

**ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ  
ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΘΕΜΑ : ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ**

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ : ΒΡΑΜΠΑΚΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ**

**ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : κ. ΓΟΥΡΓΟΥΛΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ**

**ΝΕΑ ΜΗΧΑΝΙΩΝΑ**

**2015**

**ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ  
ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΘΕΜΑ : ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΓΕΝΝΗΤΡΙΣ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ**

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ : ΒΡΑΜΠΙΑΚΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ**

**ΑΜ : 4461**

**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΑΔΟΣΗΣ : ..../..../2015**

Βεβαιώνεται η ολοκλήρωση της παραπάνω πτυχιακής εργασίας

Ο καθηγητής  
κ. Γουργούλης Δημήτριος

## Περίληψη

Το θέμα προς μελέτη που επιλέχθηκε έπειτα από τη σχετική έρευνα είναι οι Σύγχρονες Γεννήτριες Μέσης Τάσης. Οποσδήποτε, θα πρέπει να παρουσιαστούν οι λόγοι επιλογής του συγκεκριμένου θέματος και γιατί κρίθηκε πως μπορεί να προσελκύσει το ενδιαφέρον του αναγνώστη. Με μια γενική ματιά, πρόκειται να γνωρίσουμε κάποια βασικά κομμάτια γύρω από τον τρόπο παραγωγής ρεύματος, όπως και κάποιες βασικές προϋποθέσεις ασφαλείας, σύμφωνα φυσικά με τους αρμόδιους φορείς. Είναι βασικό ν' αναφερθεί πως πολλές φορές χρησιμοποιείται διαφορετική τάση και συχνότητα ρεύματος ανά ήπειρο, ακόμα και σε βιομηχανίες ίδιου τύπου, γεγονός που πολύ πιθανόν να οφείλεται σε διαφορετικές νοοτροπίες. Επιγραμματικά, θ' αναφερθούν κάποιοι τύποι γεννητριών εναλλασσομένου ρεύματος με τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά και σε ποιες περιπτώσεις αυτές χρησιμοποιούνται. Ο σχεδιασμός μιας μέσης τάσης γεννήτριας εναλλασσόμενου ρεύματος και οι κανόνες του από τους αρμόδιους φορείς είναι κάτι ακόμα που θα μας απασχολήσει σε αυτή τη μελέτη γύρω από τις γεννήτριες αυτές. Επιπροσθέτως, θα αναφερθούν κάποιοι κανόνες ασφαλείας σε επικίνδυνες συνθήκες περιβάλλοντος που σκοπό έχουν την λειτουργία των γεννητριών και των κινητήρων σε διάφορες επικίνδυνες συνθήκες. Κλείνοντας, θα γίνει μια επιγραμματική παρουσίαση και θα αντληθούν τα ανάλογα συμπεράσματα.

## **Abstract**

The theme chosen for study after the investigation are synchronous generators MV. Certainly, the reasons for the selection of that particular subject will be presented and why it can grab the interest of the reader as well. With an overall look, we will get to know some essential parts around the production of electricity, as well as some basic safety requirements, always in accordance with the competent bodies. It is essential to be mentioned that many times different voltage and current frequency are used at different continents, even in the same type of industries, most likely due to the different mentalities. Succinctly, some types of AC generators with their technical characteristics and the circumstances under which these are used will be mentioned. The design of a medium voltage AC generator and the rules set by the competent bodies is something else that will occupy us in this study around these generators. Additionally, some safety rules in dangerous environmental conditions intended for operation of generators and engines in various dangerous situations will be mentioned. Finally, a succinct presentation will be made and the appropriate conclusions will be drawn.

## Πρόλογος

Οι γεννήτριες παραγωγής ρεύματος είναι η καρδιά του σύγχρονου κόσμου μιας και η ανάγκη για ενέργεια δε σταματά ποτέ. Οι σύγχρονες γεννήτριες μέσης τάσης όπως έγινε ξεκάθαρο από τη μελέτη που πραγματοποιήσαμε, συνηθέστερα χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία για παραγωγή ενέργειας και σπανιότερα συναντώνται σε πλοία, άρα είναι ένα θέμα που ενδείκνυται προς μελέτη, αφού δύναται να διευρύνει τις κλασσικές γνώσεις του αναγνώστη και σίγουρα να κρατήσει ζωντανό το ενδιαφέρον του. Αυτός ήταν και ο σημαντικότερος λόγος που οδήγησε στην επιλογή του συγκεκριμένου θέματος, συμπεριλαμβανομένης σίγουρα και της προσωπικής διάθεσης μελέτης του, κυρίως για να γνωρίσουμε καλύτερα αυτό το είδος γεννητριών του τα τελευταία χρόνια ολοένα κερδίζει έδαφος σε διάφορους τομείς.

# Κεφάλαιο 1

## Ιστορική αναδρομή συχνοτήτων ανά το κόσμο

### 1.1 Πορεία και πρότυπα συχνοτήτων

Η συχνότητα των 50 Hz είναι μία από τις δύο συχνότητες που διέπουν την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος σε όλο τον κόσμο. Τα 60 Hz θεωρείται το αμερικανικό πρότυπο συχνότητας (χρησιμοποιείται πλέον κυρίως στη Βόρεια Αμερική-το λίκνο της τεχνολογίας του εναλλασσόμενου ρεύματος- και λιγότερο στη Νότια Αμερική) ενώ τα 50 Hz είναι πιο συνηθισμένο να χρησιμοποιούνται στην ευρωπαϊκή ήπειρο, κατάσταση που αρχικά διαιρούσε τον κόσμο σε δύο ασύμβατα ηλεκτρικά πεδία. Βέβαια, υπήρξε η ξεχωριστή πορεία του καθενός από την πρώτη εμφάνιση τους ως και την ανάπτυξη του τρόπου χρήσης του σταδιακά, ώστε να φτάσουμε στα σημερινά τελικά πρότυπα.

Το ιστορικό των 60-Hz "Αμερικάνικο" πρότυπο συχνότητας είναι ευρύτερα γνωστό, ενώ η ιστορία των 50-Hz "Ευρωπαϊκό" πρότυπο συχνότητας, ωστόσο, δεν ήταν τεκμηριωμένο μέχρι το 2008, όταν ο ΣΕΒ της Ελβετίας δημοσίευσε ένα άρθρο που είχε γραφτεί από τον καθηγητή Gerhard Neidhfer στα γερμανικά. Ο καθηγητής αυτός έχει συγγράψει πάνω από 40 τεχνικές εργασίες, συνέγραψε δύο βιβλία για την παραγωγή ηλεκτρισμού μέσω μηχανικής ενέργειας και δημοσίευσε το 2004 ένα βιβλίο που καλύπτει τις ρίζες της τεχνολογίας του τριφασικού ρεύματος. Επιπλέον, το 2009, έδωσε μια παρουσίαση σχετικά με την τεχνική και την ιστορική σημασία του υδροηλεκτρικού σταθμού ηλεκτρικής ενέργειας Rheinfelden ώστε λίγο μετά την ολοκλήρωση του πυρηνικού σταθμού Adams στους καταρράκτες του Νιαγάρα, έγινε ο πρώτος ευρωπαϊκός μεγάλος υδροηλεκτρικός σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, κάτι που οδήγησε στην παγκόσμια επέκταση του ρεύματος τριών φάσεων και της συχνότητας των 50 Hz.

Άξιος αναφοράς είναι ο σύντομος χρόνος που χρειάστηκε για να αναπτυχθεί το πρότυπο χρήσης των 50 Hz (κάτι που συνέβη γύρω στο 1900) αλλά και χαρακτηριστική υπήρξε η αργή προώθηση του εξαιτίας των πολιτικών που ακολουθούσε κάθε χώρα στον τομέα της ενέργειας. Όταν το ευρωπαϊκό συνδεδεμένο δίκτυο ξεκίνησε επιτέλους –αρχικά από τρεις χώρες- το 1958 η συχνότητα των 50 Hz έγινε γρήγορα η καρδιά ενός μεγάλου δικτύου με σημαντικές σταδιακά επεκτάσεις που αποτέλεσμα είχαν να φτάσουμε σ' ένα σημείο όπου η προαναφερόμενη συχνότητα καλύπτει τεσσεράμιση ηπείρους (Ευρώπη, Ασία, Αφρική, Αυστραλία και το υπόλοιπο μέρος της Νοτίου Αμερικής). Εξαίρεση ή καλύτερα ειδική περίπτωση θα λέγαμε πως αποτελεί η Ιαπωνία, όπου και οι δύο «συχνότητες- πρότυπα» χρησιμοποιούνται αλλά σε ξεχωριστά μέρη της χώρας.

Στα τέλη της δεκαετίας του 1880, ο όρος «συχνότητα» μιλώντας για ρεύμα ήταν μακριά από την καθημερινή πραγματικότητα. Την εποχή εκείνη, ένα εναλλασσόμενο ρεύμα είχε απλά ένα

συγκεκριμένο αριθμό εναλλαγών. Έτσι, το ποσοστό της περιοδικής ταλάντωσης εκφραζόταν από τον αριθμό των εναλλαγών κατά τη διάρκεια ενός ορισμένου χρονικού διαστήματος. Όπως και με τη μηχανική ταχύτητα περιστροφής, ο αριθμός των εναλλαγών του ρεύματος επίσης σχετίζεται με μια στιγμή. Έτσι, η πρώτη μέτρηση για τη συχνότητα ήταν εναλλαγές ανά λεπτό ή ανατροπές ανά λεπτό. Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1890, άρχισαν να χρησιμοποιούνται κυρίως από τους ειδικούς όρους πιο περιγραφικοί όροι. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ο Silvanus P. Thompson, ο οποίος υπηρέτησε ως καθηγητής φυσικής στο Τεχνικό Κολέγιο του Λονδίνου και έγραψε σε ένα υποδειγματικό εγχειρίδιο του: «Ο αριθμός των περιόδων επιτυγχάνεται σε μια δεύτερη φάση ονομάζεται συχνότητα ή περιοδικότητα των εναλλαγών». Σήμερα, ο όρος «συχνότητα του εναλλασσόμενου ρεύματος» χρησιμοποιείται για να εκφράσει τον αριθμό των ταλαντώσεων κατά τη διάρκεια ενός καθορισμένου χρονικού ορίου. Στην περίπτωση των 50 Hz, το ρεύμα ταλαντώνεται 50 φορές το δευτερόλεπτο, δηλαδή κάνει 50 κύκλους. Ως συνέπεια, η πρόωρη μέτρηση για την περιοδική ταλάντωση οδηγεί σε περίεργα σχήματα, καθώς μετατρέπεται στη σημερινή μονάδα. Ο όρος Hertz (Hz) που χρησιμοποιείται σήμερα για να δηλώσει τη συχνότητα σε κύκλους ανά δευτερόλεπτο χρησιμοποιείται για πρώτη φορά από τον φυσικό Χάινριχ Ρούντολφ Χέρτζ, που έγινε γνωστός λόγω της ανακάλυψης των ηλεκτρομαγνητικών ραδιοκυμάτων.

## **1.2 Αρχή αναγκαιότητας ηλεκτρικών συχνοτήτων**

Η ιστορία της χρησιμότητας/αναγκαιότητας των ηλεκτρικών συχνοτήτων λέγεται πως ξεκίνησε το 1886 στις Ηνωμένες Πολιτείες, όταν μία εταιρεία έχτισε την πρώτη λειτουργική μονάδα παραγωγής εναλλασσόμενου ρεύματος. Τόσο οι συχνότητες που χρησιμοποίησε η προαναφερόμενη εταιρεία, όσο και οι συχνότητες που χρησιμοποίησε μία άλλη που δραστηριοποιήθηκε την ίδια εποχή προσέφεραν τις καλύτερες δυνατές συνθήκες για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, αλλά και το μετασχηματισμό του. Τα πρώτα χρόνια λειτουργίας τέτοιων μονάδων υπήρχε δυσκολία στην παραγωγή συνδυασμού συνεχούς και εναλλασσόμενου ρεύματος, οπότε αναγκαστικά υιοθέτησαν χαμηλότερες μηχανικές ταχύτητες και έναν πιο λογικό αριθμό μαγνητικών πόλων και ως αποτέλεσμα αυτών οι απότομες αλλαγές συχνότητας μειώνονται. Στις αρχές της δεκαετίας του 1890, ο Νικολά Τέσλα συνειδητοποίησε πως οι χαμηλότερες συχνότητες θα ήταν καλύτερα για τις σύγχρονες γεννήτριες που τροφοδοτούνται από χαμηλών στροφών AC και με εκ περιτροπής μετατροπείς θα μπορούσαν να προσφέρουν ρεύμα για περισσότερους τελικούς χρήστες.

Το 2007 ο καθηγητής Neidhfer κάνει πάλι την εμφάνιση του ως συγγραφέας και μας εξηγεί πως μέχρι πρότινος, το δυναμό ήταν ως επί το πλείστον με ιμάντα, αλλά τα τελευταία χρόνια έχει υπάρξει μια τάση προς άμεση ζεύξη. Μέχρι τη στιγμή που γράφει, όπως μας αναφέρει, το κύριο εμπόδιο ήταν οι 10,000-16,000 εναλλαγές ανά λεπτό, γι' αυτό και σταδιακά υπάρχει μείωση των

αριθμών των κύκλων/εναλλαγών. Με τρεις φάσεις στην παραγωγή κινητήρων, κρίνεται πλέον να εφαρμόζονται χαμηλότερες τιμές από 30 έως 40 κύκλους ανά δευτερόλεπτο, εκτός από σπάνιες εξαιρέσεις. Όλα αυτά σημαίνουν ότι πλέον οι εταιρείες είναι σε θέση να χρησιμοποιήσουν μηχανές χαμηλής ταχύτητας που να συνδέονται ευθέως με εναλλάκτες με λιγότερους πόλους.

Σε κάθε χώρα, βέβαια, ακολουθήθηκε η τακτική που θεωρήθηκε κατάλληλη, δεδομένων των αναλόγων συνθηκών. Έτσι, για παράδειγμα στην Ουγγαρία, η εταιρεία Ganz αποφάσισε να λειτουργεί τα μηχανήματα της με 5000 εναλλαγές για να λειτουργούν με περισσότερη άνεση οι λαμπτήρες πυράκτωσης, αφού με χαμηλότερους αριθμούς ένας τέτοιος λαμπτήρας θα μπορούσε να τρεμοπαίζει και να καταντά κουραστικός για το ανθρώπινο μάτι. Κατά συνέπεια, στις περιοχές όπου εμπορευόταν η εταιρεία Ganz, συμπεριλαμβανόμενης της Ιταλίας –μιας χώρας φτωχή σε άνθρακα, αλλά πολύ πλούσια σε κοιτάσματα νερού-, η συχνότητα των περίπου 42 Hz ήταν διαδεδομένη από παλιά και χρησιμοποιείται εδώ και δεκαετίες. Πιο συγκεκριμένα, γύρω από τη Ρώμη, χρησιμοποιούνται οι 46 κύκλοι αν και υπάρχουν κάποιες εγκαταστάσεις στη χώρα που λειτουργούν με 16 και 25 κύκλους.

Το 1934 διεξήχθη μια έρευνα η οποία ρίχνοντας μια ματιά στις συχνότητες που χρησιμοποιούνταν εκείνη την εποχή στις γεννήτριες σε όλη την Ευρώπη σκιαγράφησε μια κατάσταση σύγχυσης. Έτσι, μεταξύ των γεννητριών που χρησιμοποιούν οι σταθμοί παραγωγής ενέργειας αυτή την εποχή μπορούμε να βρούμε συχνότητες από 37 έως 55 κύκλους. Μεγαλύτερα ιταλικά εργοστάσια είχαν επιλέξει –σύμφωνα με το πρότυπο της Ganz Co.-, τους 41,7 κύκλους που ανταποκρίνονται σε 5.000 εναλλαγές, μια συχνότητα η οποία είναι ακόμη και σήμερα αρκετά διαδεδομένη, εκτός από τη συνήθη συχνότητα των 50 Hz.

### **1.3 Αναζήτηση κατάλληλης συχνότητας**

Η αναζήτηση για την πιο κατάλληλη συχνότητα που πρέπει να χρησιμοποιούνται στις γεννήτριες ήταν δύσκολη για τους εμπειρογνώμονες της εποχής αφού υπήρχε ένα σημαντικό εμπόδιο το οποίο ήταν η αντίφαση των δύο τάσεων, δηλαδή ενώ για τον ηλεκτρικό φωτισμό μάλλον οι υψηλές συχνότητες ήταν συμφέρουσες, βέβαια κάτω από τις κατάλληλες συνθήκες ώστε να μπορεί να δουλεύει ελαφρύτερα και να είναι λιγότερο δαπανηρή, για τα συστήματα ισχύος με γεννήτριες, που το ρεύμα μεταδίδεται μέσω γραμμών με εκ περιτροπής μετατροπείς και κινητήρες, οι χαμηλότερες συχνότητες φαίνονται να είναι πιο ευνοϊκές. Έτσι, η σύσταση ενός ηλεκτρικού συστήματος που παράγει συχνότητες σε μεγάλο βαθμό εξαρτιόταν από τον σκοπό του συστήματος, αλλά σίγουρα επηρεαζόταν και από την πυκνότητα του πληθυσμού και της οικονομίας μιας περιφέρειας, μιας χώρας ή ακόμη και μιας ηπείρου. Επειδή ο γνωστός εμπειρογνώμονας της εποχής Emil Kolben, ήξερε πολύ καλά ποια είναι η κατάσταση και στις δύο πλευρές του Ατλαντικού Ωκεανού, το 1893 δήλωσε πως με εξαίρεση τις περιπτώσεις κατά τις οποίες είναι να μεταδοθεί



πολύ υψηλή ισχύς και να μεταφερθεί σε μεγάλες αποστάσεις, οι συχνότητες στο εύρος από 50 έως 60 κύκλοι μπορούν να ανταποκριθούν σε υψηλές απαιτήσεις όσον αφορά την οικονομία, την αποτελεσματικότητα και τον έλεγχο ασφαλείας. Αυτή η δήλωση του Kolben αποκαλύπτει μία προσπάθεια του επιστημονικού κόσμου να μην επικεντρώνεται σε γεννήτριες που δουλεύουν με μία συγκεκριμένη συχνότητα για όλους τους σκοπούς, αλλά αν είναι αναγκαίο να επιλέγονται δύο συχνότητες, η καθεμία στον τομέα που αποδίδει καλύτερα.

## **1.4 Επιλογή συχνότητας**

Όπως γίνεται αντιληπτό στα πλαίσια της μελέτης που πραγματοποιήθηκε, στις αρχές της δεκαετίας του 1890 το ζητούμενο ήταν να μειωθεί η υπερβολικών αριθμών εναλλαγή (133 ή 125 Hz) και να υιοθετηθούν τα 60 Hz ως συμβιβαστική/ενδιάμεση επιλογή τόσο για τη λειτουργία ενός κεντρικού ηλεκτρικού συστήματος όσο και για γεννήτριες τύπου κινητήρα, συμπεριλαμβανομένων των περιστρεφόμενων μετατροπέων. Ωστόσο, όμως η συχνότητα των 50 Hz, χρησιμοποιήθηκε και στην Καλιφόρνια το 1893-1894, σε κάποιες εταιρείες προφανώς επηρεασμένες από τη Γερμανία, αφού εγκαταστάθηκαν γεννήτριες που παράγουν χρησιμοποιώντας 50 Hz, κατάσταση όπως που λίγο αργότερα άλλαξε σε 60 Hz, αφού αυτή η συχνότητα χρησιμοποιούνταν ήδη στο εν λόγω κράτος. Στη συνέχεια, το 1895, μια νέα πτυχή εμφανίστηκε στο προσκήνιο με την ολοκλήρωση του πρώτου υδροηλεκτρικού σταθμού στο Νιαγάρα. Οι γιγαντιαίες γεννήτριες εναλλασόμενου ρεύματος, ονομαστικής ισχύος 5.000 ίππων η κάθε μία, είχαν σχεδιαστεί για να λειτουργούν στη συχνότητα των 25 Hz, με μια απόφαση ανατροπή που είχε προκύψει από τις διάφορες που παρουσιάστηκαν ανάμεσα στο σχεδιασμό της προκαθορισμένης ταχύτητας του στροβίλου που κινιόταν μέσω της κύριας γεννήτριας και την πραγματική ταχύτητα λειτουργίας του συνολικού συστήματος. Οι Καταρράκτες του Νιαγάρα λοιπόν έγιναν παράδειγμα/πρότυπο για όλη τη Βόρεια Αμερική και η πλειονότητα των μεγαλύτερων επιχειρήσεων κοινής ωφέλειας είχαν συνεννοηθεί με τους κατασκευαστές τους να δουλεύουν με συγκεκριμένες δύο συχνότητες: τα 25 Hz για τους πιο σύγχρονους μετατροπείς και τα 60 Hz για γενικότερη χρήση. Γύρω στο 1920, τα 25 Hz σιγά-σιγά χάνουν τη δημοτικότητα τους σε αντίθεση με τα 60 Hz που ήταν πιο ισχυρά στη διανομή ηλεκτρικής ενέργειας. Παρ' όλα αυτά, η χρήση των 25 Hz επρόκειτο να διαρκέσει επί δεκαετίες και, σε ορισμένες περιοχές, συνέχισε να χρησιμοποιείται κατά τη διάρκεια όλου του 20ου αιώνα.

## **1.5 Κυριαρχία των 50Hz συχνότητας**

Θεαματική στροφή προς τα 50 Hz έγινε στις αρχές της δεκαετίας του 1890 που εμφανίζονται ξεκάθαρες αναφορές προτίμησης σε αυτή τη συχνότητα, ακόμη και σε πραγματείες που γραφόταν το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα από ειδικούς. Εμφανώς, προς τα μέσα της δεκαετίας, τα 50 Hz κυριαρχούν, μειώνοντας στα μάτια της κοινής γνώμης την αξία των άλλων συχνοτήτων. Ανάμεσά σε όλα αυτά βέβαια, συναντάται μια μεμονωμένη περίπτωση των 25 Hz που

χρησιμοποιούνται το 1897 σε ένα σταθμό παραγωγής ενέργειας, ανάμεσα στις υπόλοιπες τιμές που κυμαίνονται μεταξύ 40 και 70 Hz. Θα πρέπει να σημειωθεί εδώ ότι στις περισσότερες από τις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας συναντάται το μονοφασικό κατά κύριο λόγο ρεύμα για ηλεκτρικό φωτισμό, στον οποίο οι συχνότητες από 40 έως 60 Hz ήταν οι πιο δημοφιλείς. Όταν άρχισε να χρησιμοποιείται το τριφασικό ρεύμα, έγινε πιο συνηθισμένο φαινόμενο η χρήση των 50 Hz και στη συνέχεια εδραιώθηκε ως η προτιμώμενη συχνότητα για όλα.

Μετά από εξονυχιστικές έρευνες σε βάθος ετών οι εμπειρογνώμονες αποφάσισαν πως οι 50 περίοδοι ανά δευτερόλεπτο ( $f=T/s$ ) φαίνεται να είναι ο πιο κατάλληλος ρυθμός συχνότητας αφού με αυτές τις εναλλαγές λειτουργούν επαρκώς μετασχηματιστές, κινητήρες και ηλεκτρικοί λαμπτήρες, όταν οι απαιτήσεις για ρεύμα και ενέργεια δεν είναι υπερβολικές. Κάπως έτσι άνοιξε ο δρόμος για τη δημιουργία δημοτικών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε διάφορα μέρη του κόσμου, ανοίγοντας έτσι και τον δρόμο για μια πιο διαδεδομένη χρήση της συχνότητας των 50 Hz. Έτσι, τα 50 Hz έπαψαν να αποτελούν μόνο «πλεονέκτημα» των Γερμανών και των Ελβετών κατασκευαστών. Με τη στροφή αυτή που πραγματοποιήθηκε τον 20ο αιώνα, τα 50 Hz έγιναν το επικρατών πρότυπο συχνότητας που χρησιμοποιούνταν σε γεννήτριες και γενικά σε οποιαδήποτε συσκευή παρήγαγε ενέργεια. Για μια τελική επιλογή της συχνότητας στις αρχές του 20ου αιώνα μελετήθηκε ένα μάλλον στενό πεδίο τιμών. Η συχνότητα έπρεπε να είναι μάλλον χαμηλή στα περίπου 25 Hz όταν επρόκειτο για μεταφορά ενέργειας/δύναμης, τουλάχιστον στα 42 Hz για ανάγκες φωτισμού και υψηλή όταν επρόκειτο για μετασχηματιστές, τουλάχιστον δηλαδή στα 60 Hz. Για να ανταποκριθεί σε αυτές τις μεταβαλλόμενες συνθήκες με ένα ενιαίο καθεστώς, μόνο ένας συμβιβασμός θα μπορούσε να λύσει το πρόβλημα κι αυτός ήταν μια κλιμακοποίηση από 2 έως 50 Hz, (δηλαδή το πολύ 100 εναλλαγές το δευτερόλεπτο). Πολύ πιο σπάνια πλέον, οι αρμόδιοι συνέστειναν την επιλογή των 60 Hz και εκείνη την εποχή φαινόταν πιο κατάλληλη η χρήση και μιας δευτερεύουσας συχνότητας 25 Hz για τις πιο μεγάλες απαιτήσεις ισχύος. Όσοι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λειτουργούσαν με μια άλλη συχνότητα έπρεπε να μετατρέψουν τις γεννήτριες τους σε γεννήτριες που χρησιμοποιούσαν τα 50 Hz ή να κλείσουν. Χαρακτηριστικό παράδειγμα, η πόλη Heilbronn στη Νοτιοδυτική Γερμανία που θεωρούνταν προνόμιο που εξυπηρετούνταν από εργοστάσιο που της παρείχε τρεις φάσεις εναλλασσόμενου ρεύματος.

Ο πρώτος δημοτικός σταθμός παραγωγής ενέργειας στη Φρανκφούρτη που παράγει μονοφασικό εναλλασσόμενο ρεύμα σε  $45 \frac{1}{3}$  Hz κάνει την εμφάνιση του το 1893. Αργότερα, όταν στις προμήθειες από επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας που δραστηριοποιούνταν στα 50 Hz χρειάστηκαν την ελαστικότητα στη συχνότητα αλλά και τον αριθμό των φάσεων δημιουργήθηκαν σοβαρές επιπλοκές και δρομολογήθηκε η εγκατάσταση μετατροπέων. Ο οικισμός με ενέργεια βασισμένη σε ένα πρότυπο 50 Hz φάνταζε πολύ ικανοποιητικός και γρήγορος, αλλά η αποδοχή αυτού ως εθνικού προτύπου ήταν αναπόφευκτα αργή και σκόπιμη, όπως συμβαίνει με κάθετι νέο –

τεχνολογικό ή μη. Στην Γερμανία ξεκίνησε το πρώτο πρότυπο για ηλεκτρικές μηχανές και μετασχηματιστές το 1902. Κρίθηκε σκόπιμο να καθοριστούν πρότυπα για τη συχνότητα, την τάση κλπ, αλλά δυστυχώς ή ευτυχώς αυτά τα σημεία δεν θα μπορούσαν να αποτελούν κομμάτι οποιονδήποτε κανονισμών, διότι αυτό θα σήμαινε πως γίνεται σοβαρή παρέμβαση στον τρόπο και χρόνο παραγωγής των εταιρειών αλλά και στην οικονομική αποδοτικότητα των συστημάτων. Παρ'όλα αυτά, για να δοθεί ένας οδηγός και υπάρχει μια αρχική βάση για πιθανούς κανονισμούς προς αυτή την κατεύθυνση, συμφωνήθηκε να συνιστώνται κάποια πράγματα στα σχετικά παραρτήματα που συνοδεύουν την όποια ηλεκτρική συσκευή ή την όποια συσκευή παραγωγής ενέργειας. Σαφώς, αυτά που συνιστώνται δεν είναι δεσμευτικά γι' αυτό και σε κάθε περίπτωση συνίσταται να ακολουθούνται από τους μηχανικούς όσο το δυνατόν αυτά τα πρότυπα.

Χρειάστηκαν πολλά χρόνια πριν από την αναβάθμιση οποιονδήποτε κρατικών εγγράφων μέχρι να χρησιμοποιηθεί κάτι πιο συγκεκριμένο όπως "Το πρότυπο συχνότητα είναι 50 Hz".

Το 1917, η Εθνική Επιτροπή της Αυστρίας ξεκίνησε διστακτικά να συνιστά τα πρώτα πρότυπα στα οποία ήταν και τα 50 Hz. Ήδη το 1920, το πρότυπο τέθηκε σε ισχύ. Προς το τέλος της δεκαετίας του 1920, η συμβατότητα των δύο συστημάτων καταδείχθηκε όταν μια υψηλής σημασίας αποστολή εμφανίστηκε, αφού έπρεπε να διασυνδεθεί η αλπική υδροηλεκτρική ενέργεια για μια απόσταση περίπου 800 χιλιομέτρων. Από την άλλη, η Ελβετία είναι η μόνη χώρα με ίσως την συνειδητή προτιμώμενη εφαρμογή των 50 Hz. Έτσι στη χώρα υποστηρίζονται με 50 Hz οι περισσότεροι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, όπως είναι ο Hochfelden (1892), ο Beznau (1903), και άλλοι. Αρχίζοντας το 1918, δράσεις αναλήφθηκαν για την εναρμόνιση και την ενίσχυση του ελβετικού ηλεκτρικού δικτύου βάσει της υψηλής τάσης με μετατροπείς τριών φάσεων και με 50 Hz που εκτείνονται σε μια απόσταση περίπου 300 χιλιόμετρα (190 μίλια). Για την Ελβετική πραγματικότητα, το Γερμανικό πρότυπο επηρέασε καθοριστικά τη συνολική κατάσταση. Αρχίζοντας το 1934, οι εθνικοί κανόνες προωθήθηκαν, γεγονός που επικυρώνεται και από τη Διεθνής Ηλεκτροτεχνική Επιτροπή. Στην επικράτεια της Ελβετικής γης, τα 50 Hz έγιναν ένα πρώιμο πρότυπο από το γεγονός πως υπήρξε άμεση συναίνεση.

Στη Μεγάλη Βρετανία υπήρξε μια μεγάλη ποικιλία συχνοτήτων του συστήματος, που κυμαίνονται μεταξύ 40 και 100 Hz με 11 ενδιάμεσες τιμές. Το Λονδίνο είναι ίσως το χειρότερο παράδειγμα της ανεξάρτητης ανάπτυξης των ηλεκτρικών συστημάτων, χωρίς την ανησυχία της αναγκαιότητας της πιθανής μελλοντικής διασύνδεσης. Παλιότερα, υποστηρίζεται ότι υπήρχαν στην κεντρική περιοχή του Λονδίνου 41 σταθμοί παραγωγής ενέργειας που χρησιμοποιούν 31 συστήματα και 8 διαφορετικές συχνότητες. Η καθιέρωση ενός εθνικού προτύπου τυπικής συχνότητας στη Μεγάλη Βρετανία έγινε πολύ αργότερα, όταν η Κεντρική Αρχή Ηλεκτρισμού, που σχηματίστηκε το 1925, άρχισε να δημιουργεί ένα δίκτυο υψηλής τάσης που λειτουργεί στα 50 Hz.

Ολοκληρωτικά, το πρότυπο καθιερώθηκε στη Μεγάλη Βρετανία μόνο μετά τον Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο.

Τόσο η έναρξη χρήσης όσο και η διάδοση της συχνότητας των 50 Hz υπήρξε μια διαδικασία περίπλοκη που πέρασε από διάφορα στάδια σύγκυσης σε κάθε μία από τις χώρες που τελικά κυριάρχησε η επιλογή της από τους αρμόδιους και ακόμα πιο πολύπλοκο και χρονοβόρο ήταν ώσπου να καθιερωθεί ως εθνικό πρότυπο κι αυτό γιατί τις περισσότερες φορές βρέθηκε υπό πίεση από το μονοπώλιο των ελάχιστων εταιρειών κατασκευής. Διάφορα παραδείγματα συναντήσαμε όμως το πιο ακριβές συμπέρασμα είναι πως όσο λιγότερες εταιρείες εμπλέκονταν στην κατάσταση, τόσο πιο γρήγορα μια χώρα συμμορφώνονταν να ακολουθήσει τις κατάλληλες συχνότητες.

## **1.6 Μεταπολεμική εποχή**

Λίγο μετά τον Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο, η διασυνοριακή ανταλλαγή ηλεκτρικής ενέργειας μεταξύ των χωρών της ηπειρωτικής Ευρώπης ξεκίνησε. Έτσι, ένα πρωτοποριακό εγχείρημα ήταν μια προσπάθεια διασύνδεσης υψηλής τάσης ηλεκτρισμού μεταξύ Γαλλίας, Γερμανίας και Ελβετίας και όλα αυτά γύρω στο 1958. Εν τω μεταξύ, η Ένωση για το συντονισμό της Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας περιλαμβάνει 23 Ευρωπαϊκές χώρες που διασυνδέονται σε ένα τεράστιο δίκτυο που εκτείνεται σε όλη την ήπειρο, από την Πορτογαλία προς τη Δανία, την Πολωνία, την Ελλάδα, και την Ισπανία συμπεριλαμβανομένων και των νησιών της Μεσογείου. Αυτό το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας αναγκαστικά λειτουργεί με το ρυθμό μιας μόνο συχνότητας, η οποία φυσικά είναι 50 Hz.

Όπως γίνεται αντιληπτό, σε πολλές χώρες και για πολλά χρόνια ο «ηλεκτρικός κόσμος» είχε μάθει να διαχειρίζεται με δύο διαφορετικά πρότυπα συχνότητας (50 Hz και 60 Hz), και μάλιστα στις περισσότερες περιπτώσεις με την εγκατάσταση ανεξάρτητων και, δυστυχώς, ασυμβίβαστων συστημάτων. Όπως ήταν φυσικό, σε ορισμένες περιπτώσεις, η χρήση των δύο προτύπων ταυτόχρονα στο ίδιο συγκρότημα παραγωγής ενέργειας πάρα την αρχικά θεωρητικά πετυχημένη συνύπαρξη, ενείχε κινδύνους επί της ολοκλήρωσης της. Μια τέτοια περίπτωση σημειώθηκε προς το τέλος της δεκαετίας του 1960, όταν μια γιγαντιαία επιχείρηση παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας στη Νότια Αμερική ήταν ακόμη στο στάδιο του σχεδιασμού κι αυτό γιατί ο συγκεκριμένος σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας εκτεινόταν από τη Βραζιλία και την Παραγουάη έως τον ποταμό Παρανά, στο κοινό τμήμα των συνόρων μεταξύ των δύο χωρών. Το αναμενόμενο πρόβλημα που δημιουργήθηκε ήταν πως στις δύο χώρες οι επικρατούσες τυποποιημένες συχνότητες διέφεραν (στη Βραζιλία ήταν τα 60 Hz, και στην Παραγουάη είναι τα 50 Hz) και το μεγαλύτερο μέρος της παραγόμενης ενέργειας ήταν να καταναλώνεται στη Βραζιλία. Αφού αναζητήθηκαν κάποιες εναλλακτικές λύσεις και εγκαταλείφθηκαν ως μη εφικτές, μια συνδυασμένη πολιτική ακολουθήθηκε, δηλαδή οι μισές από τις μονάδες παραγωγής αποφασίστηκε

να λειτουργούν στα 50 Hz (90,9 στροφές/λεπτό), ενώ οι υπόλοιπες μισές στα 60 Hz (92,3 στροφές/λεπτό), πρόκειται λοιπόν για την γεννήτρια δύο παραλλαγών που οδηγείται από την ίδια τουρμπίνα νερού. Στο Σάο Πάολο της Βραζιλίας, όπου βρισκόταν ο τερματικός εξοπλισμός μετέτρεπε την ενέργεια στα 60 Hz εναλλασσόμενου ρεύματος που διαβιβαζόταν απευθείας σε υψηλής τάσης AC τριών φάσεων. Το 1984 η πρώτη μονάδα παραγωγής άρχισε να λειτουργεί και το 1991 η μονάδα παραγωγής ενέργειας ολοκληρώθηκε με συνολικά 18 μονάδες, με καθεμία από τις οποίες να παράγει περίπου 700 MW. Δυο επιπλέον μονάδες εγκαταστάθηκαν κατά την περίοδο 2006-2007. Εν κατακλείδι: Η σύγκρουση που πρόέκυψε στην περίπτωση που μόλις αναφέρθηκε και που προκαλείται από την ασυμβατότητα των δύο μεγάλων πρότυπων συχνότητας που χρησιμοποιούνται στον πλανήτη μας, είναι ένα συναρπαστικό παράδειγμα μιας πιθανής σύγκρουσης με συστήματα Tween και επίσης μια βιτρίνα για την επιδέξια ανάλυση των ηλεκτρικών συγκρούσεων μέσω της εφαρμογής στοχαστικών ηλεκτρικών λύσεων.

## **Κεφάλαιο 2**

### **Γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος**

#### **2.1 Είδη και χρήση**

Οι δύο μεγάλες κατηγορίες που διακρίνουν τις μηχανές εναλλασσόμενου ρεύματος είναι οι σύγχρονες και οι ασύγχρονες.

Στη πρώτη κατηγορία, σε αυτή των συγχρόνων μηχανών, υπάρχει μια ορισμένη σταθερή σχέση ανάμεσα στη ταχύτητα περιστροφής και τη συχνότητα του ρεύματος. Ακόμη χαρακτηριστικό τους στοιχείο είναι ότι έχουν διέγερση που τροφοδοτείται με συνεχές ρεύμα από ένα δίκτυο ή από μια μηχανή συνεχούς ρεύματος, τη διεγέρτρια. Αντίθετα στις ασύγχρονες μηχανές η ταχύτητα για μια ορισμένη συχνότητα του ρεύματος εξαρτάται από το φορτίο της μηχανής. Συνεπώς δεν υπάρχει σταθερή σχέση μεταξύ συχνότητας ρεύματος και ταχύτητας περιστροφής.

Οι μηχανές των παραπάνω κατηγοριών που μας απασχολούν σε αυτό το κεφάλαιο είναι αναστρέψιμες μηχανές που σημαίνει ότι μπορούν να λειτουργήσουν είτε ως γεννήτριες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είτε ως κινητήρες για τη κίνηση διαφόρων μηχανημάτων. Στη πράξη, οι σύγχρονες μηχανές χρησιμοποιούνται κυρίως ως γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος οπότε ονομάζονται εναλλακτικές. Τέτοιες μηχανές χρησιμοποιούνται στους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, στη βιομηχανία, στα πλοία, και οπουδήποτε αλλού κρίνεται απαραίτητο έτσι ώστε να πάρουμε τα απαιτούμενα ποσά ηλεκτρικής ενέργειας για να καλύψουμε τις ανάγκες μας. Σε ειδικές μόνο περιπτώσεις οι σύγχρονες μηχανές χρησιμοποιούνται ως κινητήρες και ονομάζονται σύγχρονοι κινητήρες. Οι ασύγχρονες μηχανές σπανίως χρησιμοποιούνται ως γεννήτριες AC και τις συναντάμε κυρίως ως κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος ή κινητήρες επαγωγής σε πάρα πολλές εφαρμογές βιομηχανικών εγκαταστάσεων, πλοίων, διυλιστηρίων,

αντλιοστασίων και άλλων. Από τη κατασκευαστική διάταξη των μαγνητικών πόλων που δημιουργούν τη διέγερση σε μια γεννήτρια, οι εναλλακτικές διακρίνονται σε:

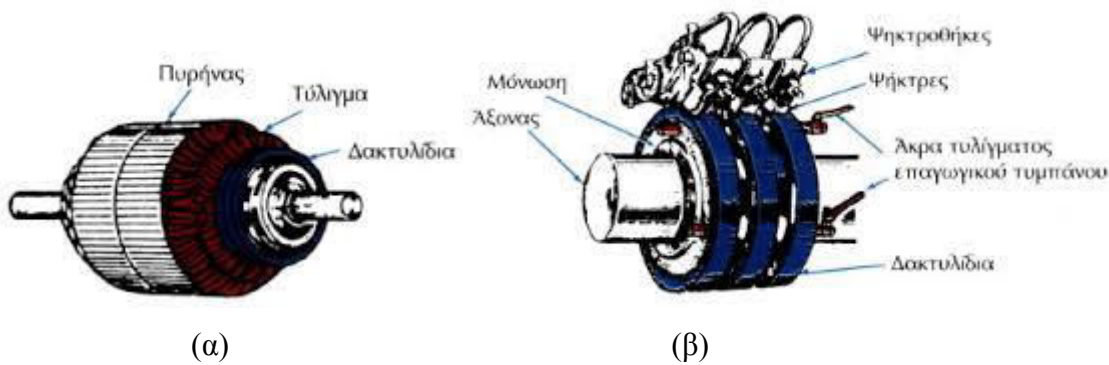
- α) Εναλλακτικές με εξωτερικούς πόλους.
- β) Εναλλακτικές με εσωτερικούς ή περιστρεφόμενους πόλους.
- γ) Στροβιλοεναλλακτικές, οι οποίοι αποτελούν ειδική περίπτωση εναλλακτικών με εσωτερικούς πόλους.

Σε μικρά ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη, σε χαμηλές τάσεις και μικρές ισχύς, χρησιμοποιούνται εναλλακτικές με εξωτερικούς πόλους. Εναλλακτικές με περιστρεφόμενους πόλους χρησιμοποιούνται για μεγαλύτερες ισχύς, αλλά για μικρές ταχύτητες περιστροφής, όπως στη περίπτωση των εναλλακτικών των υδροηλεκτρικών σταθμών παραγωγής. Τέλος, οι στροβιλοεναλλακτικές χρησιμοποιούνται για πολύ μεγάλες ισχύς παραδείγματος χάριν της τάξεως των 300.000 kW και μεγάλες ταχύτητες περιστροφής (π.χ. 3000 rpm). Τέτοιοι εναλλακτικές χρησιμοποιούνται σε όλους τους μεγάλους θερμικούς σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

## **2.2 Τύποι και κατασκευή σύγχρονων γεννητριών ή εναλλακτικών**

### **2.2.1 Εναλλακτικές με εξωτερικούς πόλους**

Στους εναλλακτικές αυτούς η διέγερση της μηχανής γίνεται από μαγνητικούς πόλους στερεωμένους στο εσωτερικό του ζυγώματος του στάτη, όπως και στις μηχανές συνεχούς ρεύματος. Τα τυλίγματα των μαγνητικών πόλων τροφοδοτούνται με συνεχές ρεύμα από μια γεννήτρια συνεχούς ρεύματος, μία πηγή συνεχούς ρεύματος ή ανορθωτική διάταξη. Η γεννήτρια συνεχούς ρεύματος συνήθως είναι συνδεδεμένη απευθείας στον άξονα του εναλλακτήρα, από τον οποίο παίρνει κίνηση και ονομάζεται διεγέρτρια του εναλλακτήρα. Ο δρομέας των εναλλακτικών με εξωτερικούς πόλους φέρει επαγωγικό τύμπανο, όπως ο δρομέας των μηχανών συνεχούς ρεύματος. Στα αυλάκια που σχηματίζουν οι οδοντώσεις του πυρήνα του επαγωγικού τυμπάνου είναι τοποθετημένο το τύλιγμα. Σε αυτούς τους εναλλακτικές, συλλέκτης δεν υπάρχει και αντί αυτού έχουμε δαχτυλίδια-δακτύλιοι κατασκευασμένα από αρείχαλκο. Τα δαχτυλίδια των εναλλακτικών με εξωτερικούς πόλους είναι στερεωμένα στον άξονα του δρομέα και είναι μονωμένα μεταξύ τους και προς τον άξονα. Ο αριθμός των δαχτυλιδιών είναι 2,3 ή 4, ανάλογα με τον αριθμό των φάσεων του εναλλακτήρα. Στους δακτυλίους εφάπτονται ψήκτρες σταθερά συνδεδεμένες στο ακίνητο τμήμα της μηχανής που οδηγούν το παραγόμενο ρεύμα έξω από τη μηχανή. Βασικά μειονεκτήματα της κατασκευής είναι ότι ολόκληρο το ρεύμα φορτίου πρέπει να περνά από τις ψήκτρες καθώς και η ισχυρή καταπόνηση των τυλιγμάτων λόγω περιστροφής τους σε πολύστροφους εναλλακτικές. Για τους παραπάνω δύο λόγους αυτός ο τύπος εναλλακτήρα κατασκευάζεται μόνο για μικρές ισχύς και χαμηλή τάση.



Σχήμα 2.2.1 α) Δρομέας και δακτύλιοι β) εναλλακτήρα με εξωτερικούς πόλους

## 2.2.2 Εναλλακτήρες με εσωτερικούς πόλους

Στους εναλλακτήρες αυτούς το επαγωγικό τύμπανο είναι τοποθετημένο στο ακίνητο μέρος της μηχανής δηλαδή στο στάτη. Οι μαγνητικοί πόλοι τοποθετούνται ακτινικά στον άξονα του περιστρεφόμενου δρομέα και για τον λόγο αυτό ονομάζονται και εναλλακτήρες με περιστρεφόμενους πόλους. Στο σχήμα 2.2.2. (α) που ακολουθεί παριστάνεται εναλλακτήρας με εσωτερικούς πόλους αποσυναρμολογημένος, έτσι ώστε να φαίνονται τα διάφορα μέρη από τα οποία αποτελείται. Η διεγέρτρια και στους εναλλακτήρες αυτούς είναι συνδεδεμένη συνήθως απευθείας με στον άξονα του εναλλακτήρα, από τον οποίο παίρνει κίνηση.

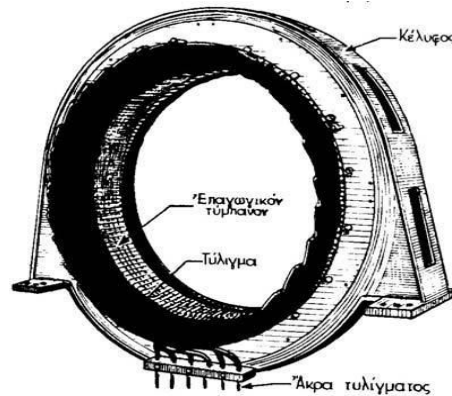


Σχήμα 2.2.2. α) Αποσυναρμολογημένος εναλλακτήρας με εσωτερικούς πόλους

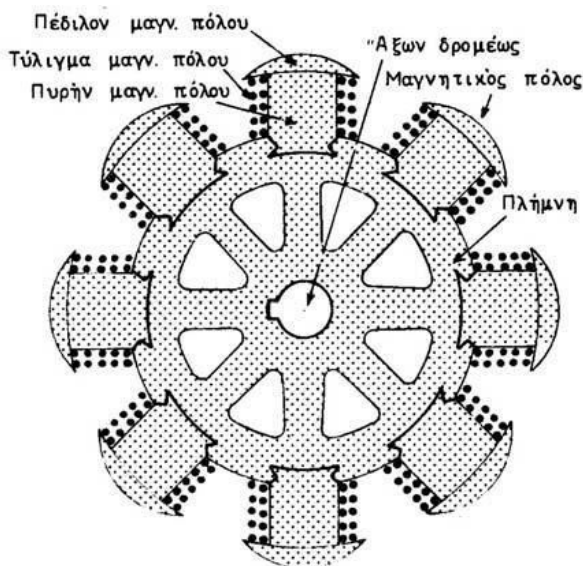
Ο στάτης αποτελείται από εξωτερικό κέλυφος κατασκευασμένο από χαλύβδινα ελάσματα μέσα στο οποίο τοποθετείται το επαγωγικό τύμπανο που αποτελείται από τον πυρήνα και το τύλιγμα. Ο πυρήνας κατασκευάζεται από πολλούς δίσκους ελασμάτων με κατάλληλο σχήμα ώστε να σχηματίζουν αυλάκια (όταν τοποθετούνται παράλληλα) μέσα στα οποία τοποθετείται το τύλιγμα, τα άκρα του οποίου καταλήγουν απ' ευθείας στους ακροδέκτες χωρίς τη παρεμβολή ψυκτρών ή δακτυλίων.

Ο δρομέας των εναλλακτών με εσωτερικούς πόλους φέρει τους μαγνητικούς πόλους στερεωμένους ακτινικά. Στους τριφασικούς εναλλακτήρες των σταθμών παραγωγής οι πυρήνες και τα πέλδια των πόλων κατασκευάζονται από συμπαγή μαλακό χάλυβα. Το διάκενο με πάχος μερικά

μη επιτρέπει την ελεύθερη περιστροφή του δρομέα μέσα στον στάτη. Τα τυλίγματα των πόλων τοποθετούνται στους πυρήνες πριν μπουν τα πέδιλα και συνδέονται μεταξύ τους έτσι ώστε να δημιουργούνται διαδοχικά μαγνητικοί πόλοι με αντίθετη πολικότητα. Τα τυλίγματα των πόλων τροφοδοτούνται με συνεχές ρεύμα από την διεγερτρια μηχανή η οποία είναι γεννήτρια συνεχούς ρεύματος μέσω ψυκτρών και δύο δακτυλίων στερεωμένων στον άξονα του δρομέα. Το ρεύμα αυτό και η τάση του είναι πολύ μικρά σε σχέση με τα αντίστοιχα μεγέθη του επαγωγικού τυμπάνου και επομένως η κατασκευή δεν καταπονείται ιδιαίτερα. Η όλη διάταξη είναι κατάλληλη για μηχανές με μικρή σχετικά ταχύτητα περιστροφής και χρησιμοποιούνται σε συστήματα παραγωγής με κινητήρια μηχανή είτε υδροστρόβιλο είτε μεγάλη μηχανή εσωτερικής καύσης.



Σχήμα 2.2.2. β) Στάτης εναλλακτήρα με εσωτερικούς πόλους.



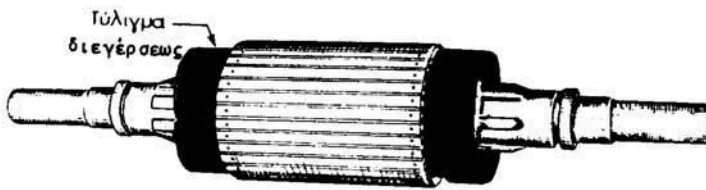
Σχήμα 2.2.2. γ) Μαγνητικοί πόλοι οκταπολικού εναλλακτήρα.

### 2.2.3 Στροβιλοεναλλακτήρες

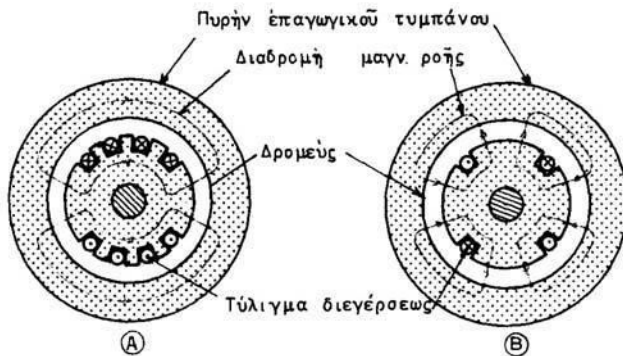
Ανήκουν στην κατηγορία των μηχανών με εσωτερικούς πόλους αλλά κατασκευάζονται να λειτουργούν με κινητήριες μηχανές μεγάλης ταχύτητας περιστροφής όπως οι ατμοστρόβιλοι. Έτσι βασικό χαρακτηριστικό είναι η μικρή διάμετρος αλλά και το μεγάλο μήκος άξονα. Ο στάτης έχει την ίδια κατασκευή αλλά ο δρομέας δεν έχει εμφανείς πόλους και αποτελείται από συμπαγές



κυλινδρικό τύμπανο με αυλάκια μέσα στα οποία μπαίνει και στερεώνεται το τύλιγμα διέγερσης με δύο συνήθως πόλους που καταλήγει σε δύο δακτυλίους στερεωμένους στον δρομέα που εφάπτονται σε δύο ψήκτριες στερεωμένες στον στάτη. Ο δρομέας και το μαγνητικό πεδίο φαίνονται στα παρακάτω σχήματα 2.2.3.α) και (β)



(α)



(β)

Σχήμα 2.2.3. α) Δρομέας και (β) μαγνητικό πεδίο στροβιλοεναλλακτήρα.

## 2.2.4 Συχνότητα και ταχύτητα περιστροφής

Η συχνότητα  $f$  της παραγόμενης ηλεκτρεγερτικής δύναμης αποδεικνύεται ότι είναι:

$$f = p n_s \text{ (Hz)}$$

όπου  $p$  ο αριθμός των ζευγών των μαγνητικών πόλων και  $n_s$  ο αριθμός στροφών του εναλλακτήρα ανά sec.

Ο παραπάνω τύπος δίνει τη σύγχρονη ταχύτητα ενός εναλλακτήρα όταν αποδίδεται μια ορισμένη συχνότητα. Συνεπώς:

$$n_s = f/p \text{ (στρ./sec)} \text{ ή } n_s = 60f/p \text{ (στρ./min)}$$

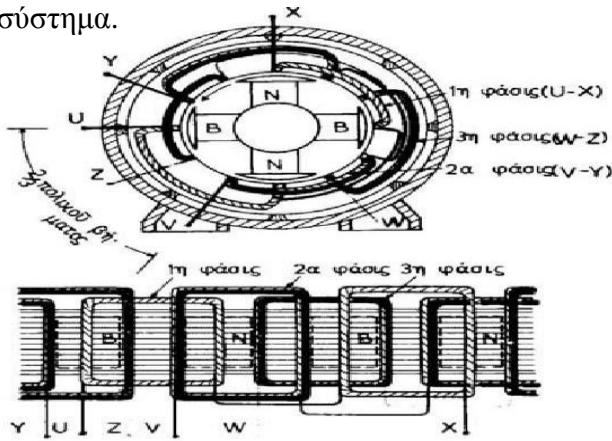
Στην Ελλάδα και την Ευρώπη είναι  $f = 50 \text{ Hz}$  οπότε ανάλογα με τον αριθμό ζευγών πόλων μπορεί να προκύψει και η απαραίτητη ταχύτητα περιστροφής της κινητήριας μηχανής π.χ. για  $p=2$  η ταχύτητα περιστροφής της μηχανής θα είναι:

$$n_s = 60f/p = (60 \times 50)/2 = 3000/2 = 1500 \text{ rpm}$$

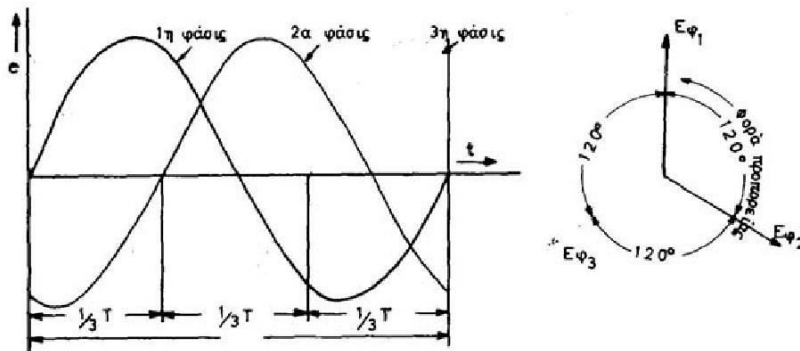
## 2.2.5 Τριφασικοί εναλλακτήρες

Οι τριφασικοί εναλλακτήρες φέρουν στο επαγωγικό τύμπανο τρία όμοια και ανεξάρτητα μεταξύ τους μονοφασικά τυλίγματα, τις τρεις φάσεις του εναλλακτήρα. Στο σχήμα 2.2.5 (α) φαίνεται ένας απλός τριφασικός εναλλακτήρας και το ανάπτυγμα του επαγωγικού τυμπάνου. Στα τριφασικά τυλίγματα υπάρχουν 6 άκρα, τρεις αρχές U, V, W και τρία πέρατα X, Y, Z. Έτσι το τύλιγμα U-X αποτελεί την πρώτη φάση, το τύλιγμα V-Y την δεύτερη και το W-Z την τρίτη. Οι εναλλασσόμενες ηλεκτρεγερτικές δυνάμεις που αναπτύσσονται στις τρεις φάσεις έχουν το ίδιο μέγεθος (ενεργές τιμές), την ίδια συχνότητα και λέγονται φασικές ηλεκτρικές δυνάμεις. Οι φασικές ΗΕΔ έχουν μεταξύ τους φασική μετατόπιση 120 μοιρών. Στο σχήμα 2.2.5 (β) φαίνονται οι ηλεκτρεγερτικές δυνάμεις τριφασικού εναλλακτήρα τόσο συναρτήσεως του χρόνου όσο και με διανυσματική μορφή. Τα έξι ελεύθερα άκρα της μηχανής συνδέονται στους έξι ακροδέκτες της μηχανής όπως φαίνεται στο σχήμα 2.2.5. (γ). Τότε οι τρεις φάσεις είναι εντελώς ανεξάρτητες μεταξύ τους και το σύστημα που προκύπτει λέγεται ανεξάρτητο τριφασικό σύστημα. Πρακτικά όμως τα τυλίγματα των τριών φάσεων συνδέονται μεταξύ τους με αποτέλεσμα το συνδεδεμένο

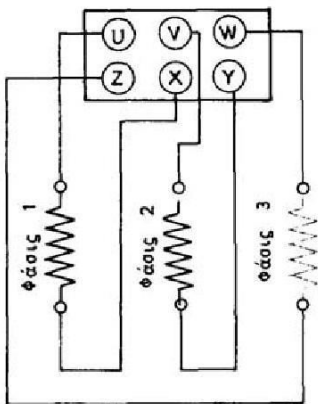
τριφασικό σύστημα.



Σχήμα 2.2.5 α) Τριφασικός εναλλακτήρας με ανάπτυγμα τυλίγματος τυμπάνου.



Σχήμα 2.2.5 β) Ηλεκτρεγερτικές δυνάμεις εναλλακτήρα.



Σχήμα 2.2.5 γ) Ανεξάρτητο τριφασικό σύστημα.

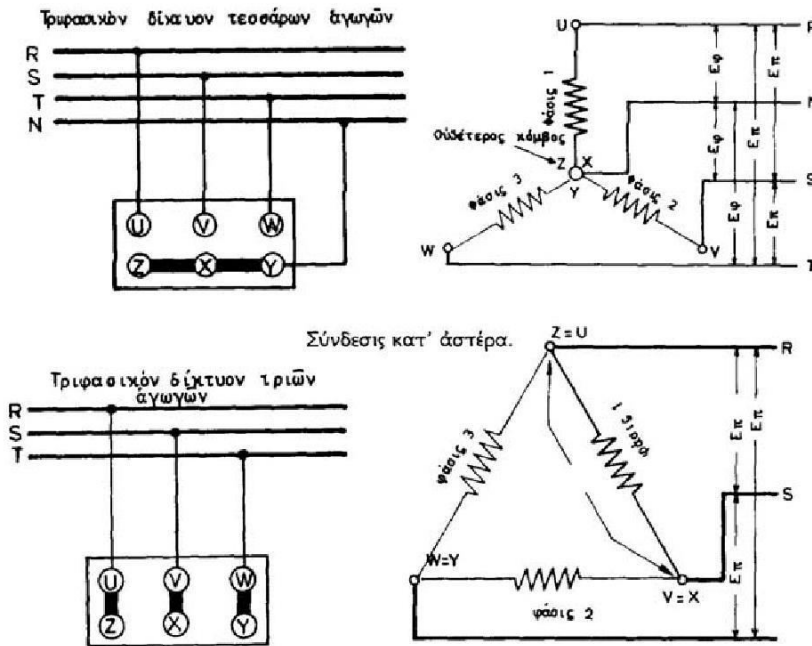
Υπάρχουν δύο τρόποι σύνδεσης μεταξύ των φάσεων, η σύνδεση σε αστέρα και η σύνδεση σε τρίγωνο. Στην σύνδεση σε αστέρα συνδέονται οι ακροδέκτες Z, X, Y που αποτελούν έτσι τον ουδέτερο κόμβο της μηχανής και οι άλλοι τρεις ακροδέκτες U, V, W συνδέονται στο τριφασικό δίκτυο. Όταν το τριφασικό δίκτυο είναι τεσσάρων αγωγών, ο τέταρτος αγωγός συνδέεται στον ουδέτερο κόμβο της μηχανής. Μεταξύ του ακροδέκτη μιας φάσεως και του ουδέτερου υπάρχει η φασική ΗΕΔ του εναλλακτήρα  $E_{\phi}$  και μεταξύ δύο φάσεων υπάρχει η πολική ΗΕΔ  $E_{\pi}$ . Η μεταξύ των δύο σχέση είναι:

$$E_{\pi} = \sqrt{3}E_{\phi} = 1.73E_{\phi}$$

Η σύνδεση σε τρίγωνο πραγματοποιείται με σύνδεση των ακροδεκτών των φάσεων έτσι ώστε η Z να συνδέεται με την U, η W με την Y και η V με την X. Στην περίπτωση αυτή η φασική ΗΕΔ είναι ίση με την πολική ΗΕΔ, δηλαδή:

$$E_{\pi} = E_{\phi}$$

Στο σχήμα 2.2.5 (δ) που ακολουθεί, φαίνονται οι συνδέσεις σε αστέρα και τρίγωνο.



Σχήμα 2.2.5 δ) Συνδέσεις σε αστέρα και τρίγωνο.

Η ενεργός τιμή της φασικής ΗΕΔ δίνεται από τη σχέση:

$$E_{\phi} = Kf\omega_0\Phi \text{ σε V}$$

Όπου  $K$  σταθερά εξαρτώμενη από το τύλιγμα με τιμές μεταξύ 1.9 και 3.4  $f$  η συχνότητα της παραγόμενης τάσης

$\Phi$ : η μαγνητική ροή ανά πόλο σε  $Wb$

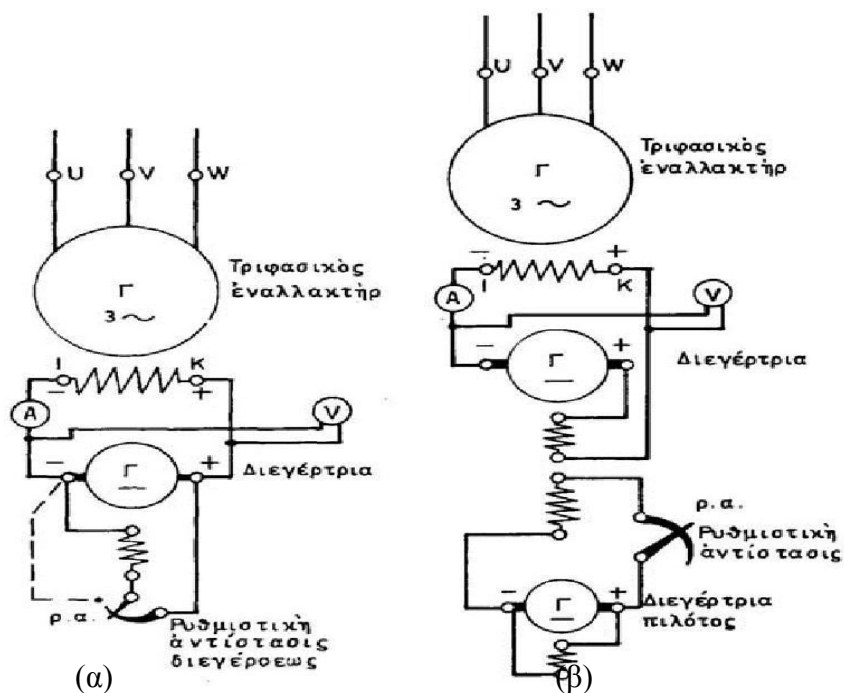
$\omega_0$ : ο αριθμός των σε σειρά αγωγών του τυλίγματος της φάσης (αριθμός αυλακών επί τον αριθμό των αγωγών ανά αυλάκι).

## 2.2.6 Ρύθμιση τάσης εναλλακτήρα

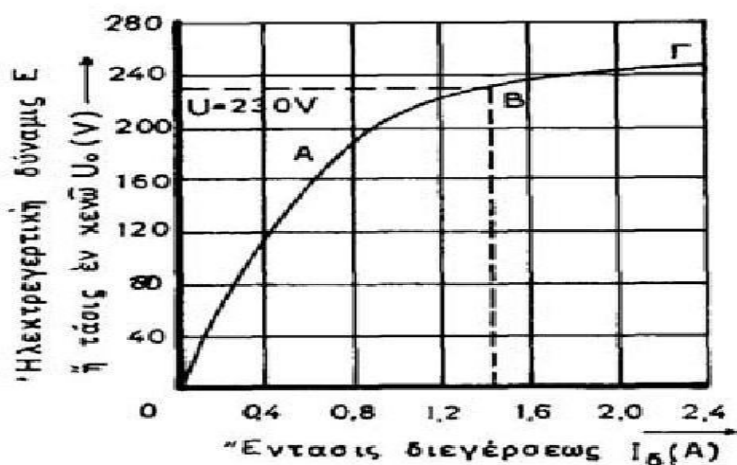
Η μεταβολή της ΗΕΔ εναλλακτήρα μπορεί να γίνει είτε με μεταβολή της ταχύτητας περιστροφής ή της μαγνητικής ροής  $\Phi$  σύμφωνα με τον παραπάνω τύπο της ΗΕΔ, των άλλων παραμέτρων να αποκλείονται λόγω του ότι εξαρτώνται από κατασκευαστικά στοιχεία. Η μεταβολή της ταχύτητας πάλι δεν είναι επιτρεπτή αφού έτσι θα αλλάξει η συχνότητα της παραγόμενης τάσης. Επομένως η μόνη πρακτική δυνατότητα μεταβολής είναι εκείνη της μαγνητικής ροής  $\Phi$  που εξαρτάται από το ρεύμα διέγερσης.

Στους μεγάλους εναλλακτήρες, λόγω του ότι το ρεύμα διέγερσης έχει σημαντικές τιμές η ρύθμιση της διέγερσης γίνεται όχι με ροοστάτη διεγέρσεως στο τύλιγμα της διεγέρτριας μηχανής αλλά με τροφοδοσία του τυλίγματος της διεγέρτριας από άλλη γεννήτρια συνεχούς ρεύματος (λέγεται διεγέρτρια πιλότος). Στο σχήμα 2.2.6 (α) φαίνονται δύο περιπτώσεις ρύθμισης τάσης με μεταβολή διέγερσης.

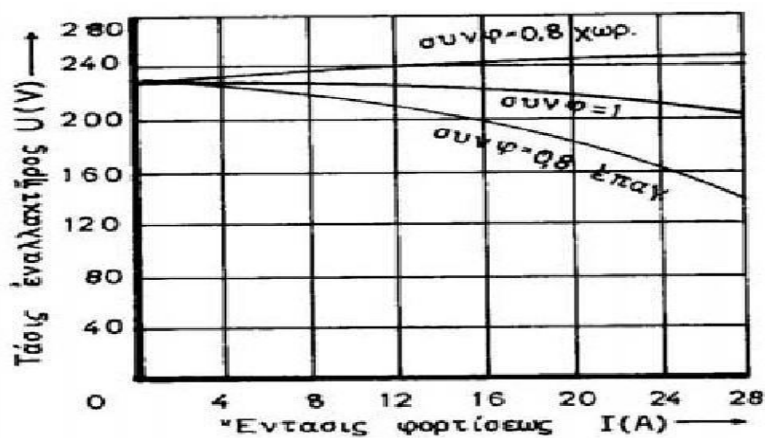
Η καμπύλη μεταβολής της ΗΕΔ εναλλακτήρα (που είναι η τάση χωρίς φορτίο) όταν μεταβάλλεται η ένταση διέγερσης για σταθερή ταχύτητα περιστροφής λέγεται χαρακτηριστική στο κενό ή στατική χαρακτηριστική του εναλλακτήρα και φαίνεται στο σχήμα 2.2.6 (β). Στην χαρακτηριστική διακρίνονται δύο τμήματα: η γραμμική περιοχή όπου η  $E$  είναι ανάλογη του ρεύματος διέγερσης και η περιοχή κορεσμού όπου σημαντική αύξηση του ρεύματος διέγερσης έχει σαν αποτέλεσμα μικρή μόνο αύξηση της τάσης. Οι εναλλακτήρες κατασκευάζονται ώστε να λειτουργούν στην αρχή της περιοχής κορεσμού στο ονομαστικό σημείο λειτουργίας.



Σχήμα 2.2.6. α) Ρύθμιση τάσης μεταβολή διέγερσης.



Σχήμα 2.2.6 β) Χαρακτηριστική στο κενό



Σχήμα 2.2.6 γ) Χαρακτηριστικές φόρτισης

## 2.2.7 Λειτουργία υπό φορτίο

Όταν ο εναλλακτήρας λειτουργεί στο κενό με τις ονομαστικές στροφές, η τάση στα άκρα

του είναι ίση με την ΗΕΔ και εξαρτάται μόνο από την τιμή της έντασης διέγερσης. Συνδέοντας φορτίο (σύνθετες αντιστάσεις) και κρατώντας σταθερή την διέγερση η τάση του εναλλακτήρα μεταβάλλεται και εξαρτάται εκτός των άλλων και από το είδος του φορτίου (ωμικό, επαγωγικό ή χωρητικό) που εκφράζεται με τον συντελεστή ισχύος του. Έτσι προκύπτουν χαρακτηριστικές υπό φορτίο με την μορφή του σχήματος 2.2.6 (γ)

Οι σχέσεις τάσεων και ρευμάτων για τις συνδεσμολογίες σε αστέρα είναι:

$$U_{\phi} = U/1.73 \text{ και } I_{\phi} = I$$

και σε τρίγωνο:

$$U_{\phi} = U \text{ και } I_{\phi} = I/1.73$$

Ένα άλλο σημαντικό μέγεθος του εναλλακτήρα είναι η διακύμανση τάσεως από το κενό ( $U_0$ ) μέχρι το ονομαστικό φορτίο ( $U_N$ ) που ορίζεται σαν

$$\varepsilon\% = 100 (U_0 - U_N)/U_N$$

Η ρύθμιση τάσης του εναλλακτήρα όταν μεταβάλλεται το φορτίο του γίνεται πάντα μέσω της έντασης διέγερσης και πραγματοποιείται με αυτόματο ρυθμιστή που προσαρμόζει πάντα την διέγερση ώστε να υπάρχει στην έξοδο η σταθερή ονομαστική τάση. Έτσι ανάλογα με το είδος του φορτίου ο εναλλακτήρας υπερδιεγείρεται σε επαγωγικά φορτία και υπερδιεγείρεται σε χωρητικά φορτία.

## 2.2.8 Χαρακτηριστικά στοιχεία εναλλακτών

Με την βοήθεια οργάνων που έχει κάθε εγκατάσταση εναλλακτήρα μπορεί να μετρηθεί κατά την λειτουργία του η πολική τάση  $U$ , η ένταση γραμμής  $I$  και η πραγματική ισχύς  $P$  που αποδίδεται στο δίκτυο. Από τα μεγέθη αυτά μπορεί να υπολογισθεί η φαινόμενη ισχύς  $S$  και η άεργος ισχύς  $Q$  που παρέχει ο εναλλακτήρας όπως και ο συντελεστής ισχύος  $\cos\phi$  με τις γνωστές από την ηλεκτροτεχνία σχέσεις που ακολουθούν στον παρακάτω πίνακα 2.2.8(1).

Σχέσεις υπολογισμού της ισχύος.

	Μονοφασικός έναλλακτήρ	Τριφασικός έναλλακτήρ	Διά μονοφασικών και τριφασικών έναλλακτών
Φαινόμενη Ισχύς (VA)	$N_s = U \cdot I$	$N_s = 1,73 \cdot U \cdot I$	$N_s = \sqrt{N^2 + N_b^2}$ $N_s = \frac{N}{\cos\phi}$
Πραγματική Ισχύς (W)	$N = U \cdot I \cdot \cos\phi$	$N = 1,73 \cdot U \cdot I \cdot \cos\phi$	$N = \sqrt{N_s^2 - N_b^2}$ $N = N_s \cdot \cos\phi$
Άεργος Ισχύς (var)	$N_b = U \cdot I \cdot \eta\mu\phi$	$N_b = 1,73 \cdot U \cdot I \cdot \eta\mu\phi$	$N_b = \sqrt{N_s^2 - N^2}$ $N_b = N_s \cdot \eta\mu\phi$
Συντελεστής Ισχύος	$\cos\phi = \frac{N}{U \cdot I}$	$\cos\phi = \frac{N}{1,73 \cdot U \cdot I}$	$\cos\phi = \frac{N}{N_s}$

Πίνακας 2.2.8 (1) Σχέσεις υπολογισμού της ισχύος (P αντί N, S αντί  $N_s$ , Q αντί  $N_b$ ).

Οι εναλλακτές κατασκευάζονται για μια ορισμένη ονομαστική τάση λειτουργίας που δίνεται πάντα από τον κατασκευαστή σαν πολική τάση πχ. 380V ή 15kV. Το μέγεθος ενός εναλλακτήρα χαρακτηρίζεται από την ονομαστική του ισχύ που είναι η φαινόμενη ισχύ που ο εναλλακτήρας μπορεί να δίνει συνεχώς στην ονομαστική του τάση χωρίς κίνδυνο καταστροφής των μονώσεων του από υπερθέρμανση. Στην πινακίδα του εναλλακτήρα εκτός της ονομαστικής ισχύος,

τάσης, έντασης, του ονόματος του κατασκευαστή και του αριθμού της κατασκευής γράφονται και τα εξής στοιχεία :

- α) ο αριθμός των φάσεων,
- β) η συχνότητα ρεύματος
- γ) ο ονομαστικός συντελεστής ισχύος με βάση τον οποίο έχει υπολογιστεί η ισχύς της κινητήριας μηχανής
- δ) η σύγχρονη ταχύτητα περιστροφής
- ε) η μέγιστη επιτρεπόμενη ένταση και τάση διέγερσης

Επίσης στην πινακίδα μπορεί να γράφεται και το είδος της επιτρεπόμενης λειτουργίας (συνεχής, διακοπτόμενη) και στην περίπτωση που δεν γράφεται αυτό η λειτουργία θεωρείται συνεχής.

### 2.2.9 Απώλειες και βαθμός απόδοσης εναλλακτήρα

Οι απώλειες των εναλλακτών που λειτουργούν με σταθερή συχνότητα διακρίνονται στις σταθερές απώλειες  $P_1$  που είναι οι μηχανικές απώλειες, οι μαγνητικές απώλειες και οι ηλεκτρικές απώλειες διέγερσης ( $U_d I_d$ ) που δεν εξαρτώνται από το φορτίο και στις μεταβλητές απώλειες  $P_2$  που είναι οι ηλεκτρικές απώλειες του τυλίγματος στάτη. Αν  $R$  είναι η ωμική αντίσταση ανά φάση του τυλίγματος τυμπάνου και  $I$  η ένταση γραμμής τριφασικού εναλλακτήρα, τότε οι μεταβλητές απώλειες είναι:

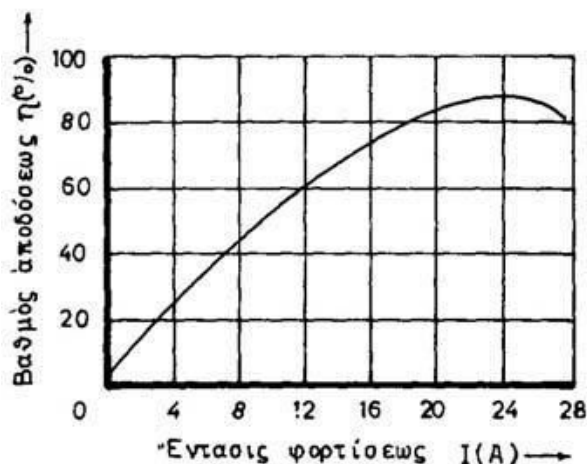
$$\text{Για σύνδεση αστέρα } P_2 = 3RI^2$$

$$\text{Για σύνδεση τριγώνου } P_2 = RI^2$$

Οι συνολικές απώλειες του εναλλακτήρα είναι  $\Sigma P = P_1 + P_2$  και ο βαθμός απόδοσης είναι:

$$\eta = \frac{P}{P + \Sigma P} \text{ με } P \text{ την αποδιδόμενη πραγματική ισχύ στο δίκτυο.}$$

Είναι προφανές ότι ο βαθμός απόδοσης είναι μικρότερος της μονάδας. Ο βαθμός απόδοσης εξαρτάται από το φορτίο του εναλλακτήρα. Η καμπύλη του σχήματος 2.2.9 (α) δείχνει πως μεταβάλλεται ο βαθμός απόδοσης ενός εναλλακτήρα όταν μεταβάλλεται το ρεύμα φορτίου του με σταθερό συντελεστή ισχύος. Ο βαθμός απόδοσης μεγιστοποιείται όταν αποδίδει την ονομαστική ένταση με τον ονομαστικό συντελεστή ισχύος και μπορεί να φθάσει μέχρι και 95% στους μεγάλους εναλλακτήρες



Σχήμα 2.2.9 α) Μεταβολή βαθμού απόδοσης εναλλακτήρα.

## Κεφάλαιο 3

### Τεχνικά χαρακτηριστικά συγχρόνων γεννητριών μέσης τάσης

#### 3.1. Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο θα ασχοληθούμε αποκλειστικά με τα τεχνικά χαρακτηριστικά των Συγχρόνων γεννητριών μέσης τάσης, τα πρότυπα που διέπουν τη σωστή και ασφαλή λειτουργία καθώς και τα υλικά που χρησιμοποιούνται για τις εγκαταστάσεις Μέσης Τάσης.

Αρχίζοντας από τα βασικά, για να σχεδιάσουμε μια μέσης τάσης γεννήτρια, θα πρέπει να γνωρίζουμε κάποια βασικά μεγέθη. Αυτά είναι:

- α) η τάση  $V$  (Volt)
- β) το ρεύμα  $I$  (Amp)
- γ) η συχνότητα  $f$  (Hz)
- δ) Ισχύς βραχυκύκλωσης

Η τάση, το ονομαστικό ρεύμα και η ονομαστική συχνότητα είναι συνήθως γνωστά ή μπορούν εύκολα να οριστούν. αλλά δεν είναι εύκολο να υπολογίσουμε τη δύναμη ή το ρεύμα βραχυκυκλώματος σε ένα δεδομένο σημείο μιας εγκατάστασης. Γνωρίζοντας την ισχύ βραχυκυκλώματος του δικτύου μπορούμε να επιλέξουμε τα κατάλληλα εξαρτήματα του πίνακα τα οποία να αντέχουν σε σημαντικές ανόδους θερμοκρασίας και ηλεκτροδυναμικούς περιορισμούς. Γνωρίζοντας τη τάση (kV) μας επιτρέπεται να προσδιορίσουμε την διηλεκτρική αντοχή των εξαρτημάτων όπως των διακοπών, των μονωτών κλπ για την σωστή και ασφαλή λειτουργία του δικτύου που επιτυγχάνεται με τη χρήση διακοπών. Η ταξινόμηση των μετάλλων που περικλείεται ορίζεται στο πρότυπο IEC, πρότυπο 62271-200 με μια λειτουργική προσέγγιση, χρησιμοποιώντας διάφορα κριτήρια, όπως η προσβασιμότητα σε διαμερίσματα.

#### 3.2.1. Τάση

Η τάση λειτουργίας  $U$  (kV) εφαρμόζεται στους ακροδέκτες του εξοπλισμού που είναι η τάση του δικτύου, στο οποίο συμπεριλαμβάνεται ο τεχνικός εξοπλισμός. Ονομαστική τάση  $U_T$  (kV) είναι η μέγιστη  $r$  ms (μέση τετραγωνική ρίζα) τιμή της τάσης, την οποία ο εξοπλισμός μπορεί να αντέξει υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας. Η ονομαστική τάση φυσικά είναι πάντα υψηλότερη από την τάση λειτουργίας και συνδέεται με ένα επίπεδο μόνωσης. Το επίπεδο μόνωσης  $U_d$  (kV  $r$  ms 1 min) και  $U_p$  (kV peak) ορίζει τη διηλεκτρική αντοχή του εξοπλισμού σε υπερτάσεις συχνότητας στο δίκτυο και τις παρορμήσεις των ηλεκτρικών εκκενώσεων όπως των κεραυνών. Στο εργαστήριο προσομοιώνονται για ένα λεπτό η ονομαστική ισχύ συχνότητας έτσι ώστε να φανεί η αντοχή σε υπερτάσεις εσωτερικής προελεύσεως συνοδευόμενες από όλες τις αλλαγές στο κύκλωμα όπως το άνοιγμα και το κλείσιμο του κυκλώματος, διακοπή ή βραχυκύκλωση στο μονωτικό υλικό κλπ. Υπερτάσεις εξωτερικής ή ατμοσφαιρικής προέλευσης συμβαίνουν όταν κεραυνός πέφτει πάνω ή κοντά σε μια γραμμή μετάδοσης. Το κύμα τάσης που προκύπτει προσομοιώνεται επίσης στο εργαστήριο και ονομάζεται ονομαστική αντοχή σε κρουστική κεραυνική τάση. Εκτός από ειδικές περιπτώσεις, ο εξοπλισμός της Schneider Electric για παράδειγμα, είναι συμβατός με τις κοινές προδιαγραφές.

#### 3.2.2. Διεθνή πρότυπα

Ο εξοπλισμός που θα χρησιμοποιηθεί πρέπει να είναι σύμφωνος με την τελευταία έκδοση των διεθνών προτύπων που ακολουθούν :

- IEC 62271-200 AC metal-enclosed switchgear and controlgear for rated voltages above 1 kV and up to and including 54 kV,

- IEC 60265 MV switches,
- IEC 62271-102 AC disconnectors and earthing switches,
- IEC 60694 Common clauses for MV switchgear and controlgear,
- IEC 60420 MV AC switch-fuse combinations,
- IEC 62271-100 MV AC circuit breakers,
- IEC 60282-1 MV fuses,
- IEC 60044-1 Current transformers,
- IEC 60186 Voltage transformers,
- IEC 60801 Electromagnetic compatibility for industrial process measurement and control equipment.

Εκτός από ειδικές περιπτώσεις, ο εξοπλισμός της Schneider Electric για παράδειγμα, είναι συμβατός με τις κοινές προδιαγραφές IEC 62271-1 όπως φαίνεται στους παρακάτω πίνακες 1.α) και 1.β)

Rated voltage kV r ms	lightning		Rated power-frequency withstand voltage 1 min kV r ms	Normal operating voltage kV r ms
	Rated impulse withstand voltage 1.2/50 μs 50 Hz kV peak	List 1		
7.2	40	60	20	3.3 to 6.6
12	60	75	28	10 to 11
17.5	75	95	38	13.8 to 15
24	95	125	50	20 to 22
36	145	170	70	25.8 to 36

Πίνακας 1.α)

Οι τιμές των τάσεων που αναγράφονται στους πίνακες είναι υπό κανονικές συνθήκες σε υψόμετρα κάτω των 1000 μέτρων, σε θερμοκρασία 20° C, 11 g/m<sup>3</sup> υγρασία και πίεσης 101,3 kPa.

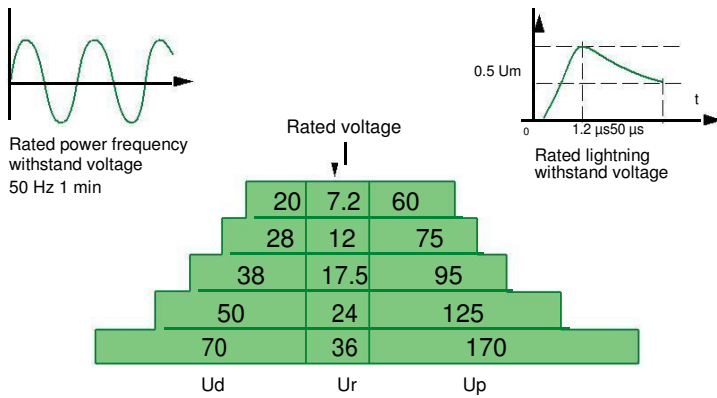
Για άλλες συνθήκες, οι συντελεστές διόρθωσης εφαρμόζονται για τη δοκιμή και σε ορισμένες περιπτώσεις πρέπει να αντιληφθεί υπόψη η μείωση. Κάθε επίπεδο μόνωσης αντιστοιχεί σε μία απόσταση στον αέρα, το οποίο εγγυάται ότι ο εξοπλισμός αντέχει χωρίς να υπάρχει κάποιο πιστοποιητικό δοκιμής.

Rated voltage kV r ms	Rated impulse withstand voltage 1.2/50 μs	Distance/earth in air cm
7.2	60	10
12	75	12
17.5	95	16
24	125	22
36	170	32

IEC standardised voltages

U<sub>m</sub> U





Πίνακας. 1(β)

### 3.2.3. Ονομαστική τάση λειτουργίας και αντοχή σε βραχυκύκλωμα

- Ονομαστική τάση λειτουργίας : 24 kV.
- Ονομαστική συχνότητα : 50Hz.
- Αντοχή σε διέλευση βραχυκυκλώματος : 16 kA / 1 sec.

Οι πίνακες θα είναι κατάλληλοι να λειτουργούν στις παραπάνω συνθήκες χωρίς να καταστρέφονται σύμφωνα με τις παραγράφους 4.5, 4.6 και 4.7 του IEC 60694 και αντίστοιχες παραγράφους του IEC 62271-200.

### 3.3. Παράμετροι του συστήματος

#### 3.3.1 Κύρια ηλεκτρικά χαρακτηριστικά

Η στάθμη μόνωσης του πίνακα θα συμφωνεί με τα πρότυπα IEC, για θερμοκρασίες από  $-5^{\circ}\text{C}$  έως  $+40^{\circ}\text{C}$  και για μέγιστο υψόμετρο εγκατάστασης 1000 m. όπως αναφέρεται και σε παρακάτω παραγράφους.

<b>Ονομαστική Τάση (kV)</b>	<b>24</b>
<b>Στάθμη μόνωσης</b>	
50 Hz / 1 mn Μόνωση	50
Απομόνωση	60
1.2/50μs Μόνωση	125
(KV peak) Απομόνωση	145
<b>Ικανότητα Διακοπής</b>	
Μετασχηματιστής χωρίς φορτίο (A)	16
Καλώδιο χωρίς φορτίο (A)	25
Ονομαστικό ρεύμα βραχείας διάρκειας (KA/1sec)	16

### 3.3.2. Γενικά χαρακτηριστικά

#### Μέγιστη Ικανότητα Διακοπής

Ονομαστική Τάση	24KV
Αποζεύκτης φορτίου	630A
Διακόπτης με ασφάλειες	16KA
Αυτόματος Διακόπτης Ισχύος	16KA

#### Αντοχή

Είδος πεδίων	Μηχανική	Ηλεκτρική
	αντοχή	αντοχή
Διακόπτης (*)	IEC 60265 1000 χειρισμοί	IEC 60265 100 διακοπές σε In με $\cos\phi=0.7$
Αυτόματος Διακόπτης Ισχύος	IEC 60056 10 000 χειρισμοί	IEC 60056 40 διακοπές στα 12.5 kA 10 000 διακοπές σε In, με $\cos\phi=0.7$

(\*) **Σημ.** : Για τα πεδία με Διακόπτη και ασφάλειες, η απαίτηση για ηλεκτρική αντοχή διαμορφώνεται σύμφωνα με το IEC 60420 που προδιαγράφει 3 διακοπές υπό  $\cos\phi = 0,2$  ως ακολούθως :

**1400 A στα 24 kV**

### 3.4. Γενικές απαιτήσεις για το σχεδιασμό στη κατασκευή πινάκων

#### M.T.

Ο εξοπλισμός θα ικανοποιεί τις απαιτήσεις για κατασκευή μεταλλοενδεδυμένων πεδίων M.T. καταλλήλων για εσωτερική εγκατάσταση. Η κατηγοριοποίηση των πεδίων θα είναι σύμφωνη με τις διακρίσεις IEC 62271-200.

- Απώλεια συνεχούς λειτουργίας (loss of service continuity) τάξη LSC2A
- Τάξη διαμερισματοποίησης (PI)
- Αντοχή σε εσωτερικό τόξο : 12,5kA / 1 sec (κατηγοριοποίηση κυψελών Μέσης Τάσης: IAC: A-FL).

Τα πεδία θα αποτελούνται από πέντε (5) διαμερίσματα :

- μπαρών,
- διακοπτικού εξοπλισμού,
- μηχανισμού λειτουργίας,
- συνδέσεως καλωδίων ισχύος,
- βοηθητικού εξοπλισμού.

### 3.5. Πίνακας M.T.

Ο πίνακας M.T. αποτελείται από ξεχωριστά προκατασκευασμένα πεδία, που θα περιέχουν τον διακοπτικό εξοπλισμό. Θα υπάρχει διαχωρισμός των πεδίων μεταξύ τους μέχρι το ύψος των κυρίων

μπαρών. Θα υπάρχει δυνατότητα επέκτασης του πίνακα και από τις δύο πλευρές με απλή προσθήκη νέων πεδίων.

Ο παρεχόμενος βαθμός προστασίας θα είναι IP2XC. Η κατασκευή του μεταλλικού σκελετού θα είναι από γαλβανισμένη λαμαρίνα. Η εξωτερική βαφή θα γίνεται με τη χρήση σκόνης εποξειδικού πολυεστέρα (ηλεκτροστατική βαφή) με ελάχιστο πάχος 50μ σε κάθε πλευρά. Το χρώμα επιλέγεται από την τυποποιημένη σειρά RAL έχοντας άσπρη απόχρωση 9002.

Κάθε πεδίο θα είναι πλήρως κωδικοποιημένο με τη χρήση ενδεικτικών πινακίδων που θα αναφέρουν τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του, αλλά και το είδος λειτουργίας του (πεδίο εισόδου, εξόδου, προστασίας κλπ.

Οι απαραίτητες εργασίες εγκατάστασης θα είναι κοινές για όλα τα πεδία που αποτελούν τον πίνακα Μ.Τ. Για ευκολία, το πλάτος των πεδίων θα είναι πολλαπλάσιο των 125 mm. Ο προμηθευτής θα προσκομίσει ενδεικτικό σχέδιο, που θα αποτελεί οδηγό για την εγκατάσταση των πεδίων.

Σύμφωνα με τα σχετικά πρότυπα, ο πίνακας θα είναι κατασκευασμένος ώστε να εμποδίζει την πρόσβαση σε ενεργά μέρη κατά τη διάρκεια λειτουργίας ή συντήρησής του.

### **3.6. Γείωση του πίνακα**

Κάθε πεδίο θα διατρέχεται από χάλκινη μπάρα γείωσης. Η συνέχεια του κυκλώματος γης για ολόκληρο τον πίνακα εξασφαλίζεται με την διασύνδεση των επιμέρους κυκλωμάτων του κάθε πεδίου. Η διασύνδεση πραγματοποιείται στο πίσω μέρος του πίνακα και τον διατρέχει σε όλο του το πλάτος. Η μπάρα γείωσης είναι κατασκευασμένη για την εύκολη σύνδεσή της με την γείωση ολόκληρου του υποσταθμού χωρίς να απαιτείται καμιά αποσυναρμολόγησή της. Η διατομή των μπαρών που αποτελούν το κύκλωμα γης θα είναι διαστασιολογημένη κατάλληλα ώστε να αντέχει το βραχυκύκλωμα σύμφωνα με το IEC 62271-200.

#### **3.6.1. Γείωση του κυκλώματος ισχύος**

Η γείωση των καλωδίων ισχύος θα πραγματοποιείται με τη χρήση γειωτή που θα έχει για λόγους ασφαλείας δυνατότητα ζεύξης στο βραχυκύκλωμα (making capacity) όπως ορίζει το IEC 60129. Θα υπάρχει η δυνατότητα χειρισμού του γειωτή όταν ο αντίστοιχος διακόπτης ή αποζεύκτης φορτίου είναι ανοικτός έτσι ώστε να μπορούν να δοκιμαστούν τα καλώδια ισχύος. Με τη χρήση λουκέτου, θα μπορεί να κλειδωθεί ο γειωτής σε ανοικτή ή κλειστή θέση. Η θέση του γειωτή θα είναι ορατή από τη μπροστινή πλευρά του πεδίου. Μέσω κατάλληλων μηχανικών μανδάλωσεων θα αποτρέπονται λανθασμένοι χειρισμοί όπως το κλείσιμο του γειωτή όταν ο διακόπτης ή ο αποζεύκτης φορτίου είναι κλειστός. Δεν είναι αποδεκτό η παραπάνω μανδάλωση να επιτυγχάνεται ηλεκτρικά ή με τη χρήση κλειδιών. Πίνακες που η μανδάλωση γειωτή με τον αντίστοιχο διακόπτη γίνεται με κλειδιά, δεν θα γίνονται αποδεκτοί.

### **3.7. Δοκιμές**

#### **3.7.1. 1 Δοκιμές τύπου κατά IEC 62271 - 200**

Ο προμηθευτής θα είναι σε θέση να προσκομίσει πιστοποιητικά τύπου από αναγνωρισμένα εργαστήρια του εσωτερικού ή του εξωτερικού (που είναι διαπιστευμένα από διεθνή οργανισμό)

κατ' ελάχιστο για τις δοκιμές που ακολουθούν.

- δοκιμή αντοχής σε κρουστική τάση (impulse dielectric tests),
- δοκιμή αντοχής σε τάση βιομηχανικής συχνότητας (power frequency dielectric tests),
- δοκιμή ανύψωσης θερμοκρασίας (temperature-rise tests),
- δοκιμή αντοχής σε ένταση βραχείας διάρκειας (short-time withstand current tests),
- δοκιμές μηχανικής λειτουργίας και στοιβαρότητας (mechanical operating tests),
- επαλήθευση του βαθμού προστασίας (verification of the degree of protection),
- επαλήθευση της ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας (verification of electromagnetic compatibility).
- επαλήθευση ικανότητας κλεισίματος και διακοπής (verification of making and breaking capacity) των διακοπών και των Α.Δ.Ι.

### 3.7.2 Δοκιμές σειράς

Οι δοκιμές σειράς πραγματοποιούνται από τον προμηθευτή που είναι υποχρεωμένος να προσκομίσει σχετικό πιστοποιητικό που θα αναφέρει ότι εκτελέστηκαν κατ' ελάχιστο οι ακόλουθες δοκιμές όπως ορίζει το IEC 62271-200.

- δοκιμή αντοχής σε τάση βιομηχανικής συχνότητας (power frequency dielectric test),
- διηλεκτρική δοκιμή των βοηθητικών κυκλωμάτων ελέγχου (dielectric test on auxiliary and control circuit),
- επαλήθευση της ορθότητας συρματώσεων (verification of the correct wiring),
- δοκιμή μηχανικής λειτουργίας (mechanical operation tests).

## 3.8. Ποιότητα

Ο προμηθευτής θα είναι σε θέση να προσκομίσει αντίγραφο των εγγράφων που ακολουθούν :

- Πιστοποιητικό διασφάλισης ποιότητας ISO 9001
- Πιστοποιητικό διασφάλισης ποιότητας ISO 14001

## 3.9 Περιγραφή πεδίων

### 3.9.1 Πεδίο Εισόδου Διπλής Τροφοδοσίας

Θα περιλαμβάνει τον κύριο εξοπλισμό που ακολουθεί :

- Τριπολικές μπάρες χαλκού 630A.
- Αποζεύκτες φορτίου SF6 24kV, 630A, 50/125kV, 16kA/1sec με ηλεκτροκίνητο μηχανισμό λειτουργίας CI2, σε κοινό κέλυφος με γειωτή.
- Τρεις (3) χωρητικούς καταμεριστές παρουσίας τάσεως.
- Τριφασικό ρελέ επαλήθευσης παρουσίας τάσης σε κάθε είσοδο (ενδεικτικού τύπου: VD3H, της Schneider Electric)
- Υποδοχές για τη σύνδεση τριών (3) μονοπολικών καλωδίων.
- Μηχανική και Ηλεκτρική Μανδάλωση.
- Η μεταγωγή μεταξύ της κύριας παροχής και της εφεδρικής παροχής, γίνεται με τη χρήση μονάδας ελέγχου υποσταθμού Μέσης Τάσης, ηλεκτρονικού τύπου, η οποία:
  - διαθέτει δικιά της CPU, ενδείκτες σφάλματος, μπαταρίες και ανορθωτική διάταξη (AC -> DC) για την απαιτούμενη τροφοδοσία των μοτέρ των αποζευκτών φορτίου.
  - Φέρει επιτηρητές παρουσίας τάσης, οι οποίοι λαμβάνουν ένδειξη από τους τρεις (3) χωρητικούς καταμεριστές παρουσίας τάσεως.

- έχει δυνατότητα επικοινωνίας σύμφωνα με τα ακόλουθα πρωτόκολλα / πρότυπα: (Modbus, DPN3.0 level 2 και IEC 870-5-101), και θα υποστηρίζει τα παρακάτω πρωτόκολλα επικοινωνίας: RS232, RS485, PSTN, FSK.
- θα υπάρχουν τρεις διαφορετικές επιλογές για τη μέθοδο της μεταγωγής (τροφοδοσία 1: SW1, τροφοδοσία 2: SW2):

A) Ημιαυτόματη μεταγωγή SW1 < > SW2: Όταν δεν υπάρχει τάση στην κύρια τροφοδοσία (SW1) θα γίνεται μεταγωγή στην εφεδρική (SW2) μετά από προκαθορισμένη χρονική περίοδο T1. Η επαναφορά στην κύρια τροφοδοσία δεν θα μπορεί να πραγματοποιηθεί παρά μόνο αν υπάρξει έλλειψη τάσης στην εφεδρική.

B) Ημιαυτόματη μεταγωγή SW1 > SW2 (SW2 > SW1): Η μεταγωγή θα είναι εφικτή μόνο από την κύρια στην εφεδρική τροφοδοσία (χωρίς δυνατότητα επαναφοράς).

Γ) Αυτόματη μεταγωγή SW1 ή SW2: Η κύρια τροφοδοσία έχει πάντα «προτεραιότητα» αν η τάση της είναι σωστή. Σε περίπτωση μεταγωγής, η επαναφορά στην κύρια τροφοδοσία γίνεται εάν η τάση σε αυτή παραμείνει σωστή για προκαθορισμένη χρονική περίοδο T2.

Δεν θα υπάρχει η δυνατότητα ταυτόχρονης τροφοδοσίας και από τις δύο παροχές. Αυτό θα επιτυγχάνεται με τη χρήση μηχανικής και ηλεκτρικής μανδάλωσης. Για τη συσκευή ελέγχου της μεταγωγής θα γίνεται αποδεκτή μόνο, εργοστασιακά προκατασκευασμένης και τυποποιημένης συσκευής / λύσης.

Γενικές διαστάσεις: Π X Β X Υ: (750 X 940 X 2050) mm.

Ενδεικτικός τύπος : SCHNEIDER - ELECTRIC: SM6 / NSM

### **3.9.2. Πεδίο Διπλής Απομόνωσης Υποσταθμού Εισόδου με Αυτόματο διακόπτη ισχύος (Α.Δ.Ι.)**

Περιλαμβάνει τον κύριο εξοπλισμό που ακολουθεί:

- Τριπολικές μπάρες χαλκού 630A.
- Δύο(2) αποζεύκτες SF6, 24kV,630A, 50/125kV, 16kA/1 sec σε κοινό κέλυφος με γειωτή.
- Χειροκίνητο μηχανισμό λειτουργίας για τον αποζεύκτη και το γειωτή.
- Αυτόματο διακόπτη ισχύος 24kV, 630A, 50/125kV, 16kA/1sec με ηλεκτροκίνητο μηχανισμό λειτουργίας, βοηθητικές επαφές, πηνίο εργασίας, πηνίο κλεισίματος και μετρητή χειρισμών (αποδεκτά θα είναι επίσης ΑΔΙ επι φορείου υποκαθιστώντας την διπλή απομόνωση μέσω δύο αποζευκτών).
- Τρεις Μ/Σ έντασης με διπλό τύλιγμα στο δευτερεύον, ένα για μέτρηση και ένα για προστασία.
- Ηλεκτρονόμο προστασίας (H/N) ψηφιακού τύπου που παρέχει προστασία έναντι υπερφόρτισης, βραχυκυκλώματος και σφάλματος γης.
- Επιπλέον κιβώτιο εξοπλισμού χαμηλής τάσης 450mm στο οποίο μεταξύ άλλων θα τοποθετηθεί ο H/N προστασίας.
- Τρεις χωρητικούς καταμεριστές τάσης με τις αντίστοιχες ενδεικτικές λυχνίες
- Κατάλληλες υποδοχές για τη σύνδεση καλωδίων μέχρι 240mm<sup>2</sup>,
- Βοηθητικές επαφές ένδειξης κατάστασης του αποζεύκτη φορτίου και του γειωτή.

- Κλειδιά για μανδάλωση με άλλα πεδία.  
Γενικές διαστάσεις: Π X Β X Υ: (750 X 1220 X 1600)mm

Ενδεικτικός τύπος : MERLIN GERIN: SM6/DM2

### 3.10. Κανόνες σχεδιασμού

Σύμφωνα με τους κανόνες σχεδιασμού και του ρεύματος βραχυκυκλώματος, η ισχύς βραχυκυκλώματος εξαρτάται άμεσα από τη διαμόρφωση του δικτύου και την αντίσταση των συστατικών του, δηλαδή τις γραμμές, τα καλώδια, οι μετασχηματιστές, οι κινητήρες μέσω των οποίων το ρεύμα βραχυκυκλώματος ρέει. Είναι η μέγιστη δύναμη που το δίκτυο μπορεί να παρέχει σε μια εγκατάσταση κατά τη διάρκεια μιας βλάβης για μια δεδομένη τάση λειτουργίας. Η ισχύς βραχυκυκλώματος μπορεί να εξομοιωθεί με τη φαινόμενη ισχύ. Ο πελάτης επιβάλλει γενικά την τιμή του ρεύματος βραχυκυκλώματος γιατί σπάνια οι πληροφορίες που απαιτούνται για τον υπολογισμό του είναι διαθέσιμες. Ο ακριβής προσδιορισμός της ισχύος βραχυκυκλώματος απαιτεί ανάλυση της τάσης που ρέει και τροφοδοτεί το βραχυκύκλωμα στη χειρότερη δυνατή περίπτωση. Πιθανές πηγές είναι οι εξής: δίκτυο εισόδου μέσω μετασχηματιστών ισχύος, γεννήτρια καθαρής εισόδου, ανατροφοδότηση ενέργειας λόγω περιστροφικού σετ (κινητήρες, κλπ) ή μέσω μετασχηματιστών MT/ XT. Σύμφωνα πάλι με τους κανόνες σχεδιασμού για να επιλεγούν οι σωστοί αυτόματοι διακόπτες ή οι ασφάλειες και να μπορούν να διασφαλιστούν οι ασφαλείς λειτουργίες, τρεις τιμές πρέπει να είναι γνωστές: Το ελάχιστο ρεύμα βραχυκυκλώματος που αντιστοιχεί σε ένα βραχυκύκλωμα στο ένα άκρο του προστατευμένου συνδέσμου (Σφάλμα στο τέλος του τροφοδότη και όχι ακριβώς πίσω από τη σπασμένη συσκευή). Η τιμή του συγκεκριμένου ρεύματος επιτρέπει να επιλεγεί η ρύθμιση των κατώτατων ορίων υπερέντασης με ρελέ προστασίας και ασφάλειες ειδικά όταν το μήκος των καλωδίων είναι υψηλά και/ή όταν η πηγή είναι αντιστάτης. Αυτό αντιστοιχεί σε ένα βραχυκύκλωμα με άμεση γειτνίαση των ακροδεκτών του ηλεκτρικού πίνακα και χρησιμοποιείται για να καθορίσει τη θερμική αντοχή του εξοπλισμού. Όλες οι ηλεκτρικές εγκαταστάσεις πρέπει να είναι προστατευμένες από βραχυκυκλώματα, χωρίς εξαίρεση, όταν υπάρχει μια ηλεκτρική ασυνέχεια, η οποία γενικότερα αντιστοιχεί σε μια αλλαγή του αγωγού. Πρέπει να υπολογίζεται η τρέχουσα τιμή βραχυκυκλώματος σε κάθε στάδιο της εγκατάστασης για να εντοπίζονται οι διάφορες διαμορφώσεις που είναι δυνατές εντός του δικτύου, προκειμένου να προσδιοριστούν τα χαρακτηριστικά του εξοπλισμού ώστε να αντέχει και να μπορεί να «σπάσει» αυτό το ρεύμα σφάλματος.

### 3.11 Ρεύμα βραχυκύκλωσης

Επίσης, σημαντικό είναι να ελέγχεται η δύναμη του μετασχηματιστή προκειμένου να προσδιοριστεί το ρεύμα βραχυκύκλωσης κατά μήκος των ακροδεκτών του, οπότε οπωσδήποτε πρέπει να είναι γνωστή η τάση βραχυκύκλωσης. Το ρεύμα βραχυκύκλωσης εξαρτάται από τον

τύπο του εξοπλισμού που εγκαθίσταται στο δίκτυο (μετασχηματιστές, γεννήτριες, κινητήρες, γραμμές, κλπ). Υπολογίζοντας το ρεύμα βραχυκύκλωσης κατά μήκος των τερματικών μιας σύγχρονης γεννήτριας συναντάμε δυσκολίες, διότι η εσωτερική αντίσταση ποικίλλει ανάλογα με το χρόνο. Όταν η δύναμη αυξάνεται σταδιακά, η τρέχουσα τάση μειώνεται περνώντας μέσα από τρεις χαρακτηριστικές περιόδους: την υπομεταβατική, που επιτρέπει τον προσδιορισμό της ικανότητας κλεισίματος του κυκλώματος, την -μέσης διάρκειας 10 ms- παροδική και την -μέσης διάρκειας 250 ms- μόνιμη (αυτή είναι η τιμή του ρεύματος βραχυκύκλωσης σε σταθερή κατάσταση). Το ρεύμα βραχυκύκλωσης υπολογίζεται με τον ίδιο τρόπο όπως στους μετασχηματιστές, όμως αναμφίβολα οι διαφορετικές συνθήκες πρέπει να ληφθούν υπόψη.

Ένα παράδειγμα υπολογισμού τριφασικού ρεύματος μας δείχνει πως όλα τα στοιχεία ενός δικτύου (δίκτυο παροχής, μετασχηματιστής, εναλλάκτης, κινητήρες, καλώδια, κλπ), που χαρακτηρίζεται από μια σύνθετη αντίσταση η οποία περιλαμβάνει ένα συστατικό αντίσταση και μία επαγωγική συνιστώσα εκφράζονται σε ohms. Η μέθοδος περιλαμβάνει για κάθε συστατικό τον υπολογισμό για το δίκτυο. Η πολυπλοκότητα στον υπολογισμό του τριφασικού ρεύματος βραχυκύκλωσης βασικά έγκειται στον προσδιορισμό της τιμής της σύνθετης αντίστασης που υπάρχει στο δίκτυο για την περίπτωση βλάβης.

Ο προσδιορισμός των διαφόρων ρευμάτων βραχυκυκλώματος είναι περίπλοκος. Οι τρεις πηγές που θα μπορούσαν να τροφοδοτούν με ρεύμα βραχυκυκλώματος είναι οι δύο μετασχηματιστές και το δυναμό. Υποθέτουμε ότι δεν μπορεί να υπάρξει ανατροφοδότηση. Στην περίπτωση ενός βραχυκυκλώματος που επηρεάζει το διακόπτη κυκλώματος, το ρεύμα βραχυκύκλωσης ρέει μέσα από αυτόν. Κάθε στοιχείο αποτελείται από μια αντίσταση και αυτεπαγωγή. Η εμπειρία δείχνει ότι η απλή αντίσταση είναι γενικά χαμηλή σε σύγκριση με την άεργη αντίσταση, έτσι ώστε να μπορεί συνεπώς να συμπεράνει ότι η άεργη αντίσταση είναι ίση με τη σύνθετη αντίσταση. Για τον προσδιορισμό του ρεύματος βραχυκυκλώματος, θα πρέπει να υπολογιστούν οι διάφορες τιμές των αντιστάσεων και επαγωγών.

Επιπροσθέτως, στους κανόνες σχεδιασμού γεννητριών με διηλεκτρική αντοχή αναφέρεται πως είναι σημαντικό να ελέγχεται η απόσταση μεταξύ των μερών. Για τις εγκαταστάσεις στις οποίες, για διάφορους λόγους, δεν μπορούμε να εξετάσουμε τις συνθήκες ώθησης, σύμφωνα με την ονομαστική κρουστική τάση αντοχής σε περίπτωση αστραπής, χρησιμοποιούμε τουλάχιστον την ελάχιστη προτεινόμενη απόσταση. Οι αποστάσεις αυτές εγγυώνται τη σωστή διηλεκτρική αντοχή όταν το υψόμετρο είναι μικρότερο από 1000 m. Αποστάσεις στον αέρα ανάμεσα στα ηλεκτροφόρα μέρη και σε μεταλλικά γειωμένες δομές σε σχέση με την τάση υπό ξηρές συνθήκες προσδιορίζονται με την εξέταση των διηλεκτρικών ιδιοτήτων, οπότε περιλαμβάνεται κάθε αύξηση που θα μπορούσε να υποχρεωθεί να λάβει υπόψη της ο υπεύθυνος του σχεδιασμού. Οι ενδείξεις αυτές καταγράφονται συνήθως χωρίς να λαμβάνονται υπόψη η τάση διάσπασης με την

παρακολούθηση κατά μήκος των επιφανειών, σε σχέση με τα προβλήματα ρύπανσης. Χάρη στο αριθμητικό λογισμικό προσομοίωσης, είναι δυνατόν να σχεδιάσουμε περισσότερο συμπυκνωμένα προϊόντα, εφόσον το μέγιστο ηλεκτρικό πεδίο είναι μικρότερο από ό, τι τα απαιτούμενα κριτήρια. Μερικές φορές οι μονωτές χρησιμοποιούνται ανάμεσα στα ηλεκτροφόρα μέρη ή ανάμεσα στα ηλεκτροφόρα μέρη και τις μεταλλικές γειωμένες δομές.

### **3.12. Προστασία**

Προκειμένου να υφίσταται η προστασία των ατόμων έναντι άμεσης επαφής και η προστασία του εξοπλισμού από ορισμένες εξωτερικές επιδράσεις έχουν ορισθεί διεθνή πρότυπα για ηλεκτρικές εγκαταστάσεις και προϊόντα. Γνωρίζοντας το δείκτη προστασίας, λοιπόν, σαφώς είναι απαραίτητη προδιαγραφή για την εγκατάσταση, τη λειτουργία και τον έλεγχο της ποιότητας του εξοπλισμού. Ο δείκτης προστασίας με απλά λόγια είναι το επίπεδο της προστασίας που παρέχεται από ένα περίβλημα έναντι πρόσβασης σε επικίνδυνα μέρη, ή στην περίπτωση διείσδυσης στερεών ξένων σωμάτων και νερού. Ο κωδικός IP είναι ένα σύστημα κωδικοποίησης για τη δήλωση του δείκτη προστασίας. Το ονομαστικό ρεύμα για έναν εξοπλισμό ορίζεται γενικά από έναν συγκεκριμένο δείκτη προστασίας. Για μεγαλύτερη προστασία, εάν υπάρχουν αμφιβολίες σίγουρα πρέπει να χρησιμοποιηθεί μειωμένη τιμή ρεύματος. Η κατάταξη των βαθμών προστασίας στα κωδικούς IK ισχύει μόνο για περιβλήματα των ηλεκτρικών συσκευών της ονομαστικής τάσης μέχρι και 72,5 kV. Σύμφωνα με το πρότυπο IEC 62262, ο βαθμός προστασίας ισχύει και για το πλήρες περίβλημα. Αν τα μέρη του περιβάλλοντος έχουν διαφορετικούς βαθμούς προστασίας, πρέπει να προσδιορίζονται επακριβώς ξεχωριστά. Ο δείκτης προστασίας προσπαθείται ν' αντιστοιχεί στα επίπεδα της ενέργειας που εκφράζεται σε τζάουλ. Από την άποψη της συχνότητας και της επιτάχυνσης, ο δείκτης προστασίας έναντι μηχανικών κρούσεων μπορεί να ελεγχθεί με διαφορετικούς τύπους σφυριών όπως εκκρεμές σφυρί, ή κάθετο σφυρί. Οι συσκευές δοκιμής και οι μέθοδοι που περιγράφονται στο πρότυπο IEC 60068-2-75 ορίζουν αφενός τις συνθήκες λειτουργίας, τα ονομαστικά χαρακτηριστικά, το σχεδιασμό και την κατασκευή και αφ'ετέρου τη δοκιμή.

### **3.13 Διακόπτης**

Ο διακόπτης είναι μια συσκευή που εξασφαλίζει τον έλεγχο και την προστασία σε ένα δίκτυο. Είναι ικανός ν' αντέχει και κατά τη διακοπή ρεύματος λειτουργίας, καθώς και κατά τη διάρκεια ρευμάτων βραχυκυκλώματος. Το κύριο κύκλωμα πρέπει να είναι σε θέση να αντέχει χωρίς βλάβη το σταθερό ρεύμα φορτίου. Δεδομένου ότι ένας διακόπτης είναι ως επί το πλείστον στην "κλειστή" θέση, το τρέχον φορτίο πρέπει να περάσει μέσα από αυτό χωρίς η θερμοκρασία να αυξάνεται δραματικά. Για να χαρακτηριστεί ένα κύκλωμα μέσης τάσης πρέπει να λάβουμε υπόψιν μας την ονομαστική τάση που θεωρητικά διέρχεται το κύκλωμα, την ονομαστική στάθμη μόνωσης,



την ονομαστική συχνότητα, το ονομαστικό κανονικό ρεύμα, την ονομαστική κορυφή αντοχής, την ονομαστική διάρκεια βραχυκυκλώματος, την ονομαστική τάση τροφοδοσίας κλεισίματος και ανοίγματος των συσκευών και των βοηθητικών κυκλωμάτων, την ονομαστική συχνότητα τροφοδοσίας του κλεισίματος και ανοίγματος των συσκευών και των βοηθητικών κυκλωμάτων, την ονομαστική πίεση της παροχής πεπιεσμένου αερίου για τη λειτουργία, τη διακοπή και τη μόνωση, όπως ισχύει. Ακόμη, πρέπει να ληφθούν υπόψη το ονομαστικό ρεύμα βραχυκυκλώματος σπασίματος, η παροδική τάση ανάκτησης που σχετίζεται με το προηγούμενο, το ονομαστικό ρεύμα βραχυκυκλώματος αποφάσεων, η ονομαστική ακολουθία λειτουργίας, οι ονομαστικές ποσότητες χρόνου, τα χαρακτηριστικά για τα σφάλματα μικρών γραμμών που σχετίζονται με το ονομαστικό ρεύμα βραχυκυκλώματος, η ονομαστική γραμμή φόρτισης ρεύματος διακοπής, για διακόπτες τριών πόλων που προορίζονται για την αλλαγή εναέριων γραμμών μεταφοράς, το ονομαστικό καλώδιο φόρτισης ρεύματος διακοπής, για διακόπτες τριών πόλων που προορίζονται για την εναλλαγή των καλωδίων. Είναι χαρακτηριστικό πως η ονομαστική τάση είναι η μέγιστη τιμή  $r$  ms από την τάση που ο εξοπλισμός μπορεί να αντέξει υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας. Είναι πάντα μεγαλύτερη από την τάση λειτουργίας. Η τιμή του ονομαστικού ρεύματος αποφάσεων του διακόπτη κυκλώματος πρέπει να είναι μεγαλύτερη από το ρεύμα εισροής για την τράπεζα πυκνωτών. Τυπικά οι τιμές του ρεύματος κορυφής και συχνότητα για τα ρεύματα εισροής είναι της τάξης των λίγων kA και κάποια 100 Hz για τους ενιαίους πυκνωτές, και μερικά 10 kA και περίπου 100 kHz για back-to-back πυκνωτές.

Η εναλλαγή των μικρών επαγωγικών ρευμάτων χαμηλής τάσης (αρκετά αμπέρ έως αρκετές εκατοντάδες αμπέρ) μπορεί να προκαλέσει υπερτάσεις. Η προστασία από υπέρταση θα πρέπει να εφαρμόζεται σε ορισμένες περιπτώσεις, ανάλογα με τον τύπο του διακόπτη για να εξασφαλιστεί ότι οι υπερτάσεις δεν βλάπτουν τη μόνωση του επαγωγικού ρεύματος. Για το σύνολο του εξοπλισμού που λειτουργεί υπό συνθήκες σοβαρότερες από εκείνες που αναφέρονται ως κανονικές θα πρέπει να εφαρμόζεται κάποια σχετική μείωση. Ο εξοπλισμός είναι σχεδιασμένος για την κανονική λειτουργία υπό τις ακόλουθες προϋποθέσεις: Θερμοκρασία ° C Εγκατάσταση Στιγμιαία περιβάλλοντος Εσωτερικός Υπαίθριος Ελάχιστος  $-5$  ° C  $-25$  ° C Μέγιστη  $+40$  ° C  $+40$  ° C Υγρασία Μέση σχετική υγρασία για μια περίοδο (μέγιστη τιμή) Εσωτερική εξοπλισμός 24 ώρες 95% 1 μήνα 90% Υψόμετρο Το ύψος δεν υπερβαίνει τα 1000 μέτρα.

### **3.14 Κλάσεις ηλεκτρικής αντοχής E1 και E2**

Η ηλεκτρική αντοχή καθορίζεται από δύο κλάσεις. Κλάση E1 με βασικές τιμές ηλεκτρικής αντοχής και Κλάση E2 με εκτεταμένη ηλεκτρική αντοχή, για διακόπτες που δεν απαιτούν συντήρηση των τμημάτων που να αποτρέπουν τη διακοπή του κύριου κυκλώματος κατά τη διάρκεια της αναμενόμενης ζωής λειτουργίας τους. Για παράδειγμα, οι διακόπτες της Schneider

Electric δοκιμάζονται σύμφωνα με την κατηγορία E2. Από την άλλη, η μηχανική αντοχή καθορίζεται από δύο κλάσεις. Της κατηγορίας M1, με κανονική μηχανική αντοχή (2000 πράξεις) ενώ η κατηγορία M2 με την εκτεταμένη μηχανική αντοχή (10 000 πράξεις), μια κατηγορία στην οποία βασίζονται οι δοκιμές για διακόπτες της Schneider Electric. Ένα εργοστάσιο ασφαλείας που αγγίζει την κλίμακα του 10 είναι κατάλληλο. Σύμφωνα με τα πρότυπα, η Schneider Electric CT έχει μια ασφάλεια με παράγοντα 10. Ωστόσο, σύμφωνα με τον εκάστοτε καταναλωτή μπορεί να ζητηθεί ένας χαμηλότερος συντελεστής ασφαλείας. Σε εφαρμογές προστασίας, έχουμε δύο περιορισμούς, οι οποίοι είναι το ακριβές όριο του παράγοντα και η ακριβής κλάση ώστε να είναι όλα κατάλληλα για εφαρμογή. Αυτά τα δύο που προαναφέρθηκαν, στις μετρήσεις τους έχουν μια γραμμική απόκριση σε μια μεγάλη τρέχουσα σειρά που δεν επιτρέπουν τον κορεσμό ώστε το ρεύμα να σπάσει.

### **3.15 Μετασηματιστής τάσης**

Μπορούμε να αφήσουμε ένα μετασηματιστή τάσης σε ένα ανοικτό κύκλωμα, χωρίς κανένα κίνδυνο αλλά δεν πρέπει ποτέ να βραχυκυκλώσει. Ο μετασηματιστής τάσεως προορίζεται να παρέχει το δευτερεύον κύκλωμα με μια δευτερεύουσα τάση που είναι ανάλογη με αυτή που εφαρμόζεται στο πρωτεύον κύκλωμα. Οι προϋποθέσεις που πρέπει να πληρούν οι μετασηματιστές τάσης είναι, να αποτελούνται από ένα πρωτεύον τύλιγμα, ένα μαγνητικό πυρήνα, μία ή περισσότερες δευτερεύουσες περιελίξεις, οι οποίες είναι έγκλειστες σε μια μονωτική ρητίνη. Η ονομαστική τάση παράγοντας είναι ο συντελεστής με τον οποίο η ονομαστική τάση πρωταρχικά πρέπει να πολλαπλασιασθεί για να προσδιοριστεί η μέγιστη τάση με την οποία ο μετασηματιστής πρέπει να συμμορφώνεται με την καθορισμένη αύξηση της θερμοκρασίας και τις ακριβείς συστάσεις. Σύμφωνα με τη διάταξη γείωσης του δικτύου, ο μετασηματιστής τάσης πρέπει να είναι σε θέση να αντέξει στη μέγιστη τάση για το χρόνο που απαιτείται για την εξάλειψη μιας βλάβης.

Για μονοφασικούς μετασηματιστές που προορίζονται να συνδεθούν σε ένα στάδιο για την διευθέτηση της γης, η ονομαστική δευτεροβάθμια τάση πρέπει να διαιρείται με 3 και είναι η φαινομενική ισχύς που μπορεί να παρέχει το δευτερεύον κύκλωμα όταν είναι συνδεδεμένο στην πρωταρχική τάση και συνδέεται με το ονομαστικό φορτίο. Δεν πρέπει να εισάγουν καμία λάθος τιμή που να υπερβαίνει τις αξίες που εγγυώνται την ασφάλεια. Η θερμική ισχύς ή ονομαστική συνεχής ισχύς είναι η φαινόμενη δύναμη που ο μετασηματιστής μπορεί να παρέχει σε σταθερή κατάσταση στην ονομαστική δευτεροβάθμια τάση του χωρίς να υπερβεί τα όρια ανόδου της θερμοκρασίας που καθορίζονται από τα πρότυπα. Πέρα από τα όρια αυτά, είναι απαραίτητο να μειωθούν ορισμένες τιμές, με άλλα λόγια να μειωθεί η συσκευή.

## Κεφάλαιο 4

### Ασφάλεια σε επικίνδυνες περιβαλλοντολογικές συνθήκες

#### 4.1 Ασφάλεια εγκαταστάσεων

Η ασφάλεια όλων των εγκαταστάσεων είναι το πιο απαραίτητο σημείο αναφοράς για τη κατασκευή όλων των μηχανημάτων έναντι του προσωπικού και του περιβάλλοντος. Οι ηλεκτρικοί κινητήρες και οι γεννήτριες αποτελούν τη ραχοκοκαλιά κάθε βιομηχανίας, διότι με τα μέσα αυτά, είμαστε σε θέση να κινήσουμε αντλίες και συμπιεστές με αποτέλεσμα την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος που είναι η πολυπόθητη πηγή ενέργειας για σχεδόν όλα όσα μας περιτριγυρίζουν.



Το γεγονός ότι αυτές οι συσκευές είναι ηλεκτρικές, τις καθιστά επικίνδυνες όταν θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν σε περιοχές όπου υπάρχουν εκρηκτικοί παράγοντες (πχ. αέρια, σκόνη κ.α.). Ένα τέτοιο παράδειγμα αποτελούν τα διυλιστήρια πετρελαίου και φυσικού αερίου, όπου ένας σπινθηρισμός, μία θερμή επιφάνεια ή ένα ηλεκτρικό πεδίο όπως πχ. το cogona, αποτελούν πιθανές απειλές για την ασφάλεια των εγκαταστάσεων, του προσωπικού που εργάζεται σε αυτές και κατ' επέκταση του περιβάλλοντος. Οι μεγάλοι σύγχρονοι και επαγωγικοί κινητήρες και οι γεννήτριες θα πρέπει να είναι πιστοποιημένα σύμφωνα με τα πλέον σύγχρονα και αυστηρά πρότυπα ασφαλείας κατά IEC, εξασφαλίζοντας την ασφαλή λειτουργία σε επικίνδυνες συνθήκες περιβάλλοντος.

Εδώ και χρόνια, οι σχεδιαστικές και κατασκευαστικές πρακτικές που ακολουθούνται στοχεύουν όχι μόνο στην εκπλήρωση των προτύπων ασφαλείας και ποιότητας, αλλά και στο να θέσουν τον πήχη ακόμη πιο ψηλά. Η ανάπτυξη των προτύπων IEC 60079 διεθνώς, ξεκίνησε μετά από μερικά σοβαρά ατυχήματα που συνοδεύτηκαν από εκρήξεις κατά τις δεκαετίες του 1980 και 1990, και τα οποία σχετίζονταν με τη χρήση κινητήρων σε επικίνδυνες συνθήκες περιβάλλοντος, όπως στα πεδία εξόρυξης πετρελαίου και φυσικού αερίου της Βόρειας Θάλασσας.

Από το 2010, όλοι οι μεγάλοι κινητήρες και γεννήτριες είναι πιστοποιημένοι σύμφωνα με τα πιο αυστηρά διεθνή πρότυπα (IEC 60079-15:2010 και IEC 60079-7:2006) και πλέον, όλο το εύρος κινητήρων και γεννητριών χαμηλής και μέσης τάσης είναι πιστοποιημένα για λειτουργία σε επικίνδυνες συνθήκες περιβάλλοντος.

## 4.2 Πρότυπα



Εικόνα 1. Διατομή μονωμένου τυλίγματος μέσης τάσης

Από κατασκευαστική άποψη, οι κινητήρες και οι γεννήτριες ηλεκτρικού ρεύματος AC μέσης τάσης, σύγχρονοι και ασύγχρονοι κατασκευάζονται από τις εταιρείες κατασκευής στα εργοστάσια, συνήθως για να λειτουργούν σε δύσκολες συνθήκες περιβάλλοντος . Πλέον ένας σύγχρονος κινητήρας/γεννήτρια μπορεί να κατασκευαστεί για συνεχή λειτουργία σε περιοχή με κατηγοριοποίηση zone-2, με κατάταξη ως “Ex nA, non-sparking machines”. Αντίστοιχα, ένας ασύγχρονος κινητήρας/γεννήτρια μπορεί να κατασκευαστεί για συνεχή λειτουργία σε περιοχή με κατηγοριοποίηση zone-1, με κατάταξη ως “Ex e, increased safety machines”.

## 4.3 Εφαρμογή προτύπων ασφαλείας και τεχνική κατασκευής

Στις 28 Ιανουαρίου του 2008 τέθηκαν σε εφαρμογή τα νέα πρότυπα κατά IEC για τον εξοπλισμό που τοποθετείται και λειτουργεί σε εκρηκτικό περιβάλλον. Κάθε εταιρεία κατασκευής κινητήρων και γεννητριών θα πρέπει να συμφωνεί με αυτά τα νέα πρότυπα ασφαλείας και να είναι ενήμερη για τυχόν εξελίξεις αυτών κάνοντας συνεχούς ελέγχους και δοκιμές σε όλο το εύρος κινητήρων/γεννητριών έτσι ώστε να είναι πλήρως συμβατές με τα νέα αυτά πρότυπα.



Εικόνα 2. Στάτης μετά από VPI, έτοιμος για εισαγωγή στο πλαίσιο του κινητήρα/γεννήτριας

Η τεχνική που διέπει την κατασκευή και λειτουργία ενός ηλεκτρικού κινητήρα είναι σχετικά απλή (εικ. 1). Αυτό που παρουσιάζει, όμως, ιδιαίτερη δυσκολία και απαιτεί εξαιρετική προσοχή είναι η ποιότητα της μόνωσης των τυλιγμάτων του στάτη και η χρήση ποιοτικών υλικών. Για την

εξασφάλιση υψηλής ποιότητας κατασκευής, όλος ο στάτης εμβαπτίζεται με εποξική ρητίνη, με μία διαδικασία που ονομάζεται “vacuum pressure impregnation” ή VPI. Μετά την εμβάπτιση, ο στάτης “ψήνεται” σε ειδικό φούρνο προκειμένου να αποκτήσει τις τελικές μηχανικές και ηλεκτρικές του ιδιότητες (εικ. 2).

Αυτό το σύστημα μόνωσης των τυλιγμάτων του στάτη ονομάζεται “Micadur<sup>®</sup>-Compact Industry” (MCI) και του εξασφαλίζει ομοιογενή μόνωση, χαμηλές διηλεκτρικές απώλειες, υψηλή μηχανική και ηλεκτρική αντοχή και εξαιρετική δυνατότητα μεταφοράς θερμότητας στο εσωτερικό του. Πέραν, όμως, της ποιότητας της μόνωσης, εξαιρετική σημασία παίζει και ο τρόπος εισαγωγής των τυλιγμάτων του στάτη μέσα στον πυρήνα του. Αν τα τυλίγματα τοποθετηθούν πολύ κοντά μεταξύ τους, τότε υπάρχει ο κίνδυνος να εμφανιστούν εκφορτίσεις corona ανάμεσα στα τυλίγματα, οι οποίες τα επιβαρύνουν και ενδέχεται να προκαλέσουν επικίνδυνους σπινθηρισμούς στο εσωτερικό του κινητήρα. Για το λόγο αυτό δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στον τρόπο με τον οποίο τα τυλίγματα εισάγονται στον πυρήνα του στάτη, ώστε να ελαχιστοποιούνται τα φαινόμενα corona και να μπορούμε να εκμεταλλευόμαστε τον κινητήρα/γεννήτρια στο έπακρο.

Η σχεδίαση, ο τρόπος κατασκευής και η πιστοποίηση των κινητήρων & γεννητριών της ABB με τη βοήθεια εξειδικευμένων δοκιμών (εικ. 3), εξασφαλίζουν την ασφαλή λειτουργία τους υπό δύσκολες συνθήκες, ενώ ταυτόχρονα ελαττώνουν κατά πολύ τις αναγκαίες διακοπές για συντήρηση, μειώνοντας σημαντικά τόσο το κόστος λειτουργίας όσο και αυτό της συντήρησης.



Εικόνα 3. Δοκιμές

Συμμόρφωση με το IEC 60079–15: 2010 πρότυπο απαιτεί τη δοκιμή του στάτη επί 3 λεπτά σε περιβάλλον με εκρηκτικά αέρια. Αυτό είναι υποχρεωτικό για κινητήρες με ονομαστική τάση άνω του 1 kV, που πρόκειται να λειτουργήσουν σε περιβάλλον όπου πιθανόν να υπάρχει πχ. υδρογόνο, αιθυλένιο ή ακετυλίνη και άνω των 6,6 kV, αν πρόκειται να λειτουργήσουν σε περιβάλλον με ίχνη προπανίου, ντίζελ, ακετόνης, αιθανίου, αμμωνίας και λοιπών εκρηκτικών αερίων ή ατμών. Οι στατες της ABB δεν παράγουν σπινθηρισμούς για τάσεις έως και τα 13,8 kV για υδρογόνο (αντιπροσωπευτικό για ομάδα αερίων IIC) και 15 kV τόσο για αιθυλένιο όσο και για προπάνιο (αντιπροσωπευτικά για ομάδες αερίων IIB και IIA). Για επαγωγικό κινητήρα, θα πρέπει να ελεγχθεί και ο ρότορας για πιθανή παραγωγή σπινθηρισμών από τις μπάρες του. Οι επικίνδυνες συνθήκες περιβάλλοντος περιέχουν παράγοντες που μπορεί να προκαλέσουν έκρηξη, όπως αέρια, ατμοί, συμπυκνώματα ή σκόνη. Αυτές οι επικίνδυνες συνθήκες κατηγοριοποιούνται ανάλογα με την παρουσία και συγκέντρωση πιθανώς εκρηκτικών παραγόντων: Zone 0 – Μόνιμη παρουσία εκρηκτικού παράγοντα, Zone 1 – Παρουσία εκρηκτικού παράγοντα για λιγότερο από 1,000 ώρες/έτος, Zone 2 – Παρουσία εκρηκτικού παράγοντα για λιγότερο από 10 ώρες/έτος.

#### **4.4 Κατηγορίες προστασίας “n” και “e”**

Το IEC 60079–15:2010 καθορίζει τις απαιτήσεις για την κατασκευή, τις δοκιμές και τη

σηματοδότηση ηλεκτρικού εξοπλισμού Group II με κατηγορία προστασίας τύπου “n” (nonsparking), για λειτουργία σε επικίνδυνες συνθήκες περιβάλλοντος zone 2. Αυτό το πρότυπο ισχύει για ηλεκτρικό εξοπλισμό με ονομαστική τάση λειτουργίας που δεν ξεπερνά τα 15 kV DC ή rms AC. Το IEC 60079–7:2006 καθορίζει τις απαιτήσεις για την κατασκευή, τις δοκιμές και τη σηματοδότηση ηλεκτρικού εξοπλισμού με κατηγορία προστασίας τύπου “e” (enhanced safety), για λειτουργία σε επικίνδυνες συνθήκες zone 1 και 2. Αυτό το πρότυπο ισχύει για ηλεκτρικό εξοπλισμό με ονομαστική τάση λειτουργίας που δεν ξεπερνά τα 11 kV DC ή rms AC.

## Επίλογος - Συμπεράσματα

Σύμφωνα με τα όσα έχουν αναφερθεί στη παρούσα εργασία, υπήρξε αρκετός χρόνος έτσι ώστε οι τεχνικοί της εποχής να καταλήξουν στη κατάλληλη ηλεκτρική συχνότητα που θα υιοθετηθεί μέχρι σήμερα. Τα προβλήματα που έβρισκαν μπροστά τους, τους έκαναν να καταλήξουν στις δύο σημερινές συχνότητες και να συναντάμε τη διαφορετικότητα αυτή πιο πολύ από θέμα νοοτροπίας και όχι από τεχνικής απόψεως διότι αυτό είχε λυθεί. Στη συνέχεια η ανάγκη για ενέργεια και η εφευρετικότητα του καθενός κατασκευαστή συντέλεσε στο να δημιουργηθούν διάφοροι τύποι γεννητριών που καθένας από αυτούς έχει μειονεκτήματα και πλεονεκτήματά. Όπως είδαμε για να κατασκευαστεί μια γεννήτρια μέσης τάσης, δεν είναι τόσο απλό πράγμα διότι πρέπει να ληφθούν αρκετοί παράγοντες υπόψη και σύμφωνοι με τα διεθνή πρότυπα που διέπουν την ασφαλή λειτουργία τους. Τελευταία, η απαραίτητη ανάγκη μεγάλων ποσών ενέργειας, οδήγησε τους κατασκευαστές στο να φτιάξουν μια γεννήτρια που θα είναι ικανή να παράγει μεγαλύτερη ενέργεια έτσι ώστε να μπορεί να ανταπεξέλθει σε αρκετές απαιτήσεις κατανάλωσης με χαμηλό κόστος, ευέλικτες και ρυθμισμένες ώστε να λειτουργούν αξιόπιστα υπό δύσκολες συνθήκες.

## Βιβλιογραφία

1. Technical collection “Medium Voltage technical guide” Basics for MV cubicle design. Schneider Electric
2. IEE power & energy magazine july/august 2011 50-Hz Frequency how the standard emerged from a European jumble
3. Electrical Installation Guide, Technical Series, Groupe Schneider
4. Electrical Installations Handbook, Seip, Siemens
5. AEM- Three-phase synchronous generator- Catalogue 2011
6. Medium Voltage Solutions for Marine Applications, Allen-Bradley, Rockwell Automation
7. STEPHEN J. CHAPMAN ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ AC-DC 3<sup>η</sup> Έκδοση ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΤΖΙΟΛΑ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ Copyright 2000 by McGraw- Hill Copyright 2003, 2001 Εκδόσεις Τζιόλα ISBN 960-8129-11-7
8. ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ ΣΠΥΡΙΔΩΝΟΣ Ν. ΒΑΣΙΛΑΚΟΠΟΥΛΟΥ ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ ΑΘΗΝΑ 2006
9. ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ ΓΙΑΝΝΗΣ Β. ΓΚΑΡΟΥΤΣΟΣ ΕΚΔΟΣΗ SPIN ΑΘΗΝΑ
10. Χ. Δημουλιά, Σύγχρονες Ηλεκτρικές Μηχανές σημειώσεις μαθήματος
11. <http://www.electrical4u.com/alternator-or-synchronous-generator/>
12. <http://www.iec.ch/index.htm>
13. IEC 62271- Series Standards for MV Switchgear, IEC 62271-1 High-voltage switchgear and controlgear- Part 1: Common specifications. Siemens AG 2014 All rights reserved. Olaf Bischur Siemens AG IC LMV R&D GIS TD 1PG
14. Εφημερίδα της Προχωρημένης Τεχνολογίας Μεταφορών [wileyonlinelibrary.com/journal/atr](http://wileyonlinelibrary.com/journal/atr) 1 1 – 30 072: [wileyonlinelibrary.com/journal/etep](http://wileyonlinelibrary.com/journal/etep)



## Περιεχόμενα

Περίληψη .....	3
Abstract .....	4
Πρόλογος .....	5
1. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΑΝΑ ΤΟ ΚΟΣΜΟ .....	6
1.1 Πορεία και πρότυπα συχνοτήτων.....	6
1.2 Αρχή αναγκαιότητας ηλεκτρικών συχνοτήτων.....	7
1.3 Αναζήτηση κατάλληλης συχνότητας .....	8
1.4 Επιλογή συχνότητας.....	9
1.5 Κυριαρχία των 50 Hz συχνότητας .....	9
1.6 Μεταπολεμική εποχή .....	12
2: ΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ.....	13
2.1 Είδη και χρήση.....	13
2.2 Τύποι και κατασκευή συγχρόνων γεννητριών ή εναλλακτών .....	14
2.2.1 Εναλλακτές με εξωτερικούς πόλους.....	14
2.2.2 Εναλλακτές με εσωτερικούς πόλους.....	15
2.2.3 Στροβιλοεναλλακτές .....	16
2.2.4 Συχνότητα και ταχύτητα περιστροφής .....	17
2.2.5 Τριφασικοί εναλλακτές.....	17
2.2.6 Ρύθμιση τάσης εναλλακτήρα .....	19
2.2.7 Λειτουργία υπό φορτίο .....	20
2.2.8 Χαρακτηριστικά στοιχεία εναλλακτών.....	21
2.2.9 Απώλειες και βαθμός απόδοσης εναλλακτήρα .....	22
3: ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ .....	23
3.1 Εισαγωγή.....	23
3.2.1 Τάση.....	23
3.2.2 Διεθνή πρότυπα.....	23
3.2.3 Ονομαστική τάση λειτουργίας και αντοχή σε βραχυκύκλωμα .....	25
3.3 Παράμετροι του συστήματος .....	25
3.3.2 Γενικά χαρακτηριστικά .....	26
3.4 Γενικές απαιτήσεις για το σχεδιασμό στη κατασκευή πινάκων Μ.Τ .....	26

3.5 Πίνακας Μ.Τ .....	26
3.6 Γείωση του πίνακα .....	27
3.6.1 Γείωση του κυκλώματος ισχύος.....	27
3.7 Δοκιμές.....	27
3.7.1 Δοκιμές τύπου κατά IEC 62271- 200 .....	27
3.7.2 Δοκιμές σειράς.....	28
3.8 Ποιότητα .....	28
3.9 Περιγραφή πεδίων.....	28
3.9.1 Πεδίο Εισόδου Διπλής Τροφοδοσίας.....	28
3.9.2 Πεδίο διπλής απομόνωσης Υποσταθμού Εισόδου με Αυτόματο διακόπτη ισχύος .....	29
3.10 Κανόνες σχεδιασμού.....	30
3.11 Ρεύμα βραχυκύκλωσης .....	30
3.12 Προστασία.....	32
3.13 Διακόπτης.....	32
3.14 Κλάσεις ηλεκτρικής αντοχής E1 και E2 .....	33
3.15 Μετασηματιστής τάσης.....	34
4: ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΣΕ ΕΠΙΚΙΝΔΙΝΕΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ.....	35
4.1 Ασφάλεια εγκαταστάσεων .....	35
4.2 Πρότυπα.....	36
4.3 Εφαρμογή προτύπων ασφαλείας και τεχνική κατασκευής .....	36
4.4 Κατηγορίες προστασίας “η” και “ε” .....	37
Επίλογος - Συμπεράσματα .....	39
Βιβλιογραφία.....	40
Περιεχόμενα.....	41

