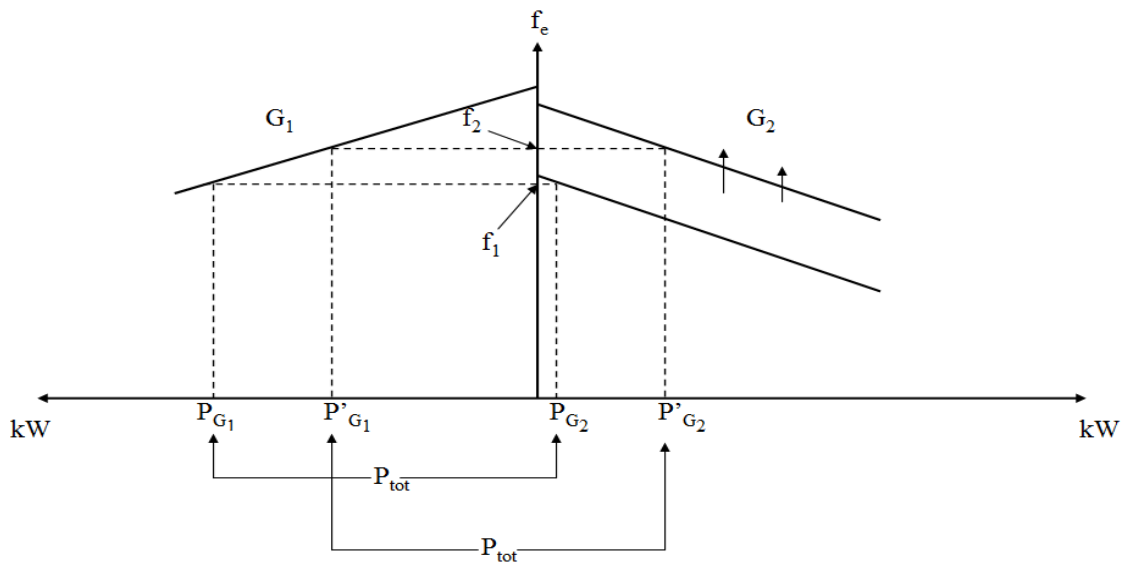
Και η συνολική άεργος ισχύς δίνεται από τη σχέση

$$Q_{tot} = Q_{load} = Q_{G1} + Q_{G2}$$

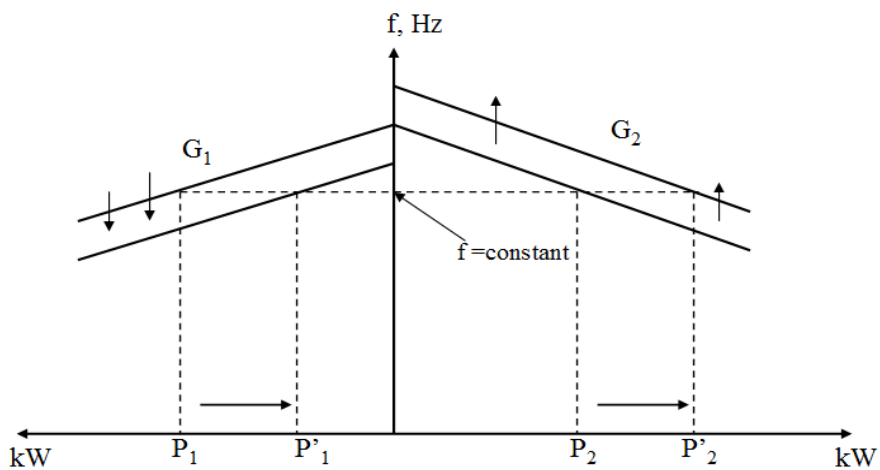
Σε ένα σύστημα δύο γεννητριών που λειτουργούν παράλληλα αν αυξηθεί η συχνότητα αφόρτιστης λειτουργίας μιας εκ των δύο σχ.3-6, θα έχουμε αύξηση της συχνότητας λειτουργίας του συστήματος και προσφορά περισσότερης ενεργούς ισχύος στο κοινό φορτίο από τη γεννήτρια στην οποία έγινε η μεταβολή, ενώ η ενεργός ισχύς που προσφέρει η δεύτερη γεννήτρια μειώνεται. Αντίθετα η μείωση της συχνότητας αφόρτιστης λειτουργίας μιας εκ των δύο μειώνει τη συχνότητα λειτουργίας του συστήματος και την ενεργό ισχύ που προσφέρει η συγκεκριμένη γεννήτρια. Έτσι για να ρυθμιστεί η ενεργός ισχύς που προσφέρει η κάθε γεννήτρια στο φορτίο, χωρίς να μεταβληθεί η συχνότητα του συστήματος, θα πρέπει να αυξηθεί η συχνότητα αφόρτιστης λειτουργίας της μιας γεννήτριας και να μειωθεί της άλλης(σχ.3-7). Ανάλογα, για να μεταβληθεί η συχνότητα λειτουργίας του συστήματος, χωρίς να αλλάξει το ποσοστό της ενεργού ισχύος που παράγει η γεννήτρια, θα πρέπει η συχνότητα αφόρτιστης λειτουργίας και των δύο γεννητριών να αυξηθεί ή να μειωθεί(σχ.3-8).



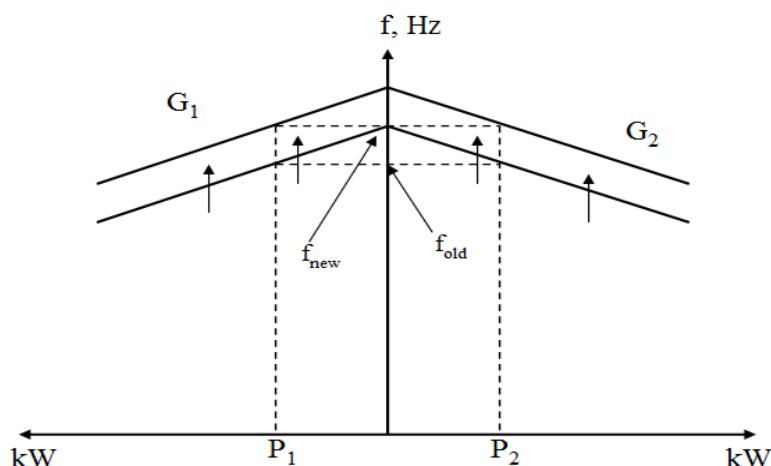
Σχήμα 3-5 διάγραμμα συχνότητας-ισχύος κατά τη σύνδεση της G_2 στο σύστημα.



Σχήμα 3-6 Αύξηση της συχνότητας αφόρτιστης λειτουργίας της G_2 .



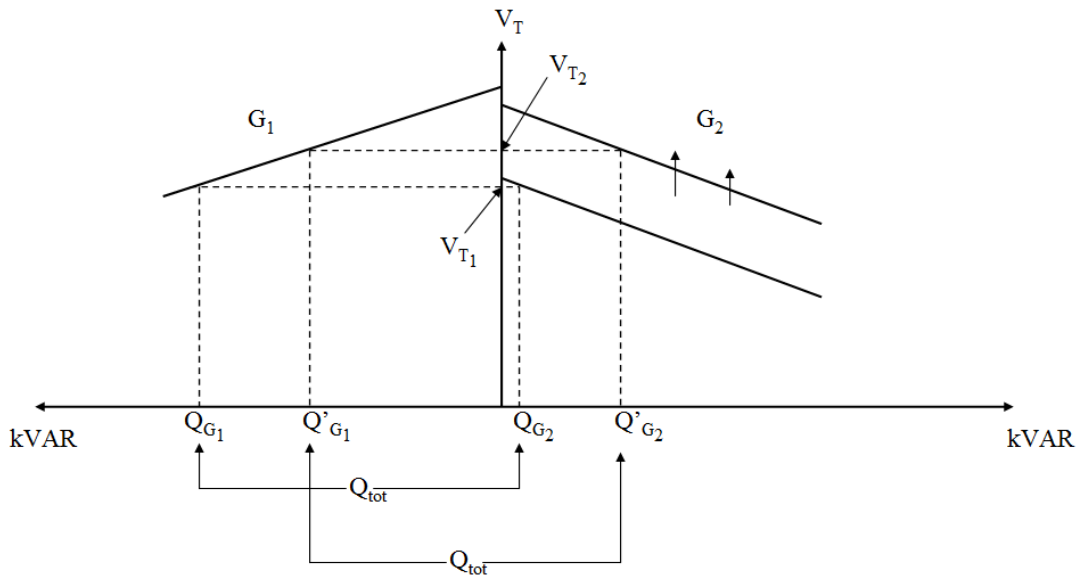
Σχήμα 3-7 Μεταβολή της κατανομής της ισχύος που προσφέρει η κάθε γεννήτρια στο κοινό φορτίο χωρίς μεταβολή της συχνότητας του συστήματος.



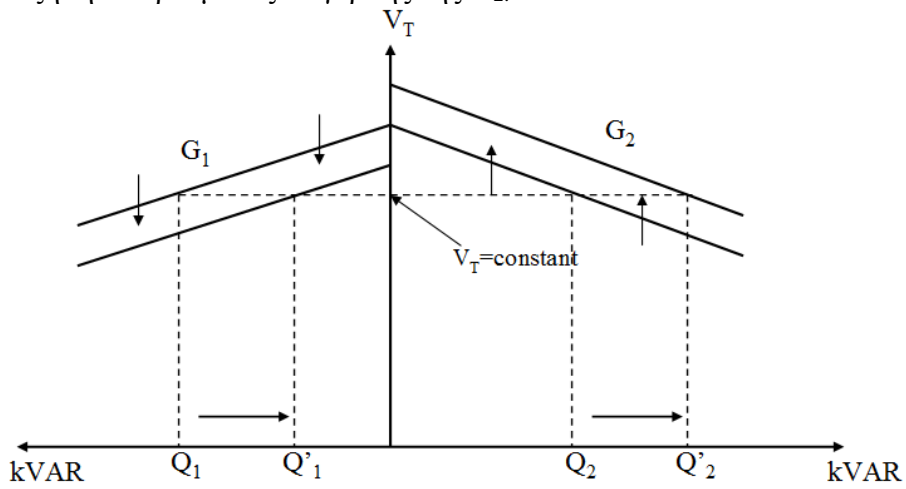
Σχήμα 3-8 Ρύθμιση της συχνότητας του συστήματος χωρίς μεταβολή της ισχύος που προσφέρει η κάθε γεννήτρια στο κοινό φορτίο.

Σε ένα σύστημα δύο γεννητριών που λειτουργούν παράλληλα αν αυξηθεί το ρεύμα διέγερσης μιας εκ των δύο γεννητριών σχ.3-9, θα έχουμε αύξηση της τάση εξόδου του συστήματος και προσφορά περισσότερης άεργης ισχύος στο κοινό φορτίο από τη γεννήτρια της οποίας αυξήθηκε το ρεύμα διέγερσης, ενώ η άεργος ισχύς που προσφέρει η γεννήτρια G_2 μειώνεται. Για να ρυθμιστεί η άεργος ισχύς που προσφέρει στο κοινό φορτίο η κάθε γεννήτρια, χωρίς να μεταβληθεί η πολική τάση V_T του συστήματος, θα πρέπει να αυξηθεί το ρεύμα διέγερσης της μιας γεννήτριας και να μειωθεί ταυτόχρονα το ρεύμα διέγερσης της άλλης γεννήτριας(σχ.3-10). Αντίστοιχα, για να ρυθμιστεί η πολική τάση του συστήματος χωρίς να μεταβάλλεται ταυτόχρονα η άεργος ισχύς που προσφέρει η κάθε γεννήτρια, θα πρέπει να αυξηθεί ή να μειωθεί ταυτόχρονα τα δύο ρεύματα διέγερσης(σχ.3-11).

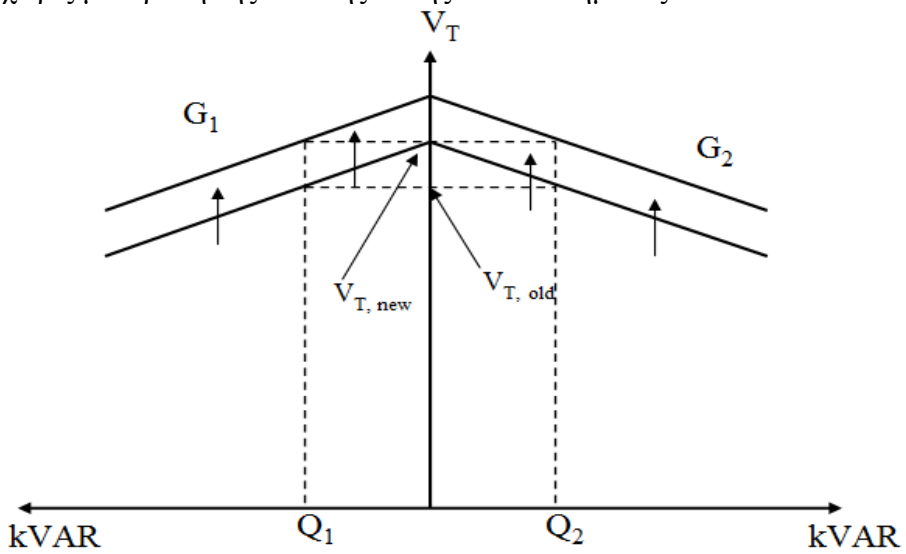
Πολύ σημαντικό είναι το γεγονός ότι όλες οι σύγχρονες γεννήτριες που κατασκευάζονται για να λειτουργούν παράλληλα, διαθέτουν φθίνουσες χαρακτηριστικές ενεργού ισχύος-συχνότητας. Αν οι δύο γεννήτριες που παραλληλίζονται διαθέτουν χαρακτηριστικές ενεργού ισχύος-συχνότητας με πολύ μικρή ή μηδενική κλίση, τότε ελάχιστες αλλαγές στις συχνότητες αφόρτιστης λειτουργίας των γεννητριών προκαλούν μεγάλες μεταβολές στο ποσοστό της ισχύος που παράγει η κάθε γεννήτρια. Γενικά για να είναι δυνατή η σωστή ρύθμιση της ισχύος που προσφέρει η κάθε γεννήτρια, θα πρέπει η κλίση της χαρακτηριστικής της να είναι 2% έως 5%.



Σχήμα 3-9 Αύξηση του ρεύματος διέγερσης της G_2 .



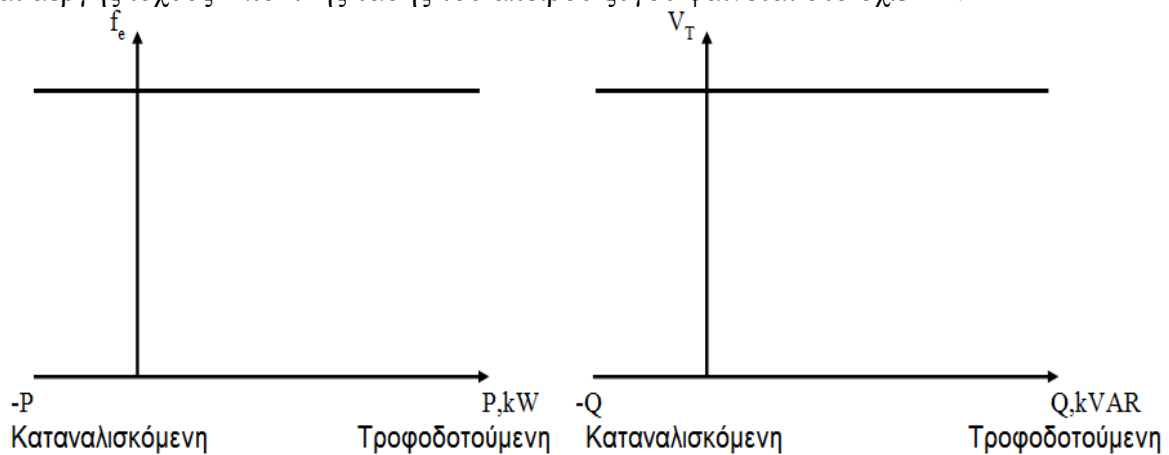
Σχήμα 3-10 Ρύθμιση της άεργης ισχύος που προσφέρει η κάθε γεννήτρια στο κοινό φορτίο χωρίς μεταβολή της πολικής τάσης του συστήματος.



Σχήμα 3-11 Μεταβολή της πολικής τάσης του συστήματος χωρίς αλλαγή στην άεργο ισχύ που παράγει η κάθε γεννήτρια.

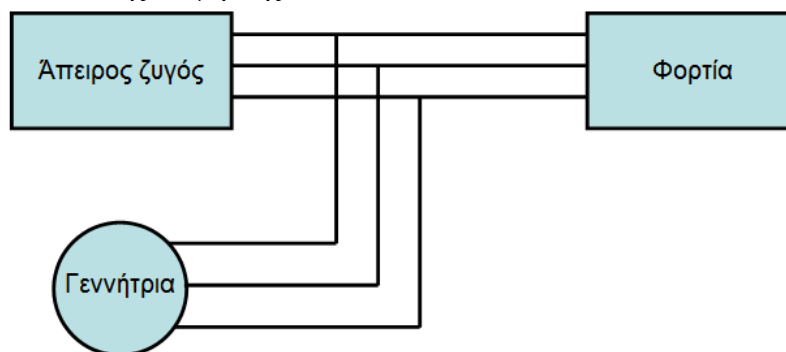
3.5 Σύνδεση Γεννήτριας στο δίκτυο(άπειρος ζυγός)

Ένα μεγάλο σύστημα ισχύος δεν επηρεάζεται καθόλου κατά την εισαγωγή μιας σύγχρονης γεννήτριας σε αυτό. Επομένως καμία μεταβολή στα χαρακτηριστικά της γεννήτριας δεν μπορεί να προκαλέσει εμφανή αλλαγή στη συχνότητα λειτουργίας του δικτύου. Ο άπειρος ζυγός(infinite bus) είναι ένα πολύ μεγάλο σύστημα ισχύος, όπου τάση και η συχνότητα του παραμένουν σταθερές, ανεξάρτητα από το ποσό της ενεργού ή της άεργης ισχύος με την οποία τροφοδοτείται ή παράγει. Η χαρακτηριστικές ενεργού ισχύος-συχνότητας και άεργης ισχύος – πολικής τάσης του άπειρου ζυγού φαίνεται στο σχ.3-12.



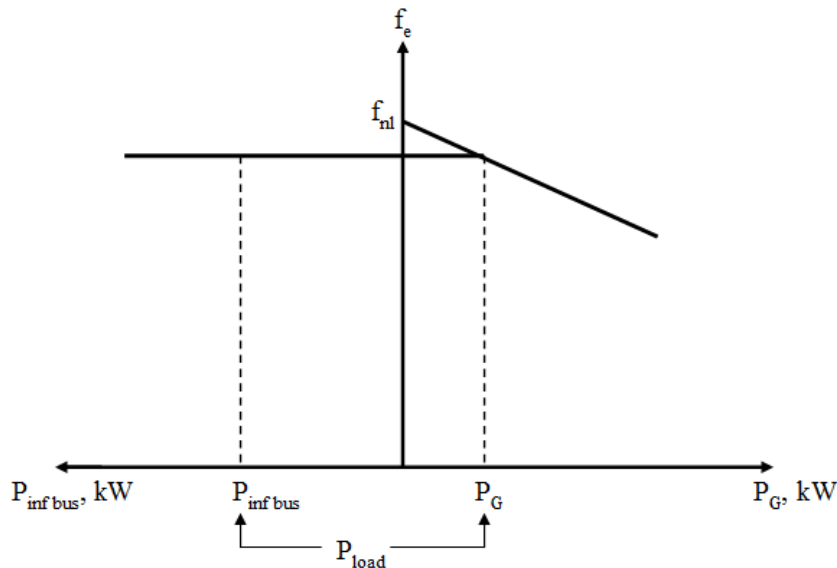
Σχήμα 3-12 Χαρακτηριστικές συχνότητας ισχύος και πολικής τάσης-άεργης ισχύος του άπειρου ζυγού.

Στην ενότητα αυτή αναλύεται ένα σύστημα όπου μία σύγχρονη γεννήτρια συνδέεται παράλληλα μ' έναν άπειρο ζυγό και τροφοδοτούν μαζί κάποιο φορτίο σχ.3-13 Υποτίθεται ότι η κινητήρια μηχανή της γεννήτριας διαθέτει κάποιο μηχανισμό ελέγχου που μπορεί να μεταβάλλει την ταχύτητα της, ενώ το ρεύμα διέγερσης της γεννήτριας μεταβάλλεται απλά με τη ρύθμιση της αντίστασης διέγερσης.

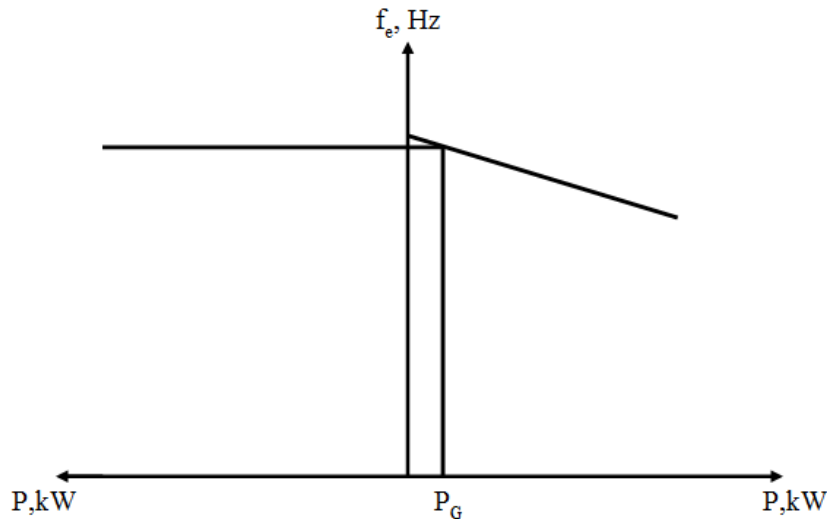


Σχήμα 3-13 Μία σύγχρονη γεννήτρια παραλληλισμένη με άπειρο ζυγό.

Όπως αναφέρθηκε στις προηγούμενες ενότητες, για να επιτευχθεί η παράλληλη σύνδεση μιας γεννήτριας με κάποια άλλη γεννήτρια ή με ένα μεγάλο σύστημα ισχύος προϋποθέτει ισότητα συχνοτήτων των δύο συστημάτων. Έτσι οι χαρακτηριστικές ενεργού ισχύος-συχνότητας των δύο συστημάτων περιλαμβάνονται στο ίδιο διάγραμμα με κοινό κατακόρυφο άξονα σχ.3-14. Η γεννήτρια του σχ.3-13 είναι συνδεδεμένη παράλληλα στον άπειρο ζυγό και προσφέρει ένα μικρό ποσοστό ενεργού ισχύος στο φορτίο σχ.3-15.



Σχήμα 3-14 Διαγράμματα συχνότητας-ισχύος της γεννήτριας και του άπειρου ζυγού στον ίδιο κατακόρυφο άξονα.

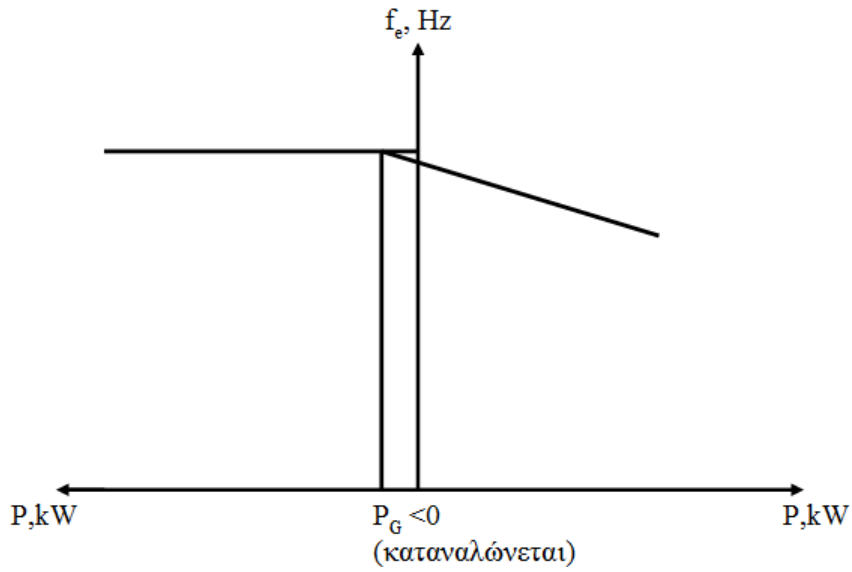


Σχήμα 3-15 Χαρακτηριστικές συχνότητας-ισχύος αμέσως μετά τον παραλληλισμό.

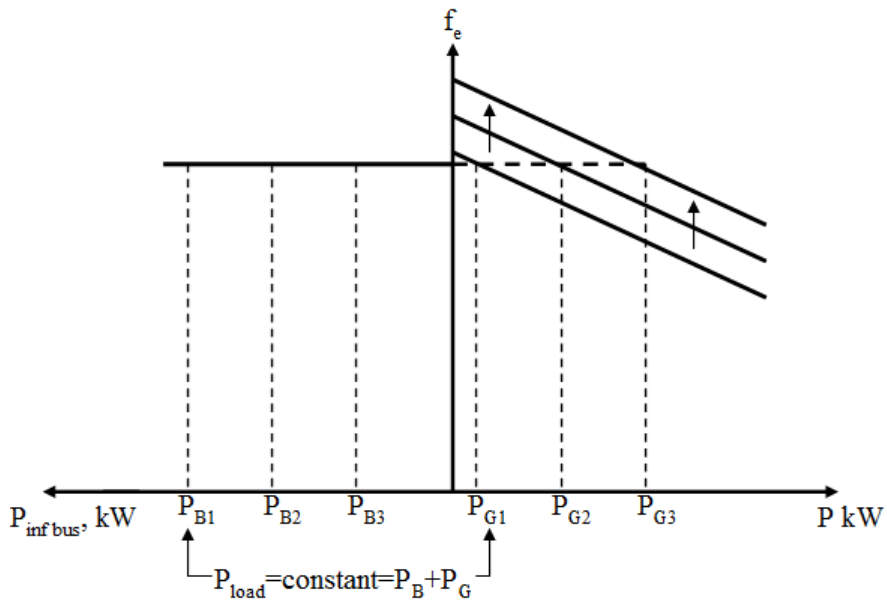
Σε περίπτωση που η συχνότητα αφόρτιστης λειτουργίας της γεννήτριας είναι μικρότερη από τη συχνότητα λειτουργίας του συστήματος, η γεννήτρια θα προσέφερε αρνητική ισχύ στο ζυγό, δηλαδή θα καταναλώνει ισχύ και θα λειτουργούσε σαν κινητήρας σχ.3-16. Πολλές γεννήτριες διαθέτουν ένα μηχανισμό που δεν επιτρέπει την αντιστροφή της ροής ισχύος και την αναγκάζει να συνδέεται παράλληλα με άλλες γεννήτριες, μόνο αν η συχνότητα της είναι μεγαλύτερη από τη συχνότητα του υπάρχοντος συστήματος. Αν μια τέτοια γεννήτρια αρχίσει κάποια στιγμή να καταναλώνει ενέργεια θα αποσυνδεθεί αυτόματα από τη γραμμή.

Σε περίπτωση που αυξηθεί η συχνότητα αφόρτιστης λειτουργίας της γεννήτριας μέσω του μηχανισμού ελέγχου της κινητήριας μηχανής, θα μεταβληθεί η ενεργός ισχύς που προσφέρει η γεννήτρια στο κοινό φορτίο, ενώ η συχνότητα λειτουργίας του άπειρου ζυγού θα παραμείνει αμετάβλητη σχ.3-17 και στο διανυσματικό διάγραμμα του σχ.3-18.

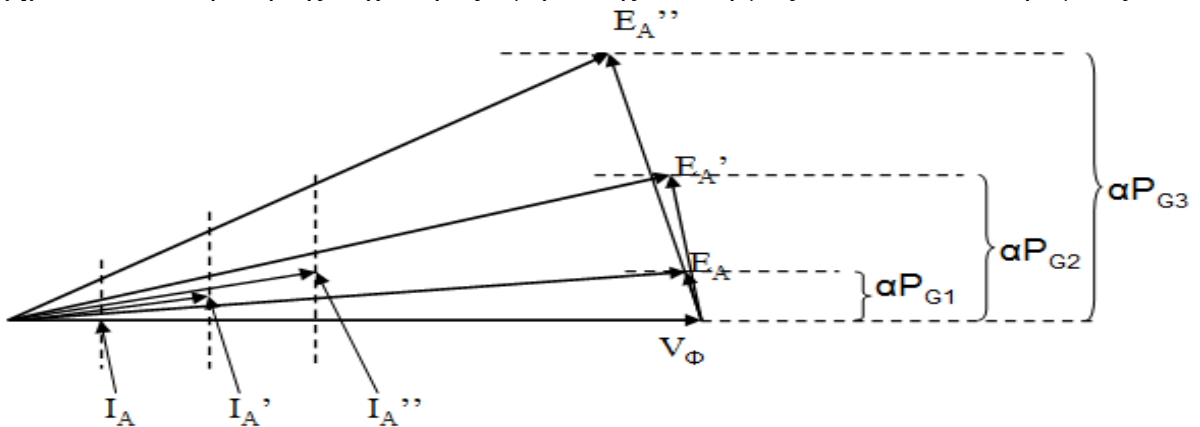
Στο σχ.3-18 παρατηρούμε ότι η ταχύτητα περιστροφής, η πολική τάση V_T , το ρεύμα διέγερσης I_F και η $E_A (=k\Phi\omega)$ παραμένουν σταθερά, ενώ η ποσότητα $E_A \sin\delta$ που είναι ανάλογη της πραγματικής ισχύος της γεννήτριας αυξάνεται. Μια μεγαλύτερη αύξηση της συχνότητας περιστροφής αυξάνει τη συχνότητα αφόρτιστης λειτουργίας της γεννήτριας και την ενεργό ισχύ εξόδου



Σχήμα 3-16 Οι χαρακτηριστικές συχνότητας ισχύος στην περίπτωση που η συχνότητα της γεννήτριας στην αφόρτιστη λειτουργία είναι ελαφρά μικρότερη απ' αυτή του συστήματος πριν από τον παραλληλισμό.



Σχήμα 3-17 Μεταβολή της συχνότητας αφόρτιστης λειτουργίας στον ίδιο κατακόρυφο άξονα

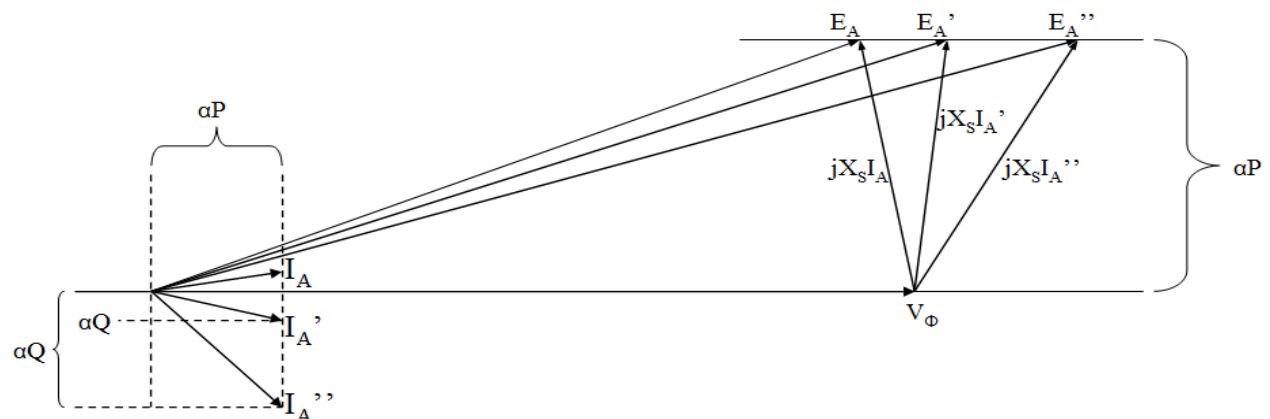


Σχήμα 3-18 Μεταβολή της συχνότητας αφόρτιστης λειτουργίας σε διανυσματικό διάγραμμα

Σε περίπτωση που η αύξηση της ενεργού ισχύος εξόδου πάει να ξεπεράσει την ισχύ που καταναλώνει το φορτίο, η επιπλέον ισχύς καταναλώνεται από τον άπειρο ζυγό που εξ ορισμού έχει τη δυνατότητα να προσφέρει ή να καταναλώνει ισχύ χωρίς να μεταβάλει τη συχνότητα του συστήματος. Επίσης, παρατηρούμε ότι η γεννήτρια λειτουργεί με χωρητικό συντελεστή ισχύος. Η γεννήτρια μπορεί να τροφοδοτήσει το σύστημα με άεργο ισχύ ρυθμίζοντας το ρεύμα διέγερσης ως εξής:

- Η μεταβολή του ρεύματος διέγερσης θα πρέπει να γίνεται διατηρώντας σταθερή την ενεργό ισχύ στην εξόδο της γεννήτριας. Η ισχύς εισόδου στη γεννήτρια δίνεται από τη σχέση $P_{in} = \tau_{ind} \omega_m$. Η χαρακτηριστική ροπής-ταχύτητας της κινητήριας μηχανής μεταβάλλεται μόνο μέσω του μηχανισμού ελέγχου που διαθέτει και η ταχύτητα της γεννήτριας παραμένει σταθερή, αφού είναι συνδεδεμένη σε άπειρο ζυγό. Επομένως η ενεργός ισχύς εξόδου παραμένει σταθερή.
- Με την αύξηση του ρεύματος διέγερσης παρατηρείται αύξηση της μαγνητικής ροής φ στο εσωτερικό της γεννήτριας και της τάσης E_A . Όμως, επειδή η ποσότητα $E_A \sin \delta$ είναι σταθερή, το πέρας του διανύσματος E_A θα κινείται πάνω στην ευθεία σταθερής ενεργού ισχύος, σχ.3-19. Η τάση V_φ παραμένει σταθερή, ενώ το $jX_s I_A$ μεταβάλλεται καθώς και το μέτρο και η φάση του ρεύματος I_A . Τελικά η ποσότητα $I_A \sin \theta$ που είναι ανάλογη της άεργης ισχύος αυξάνεται.

Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι η αύξηση του ρεύματος διέγερσης μιας γεννήτριας που είναι συνδεδεμένη σ' έναν άπειρο ζυγό προκαλεί αύξηση της άεργης ισχύος που προσφέρει η γεννήτρια στο φορτίο του συστήματος.



Σχήμα 3-19 Η επίδραση της μεταβολής του ρεύματος διέγερσης μιας σύγχρονης γεννήτριας στο διανυσματικό διάγραμμα της.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Κατασκευή Διάταξης Παραλληλισμού Σύγχρονων Γεννητριών Ε.Ρ.

4.1 Σκοπός της διάταξης

Σκοπός της διάταξης, η οποία θα αναλυθεί παρακάτω, είναι η κατανόηση των βασικών αρχών του παραλληλισμού σύγχρονων γεννητριών Ε.Ρ. Η κατασκευή θα ενταχθεί στο σκέλος του εργαστηριακού μαθήματος Ηλεκτρικών Μηχανών 2 του τμήματος Ηλεκτρολογίας του Ανώτατου Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Πατρών και θα χρησιμοποιηθεί από τους σπουδαστές του τμήματος. Οι σπουδαστές χρησιμοποιώντας την κατασκευή θα έχουν τη δυνατότητα να επιτύχουν τον παραλληλισμό δύο σύγχρονων τριφασικών γεννητριών όπως επίσης και τον παραλληλισμό μιας τριφασικής σύγχρονης γεννήτριας με το δίκτυο. Επίσης, θα παρέχει τη δυνατότητα της τροφοδότησης φορτίου από μία σύγχρονη τριφασική γεννήτρια καθώς και της τροφοδοσίας ενός τριφασικού κινητήρα.

4.2 Όργανα και Υλικά

Για την κατασκευή χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω όργανα και υλικά:

- Μεταλλικός πίνακας διαστάσεων 60cm×50cm×20cm.
- Δύο Αναλυτές Ενέργειας της Kael Electronics για τη μέτρηση ηλεκτρικών μεγεθών.
- Ένα αναλογικό αμπερόμετρο εναλλασσόμενου ρεύματος για τη μέτρηση του ρεύματος φορτίου.
- Τέσσερις τριφασικοί περιστροφικοί διακόπτες 25A για σύνδεση/αποσύνδεση.
- Έξι μετασχηματιστές έντασης με λόγο μετασχηματισμού 50/5.
- Εννέα ασφαλειοδιακόπτες ράγας 6A και οκτώ ασφαλειοδιακόπτες 2A μάρκας Chint.
- Ράγες για τη στήριξη των ασφαλειοδιακοπών.
- Δεκαέξι χωνευτές μπόρνες ασφαλείας.
- Τρεις λαμπτήρες Φ22 τύπου Led 220V και τρεις αντιστάσεις για την αποφυγή της καταστροφής τους(προστασία από υπερτάσεις).
- Πλαστικά διάτρητα κανάλια καλωδίων 25mm×25mm με κάλυμμα για τη λειτουργικότητα, την ασφάλεια και την καλαισθησία του εσωτερικού της κατασκευής.

4.2.1 Περιγραφή Υλικών και Οργάνων

Η διάταξη περιλαμβάνει:

- Δύο Αναλυτές Ενέργειας Multimet 01-96 διαστάσεων 96mm × 96mm της Kael Electronics. Είναι βασισμένοι σε μικροεπεξεργαστή και χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση και μέτρηση ηλεκτρικών παραμέτρων σε τριφασικά συστήματα/κυκλώματα όπως Φασικές Τάσεις V_{L-N} (V), Πολικές Τάσεις V_{L-L} (V), Ρεύματα Γραμμών I_L (A), Συντελεστή Ισχύος $\cos\phi$, Συχνότητα f(Hz), Ενεργό Ισχύ $P(W)$ /Φαινόμενη Ισχύ $S(VA)$ /Άεργο Ισχύ $Q(VAR)$. Για τη λειτουργία των οργάνων απαιτείται τροφοδοσία 220 VAC. Οι συγκεκριμένοι αναλυτές ενέργειας σε σχέση με τα συμβατικά όργανα μέτρησης έχουν αρκετά πλεονεκτήματα, καθώς μειώνεται ο αριθμός του εξοπλισμού μέτρησης και ο χρόνος σύνδεσης και κατά συνέπεια το κόστος κατασκευής. Αντιλαμβάνονται τη σωστή πολικότητα του μετασχηματιστή έντασης ακόμα και όταν οι επαφές k και I είναι συνδεδεμένες αντίθετα. Επίσης, υπάρχει η δυνατότητα ρύθμισης του λόγου αναλογίας των μετασχηματιστών τάσης

και έντασης. Το μενού είναι ιδιαίτερα εύχρηστο, ενώ χρησιμοποιώντας τα κουμπιά κατευθύνσεων έχουμε πρόσβαση στις επιθυμητές παραμέτρους. Οι ενδείξεις του το καθιστούν ικανό να παρακολουθεί τιμές από μεγάλη απόσταση.

Μέτρηση Ηλεκτρικών Παραμέτρων

V_{L-N} (V), V_{L-L} (V), I_L (A), $\cos\phi$, f (Hz), P (W), S (VA), Q (VAR)

Χρησιμοποιώντας τα κουμπιά κατευθύνσεων οι παραπάνω παράμετροι είναι προσβάσιμες βήμα βήμα. Επίσης, κατάλληλα φώτα LED ανάβουν και η τιμή κάθε φάσης εμφανίζεται στην οθόνη την ίδια χρονική στιγμή.

Πρόσβαση στις παραμέτρους

Χρησιμοποιώντας τα κουμπιά κατευθύνσεων μετακινούμαστε επάνω και κάτω στο μενού. Όταν το κουμπί της ρύθμισης (SET) είναι πατημένο για 3 δευτερόλεπτα τότε το μενού της ρύθμισης παραμέτρων είναι προσβάσιμο. Για τη ρύθμιση των παραμέτρων πρώτα πατάμε το κουμπί SET και χρησιμοποιώντας τα κουμπιά κατευθύνσεων αυξομειώνουμε την τιμή της παραμέτρου.

Μετασχηματιστής έντασης: Η πρώτη (βασική) τιμή του μετασχηματιστή έντασης πρέπει να εισαχθεί. Για παράδειγμα αν ο λόγος είναι 500/5A τότε πρέπει να εισαχθεί ο αριθμός 500.

Μετασχηματιστής τάσης: Σε περίπτωση που δεν χρησιμοποιηθεί ο μετασχηματιστής τάσης τότε η παράμετρος θα παραμείνει ως έχει 1.

Αντίληψη της πολικότητας του μετασχηματιστή έντασης (ON-OFF):

- Αν είναι στο on τότε η συσκευή θα καταλάβει την κατεύθυνση του ρεύματος αυτόματα. Αν η συσκευή τοποθετηθεί σε καινούριο πίνακα ή αλλάξει η πολικότητα με κάποιο τρόπο τότε θα καταλάβει την καινούρια κατεύθυνση.
- Αν είναι στο off η συσκευή θα καταλάβει την κατεύθυνση του ρεύματος μία και μόνο φορά. Η θέση off απαιτείται για κάποια φορτία. Αν υπάρξει πρόβλημα στην κατεύθυνση του μετασχηματιστή ρεύματος τότε οι είσοδοι (υποδοχείς) του μετασχηματιστή πρέπει να αλλάξουν.

Σημείωση: Αν δεν πατηθεί κάποιο κουμπί για 4 λεπτά σε αυτό το μενού, τότε η συσκευή κλείνει αυτόματα το μενού προγραμματισμού.

Τεχνικά Χαρακτηριστικά

- Ονομαστική Τάση V_N : 220 VAC
- Περιοχή Λειτουργίας : (0.8-1.1)* V_N
- Συχνότητα : 50/60 Hz
- Ισχύς κατανάλωσης λειτουργίας : < 6 VA
- Μετρούμενη κατανάλωση : < 1 VA
- Εύρος μέτρησης Τάσης : φάση – ουδέτερος 30 – 300 VAC, 45–90 Hz
: φάση – φάση 30 – 600 VAC, 45–90 Hz
- Εύρος μέτρησης έντασης : 50 mA – 6 A AC
- Ελάχιστες τιμές μέτρησης : 50 mA , 30V
- Ευαισθησία μέτρησης : 1% ± ψηφιακά
- Λόγος μετασχηματιστή τάσης : 1....1000
- Λόγος μετασχηματιστεί έντασης : 5/5....10000/5 A
- Ενδείξεις οθόνης : 4 ψηφιακές ενδείξεις LED

- Προστασία συσκευής : IP20
- Προστασία Υποδοχών : IP00
- Θερμοκρασία περιβάλλοντος : $-5^{\circ}\text{C} \dots +50^{\circ}\text{C}$
- Υγρασία : 15%.....95% (χωρίς συμπύκνωση)
- Τύπος σύνδεσης : εμπρόσθια βαθμίδα πίνακα
- Διαστάσεις : 96*96*80 mm



Σχήμα 4-1 Αναλυτές Ενέργειας Multimet 01-96.

- Ένα αναλογικό μονοφασικό αμπερόμετρο εναλλασσόμενου ρεύματος διαστάσεων 96mm×96mm για τη μέτρηση του ρεύματος στο φορτίο με λόγο μετασχηματισμού 1.



Σχήμα 4-2 Αναλογικό αμπερόμετρο Ganz.

- Τέσσερις τριφασικοί περιστροφικοί διακόπτες 25Α για σύνδεση/αποσύνδεση των γεννητριών όπου ο ένας εκ των τεσσάρων είναι ο διακόπτης παραλληλισμού.



Σχήμα 4-3 Τριφασικοί περιστροφικοί διακόπτες 25Α.



Σχήμα 4-4 Διακόπτης παραλληλισμού.

- Έξι μετασχηματιστές έντασης ονομαστικής ισχύος 1.5VA με λόγο μετασχηματισμού 50/5.



Σχήμα4-5 Μετασχηματιστές έντασης.



Σχήμα 4-6 Χαρακτηριστικά μετασχηματιστή έντασης.

- Τρεις λαμπτήρες Φ22 τύπου Led 220V, 230VAC, 20mAγια το συγχρονισμό των γεννητριών(μέθοδος σκοτεινών λαμπτήρων).



Σχήμα 4-7 Λαμπτήρες Φ22 τύπου Led 220V.

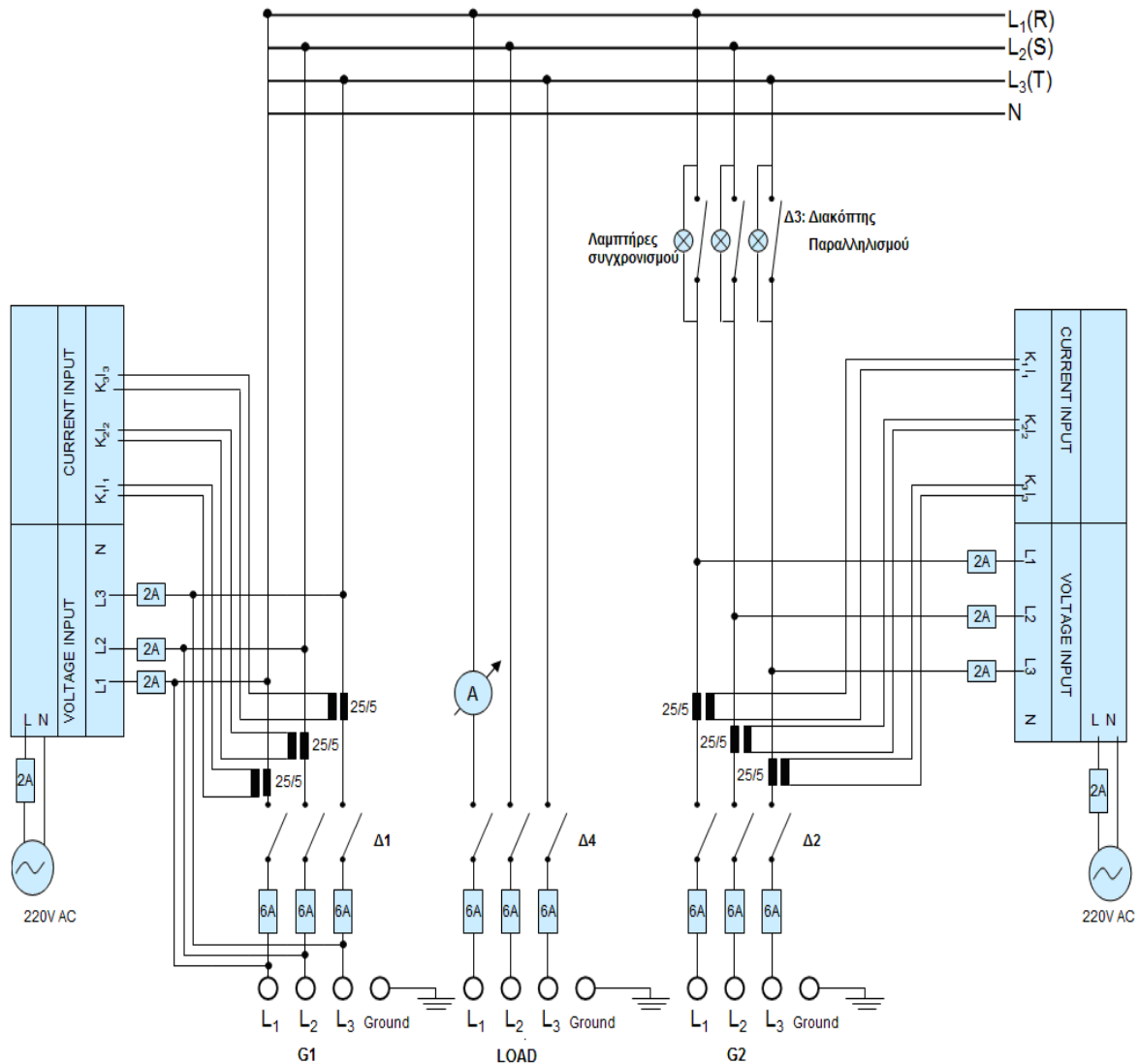
- Εννέα ασφαλειοδιακόπτες ράγας 6A και οκτώ των 2A μάρκας Chint για προστασία από υπερεντάσεις και βραχυκύκλωμα.



Σχήμα 4-8 Ασφαλειοδιακόπτης ράγας

4.2.2 Κυκλωματικό Διάγραμμα

Συνεχίζοντας, παραθέτουμε παρακάτω το κυκλωματικό διάγραμμα της διάταξης μας, ώστε να γίνει πλήρως κατανοητός ο τρόπος λειτουργίας της.



Σχήμα 4-9 Κυκλωματικό διάγραμμα διάταξης παραλληλισμού γεννητριών.

4.3 Φάσεις κατασκευής διάταξης παραλληλισμού γεννητριών

Στο σημείο αυτό θα παρουσιαστεί βήμα προς βήμα η πορεία κατασκευής της διάταξης παραλληλισμού γεννητριών. Συνεπώς, έχουμε:

❖ **Βήμα 1: Σχεδίαση με μολύβι της επιφάνειας της πόρτας του μεταλλικού πίνακα.**

Αρχικά, έγινε η μέτρηση των διαστάσεων της πόρτας του μεταλλικού πίνακα και βάση των διαστάσεων των οργάνων σχεδιάστηκαν οι θέσεις που θα τοποθετηθούν τα όργανα μέτρησης, οι μπόρνες ασφαλείας, οι διακόπτες και οι λαμπτήρες.

❖ **Βήμα 2: Δημιουργία ανοιγμάτων και οπών στο εξωτερικό μέρος του μεταλλικού πίνακα.**

Στη συνέχεια, έγιναν τα ανοίγματα (σύμφωνα με τις διαστάσεις των οργάνων), όπου θα τοποθετηθούν τα όργανα μέτρησης διαστάσεων 96mm×96mm με τη χρήση σέγας. Οι οπές για την τοποθέτηση των λαμπτήρων έγιναν με τη χρήση δράπανου με προσαρμοσμένο στην άκρη του ένα ποτηροτρύπανο διατομής Φ22. Επίσης, οι οπές για την τοποθέτηση των μπορνών ασφαλείας έγιναν με τη χρήση δράπανου με προσαρμοσμένο στην άκρη του τρυπάνι διατομής Φ12. Ομοίως και για τους διακόπτες. Στις παραπάνω εργασίες μετά τη δημιουργία των οπών έγινε χρήση διευρυντή(κωνικού σχήματος) για φρεζάρισμα των οπών(περιμετρική λείανση των οπών), ώστε να αποφευχθούν μικροτραυματισμού και κοψίματα.

❖ **Βήμα 3: Εργασίες στο εσωτερικό του μεταλλικού πίνακα**

Στο εσωτερικό του μεταλλικού πίνακα τοποθετήθηκαν ράγες για τη στήριξη των ασφαλειοδιακοπών και πλαστικά διάτρητα κανάλια καλωδίων για την τοποθέτηση όλων των καλωδιώσεων των οργάνων της κατασκευής.

❖ **Βήμα 4: Τοποθέτηση των οργάνων στο μεταλλικό πίνακα**

Έχοντας ολοκληρώσει τις παραπάνω μηχανουργικές εργασίες είμαστε σε θέση να τοποθετήσουμε τα όργανα μέτρησης, τους διακόπτες, τους λαμπτήρες και τις μπόρνες ασφαλείας στις ακριβείς τους θέσεις.

❖ **Βήμα 5: Σύνδεση των οργάνων**

Η σύνδεση των οργάνων έγινε με βάση το κυκλωματικό διάγραμμα που παρουσιάστηκε στην ενότητα 4.2.2.

Η επιλογή των καλωδίων έγινε με κριτήριο την εξασφάλιση επαρκούς μηχανικής αντοχής των αγωγών, χωρίς κάποιο υπολογισμό. Έτσι, σύμφωνα με τους κανονισμούς του Ελληνικού Προτύπου ΕΛΟΤ HD 384 η διατομή των καλωδίων που χρησιμοποιήθηκαν είναι 2.5mm² για τη σύνδεση των γεννητριών , 1 mm² για τη σύνδεση των φάσεων των αναλυτών ενέργειας και την τροφοδοσία τους και 0.75 mm² για τη σύνδεση των αναλυτών ενέργειας με τους μετασχηματιστές έντασης. Η σύνδεση μεταξύ καλωδίων και μπορνών ασφαλείας έγινε με ακροδέκτες που ονομάζονται κος με χρήση πένσας ακροδεκτών. Για τη λειτουργικότητα και την ασφάλεια του χρήστη έγινε ομαδοποίηση των καλωδίων χρησιμοποιώντας σπιράλ.

Από τα τεχνικά χαρακτηριστικά των μετασχηματιστών έντασης παρατηρούμε ότι έχουν λόγο 50/5, παρατηρούμε επίσης, ότι στο κυκλωματικό διάγραμμα οι μετασχηματιστές έντασης έχουν λόγο μετασχηματισμού 25/5. Αυτό επιτεύχθηκε περνώντας το καλώδιο δύο φορές μέσα από τα πηνία του μετασχηματιστή για μεγαλύτερη ακρίβεια στη μέτρηση.

Επειδή οι λαμπτήρες συγχρονισμού δεν είναι πυρακτώσεως 400V, αλλά τύπου led 220V, πρέπει να συνδεθεί για την αποφυγή υπέρτασης και κατά συνέπεια την καταστροφή τους μία ωμική αντίσταση σε σειρά με κάθε λαμπτήρα. Ο τρόπος υπολογισμού της ωμικής αντίστασης είναι ο παρακάτω:

Αν στο λαμπτήρα εφαρμοστεί τάση 230V τότε θα διαρρέεται από ρεύμα 20mA. Όμως, κατά τον παραλληλισμό η τάση που θα εφαρμοστεί στους λαμπτήρες είναι 400V.

Άρα,

$$400\text{V}-230\text{V}=170\text{V},$$

Επομένως

$$R = \frac{V}{I} = \frac{170}{20 \times 10^{-3}} = 8500\Omega$$

και

$$P = I^2 \times R = 0.02^2 \times 8500 = 3.4\text{W}$$

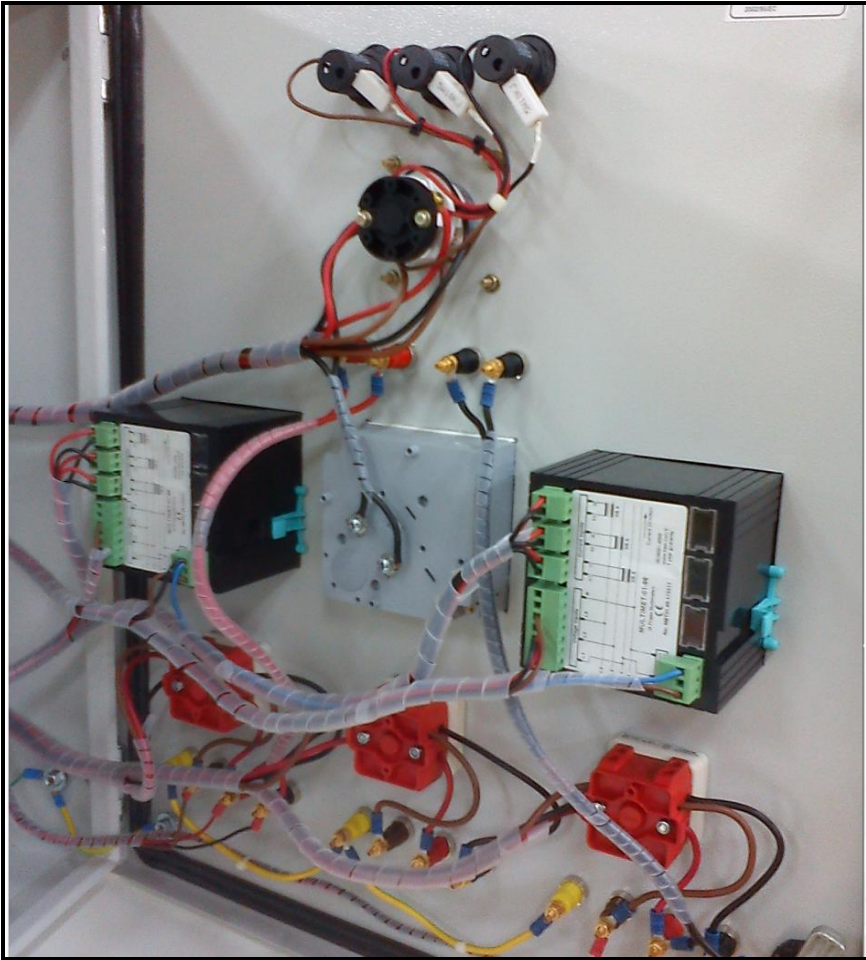
Όμως, κατά τη διάρκεια του πειράματος παρατηρήθηκε ότι οι αντιστάσεις ζεστάθηκαν πάρα πολύ για μικρό χρονικό διάστημα κι έτσι επιλέχθηκε μία επόμενη τυποποίηση ωμικών αντιστάσεων, δηλαδή 15KΩ 5W. Με τη χρήση λαμπτήρων led έχουμε ένα μειονέκτημα, οι λαμπτήρες αναβοσβήνουν πολύ πιο γρήγορα από τους πυρακτώσεως, όπως επίσης και γρηγορότερες μεταβολές της βελόνας του συγχρονισκοπίου με αποτέλεσμα τη δυσκολότερη παρατήρηση της διαδοχής των φάσεων.

Η συγκεκριμένη κατασκευή προορίζεται για εκπαιδευτική χρήση. Σε περίπτωση που δεν έχουμε διαδοχή των φάσεων οι σπουδαστές θα αντιμεταθέσουν χειροκίνητα τις φάσεις της μιας γεννήτριας. Σε περίπτωση που η κατασκευή προοριζόταν για βιομηχανική χρήση, τότε η τοποθέτηση αντιμεταγωγικού διακόπτη θα κρινόταν επιβεβλημένη, όπως επίσης και η χρήση τριφασικού φως 3P+N για σύνδεση με το δίκτυο.

4.4 Φωτογραφίες κατασκευής



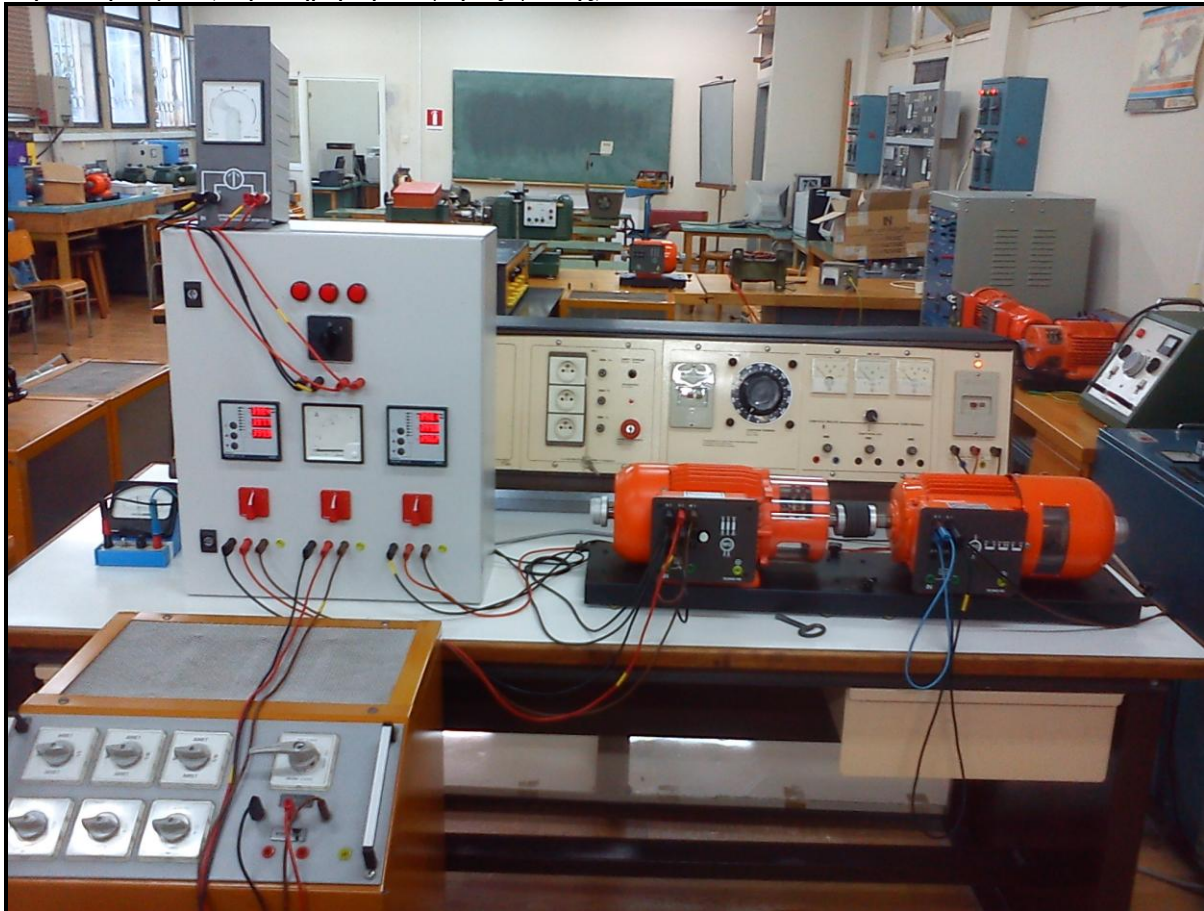




4.5 Λειτουργία διάταξης

4.5.1 Τροφοδοσία γεννήτριας-σύνδεση συγχροσκοπίου

Αρχικά, δίνουμε τροφοδοσία 220 VAC στους Αναλυτές Ενέργειας και συνδέουμε τις μπόρνες του διακόπτη Δ1 με το τριφασικό τύλιγμα της σύγχρονης γεννήτριας. Στις μπόρνες του διακόπτη Δ2 και Δ4 συνδέουμε τριφασικό δίκτυο και ένα τριφασικό ωμικό φορτίο αντίστοιχα τα οποία θα χρησιμοποιήσουμε στη συνέχεια. Εν συνεχεία, τροφοδοτούμε τον κινητήρα παράλληλης διέγερσης και τη διέγερση της σύγχρονης γεννήτριας με συνεχή τάση. Πλέον η σύγχρονη μηχανή βρίσκεται σε λειτουργία και τη ρυθμίζουμε μέσω του ποτενσιόμετρου της συνεχούς τάσεως τροφοδοσίας του κινητήρα στις ονομαστικές της στροφές 1500 rpm. Συνδέουμε ένα συγχροσκοπίο στις μπόρνες κάτω από το διακόπτη παραλληλισμού(παρατήρηση διαφοράς φάσης).



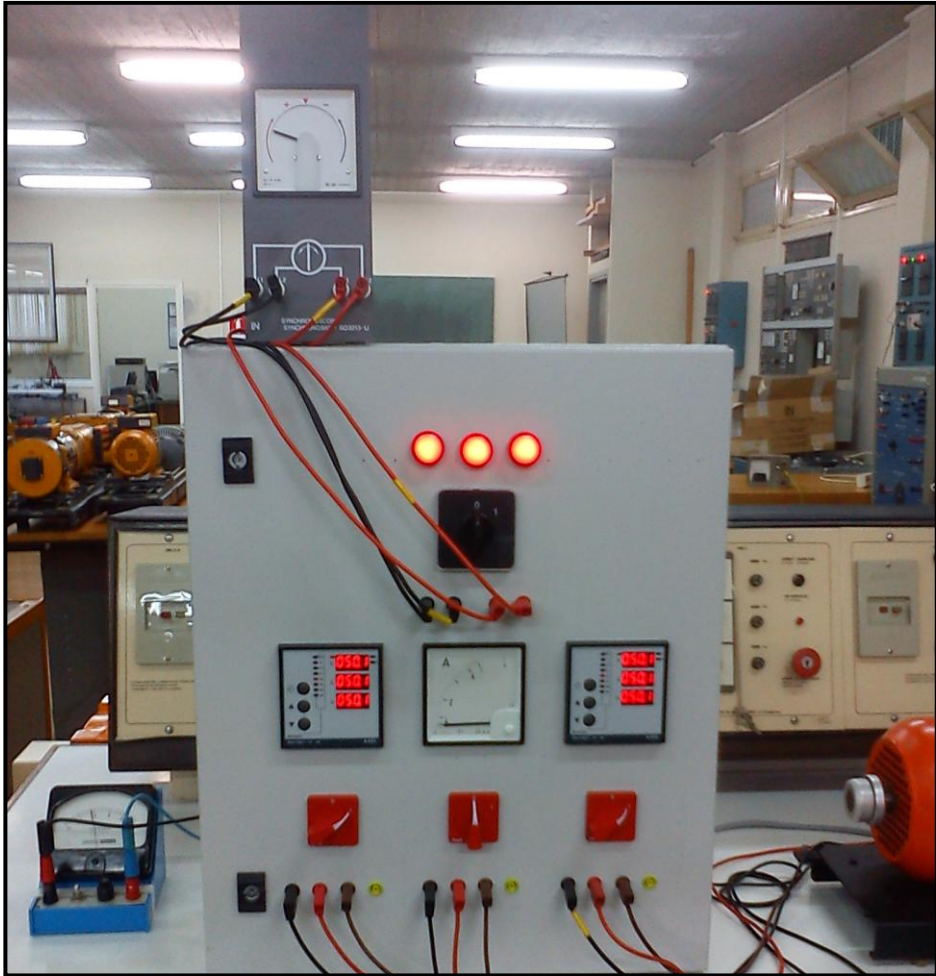
4.5.2 Παραλληλισμός σύγχρονης γεννήτριας με το δίκτυο

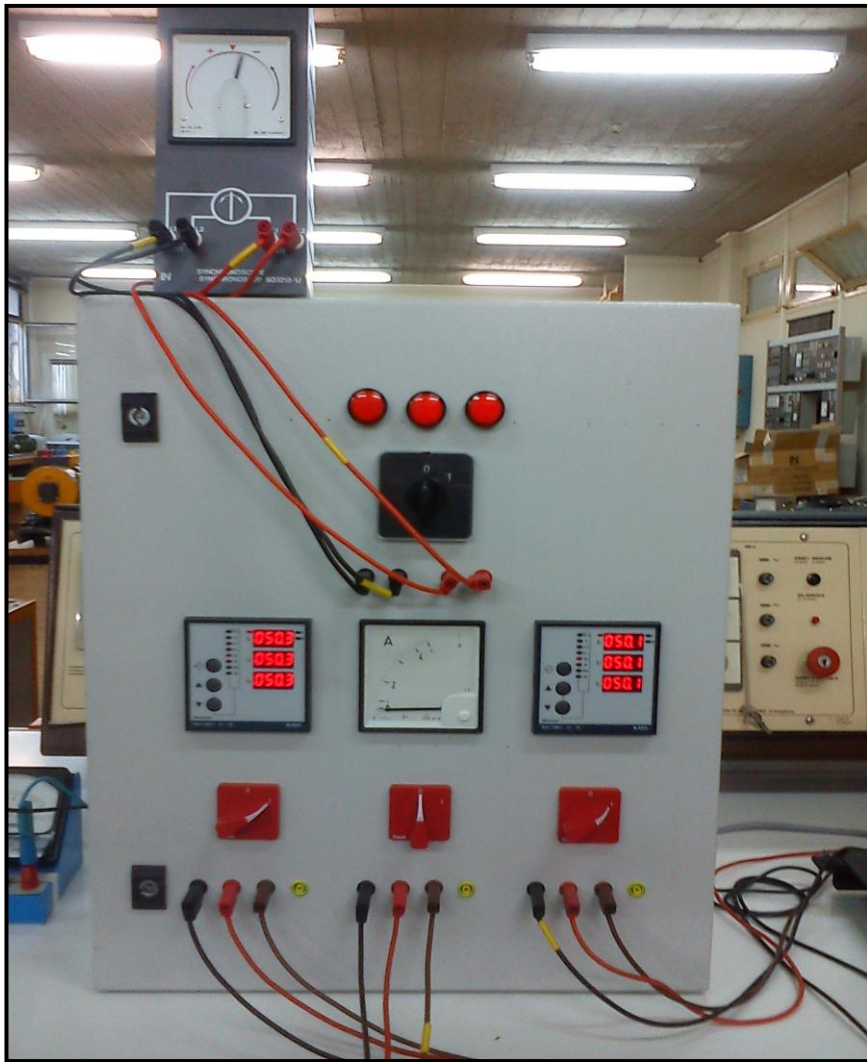
Έχοντας πραγματοποιήσει τις παραπάνω συνδέσεις, παρατηρούμε ότι τάσεις και οι συχνότητες δικτύου-γεννήτριας δεν είναι ίσες. Για να επιτευχθεί ο παραλληλισμός πρέπει οι πολικές τάσεις(μέτρο/φάση) και οι συχνότητες να είναι ίσες και οι λαμπτήρες συγχρονισμού συνεχώς σβηστοί. Γι αυτό και κάνουμε τις παρακάτω ρυθμίσεις:

- Ρυθμίζουμε τη συχνότητα της γεννήτριας, μεταβάλλοντας τις στροφές της σύγχρονης μηχανής, μέσω του ποτενσιόμετρου της συνεχούς τάσεως τροφοδοσίας του σύγχρονου κινητήρα παράλληλης διέγερσης. Επίσης, παράλληλα
- Ρυθμίζουμε την πολική τάση της γεννήτριας, μεταβάλλοντας τη διέγερση της μέσω του ποτενσιόμετρου συνεχούς τάσης(μεταβάλλοντας το ρεύμα διέγερσης).

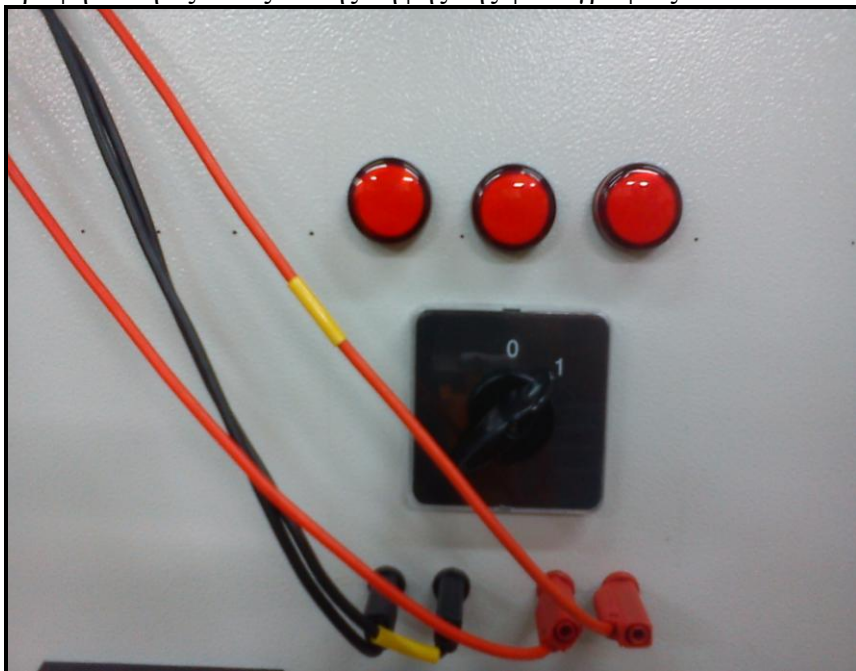


Κλείνουμε τους διακόπτες Δ1 και Δ4 θέτοντας τους στη θέση 1 και παρατηρούμε ότι οι λαμπτήρες συγχρονισμού έχουν έντονη φωτεινότητα. Η βελόνα του συγχροσκοπίου μεταβάλλεται αργά, επομένως μπορούμε να παρατηρήσουμε τη διαφορά φάσης των τάσεων γεννήτριας-δικτύου και να κλείσουμε το διακόπτη παραλληλισμού όταν η βελόνα βρίσκεται κατακόρυφα στραμμένη προς τα πάνω(λαμπτήρες σβηστοί).





Οι λαμπτήρες δεν είναι τελείως σβηστοί και η βελόνα του συγχρονισκόπιου δεν είναι στην ακριβή κατακόρυφη θέση εξαιτίας κακής λήψης της φωτογραφίας.

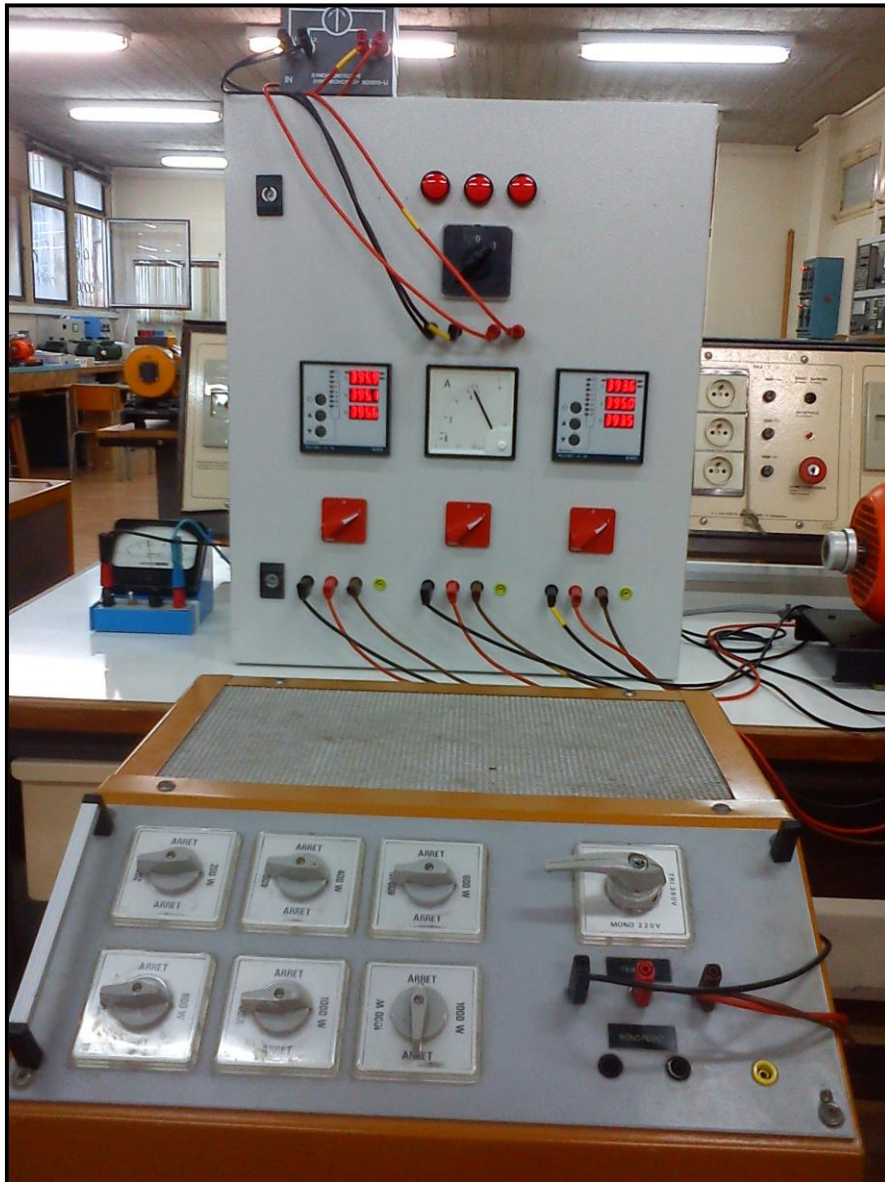


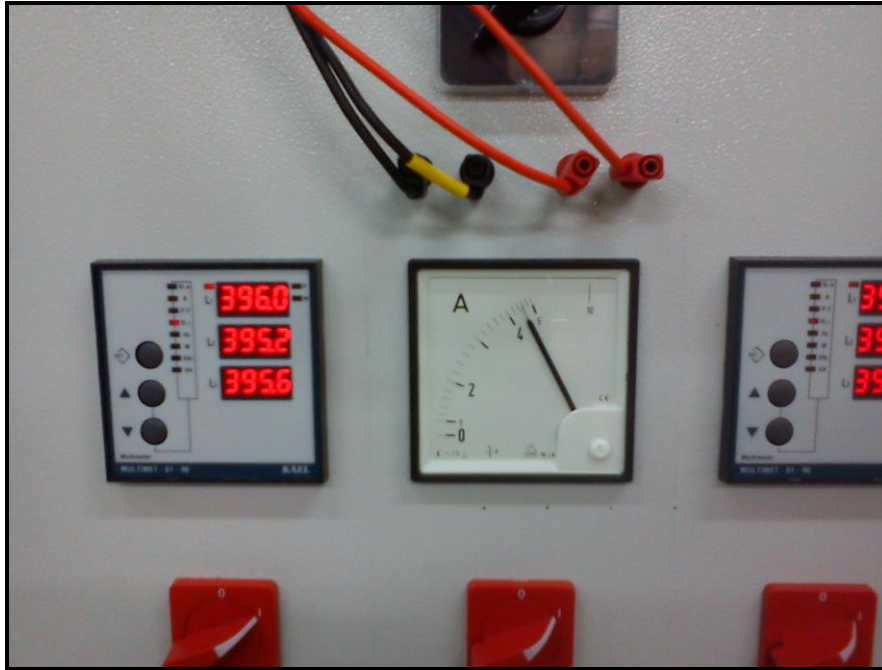
Η γεννήτρια μας είναι πλέον παραλληλισμένη με το δίκτυο.

4.5.3 Τροφοδότηση φορτίου από γεννήτρια

4.5.3.1 Τροφοδότηση φορτίου από γεννήτρια παραλληλισμένη με το δίκτυο

Έχοντας παραλληλισμένη τη γεννήτρια με το δίκτυο είμαστε σε θέση να τροφοδοτήσουμε ένα ωμικό φορτίο κλείνοντας το διακόπτη Δ4. Παρατηρούμε ότι το ρεύμα που απορροφά το φορτίο είναι σχεδόν 5A.



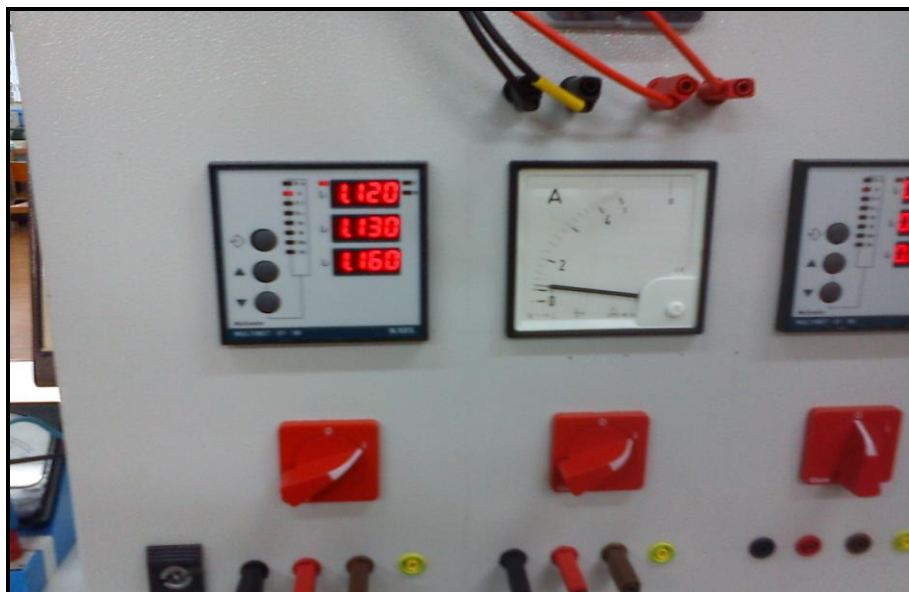


Για να διακόψουμε την παράλληλη λειτουργία με το δίκτυο ακολουθούμε την παρακάτω διαδικασία:

Μειώνουμε τη συνεχή τάση τροφοδοσίας του κινητήρα παράλληλης διέγερσης, όπως επίσης και την συνεχή τάση της διέγερσης της γεννήτριας μέσω ποτενσιόμετρων, η σύγχρονη μηχανή πλέον λειτουργεί ως σύγχρονος κινητήρας, δηλ. απορροφά ισχύ από το δίκτυο. Ανοίγουμε όλους τους διακόπτες(θέτοντας τους στη θέση 0) και αποσυνδέουμε το δίκτυο 3P+N.

4.5.3.2 Τροφοδότηση φορτίου από αυτόνομη γεννήτρια

Για να τροφοδοτήσουμε το τριφασικό φορτίο εκ νέου μόνο από τη γεννήτρια, τροφοδοτούμε τον κινητήρα παράλληλης διέγερσης και τη διέγερση της σύγχρονης γεννήτριας με συνεχή τάση από τα τροφοδοτικά, μέχρι να αποκτήσει η σύγχρονη μηχανή τον ονομαστικό αριθμό στροφών. Εν συνεχεία, κλείνουμε τους διακόπτες Δ1 και Δ4 και η γεννήτρια πλέον τροφοδοτεί αυτόνομα το ωμικό φορτίο όπως φαίνεται παρακάτω.





4.5.4 Παραλληλισμός δύο όμοιων γεννητριών

Τροφοδοτούμε με συνεχή τάση τους δύο κινητήρες παράλληλης διέγερσης και τις διεγέρσεις των δύο σύγχρονων γεννητριών, έχοντας συνδέσει τα τυλίγματα των στατήρων των γεννητριών G1 και G2 στις μπόρνες των διακοπών Δ1 και Δ2 αντίστοιχα. Οι δύο γεννήτριες λειτουργούν στις ονομαστικές τους στροφές. Η γεννήτρια προς παραλληλισμό είναι η G2. Παρατηρούμε τις πολικές τάσεις των γεννητριών και τις συχνότητες τους. Ρυθμίζουμε τη συνεχή τάση διέγερσης(ρεύμα διέγερσης) της G2 μέσω ποτενσιόμετρου ώστε το μέτρο της πολικής της τάσης να είναι ίσο με το μέτρο της πολικής τάσης της G1. Στη συνέχεια συγκρίνουμε τη διαδοχή των φάσεων των δύο γεννητριών.

Κλείνουμε τους διακόπτες Δ1 και Δ2 και οι λαμπτήρες παρουσιάζουν κάποια φωτεινότητα. Αντιμεταθέτουμε τις φάσεις της G2 έτσι ώστε οι λαμπτήρες να αναβοσβήνουν ταυτόχρονα(ίδια διαδοχή φάσεων). Επαναλαμβάνουμε ότι η χρονική στιγμή κατά την οποία μπορεί να επιτευχθεί ο παραλληλισμός των γεννητριών είναι όταν οι λαμπτήρες είναι σβηστοί και η βελόνα του συγχρονοσκόπιου είναι κατακόρυφα προς τα πάνω. Στη συνέχεια παρατηρούμε ότι οι συχνότητες των δύο γεννητριών είναι περίπου ίσες. Ρυθμίζουμε τη συχνότητα της G2 ώστε να είναι λίγο μεγαλύτερη από τη συχνότητα της G1, αυξάνοντας τη συνεχή τάση τροφοδοσίας του δεύτερου κινητήρα. Παρατηρούμε ότι η βελόνα του συγχρονοσκόπιου περιστρέφεται αργά και ωρολογιακά(αφού $f_{G2} > f_{G1}$), επομένως κλείνουμε το διακόπτη παραλληλισμού Δ3 θέτοντας τον στη θέση 1 και οι δύο γεννήτριες λειτουργούν παράλληλα.



Βιβλιογραφία

1. Chapman, S., J., 2003, Ηλεκτρικές Μηχανές, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη
2. Σαφάκας Αθανάσιος, 2006, Ηλεκτρικές μηχανές Β, Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών.
3. Sted Nashar, 1997, Schaum's Outline of Electric Machines & Electromechanics.

Ευχαριστίες

Για την εκπόνηση της παρούσας πτυχιακής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω καταρχήν τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Βασίλειο Νεκτάριο Χαραλαμπάκο, ο οποίος μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ με μια τόσο ενδιαφέρουσα εκπαιδευτική κατασκευή. Ακόμα ιδιαίτερες ευχαριστίες ανήκουν στον κ. Παναγιώτη Ράπτη για την καθοδήγηση του και τις χρήσιμες συμβουλές του.

Καθοριστική και πολύτιμη αρωγή παρείχε κατά τη διάρκεια πραγματοποίησης αυτής της πτυχιακής ο κ. Κωνσταντίνος Πέτρου, μέλος ΕΤΕΠ, τόσο στην κατασκευή όσο και στη επιδιόρθωση διάφορων λαθών της διάταξης.

Τέλος, δεν θα μπορούσα να παραλείψω να ευχαριστήσω την οικογένεια και τους φίλους μου για την διαρκή στήριξη τους κατά τη διάρκεια των προπτυχιακών σπουδών μου.