

ΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ Ε.Ρ.

ΤΡΙΦΑΣΙΚΕΣ ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ

ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΙ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗΡΕΣ

Το απαιτούμενο μέγεθος της ηλεκτρικής ενέργειας στο πλοίο εξαρτάται από το είδος του πλοίου και τις καθημερινές λειτουργικές ανάγκες του. Για να εξασφαλιστεί η ενέργεια αυτή, δύο ή περισσότερες γεννήτριες λειτουργούν παράλληλα, υποστηριζόμενες από μία emergency γεννήτρια και emergency συστοιχίες συσσωρευτών. Η ισχύς των κυρίων γεννητριών (δηλαδή αυτών που τροφοδοτούν το δίκτυο) κυμαίνεται τυπικά μεταξύ 100KW και 2MW στα 440V,60Hz και κάποιες φορές στα 380V, 50Hz. Καθώς η απαιτούμενη ηλεκτρική ισχύς μεγαλώνει, αναγκαστικά μεγαλώνει και τάση εξόδου των γεννητριών και μπορούμε να έχουμε 3,3KV, 6,6KV, ακόμα και 11KV. Οι γεννήτριες στρέφονται από μηχανές ντίζελ ή στροβίλους, οι οποίες στο εξής θα ονομάζονται κινητήριες μηχανές (Κ.Μ.) των γεννητριών. Η γεννήτρια emergency είναι μεταξύ 20KW και 200KW στα 440V ή 220V, στρέφεται από μηχανή ντίζελ και είναι εφοδιασμένη με αυτόματο σύστημα εκκίνησης. Οι συσσωρευτές έχουν τάση εξόδου συνήθως 24V και παρέχουν ικανοποιητική ισχύ για τα απαραίτητα συστήματα alarm, επικοινωνιών και ασφάλειας, μαζί με κάποιο απαραίτητο φωτισμό.

Μέρη Μηχανής - Αρχές Λειτουργίας

Κάθε γεννήτρια έχει ένα σταθερό τμήμα και ένα στρεφόμενο από την κινητήρια μηχανή της τμήμα. Το σταθερό τμήμα λέγεται στάτης και το στρεφόμενο δρομέας ή ρότορας. Λειτουργικά τώρα έχει ένα τριφασικό τύλιγμα και ένα μαγνητικό πεδίο με ζεύγη μαγνητικών πόλων που τροφοδοτούνται από Σ.Ρ. Το τριφασικό τύλιγμα μπορεί να είναι τοποθετημένο στον στάτη και το μαγνητικό της πεδίο στον ρότορα, όπως στην περίπτωση των κυρίως γεννητριών. Μπορεί όμως να είναι και αντίστροφα, δηλαδή το μαγνητικό πεδίο στον στάτη και το τριφασικό τύλιγμα στον ρότορα, όπως στην περίπτωση των διεγερτριών.

Και στις δύο περιπτώσεις ισχύουν τα εξής:

- Εφόσον υπάρχει σχετική κίνηση μεταξύ τριφασικού τυλίγματος και μαγνητικού πεδίου, στα άκρα κάθε φάσης του τριφασικού τυλίγματος παράγεται τάση εξ επαγωγής. Για να παραχθεί τάση εξ επαγωγής, πρέπει να εξασφαλίζονται συνεχώς και η (περιστροφική) κίνηση και η τροφοδοσία του μαγνητικού πεδίου.
- Το τριφασικό τύλιγμα που παράγεται η τάση της γεννήτριας λέγεται κυρίως τύλιγμα ή τύλιγμα οπλισμού. Το μαγνητικό πεδίο που τροφοδοτείται με Σ.Ρ. λέγεται διέγερση της μηχανής.

- Οι γεννήτριες Ε.Ρ. είναι σύγχρονες γεννήτριες, δηλαδή η συχνότητα f της παραγόμενης τάσης συγχρονίζεται με τις στροφές ανά λεπτό n της Κ.Μ.:

$$f = \frac{np}{120}, \quad \text{όπου } p \text{ ο αριθμός των μαγνητικών πόλων διέγερσης.}$$

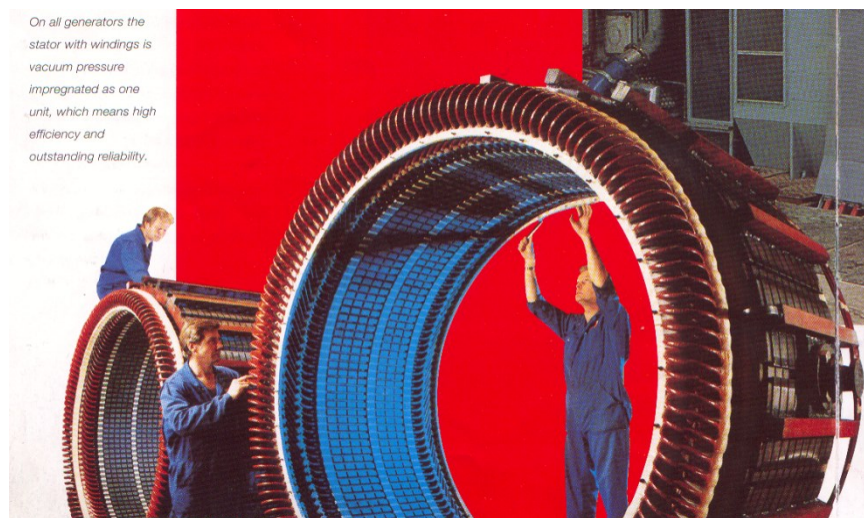
Έτσι, εφ' όσον οι στροφές της κινητήριας μηχανής διατηρούνται σταθερές, η συχνότητα διατηρείται και αυτή σταθερή. Επίσης στην παραπάνω σχέση παρατηρούμε ότι όσο χαμηλότερες είναι οι στροφές της Κ.Μ., τόσο περισσότεροι είναι οι μαγνητικοί πόλοι. Π.χ. για $f=60\text{Hz}$, εάν $n=720\text{rpm}$ τότε $p=10$ και εάν $n=3600\text{rpm}$ τότε $p=2$.

- Το μέγεθος της τάσης εξ επαγωγής στο εσωτερικό της μηχανής ανά φάση εξαρτάται από την ισχύ του μαγνητικού πεδίου και την ταχύτητα περιστροφής του στρεφόμενου μέρους: E ανάλογη των Φ (μαγνητική ροή) και n , δηλαδή $E = K\Phi n$. Η σταθερή ταχύτητα περιστροφής όμως μας επιτρέπει να ελέγχουμε το μέγεθος της E από το μέγεθος της Φ , δηλαδή από το μέγεθος του ρεύματος διέγερσης.
- Οι τριφασικές σύγχρονες γεννήτριες λέγονται και τριφασικοί εναλλακτήρες.

Κατασκευή κυρίως Συγχρόνων Γεννητριών

Στις κυρίως γεννήτριες το τύλιγμα οπλισμού είναι στον στάτη και το τύλιγμα διέγερσης στον δρομέα.

Ο στάτης είναι κυλινδρικός πυρήνας και αποτελείται από λεπτά χαλύβδινα ελάσματα. Το τριφασικό τύλιγμα να είναι τοποθετημένο σε αυλάκια της εσωτερικής περιφέρειάς του και μπορεί να συνδεθεί κατά Y ή Δ .



Στον δρομέα βρίσκεται η διέγερση της μηχανής. Υπάρχουν δύο κατασκευαστικοί τύποι δρομέα: α) με προεξέχοντες ή ορατούς ή έκτυπους πόλους και β) κυλινδρικός δρομέας. Στον (α) τύπο οι πυρήνες των μαγνητικών πόλων ανυψώνονται πάνω από την επιφάνεια του δρομέα και χρησιμοποιείται όταν οι στροφές της Κ.Μ. είναι μεσαίες και χαμηλές (1800rpm και χαμηλότερες), δηλαδή οι μαγνητικοί πόλοι είναι περισσότεροι από 4. Στον (β) τύπο το τύλιγμα διέγερσης τοποθετείται σε αυλάκια πάνω στην επιφάνεια του δρομέα και χρησιμοποιείται στις μηχανές μεγάλης ισχύος με πολλές στροφές και λίγους μαγνητικούς πόλους.

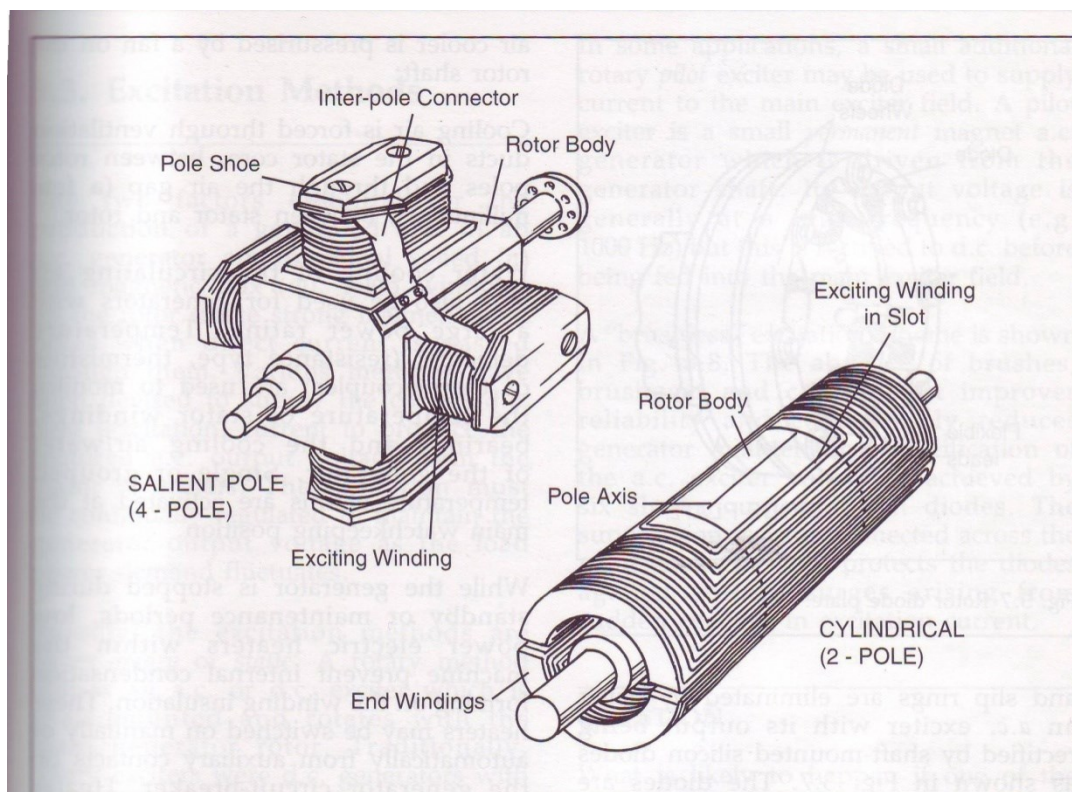


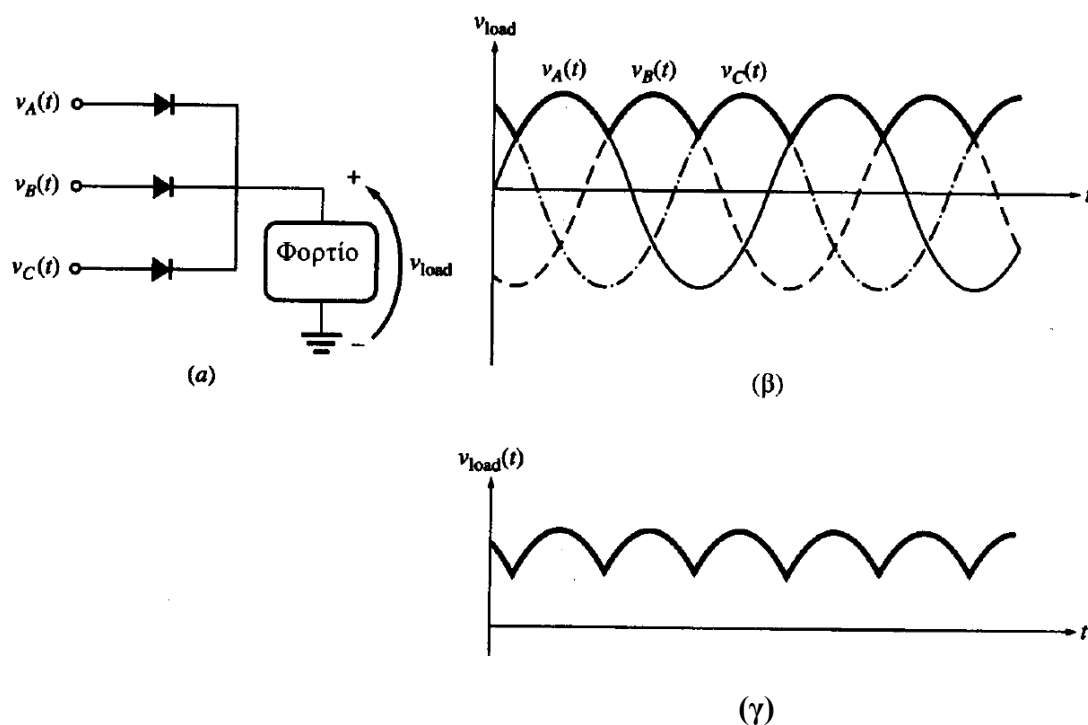
Fig. 3.6 Generator rotors, salient and cylindrical construction.

Όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα οι μηχανές με προεξέχοντες πόλους έχουν μεγάλη διάμετρο και οι μηχανές με κυλινδρικό δρομέα έχουν μεγάλο μήκος δρομέα. Και στους δύο κατασκευαστικούς τύπους το τύλιγμα των διαδοχικών πόλων συνδέεται σε σειρά, έτσι ώστε να αποτελεί ένα ενιαίο τύλιγμα με δύο άκρα, το οποίο τροφοδοτείται με Σ.Ρ., έτσι ώστε να σχηματίζονται βόρειοι και νότιοι πόλοι εναλλάξ.

Τρόπος Τροφοδοσίας της Διέγερσης

Το συνεχές ρεύμα που απαιτείται για την τροφοδοσία της διέγερσης προέρχεται από διεγέρτρια μηχανή. Αυτή είναι γεννήτρια Ε.Ρ., η τάση εξόδου της μετατρέπεται σε συνεχή τάση και έτσι τροφοδοτείται η διέγερση. Παρακάτω παραθέτονται οι βασικές αρχές λειτουργίας των σχετιζόμενων ανορθωτικών συστημάτων, που μετατρέπουν την εναλλασσόμενη τάση εξόδου της διεγέρτριας μηχανής σε συνεχή τάση.

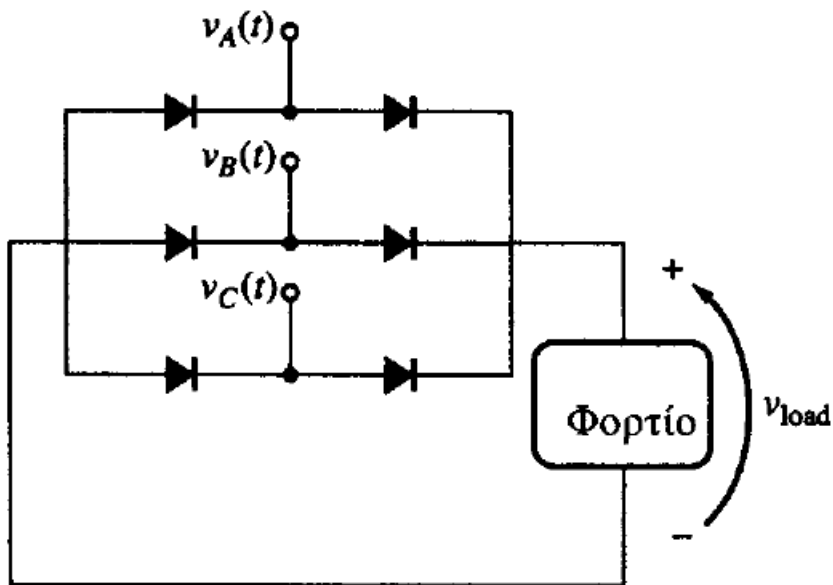
Τριφασικός Ημιανορθωτής



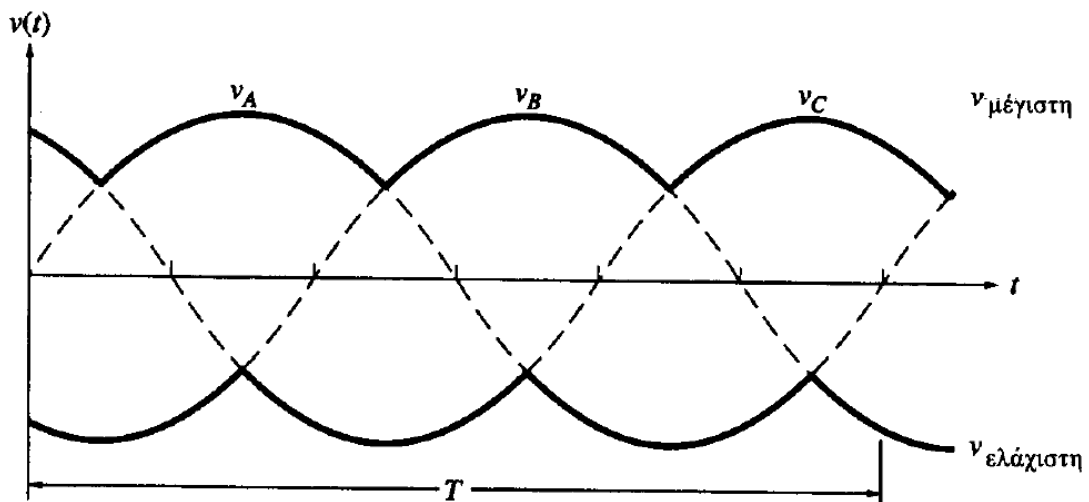
(α) κύκλωμα, (β) η τριφασική τάση εισόδου στο κύκλωμα ημιανόρθωσης και (γ) η τάση στην έξοδο του κυκλώματος, στο φορτίο.

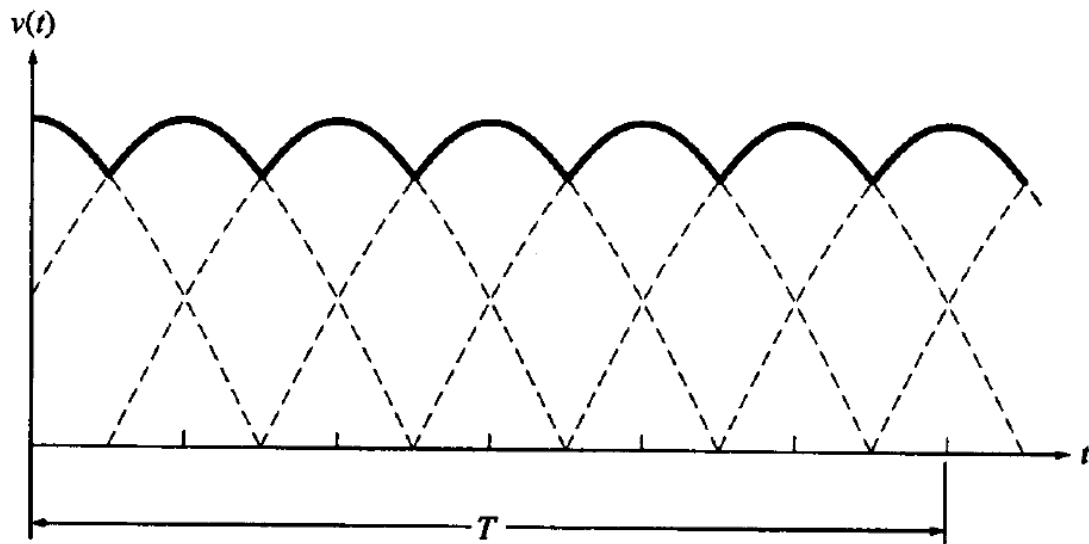
Κάθε χρονική στιγμή άγει η δίοδος με τη μεγαλύτερη τάση στα άκρα της, ενώ οι άλλες δύο είναι πολωμένες ανάστροφα. Η τάση εξόδου του ημιανορθωτή είναι η φασική τάση του δικτύου και είναι ίση, κάθε χρονική στιγμή, με τη μεγαλύτερη από τις τρεις τάσεις εισόδου τη συγκεκριμένη στιγμή. Αυτή η τάση εξόδου είναι περισσότερο ομαλή από την έξοδο της μονοφασικής γέφυρας πλήρους ανόρθωσης.

Πλήρης Τριφασικός Ανορθωτής



Αυτό το είδος κυκλώματος είναι δυνατόν να χωριστεί σε δύο ξεχωριστά τμήματα. Το ένα τμήμα (οι τρεις δίοδοι δεξιά), είναι ακριβώς όμοιο με τον τριφασικό ημιανορθωτή και συνδέει, κάθε χρονική στιγμή, τη μεγαλύτερη σε τιμή φάση με το ένα άκρο του φορτίου (το επάνω άκρο στο σχήμα). Το άλλο μέρος (οι τρεις δίοδοι αριστερά) προσανατολίζονται με τις ανόδους τους προς το φορτίο και τις καθόδους προς την τροφοδοσία. Έτσι, κάθε χρονική στιγμή, η μικρότερη από τις τάσεις εισόδου συνδέεται με την άλλο άκρο του φορτίου (το κάτω άκρο στο σχήμα). Κάθε χρονική στιγμή άγουν δύο δίοδοι και η τάση στα άκρα του φορτίου είναι η πολική τάση του δικτύου. Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται οι υψηλότερες και οι χαμηλότερες τιμές της τάσης στον πλήρη τριφασικό ανορθωτή.





Η τελική τάση εξόδου.

Θυρίστορ

Στις γέφυρες ισχύος από τις οποίες επιθυμούμε να πάρουμε ελεγχόμενη έξοδο χρησιμοποιούμε θυρίστορ, όπως για παράδειγμα είναι οι ελεγχόμενοι ανορθωτές πυριτίου (SCR). Αυτοί έχουν n και p περιοχές όπως οι δίοδοι και τα τρανζίστορ, αλλά έχουν τέσσερις περιοχές, δύο p και δύο n , όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:

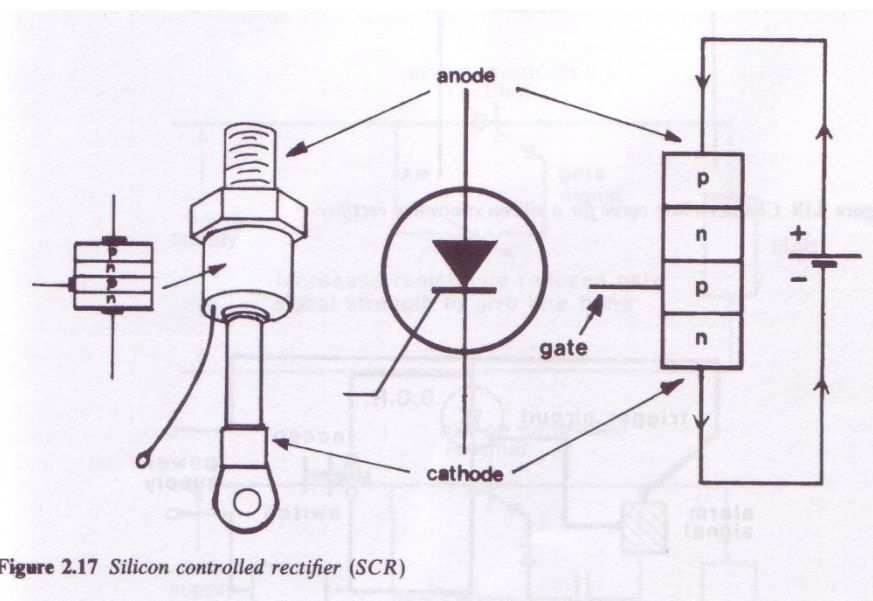
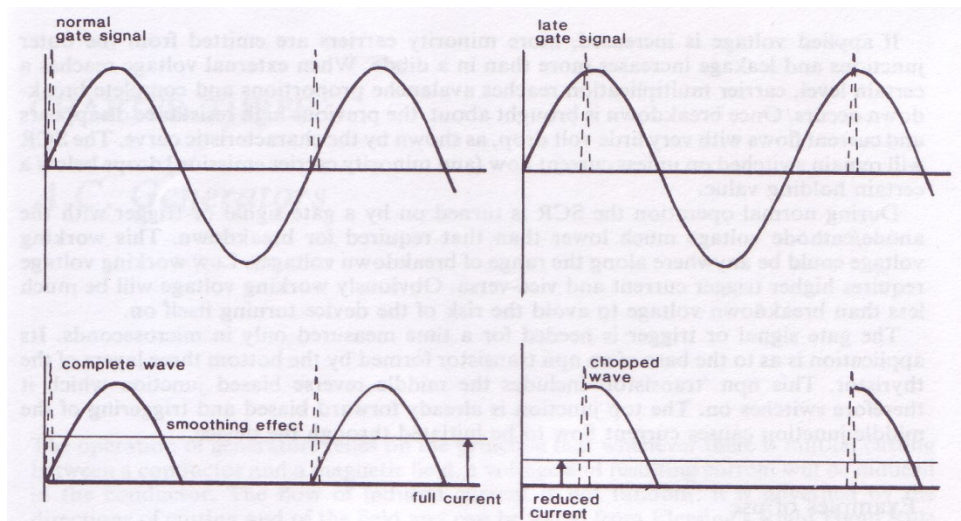


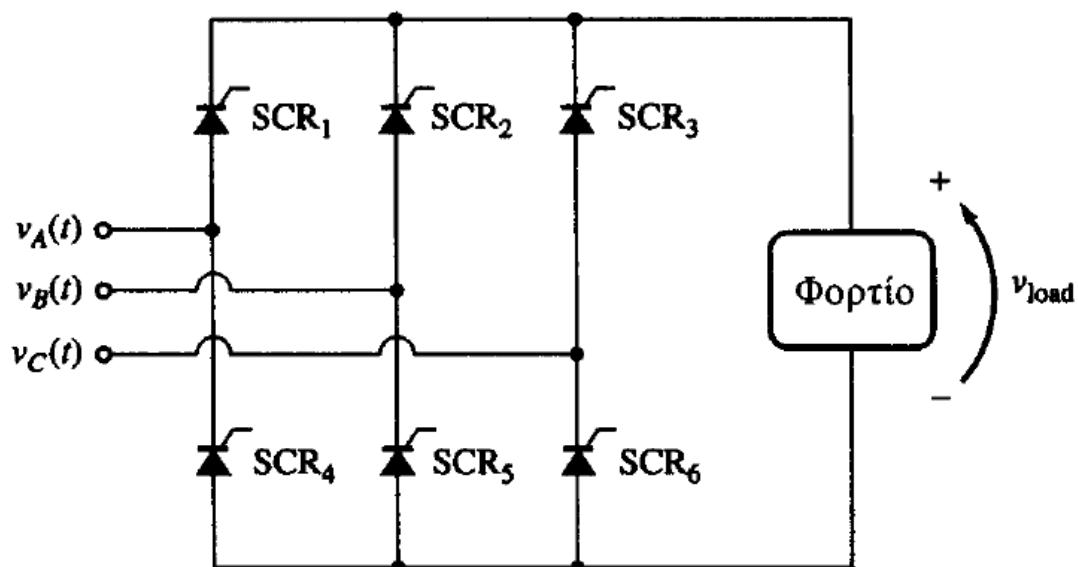
Figure 2.17 Silicon controlled rectifier (SCR)

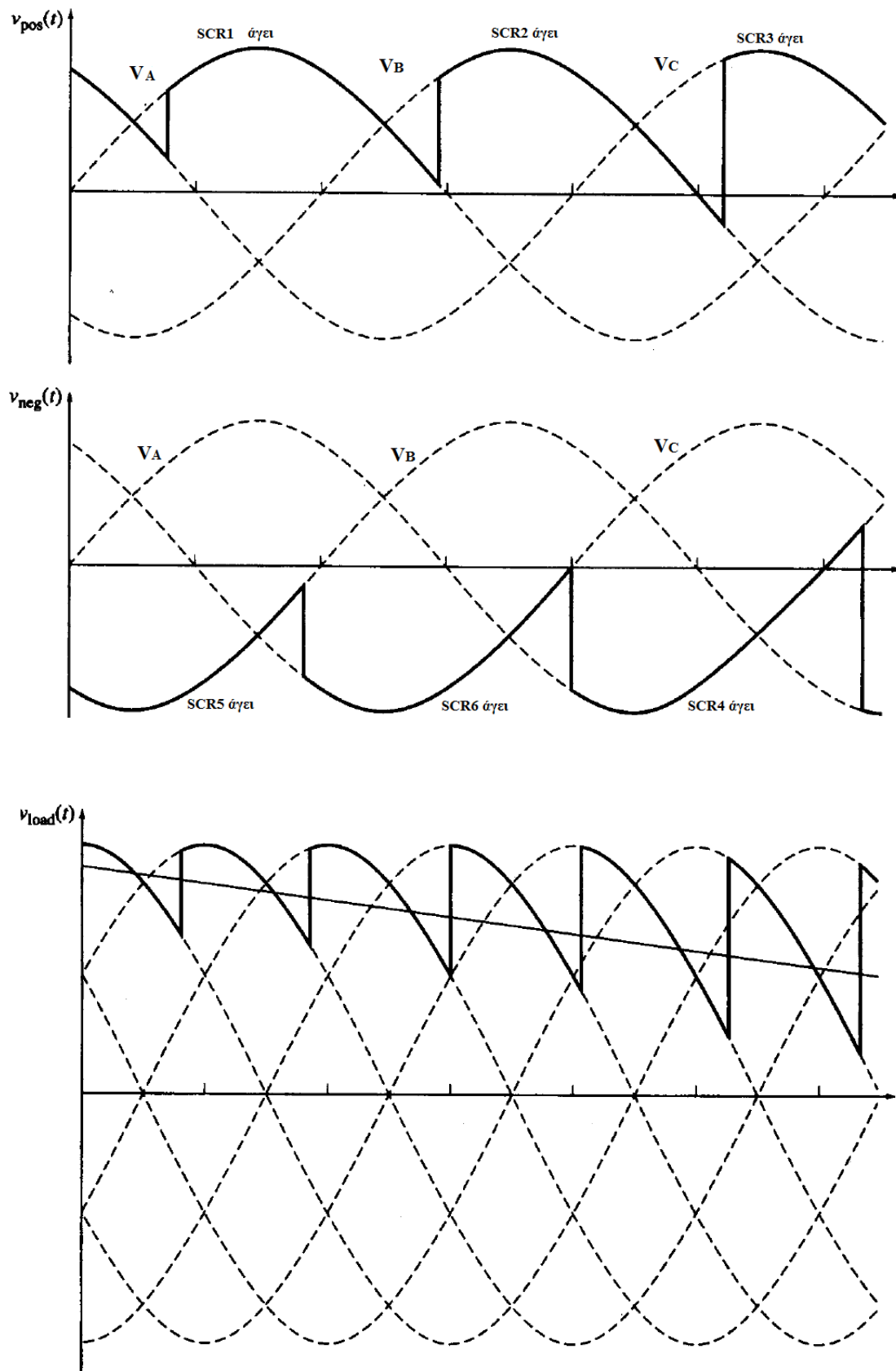
Τα θυρίστορ δεν άγουν όταν πολωθούν ορθά, εκτός εάν η τάση πόλωσης είναι μεγάλη. Αυτό συμβαίνει επειδή η μεσαία επαφή n-p είναι πολωμένη ανάστροφα. Άγουν μόνο όταν στο τρίτο τους ηλεκτρόδιο που λέγεται πύλη (gate) στην πύλη τους εφαρμοστεί ένας παλμός. Δηλαδή είναι ένας ηλεκτρονικός διακόπτης που άγει όποτε δοθεί ο παλμός και παύει να άγει όταν πολωθεί ανάστροφα και σταματήσει η ροή ρεύματος δια μέσου του. Η χρονική διάρκεια του παλμού που χρειάζεται για να άγει το θυρίστορ μετριέται σε microsecond. Παρά το μικρό τους μέγεθος, τα θυρίστορ μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να ελέγχουν ρεύματα της τάξης των χιλιάδων αμπέρ και να δεχτούν τάσεις χιλιάδων βολτ στα άκρα τους.

Δείτε ένα παράδειγμα στο παρακάτω σχήμα:



Τριφασική γέφυρα ανόρθωσης με SCR

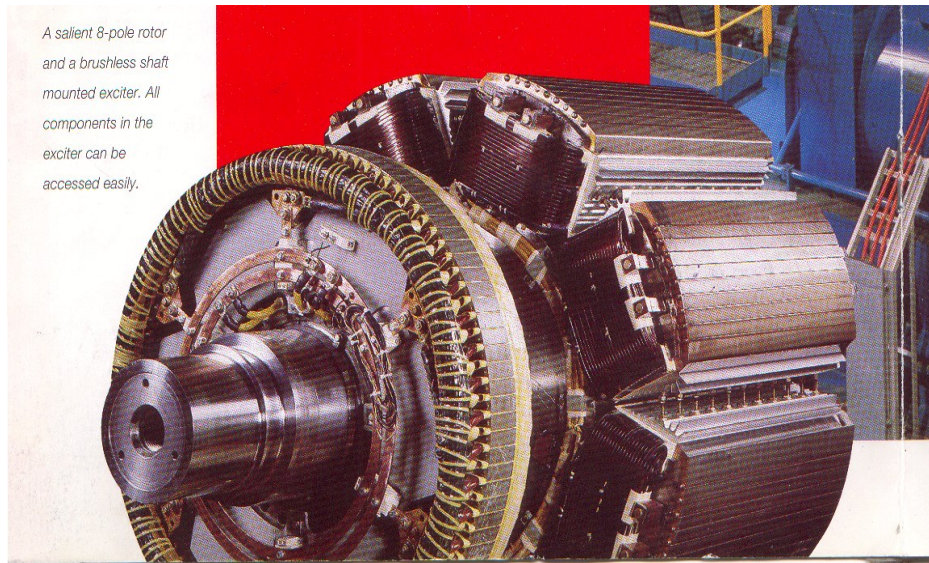




Στα παραπάνω σχήματα φαίνεται με ποιον τρόπο, ρυθμίζοντας το πότε θα σκανδαλιστούν συγκεκριμένα θυρίστρον, επιτυγχάνεται μια συνεχής τάση γραμμικά φθίνουσα.

Σύστημα Τριφασικής Σύγχρονης Γεννήτριας με Διεγέρτρια Μηχανή

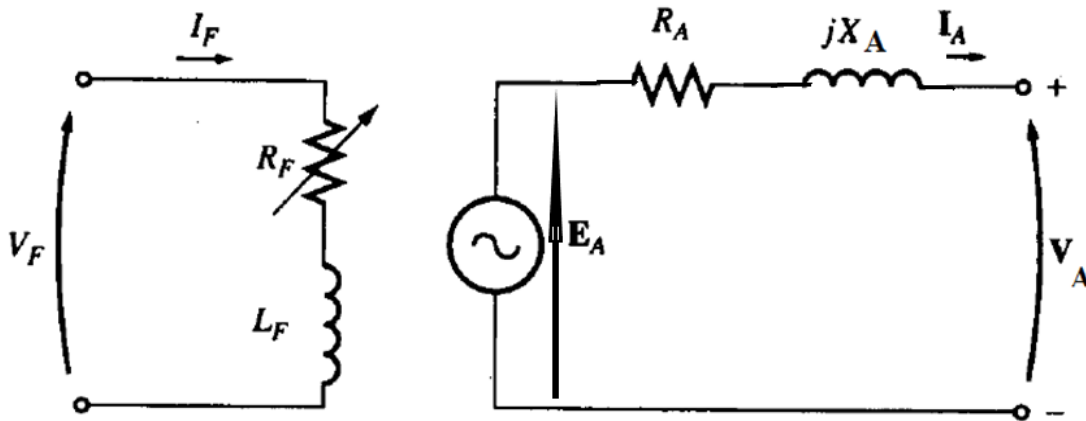
Η διέγερση τροφοδοτείται από γεννήτρια Ε.Ρ. που στρέφεται από τον ίδιο άξονα με την κυρίως γεννήτρια. Η τάση εξόδου της μετατρέπεται σε συνεχή τάση με τριφασική γέφυρα ανόρθωσης η οποία επίσης στρέφεται και οδηγείται κατευθείαν στα άκρα του τυλίγματος διέγερσης



Ας σημειωθεί εδώ ότι η κατασκευή της διεγέρτριας είναι αντίστροφη με αυτήν της κυρίως γεννήτριας. Η διεγέρτρια έχει το τύλιγμα οπλισμού στον δρομέα, έτσι ώστε η παραγόμενη από αυτήν τάση να ανορθώνεται πάνω στον άξονα και να στέλνεται στην στρεφόμενη διέγερση. Επομένως η διέγερση της διεγέρτριας βρίσκεται στον στάτη.

Ισοδύναμο Κύκλωμα Τριφασικής Σύγχρονης Γεννήτριας

Το ανά φάση ισοδύναμο κύκλωμα. Αριστερά φαίνεται το κύκλωμα διέγερσης με τη δυνατότητα μεταβολής του ρεύματός του και δεξιά το κύκλωμα οπλισμού.

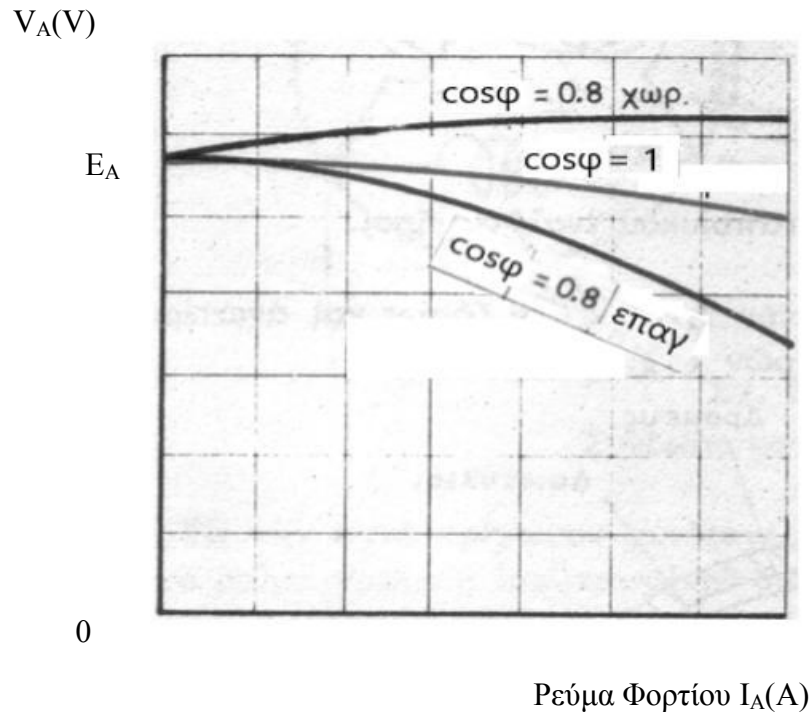


$$V_F = I_F R_F$$

$$V_A = E_A - I_A \angle \varphi (R_A + jX_A)$$

Συμπεριφορά Σύγχρονης Γεννήτριας με Φορτίο

Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η συμπεριφορά μιας σύγχρονης γεννήτριας καθώς το φορτίο της μεταβάλλεται.



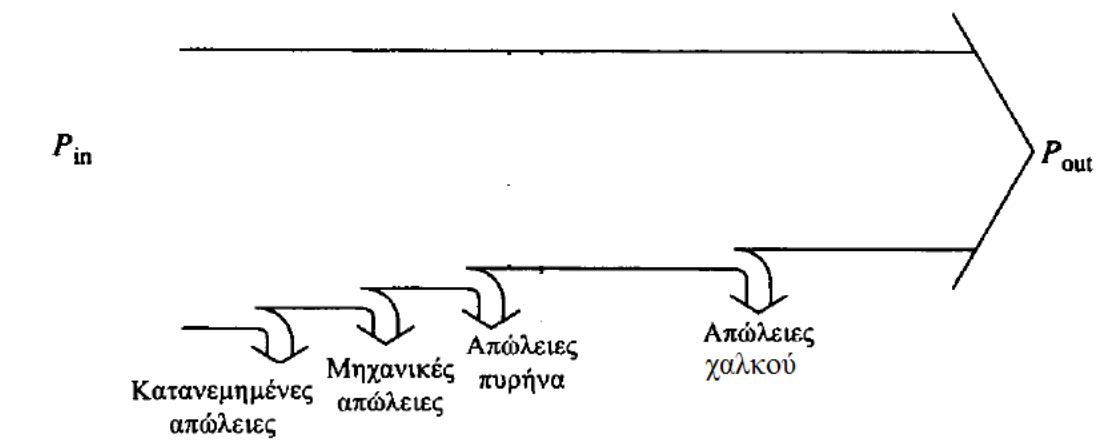
Η τάση εξόδου της γεννήτρια δίνεται ανά φάση από την σχέση:

$$V_A = E_A - I_A \cos\phi (R_A + jX_A)$$

Όταν το φορτίο είναι ίσο με μηδέν $I_A=0$ και η τάση εξόδου είναι ίση με την E_A (τάση αφόρτιστης λειτουργίας). Καθώς το φορτίο μεγαλώνει η αριθμητική τιμή του I_A μεγαλώνει αλλά η πτώση τάσης στην εσωτερική αντίσταση της μηχανής ρυθμίζεται και από την γωνία ϕ , δηλαδή:

- Η σύνδεση νέων επαγωγικών φορτίων (ϕ αρνητική) προκαλεί σημαντική μείωση της τάσης εξόδου.
- Η σύνδεση νέων καθαρά ωμικών φορτίων ($\phi = 0$) προκαλεί μικρή μείωση της τάσης εξόδου.
- Η σύνδεση νέων χωρητικών φορτίων (ϕ θετική) προκαλεί αύξηση της τάσης εξόδου.

Οι απώλειες στις σύγχρονες γεννήτριες



Το διάγραμμα ροής ισχύος: σε αυτό φαίνονται όλες οι απώλειες μεταξύ εισόδου και εξόδου. Συγκεκριμένα:

- $P_{IN} = T\omega$ όπου T : Ροπή στρέψης στον άξονα σε Nm και ω : ταχύτητα περιστροφής άξονα σε rad/s
- $\omega = \frac{2\pi n}{60}$ όπου n: rpm K.M.
- $P_{OUT} = 3V_{A\phi}I_{A\phi}\cos\phi = \sqrt{3} V_{AL}I_{AL}\cos\phi$
- Μηχανικές απώλειες: απώλειες λόγω τριβών.
- Απώλειες πυρήνα: απώλειες θερμότητας στα μεταλλικά μέρη λόγω δινορευμάτων.
- Απώλειες χαλκού: απώλειες θερμότητας σε όλα τα τυλίγματα, και του στάτη και του δρομέα.

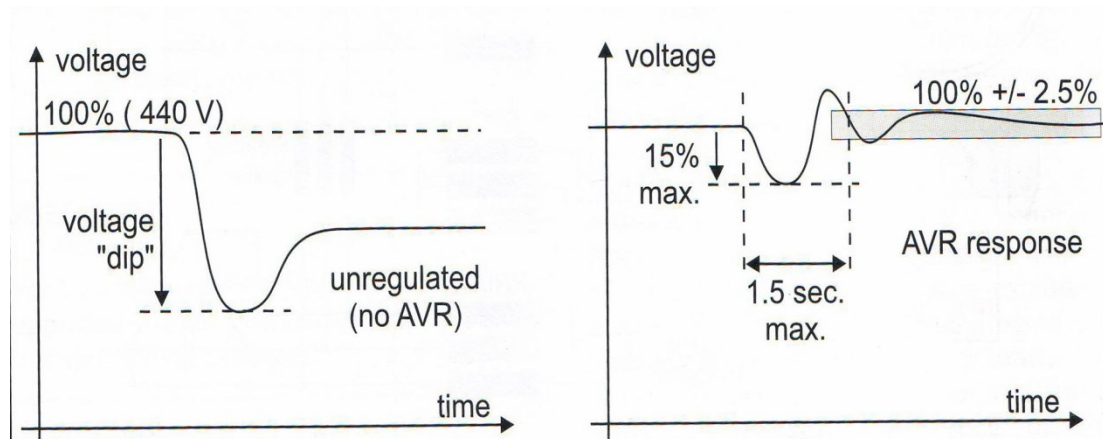
$$P_A = 3I_A^2 R_A \quad \text{και} \quad P_F = I_F^2 R_F$$

- Κατανεμημένες απώλειες: είναι οι απώλειες που δεν υπάγονται σε καμία από τις προηγούμενες κατηγορίες. Άσχετα με το πόσο προσεκτικά αντιμετωπίζουμε τις απώλειες πάντα κάποιες δεν θα υπάγονται στις προαναφερθείσες. Υπολογίζονται στο 1% του ονομαστικού φορτίου.

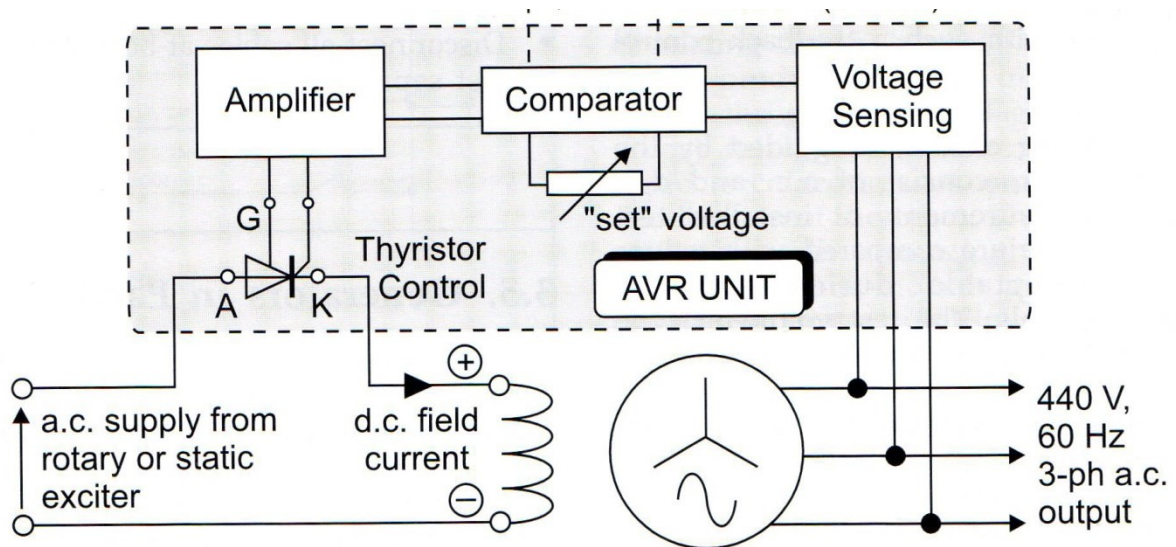
Αυτόματη Σταθεροποίηση Τάσης Εξόδου Σύγχρονης Γεννήτριας

Η ξαφνική αύξηση της έντασης ρεύματος που απορροφά το φορτίο (λόγω π.χ. της εκκίνησης ηλεκτρικών κινητήρων), προκαλεί αλλαγή στην τάση εξόδου του τριφασικού εναλλακτήρα που τροφοδοτεί το συγκεκριμένο δίκτυο. Αυτό συμβαίνει επειδή μεγαλώνει η πτώση τάσης στα τυλίγματα στο εσωτερικό της μηχανής και το φαινόμενο αυτό χαρακτηρίζεται σαν «βύθιση τάσης» δικτύου. Ένα κύκλωμα διέγερσης του εναλλακτήρα χωρίς δυνατότητα μεταβολής του ρεύματος που το διαρρέει, έτσι ώστε να διορθώνει τις αυξομειώσεις της τάσης εξόδου που προκύπτουν διαρκώς με την αυξομείωση του φορτίου, δεν θα ήταν ρεαλιστικό.

Ο αυτόματος σταθεροποιητής τάσης (AVR), ελέγχει την τάση εξόδου του εναλλακτήρα, έτσι ώστε να κυμαίνεται σε μία τιμή $\pm 2,5\%$ (το πολύ) της ονομαστικής της τιμής. Παροδικές βυθίσεις τάσης φτάνουν συνήθως μέχρι 15% για μία ξαφνική αύξηση του φορτίου, με επαναφορά στην ονομαστική τιμή μέσα σε $1,5$ δευτερόλεπτο.



Το AVR ανιχνεύει την τάση εξόδου της γεννήτριας και δρα μεταβάλλοντας το ρεύμα διέγερσης, έτσι ώστε η τάση εξόδου της γεννήτριας να διατηρείται σταθερή, όπως φαίνεται στο επόμενο σχήμα.



Το κύκλωμα ελέγχου ενός AVR αποτελείται από μετασχηματιστές, ανορθωτές, διόδους τρανζίστορ και θυρίστορ. Αυτά περιέχονται σε ολοκληρωμένα κυκλώματα τα οποία τοποθετούνται είτε στον πίνακα ελέγχου της γεννήτριας, είτε επάνω στην ίδια τη γεννήτρια.

Η μονάδα που ανιχνεύει την τάση εξόδου της γεννήτριας (Voltage Sensing) την υποβιβάζει, την ανορθώνει και την εξομαλύνει. Από αυτή η διαδικασία παράγεται ένα σήμα συνεχές χαμηλής τάσης, το οποίο είναι ανάλογο της τάσης εξόδου της γεννήτριας. Αυτό συγκρίνεται (Comparator) με ένα προκαθορισμένο συνεχές σήμα το οποίο παράγεται από κύκλωμα διόδων. Η διαφορά μεταξύ των δύο σημάτων ενισχύεται (Amplifier) και χρησιμεύει για την οδήγηση των θυρίστορ που ρυθμίζουν την τάση διέγερσης.

Ψύξη Τριφασικών Εναλλακτών

Οι απώλειες ισχύος, τυπικά 10% της ονομαστικής ισχύος της γεννήτριας, προκαλούν τη θέρμανση των τυλιγμάτων και των σιδερένιων πυρήνων της. Η θερμότητα αυτή πρέπει συνεχώς να απομακρύνεται από το εσωτερικό της μηχανής, γιατί αλλιώς θα προκαλέσει διάσπαση των μονώσεων των τυλιγμάτων. Αυτό επιτυγχάνεται με την βεβιασμένη κυκλοφορία ψυχρού αέρα μέσω ενός ανεμιστήρα σε ειδικά διαμορφωμένους αεραγωγούς στον πυρήνα του στάτη, και διαμέσου του διακένου αέρα μεταξύ στάτη και ρότορα. Για γεννήτριες μεγάλης ισχύος, νερό μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την ψύξη του αέρα ψύξης. Ανιχνευτές θερμοκρασίας (π.χ. θερμίστορ) χρησιμοποιούνται για να έχουμε ένδειξη της θερμοκρασίας στα τυλίγματα του στάτη, στα έδρανα και στο νερό ψύξης του αέρα.

Συντήρηση Τριφασικών Εναλλακτών

- Όλα τα καλώδια που φθάνουν στη μηχανή πρέπει να ελέγχονται για φθορές στη μόνωσή τους και την καλή επαφή στους ακροδέκτες (να μην είναι χαλαρές οι συνδέσεις). Ιδιαίτερα προσέχουμε για σημάδια ύπαρξης λαδιού ή υγρασίας μέσα στα κουτιά ακροδεκτών.
- Όλες οι είσοδοι του αέρα ψύξης πρέπει να είναι ελεύθερες και να μη έχουν σκόνη ή άλλη βρωμιά.
- Τα τυλίγματα του στάτη και του δρομέα πρέπει να ελέγχονται και να καθαρίζονται χρησιμοποιώντας ένα στεγνό πανί. Στεγνός αέρας με χαμηλή πίεση μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε περιπτώσεις που το απλό πανί δεν αρκεί, αλλά θέλει προσοχή, για να μη αποθηκεύσει η βρωμιά βαθύτερα στα τυλίγματα. Η ηλεκτρική σκούπα είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική, αρκεί το ρύγχος να είναι πλαστικό στο άκρο του. Εάν τυχόν υπάρχει λάδι επάνω σε τύλιγμα, η μόνωση φθείρεται. Το λάδι απομακρύνεται πλένοντας τα τυλίγματα με ειδικό υγρό. Μικρά σκασίματα στη μόνωση των τυλιγμάτων μπορούν να επισκευαστούν, μετά τον καθαρισμό, εφαρμόζοντας στα σημεία αυτά ειδικό βερνίκι.
- Οι επιφάνειες των δακτυλίων του δρομέα πρέπει να ελέγχεται εάν παραμένει καθαρή και χωρίς στρώματα βρωμιάς. Οι ψήκτρες πρέπει να κινούνται ελεύθερα μέσα στις ψηκτροθήκες. Όταν οι ψηκτρες φθαρούν δεν πιέζονται σωστά στους δακτυλίους και θα έχουμε σπινθήρα, οπότε χρειάζονται αντικατάσταση. Μετά την αντικατάσταση να σιγουρευτούμε ότι οι άκρες τους έχουν την καμπυλότητα του δακτυλίου που ακουμπούν.
- Οι μετασχηματιστές για τη διέγερση, το AVR και οι στρεφόμενες δίοδοι ανόρθωσης του τριφασικού ανορθωτή πρέπει να μη έχουν βρωμιά, λάδι ή υγρασία. Ειδικό λιπαντικό χρησιμοποιείται στις επαφές των διόδων με τη μηχανή για πρόληψη ηλεκτρόλυσης και γι αυτό δεν επεμβαίνουμε χωρίς λόγο σε αυτές τις επαφές.
- Οι αντιστάσεις μόνωσης των τυλιγμάτων του στάτη και δρομέα σε σχέση με τη γη και μεταξύ των φάσεων του στάτη πρέπει να μετρώνται περιοδικά.
- Όταν η γεννήτρια δεν λειτουργεί κατά τις περιόδους standby ή συντήρησης, τα τυλίγματα στο εσωτερικό της πρέπει να θερμαίνονται με θερμαντικές αντιστάσεις μικρής ισχύος, έτσι ώστε να μη έχουμε συμπύκνωση υδρατμών πάνω στα τυλίγματα.