ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

“ Διαχείριση και Ενεργειακή Βελτιστοποίηση Συστημάτων ”

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ανάλυση Συμμετρικών και Ασύμμετρων Σφαλμάτων σε
Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις Πλοίων

Postgraduate Thesis

Analysis Symmetrical and Unsymmetrical Short Circuit at
Marine Electrical Installations

Του Μεταπτυχιακού Φοιτητή : **ΤΑΓΚΙΝΗ ΙΩΑΝΝΗ**

Επιβλέπων : **ΠΑΝΤΕΛΗΣ Β. ΜΑΛΑΤΕΣΤΑΣ,**

Καθηγητής Ηλεκτρολόγων

Μηχανικών Τ.Ε.

Αιγάλεω, Μάιος 2018

Copyright © Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής Σχολή Μηχανικών.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματός μου. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής Σχολή Μηχανικών.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή κ. Παντελή Β. Μαλατέστα για την πολύτιμη καθοδήγησή του, το ενδιαφέρον και τη διακριτική επίβλεψή του στη διπλωματική εργασία, που με στήριξε καθ' όλη τη διάρκεια της πορείας μου. Θα ήθελα επίσης να εκφράσω τις ευχαριστίες μου σε όλους τους καθηγητές μου για τις πολύτιμες γνώσεις που μας προσέφεραν όλα αυτά τα χρόνια.

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1. Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας. 13
1.1 Συστήματα Ηλεκτρικών Σταθμών. 13
1.1.1 Ηλεκτρικοί Σταθμοί με Κίνηση Κινητήρων Εσωτερικής Καύσης. 13
1.1.2 Ηλεκτρικοί Σταθμοί με Μεικτή Κίνηση Ηλεκτρογεννητριών. 14
1.1.3 Ηλεκτρικοί Σταθμοί με Εξαρτημένη Κίνηση. 17
1.2.1 Κριτήρια Επιλογής Αριθμού και Ισχύος Ηλεκτροπαραγωγών. 18
1.2.2 Συλλογή Στατιστικών Ενεργειακών Δεδομένων. 19
1.2.3 Καταστάσεις Οικονομικής Λειτουργίας Κινητήρων Εσωτερικής Καύσης στην Εκκίνηση των Ηλεκτρογεννητριών. 19
1.2.4 Κατανομή σε Ομάδες Καταναλωτών Ηλεκτρικής Ενέργειας. 21
1.2.5 Ανάλυση Εργασίας των Ομάδων Καταναλωτών. 21
1.2.6 Μέθοδοι Επιλογής Ηλεκτρικών Σταθμών. 24
1.2.7 Δαπάνες Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας. 26
1.3 Σύγχρονοι Εναλλακτήρες Ναυτικού Τύπου 31
Κεφάλαιο 2 .Συνδυασμός Δικτύων και Διανομή Ηλεκτρικής Ενέργειας 33
2.1 Συνδυασμός Δικτύων. 33
2.1.1 Συνδυασμός Δικτύων Χαμηλής Τάσης. 33
2.1.2 Συνδυασμός Δικτύων Υψηλής Τάσης. 34
2.2 Γενικές απαιτήσεις που Αφορούν τους Ηλεκτρικούς Σταθμούς και την Διανομή Ηλεκτρικής Ενέργειας. 42
2.3 Συστήματα Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας. 45
2.4 Συστήματα Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας στους Ηλεκτρικούς Σταθμούς με Μεγάλη Ισχύ 59
2.4.1 Η Μεγαλύτερη Ισχύς Ηλεκτρικού Σταθμού με μη Διαιρετούς Ζυγούς ΚΠΔ σε Σχέση της Ικανότητας Ζεύξης των Διακοπτών. 59
2.4.2 Μεγαλύτερη Ισχύς Ηλεκτρικού Σταθμού με Πηνία Αντίδρασης Βραχυκυκλώματος στον Κ.Π.Δ σε Σχέση της Ικανότητας Ζεύξης των Διακοπτών. . 68
2.4.3 Συστήματα Διανομής Ηλεκτρικών Σταθμών Μεγάλης Ισχύος. 73
2.5 Εξαρτήματα Διανομής. 78
2.5.1 Κύριος Πίνακας Διανομής. 78
Κεφάλαιο 3.Υπολογισμός ρεύματος βραχυκύκλωσης. 85
3.1 Εισαγωγή 85
3.2 Γιατί χρειαζόμαστε να υπολογίσουμε το ρεύμα βραχυκύκλωσης; 86
3.4 Πρέπει να υπάρχει ένας εύκολος τρόπος για τον υπολογισμό. 88

3.5 Για να μην μπερδευόμαστε ας πάρουμε έναν εύκολο υπολογισμό. 88
3.6 Οι παραπάνω υπολογισμοί είναι ικανοποιητικοί ή πρέπει να δούμε κάτι πιο περίπλοκο; 90
3.7 Απλός υπολογισμός ρεύματος βραχυκύκλωσης γεννητριών. 91
3.8 Αυτός ο τελευταίος υπολογισμός δε φαίνεται να έχει χρησιμοποιήσει το νόμο του Ohm. 93
3.9 Η Εξωτερική σύνθετη αντίσταση μειώνει το ρεύμα βραχυκύκλωσης 96
3.10 Θα πρέπει να ανησυχούμε για τα καλώδια; 96
3.11 Πως μπορώ να υπολογίσω το ρεύμα βραχυκυκλώσεως λαμβάνοντας υπόψη τα καλώδια; 97
3.11.1 Σύνθετη αντίσταση γεννήτριας και καλωδίων. 98
3.11.2 Φορτίο κινητήρων και η συνεισφορά στο βραχυκύκλωμα. 100
3.11.3 Ρεύμα βραχυκύκλωσης κύριου πίνακα 101
3.11.4 Μέγεθος κύριου διακόπτη ισχύος του κύριου πίνακα. 101
3.11.5 Ρεύμα βραχυκύκλωσης στον πίνακα διανομής μηχανοστασίου. 102
3.11.6 Τιμές ασύμμετρων ρευμάτων βραχυκύκλωσης. 104
3.11.7 Μεγέθη διακοπτών ισχύος στον πίνακα διανομής του μηχανοστασίου. 104
3.11.8 Οι επιπτώσεις του υπολογισμού της σύνθετης αντίστασης καλωδίων. 104
3.12 Τι γίνεται με το λάθος συντελεστή ισχύος και την βεβαιότητα ότι η σύνθετη αντίσταση των καλωδίων πρέπει να επηρεάζει το ασύμμετρο ρεύμα; 105
3.12.1 Συντελεστής ισχύος βραχυκυκλώματος 105
3.12.2 Ασυμμετρία κυκλώματος 106
3.13 Πώς μπορώ εύκολα να εκτιμήσω τον συντελεστή ισχύος και να εξασφαλίσω τη σωστή λειτουργία των διακοπτών του κυκλώματος; 106
3.13.1 Συνεισφορά γεννητριών. 107
3.13.2 Συνεισφορά φορτίων κινητήρων. 109
3.13.3 Ρεύμα βραχυκυκλώσεως γεννήτριας και κινητήρων. 109
3.13.4 Συντελεστής ισχύος. 110
3.13.5 Γρήγοροι υπολογισμοί. 111
3.13.6 Υπολογισμός ασύμμετρου ρεύματος βραχυκυκλώματος από μαθηματικές εξισώσεις. 111
3.13.7 Υπολογισμός ασύμμετρου ρεύματος βραχυκυκλώσεως από πίνακες. 112
3.13.8 Μηχανοστάσιο και πίνακας διανομής. 113
3.13.11 Ασύμμετρα ρεύματα βραχυκύκλωσης πίνακα διανομής μηχανοστασίου. 115
3.13.12 Άθροισμα υπολογισμών ρεύματος βραχυκύκλωσης στον πίνακα διανομής μηχανοστασίου. 116
3.13.13 Σύγκριση μεταξύ Z μεθόδου και X/R μεθόδου. 116

3.14 Έτσι ποια είναι η αλήθεια για τους υπολογισμούς του ρεύματος βραχυκυκλώματος; 118
3.15 Είναι αλήθεια ότι οι πραγματικές τιμές είναι λιγότερες από αυτές που υπολογίσαμε παραπάνω; 120
3.16 Υπάρχει υπολογιστική μέθοδος που να ξεπερνά αυτά τα προβλήματα; 120
3.16.1 Το προηγούμενο παράδειγμα θα χρησιμοποιηθεί για να επεξηγηθεί η μέθοδος κατά IEC 61363-1. 122
3.16.2 Απαιτούμενα δεδομένα 123
3.16.3 Χαρακτηριστικά γεννήτριας και καλωδίων 123
3.16.4 Η τάση που οδηγεί το ρεύμα βραχυκύκλωσης. 123
3.16.5 Ρεύμα βραχυκύκλωσης AC και DC συστατικά. 125
3.16.6 Συνεισφορά φορτίων κινητήρων. 128
3.16.7 Συνολικά αποτελέσματα υπολογισμών ρεύματος βραχυκύκλωσης κύριου πίνακα. 130
3.16.8 Υπολογισμός του ρεύματος βραχυκυκλώσεως στον πίνακα διανομής του μηχανοστασίου. 131
3.16.10 Σύγκριση της μεθόδου με προηγούμενες μεθόδους. 133
3.17 Η τιμή του ρεύματος βραχυκύκλωσης που θα προκύψει από τον υπολογισμό της μείωσης της γεννήτριας είναι αξιόπιστη; 134
3.17.1 Συνεισφορά φορτίων κινητήρων λαμβάνοντας υπόψη τη μείωση. 135
3.17.2 Ρεύμα βραχυκύκλωσης στον κύριο πίνακα διανομής περιλαμβάνοντας την μείωση κινητήρων. 137
3.17.3 Ασύμμετρα ρεύματα βραχυκύκλωσης στον κύριο πίνακα περιλαμβάνοντας τη μείωση του κινητήρα. 137
3.17.4 Υπολογισμοί κύριου πίνακα αθροίζοντας τη μείωση των κινητήρων. 138
3.17.5 Ρεύμα βραχυκύκλωσης πίνακα διανομής μηχανοστασίου περιλαμβανομένου τη μείωση των κινητήρων. 139
3.17.6 Άθροισμα αποτελεσμάτων ρεύματος βραχυκύκλωσης στο πίνακα διανομής του μηχανοστασίου λαμβάνοντας υπόψη την ελάττωση των κινητήρων. 140
3.17.7 Σύγκριση υπολογισμών της μεθόδου μείωσης κινητήρων με προηγούμενους μεθόδους. 141
3.18 Υπάρχει ακόμα άλλος Δρόμος για Εξερεύνηση; 143
3.19 Εκτίμηση του ρεύματος βραχυκύκλωσης χρησιμοποιώντας την κατά IEC «Ισοδύναμη Γεννήτρια». 143
3.19. 1 Βασικά χαρακτηριστικά της Μεθόδου Ισοδύναμης Γεννήτριας. 144
3.19.2 Υπολογισμός των σταθερών Μ και Ν. 145
3.19.4 Υπολογισμός Μεταβατικής Σταθεράς του Χρόνου. 147
3.19.5 Υπολογισμός Σταθεράς Συνεχούς Ρεύματος. 148
3.19.6 Η Σύνθετη Αντίσταση της Ισοδύναμης Γεννήτριας 149
3.19.7 Συγκέντρωση χαρακτηριστικών ισοδύναμης γεννήτριας. 151

3.19.8 Υπολογισμός του ρεύματος βραχυκύκλωσης της ισοδύναμης γεννήτριας EG στον κύριο πίνακα διανομής. 152
3.19.9 Υπολογισμός του ρεύματος βραχυκύκλωσης στον πίνακα διανομής του μηχανοστασίου. 156
3.19.10 Πίνακας σύγκρισης των αποτελεσμάτων υπολογισμού της ισοδύναμης γεννήτριας EG με προηγούμενες μεθόδους. 162
3.20. Συμπεράσματα 164
Κεφάλαιο 4. Διακόπτες Προστασίας Γεννητριών 167
4.1. Εισαγωγή 167
4.2. Διακόπτης ισχύος 167
4.2.1. Ικανότητα Κατασκευής (Making Capacity). 168
4.2.2. Ικανότητα Διακοπής (Breaking Capacity). 168
4.2.3. Ικανότητα Χρόνου Βραχυκύκλωσης 169
4.3. Διακόπτης Προστασίας Γεννητριών 169
4.3.1. Περιγραφή Διακόπτη 170
4.3.2. Προδιαγραφές προϊόντος 170
4.3.4. Εξαρτήματα Διακόπτη 175
4.3.5. Ηλεκτρονικό ρελέ προστασίας για γενική χρήση (W.S) 180
4.3.6 Ηλεκτρονικό ρελέ προστασίας γεννητριών (W.M) 180
4.4 Παράδειγμα 184
4.4.1 Ηλεκτρονικό ρελέ προστασίας γενικής χρήσεως (W.S) (παραδείγματος) 184
4.4.2 Ηλεκτρονικό Ρελέ Προστασίας Γεννητριών 184
4.4.3 Αξιολόγηση των Διαφορών των δύο Ηλεκτρονικών Ρελέ. 188
4.5 Ρύθμιση Ηλεκτρονικού Ρελέ (*WM*). 190
4.5.1 Παράδειγμα (Ρύθμισης). 190
4.5.2 Παρατηρήσεις. 193
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ : 195

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Με αρχή το τέλος του προηγούμενο αιώνα ένα από τα βασικά γνωρίσματα ανάπτυξης της ναυπηγικής βιομηχανίας είναι η συνεχώς αυξανόμενη συμμετοχή της ηλεκτροτεχνίας. Πενήντα χρόνια πριν την εισαγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας για την εκκίνηση μηχανημάτων και μηχανισμών στην βιομηχανία ο φυσικός και ηλεκτροτεχνίτης M.H.Jacob, το έτος 1838 έκανε την πρώτη δοκιμή εφαρμογής ηλεκτρικού κινητήρα ισχύος περίπου 0,8 KW για την εκκίνηση 12 – μελούς λέμβου με ταχύτητα 4 Km/h. Η δοκιμή αυτή δεν έφερε όμως πρακτικά αποτελέσματα. Το έτος 1879 με την εισαγωγή τοξοειδών λυχνιών και την εγκατάσταση 115 λαμπτήρων πυράκτωσης με νήμα άνθρακα, υπό την επιβλέψει του T.A.Addison στο επιβατικό πλοίο << Columbia >>, θεωρούμε την αρχή εισαγωγής της ηλεκτροτεχνίας στα πλοία. Από το έτος 1879 και μετά η πρόοδος στο εξηλεκτρισμό των πλοίων υπήρξε ραγδαία από τις βασικές χρονολογίες στην εξέλιξη της ηλεκτροτεχνίας στα πλοία αξίζει να αναφέρουμε τις ακόλουθες.

α) 1886 – κίνηση με ηλεκτρικό κινητήρα ισχύος 3,6 KW της 20 –μέλους λέμβου << Electra >>.

β) (1890 – 1900) - χρησιμοποίηση ηλεκτρικών κινητήρων στην εκκίνηση βοηθητικών μηχανημάτων (αντλίες, ανεμιστήρες κ.τ.λ)

γ) 1902 – ηλεκτρική κίνηση πηδαλίου.

δ) 1903 - ηλεκτροπρόωση πλοίου ισχύος 810 KW (πρόκειται για δεξαμενόπλοια 2 τον αριθμό εκτοπίσματος 1100 t κατασκευασμένα στη Σουηδία για λογαριασμό της Ρωσίας).

ε) 1911 – ηλεκτρική κίνηση βαρούλκου φορτοεκφόρτωσης.

ζ) 1914 – πρώτες δοκιμές εφαρμογής εναλλασσομένου ρεύματος.

η) Από το 1930 – υπεροχή (στις νέες κατασκευές πλοίων) της ηλεκτροκίνησης των βοηθητικών μηχανημάτων.

θ) Από το 1953 – γρήγορη άνοδος εφαρμογής του εναλλασσόμενου ρεύματος και άνοδος της ηλεκτροπαραγωγικής ισχύος.

ι) Από το 1961 – χρησιμοποίηση της ηλεκτρονικής και εισαγωγή των υπολογιστών στα πλοία.

Η γρήγορη ανάπτυξη του εξηλεκτρισμού των πλοίων στην περίοδο μετά το Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο και κυρίως η καθολική εισαγωγή του εναλλασσόμενου

ρεύματος έχει μεγαλώσει την έκταση των τεχνικών θεμάτων προ των οποίων βρίσκεται ο μελετητής, κατασκευαστής και πλοιοκτήτης.

Η παρούσα εργασία ασχολείται με τα βραχυκυκλώματα που είναι πιθανόν να παρουσιαστούν σε μια ναυτική εγκατάσταση, που συνήθως παρουσιάζονται, πως υπολογίζονται, και πως αντιμετωπίζονται. Η εργασία αποτελείται από τέσσερα κεφάλαια.

α) Το πρώτο κεφάλαιο αναφέρεται στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε ένα πλοίο, στα συστήματα των ηλεκτρικών σταθμών που υπάρχουν στο πλοίο, και την επιλογή ισχύος και αριθμού ηλεκτροπαραγώγων, ακόμα αναφέρεται στους σύγχρονους εναλλακτήρες (γεννήτριες) ναυτικού τύπου.

β) Το δεύτερο κεφάλαιο ασχολείται με τον συνδυασμό δικτύων και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, ασχολείται ακόμα με τα συστήματα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας και ειδικά με τα συστήματα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας σε ηλεκτρικούς σταθμούς μεγάλης ισχύος και στα εξαρτήματα διανομής.

γ) Το τρίτο κεφάλαιο έχοντας κάνει μια ικανοποιητική εισαγωγή στις μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και στα δίκτυα διανομής πλοίων εισερχόμαστε στα βραχυκυκλώματα που παρουσιάζονται σε μια ναυτική εγκατάσταση. Παρουσιάζεται μια τυπική ναυτική ηλεκτρολογική ενεργειακή εγκατάσταση ενός φορτηγού πλοίου και πάνω στα δεδομένα της εγκατάστασης ασχολούμαστε με τα βραχυκυκλώματα που εμφανίζονται και πως υπολογίζονται. Ποιο συγκεκριμένα παρουσιάζονται πέντε διαφορετικές μέθοδοι υπολογισμού βραχυκυκλωμάτων και τις αξιολογούμαι.

δ) Το τέταρτο κεφάλαιο περιλαμβάνει προσωπικές εμπειρίες που είχα κατά το παρελθόν από τη θέση που είχα σαν μηχανικός πωλήσεων της MITSUBISHI ELECTRIC και είχα ασχοληθεί με υλικά προστασίας γεννητριών. Ποιο συγκεκριμένα παραθέτω την μεθοδολογία ρύθμισης διακοπτών προστασίας γεννητριών που ακολουθεί η MITSUBISHI ELECTRIC και για αυτό το λόγο είχα εκπαιδευτεί στην Ιαπωνία. Με αυτή την εργασία ελπίζω να βοηθήσω στην πληρέστερη κατανόηση των βραχυκυκλωμάτων και των εξαρτημάτων προστασίας, σε μια ηλεκτρολογική εγκατάσταση, προσπαθώντας να συνδυάσω τη θεωρία με την πράξη.

PROLOGUE

At the beginning of the last century, one of the key features of the ship building industries growth is the ever- increasing participation of electrotechnics. Fifty years before the introduction of electricity to start machinery and machinery in the industry, the natural and electrotechnical MJ Jacob, in 1838, made the first test of application of an electric motor with a power of about 0,8 KW for the start of a 12 – member speedboat at a speed of 4 Km / h. This test did not have any practical results.

In the year 1879, with the introduction of arcuate bulbs and the installation of 115 carbon fiber filament lamps under the supervision of TA Addison on the «Columbia» passenger ship, we consider the principle of the introduction of electrotechnical engineering into ships. From 1879 onwords, the advancement in ship electrification has been rapid since the key dates in the evolution of electrotechnics on ships in worth mentioning the following.

a) 1886 – an electric motor with a power of 3,6 KW of 20 – member boat «Electra».
b) (1890 -1900) – use of electric motors to start auxiliary equipment (pumps, fans, etc.
c) 1902 – electric rudder movement.
d) 1903 – ship power of 810 KW (tankers 2, the 1100 tone displacement manufactured in Sweden on behalf of Russia)
e) 1911 – Electric cargo of loading and unloading winches.
f) 1914 – first alternating current applications.
g) Since 1930 – the supremacy (in the new ship building) of electrification of auxiliary machines.
h) Since 1953 – a rapid rise in the application of alternating current and an increase in power generation.
i) From 1961 – the use of electronics and the introduction of computers into ships.

The rapid development of ship electrification in the power – World War II period and, above all, the universal introduction of AC has increased the scope of technical issues ahead of the designer, manufacturer and ship - power.

This paper deals with short circuit that are likely to occur in a naval installation,

which are usually presented, how they are calculated, and how they are dealt with. This thesis consist of four chapters.

a) The first chapter refers to the generation of electricity on a ship, to the systems of the power stations on board, and the choice of power and number of generators, still refers to modern naval type generators.
b) The second chapter deals with the combination of electricity distribution networks and distribution, it is still dealing with electricity distribution systems, and especially with power distribution systems in high power, power stations and distribution components.
c) The third chapter, have been made a satisfactory introduction to the power plans and the distribution networks, is entering the short circuit present in a naval installation. We present a typical naval electrical energy installation of a cargo ship and over the installation data we deal with the short circuit that are displayed and how they are calculated. What exactly are five different methods for calculating short circuit and I evaluate them.
d) The fourth chapter includes personal experiences that I had in the past from the position I had as a sales engineer of MITSUBISHI ELECTRIC and I have been dealing with generator protection materials. Specifically I quote the MITSUBISHI ELECTRIC Generator Protection Switch Configuration Methodology and for this reason I have been trained in Japan. With this work I hope to help in understanding the short circuit and protection components more fully in an electrical installation, trying to combine theory and practice.

Κεφάλαιο 1. Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας.

1.1 Συστήματα Ηλεκτρικών Σταθμών.

Το είδος της κύριας πηγής ηλεκτρικής ενέργειας στο πλοίο, που προορίζεται για την εκκίνηση της έλικας (ηλεκτροπρόωση) έχει σημαντική επίδραση στον τύπο των ηλεκτροπαραγωγών ζευγών και κατά συνέπεια στον τύπο του ηλεκτρικού σταθμού.

Σήμερα για την εκκίνηση της έλικας το 85% των πλοίων χρησιμοποιεί κινητήρες εσωτερικής καύσης, και το 15% χρησιμοποιεί ηλεκτρικούς κινητήρες. Πρόσφατα μια έρευνα σε παγκόσμια κλίμακα απέδειξε την ακόλουθη βασική κατανομή των ηλεκτρικών σταθμών στα πλοία.

1 – ηλεκτρικοί σταθμοί με κίνηση ηλεκτροπαραγωγών με κινητήρες εσωτερικής καύσης 76%.

2 – ηλεκτρικοί σταθμοί με μεικτή κίνηση (με ατμοστρόβιλους και κινητήρες εσωτερικής καύσεως) 16%.

3 – ηλεκτρικοί σταθμοί με εξαρτημένη κίνηση 8%.

1.1.1 Ηλεκτρικοί Σταθμοί με Κίνηση Κινητήρων Εσωτερικής Καύσης.

Όπως προκύπτει από τους αριθμούς της παραπάνω έρευνας, η χρήση των μηχανοστασίων εσωτερικής καύσης με ξέχωρα ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη, είναι η συχνότερη περίπτωση.

Για την εκκίνηση των ηλεκτροπαραγωγών με κινητήρες εσωτερικής καύσης, χρησιμοποιούνται τετράχρονοι κινητήρες από 375 έως 1800 σ/λ.

Ο αριθμός των ηλεκτροπαραγωγών ζευγών ποικίλει και κυμαίνεται μεταξύ 2 και 6.

Τα κυριότερα συγκροτήματα ηλεκτρικών σταθμών είναι τα εξής :

1 – συγκροτήματα ηλεκτροπαραγωγών ίδιας ισχύος 60%.

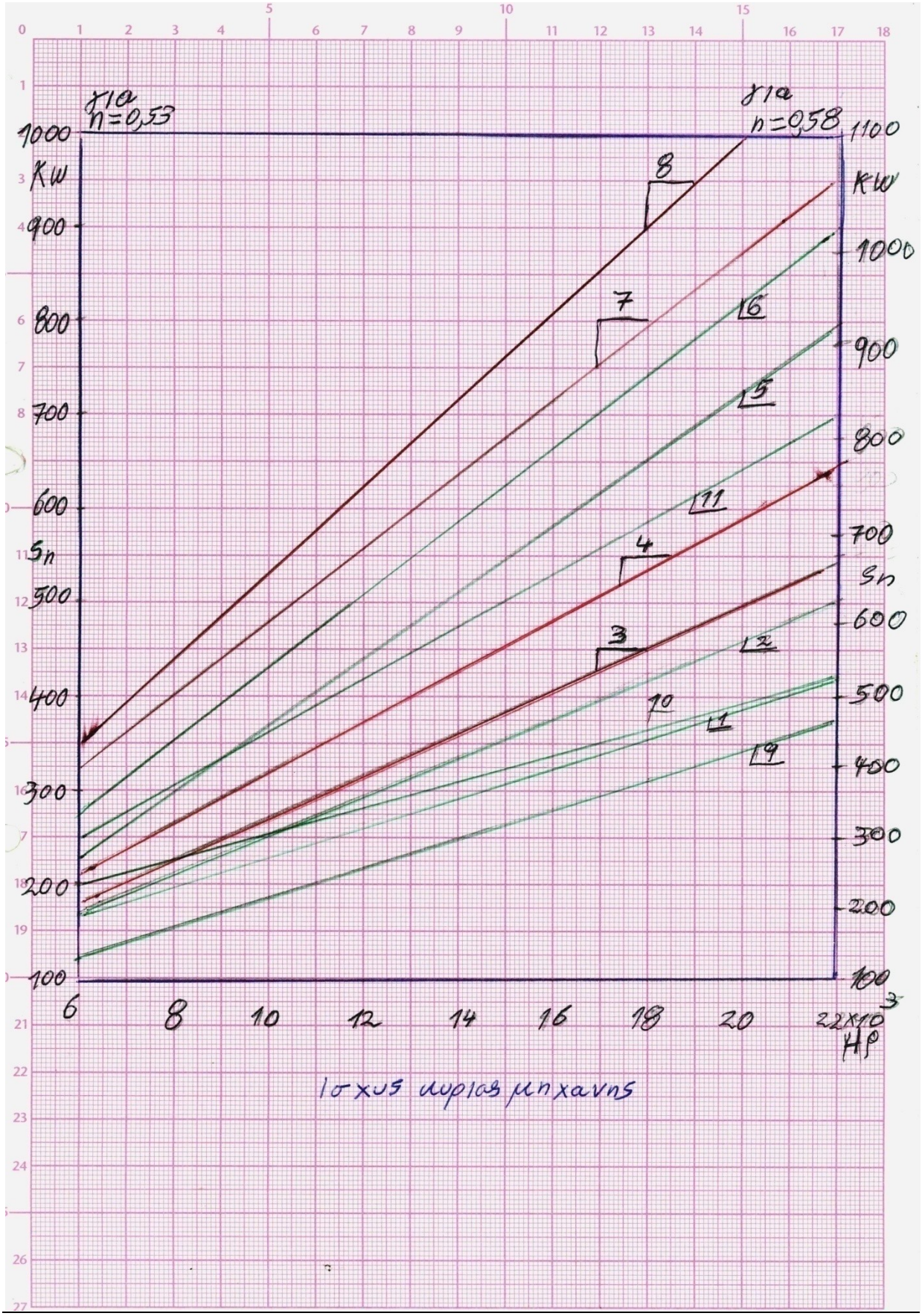
2 – συγκροτήματα ηλεκτροπαραγωγών ίδιας ισχύος και με ένα ηλεκτροπαραγωγό ανάγκης 20%.

3 – συγκροτήματα ηλεκτροπαραγωγών διαφορετικής ισχύος 20%.

Στα επιβατηγά και οχηματαγωγά πλοία όπου οι κανονισμοί των διαφόρων οργανισμών κατάταξης (νηογνώμονες) επιβάλλουν την εγκατάσταση ηλεκτροπαραγωγού ανάγκης. Η κατανομή των ηλεκτρικών σταθμών είναι η εξής :
1 – ηλεκτρικοί σταθμοί με τρία όμοια ηλεκτροπαραγωγά και ένα ανάγκης 40%.
2 – ηλεκτρικοί σταθμοί με τέσσερα όμοια ηλεκτροπαραγωγά και ένα ανάγκης 50%.
3 – άλλος τύπος ηλεκτρικού σταθμού 10%.

1.1.2 Ηλεκτρικοί Σταθμοί με Μεικτή Κίνηση Ηλεκτρογεννητριών.

Οι ηλεκτρικοί σταθμοί με μεικτή κίνηση ηλεκτρογεννητριών δηλαδή με κινητήρες εσωτερικής καύσης και με στροβίλους χαμηλής πίεσης τροφοδοτούμενοι με ατμό από λέβητες οι οποίοι θερμαίνονται με τα καυσαέρια της κύριας μηχανής άρχισαν να κατασκευάζονται, μετά το 1970, χωρίς όμως να έχουν πάρει μεγάλη έκταση.
Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται η μέγιστη αποκτημένη ισχύς ηλεκτρικής ενέργειας από τις στροβιλογεννήτριες σε συνάρτηση με την ιπποδύναμη της κύριας μηχανής.


για
η=0,53
για
η=0,58
1000
KW
900
800
700
600
Sn
300
400
300
200
100
1100
KW
1000
900
800
700
Sn
600
500
400
300
200
100
8
7
16
5
11
4
3
2
10
1
9
6
8
10
12
14
16
18
20
22x10³
Hp
ισχυς κυριας μηχανης

Σχήμα 1.1

Μέγιστη ισχύς ηλεκτρικής ενέργειας αποκτημένη από στροβιλογεννήτριες σε συνάρτηση της ιπποδύναμης κυρίας μηχανής.

Θερμοκρασία καυσαερίων εξαγωγής 285^0 C υπό πίεση ατμού 6 Kg / cm.

1. υγρός ατμός $\chi = 0,98$ αντίθλιψη 0,1 Kg /cm.
2. υγρός ατμός $\chi = 0,98$ αντίθλιψη 0,05 Kg / cm.
3. υπέρθερμος ατμός 285^0 C αντίθλιψη 0,10 Kg / cm.
4. υπέρθερμος ατμός 285^0 C αντίθλιψη 0,05 Kg / cm.

Θερμοκρασία καυσαερίων εξαγωγής 360^0 C υπό πίεση ατμού 8 Kg / cm.

5. υγρός ατμός $\chi = 0,98$ ατίθλιψη 0,1 Kg / cm.
6. υγρός ατμός $\chi = 0,98$ ατίθλιψη 0,05 Kg / cm.
7. υπέρθερμος ατμός 360^0 C ατίθλιψη 0,10 Kg / cm.
8. υπέρθερμος ατμός 360^0 C ατίθλιψη 0,05 Kg / cm.
9. ηλεκτρικό φορτίο (KW) κανονικής ζήτησης εν – πλω.
10. ηλεκτρικό φορτίο (KW) μέγιστης ζήτησης εν – πλω.
11. ηλεκτρικό φορτίο (KW) μέγιστης ζήτησης εν – όρμο.

n. βαθμός απόδοσης στροβιλογεννήτριας.

S_n. ηλεκτρική ονομαστική ισχύς.

Όπως προκύπτει από την γραφική παράσταση στην περίπτωση των θερμών κινητήρων, δηλαδή κινητήρων με υψηλές θερμοκρασίες καύσης, για να καλύψουμε την κανονική λειτουργία του πλοίου σε ηλεκτρική ενέργεια εν – πλω, η ισχύς της κύριας μηχανής πρέπει να είναι άνω των 4000 Ίππων ενώ στη περίπτωση των ψυχρών κινητήρων, δηλαδή κινητήρων με χαμηλές θερμοκρασίες καύσης, η ισχύς της κύριας μηχανής είναι περίπου 9000 Ίπποι. Βλέπουμε λοιπόν, το λόγο για τον οποίο οι ηλεκτρικοί σταθμοί του τύπου αυτού δεν έλαβαν μεγάλη έκταση. Στις μικρές ιπποδύναμεις κυρίων μηχανών, ή στα μεγάλα ηλεκτρικά φορτία η ποσότητα ατμού από τους λέβητες είναι ανεπαρκής για την κάλυψη αναγκών σε θέρμανση και ηλεκτρική ενέργεια. Τα πλοία τα οποία έχουν τέτοιου είδους ηλεκτρικούς σταθμούς, τα συγκροτήματα που χρησιμοποιούνται είναι περίπου 14 τύπων.

Ο συχνότερος τύπος που χρησιμοποιείται είναι ένα κινούμενο με ατμοστρόβιλο και δύο κινούμενα με κινητήρες εσωτερικής καύσης (συνήθως τα πλοία αυτά είναι δεξαμενόπλοια).

Τον τελευταίο καιρό αντί των ατμοστρόβιλων χρησιμοποιούνται αεροστρόβιλοι.

Ο αεροστρόβιλος στη μορφή μοιάζει με τον ατμοστρόβιλο, διαφέρει όμως από αυτόν στο ότι δεν δουλεύει με ατμό αλλά με καυσαέρια υψηλής πίεσης. Επίσης διαφέρει στον άξονα. Ο άξονας του αεροστρόβιλου δίνει περιστροφή σ' ένα αεροσυμπιεστή που έχει πτερύγια. Ο αεροσυμπιεστής αυτός στέλνει αέρα με πίεση στους θαλάμους καύσης, στους οποίους ψεκάζεται πετρέλαιο. Καθώς καίγεται το πετρέλαιο μέσα στο συμπιεσμένο αέρα παράγονται καυσαέρια υψηλής πίεσης, τα οποία χρησιμοποιούνται για τη λειτουργία του αεροστρόβιλου.

Τα τελευταία χρόνια γίνονται όλο και ποιο επιτυχημένες τελειοποίησης στις κατασκευές των αεροστρόβιλων.

1.1.3 Ηλεκτρικοί Σταθμοί με Εξαρτημένη Κίνηση.

Άλλη μέθοδος υλοποίησης ερευνών εύρεσης τρόπου μείωσης της δαπάνης εκμετάλλευσης του πλοίου είναι η χρησιμοποίηση για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας του κυρίου συστήματος κίνησης της προπέλας του πλοίου με διάφορους τρόπους, γίνεται με μηχανική σύνδεση μεταξύ κυρίου άξονα και ηλεκτρογεννήτριας. Τα οφέλη τα οποία προκύπτουν από την χρησιμοποίηση των αξονικών ηλεκτρογεννητριών είναι άμεσα και έμμεσα. Παρ' όλου που τα οφέλη αυτά είναι μικρής αξίας, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στην τελική επιλογή του ηλεκτρικού σταθμού.

Τα άμεσα οφέλη που προκύπτουν είναι τα παρακάτω:

1. Μεγαλύτερου βαθμού απόδοσης της κυρίας μηχανής πρόωσης από εκείνου των βοηθητικών κινητήρων εσωτερικής καύσης, συνεπώς ελάχιστη χρήση του ειδικού καυσίμου.
2. Ελάχιστη χρήση λιπαντικού ελαίου κυρίας μηχανής.
3. Λειτουργία κυρίας μηχανής με πετρέλαιο βαρέου τύπου, δηλαδή πετρέλαιο λεβήτων με χαμηλό ειδικό κόστος.
4. Μικρότερο κόστος επισκευών εν – πλω, λόγω μη λειτουργίας των βοηθητικών κινητήρων εσωτερικής καύσης.

Τα έμμεσα οφέλη είναι τα εξής :

1. Καλύτερες συνθήκες εργασίας του πληρώματος μηχανοστασίου εν – πλω. Στα μηχανοκίνητα πλοία η πηγή του θορύβου μεγάλης έντασης του ήχου είναι οι πολύστροφοι κινητήρες εσωτερικής καύσης.
2. Θετική επιρροή της εξαρτημένης ηλεκτρογεννήτριας στη λειτουργία της κυρίας μηχανής πρόωσης. Οι διάφορες δοκιμές εκμετάλλευσης του πλοίου απέδειξαν ότι η κυρία μηχανή πρόωσης με εξαρτημένη ηλεκτρογεννήτρια εργάζεται ποιο ήρεμα σε καιρό τρικυμίας, επειδή η ταλάντωση των στροφών λόγω ανάδυσης της προπέλας από το νερό αποσβήνεται με τη λειτουργία της ηλεκτρογεννήτριας.

Το κυριότερο μειονέκτημα των εξαρτημένων ηλεκτρογεννητριών είναι το περίπλοκο ηλεκτρικό σύστημα.

Τελευταία, μετά το 1985 γίνονται όλο και πιο πολλές έρευνες και δοκιμές στη χρησιμοποίηση νέων στοιχείων των ημιαγωγών για τη σταθεροποίηση της συχνότητας, καθώς επίσης στη βελτίωση των ρυθμιστών φορτίου κυρίων μηχανών πρόωσης.

1.2 Επιλογή Ισχύος και Αριθμού Ηλεκτροπαραγωγών.

Η άνοδος των ηλεκτροκίνητων μηχανισμών και μηχανημάτων στα πλοία επιβάλει την αύξηση εγκατεστημένης ισχύος ηλεκτρικής ενέργειας, με αποτέλεσμα την επεξεργασία συγκεκριμένης μεθόδου επιλογής αυτής.

1.2.1 Κριτήρια Επιλογής Αριθμού και Ισχύος Ηλεκτροπαραγωγών.

Στην επιλογή αριθμού και ισχύος ηλεκτροπαραγωγών ζευγών, οι οργανισμοί κατάταξης των πλοίων απαιτούν μόνο την ασφαλή λειτουργία των ουσιωδών καταναλώσεων κίνησης του πλοίου, καθώς επίσης την προστασία του φορτίου στην περίπτωση που ένα ηλεκτροπαραγωγό για διάφορους λόγους τεθεί εκτός λειτουργίας. Εκτός της παραπάνω βασικής απαίτησης, από την οποία μπορούμε να καθορίσουμε τον αριθμό και την ισχύ των ηλεκτροπαραγωγών ζευγών σε διάφορες χαρακτηριστικές καταστάσεις εργασίας του πλοίου, υπάρχουν ακόμη και οι εξής:

οικονομική επένδυση και δαπάνες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, συνδεδεμένες με τις δαπάνες επισκευών, εξυπηρετήσεων και την απλότητα αυτών.

1.2.2 Συλλογή Στατιστικών Ενεργειακών Δεδομένων.

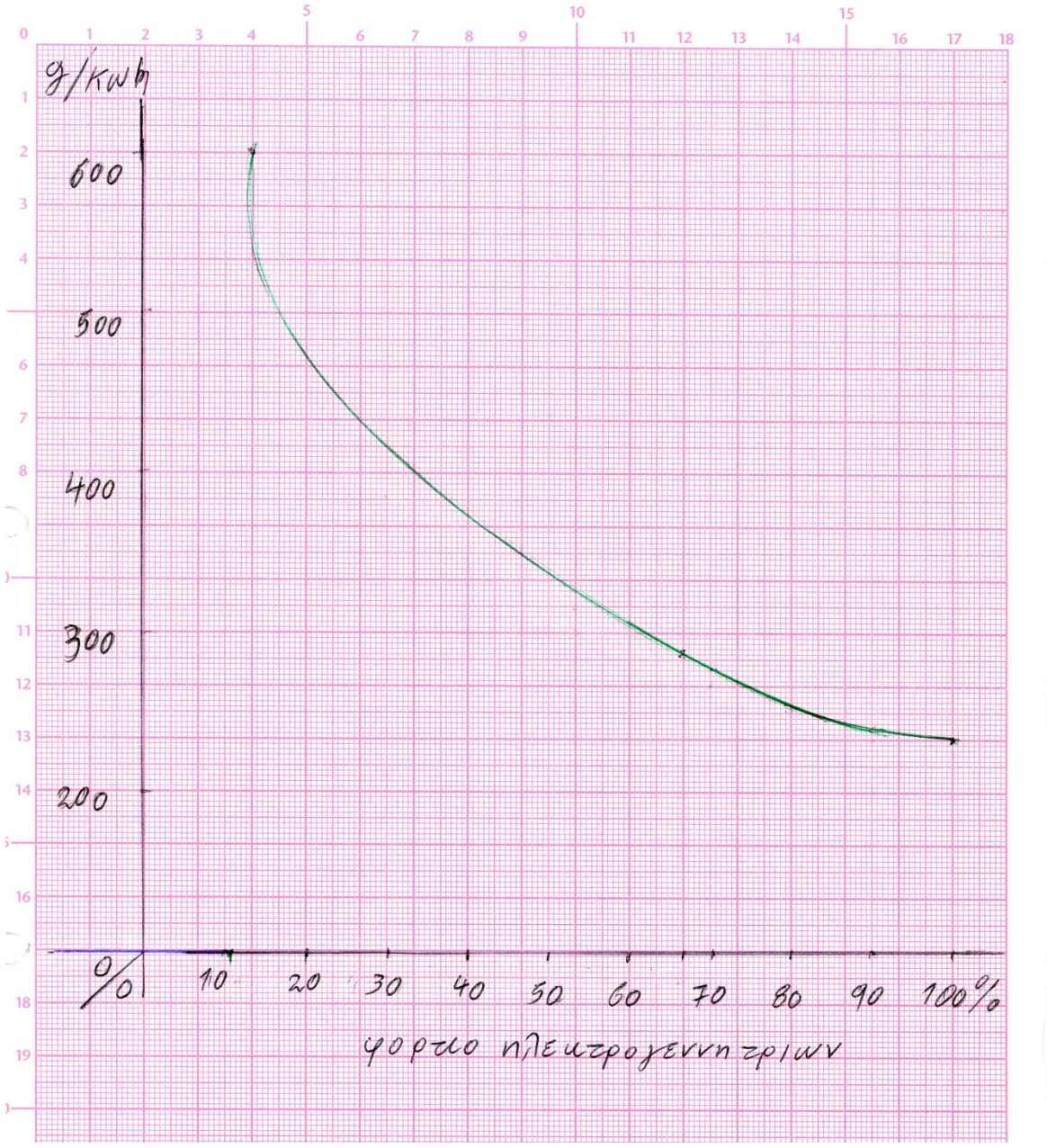
Οι εργασίες στον τομέα της συλλογής στατιστικών δεδομένων έχουν αρχίσει από καιρό σε ολόκληρο την υδρόγειο.
Οι διεξαγόμενες μετρήσεις αφορούν τα φορτία ηλεκτρικών σταθμών, την λήψη ισχύος και ηλεκτρικής ενέργειας από τους καταναλωτές η ομάδα καταναλωτών. Ανεξάρτητα από τις μετρήσεις αυτές οι οποίες αποτελούν την εργασία των ερευνών αυτών, συχνά εγκαθίστανται στα πλοία μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας, ως τυπικό εξάρτημα των ερευνών αυτών.
Τα εισερχόμενα δεδομένα όμως τις περισσότερες φορές είναι αποσπασματικά και πολύ συχνά πιστοποιούν την τυχαία εκλογή μηχανισμών και μηχανημάτων ή την μη ορθολογική εκμετάλλευση των μηχανισμών αυτών.
Αποδεικνύεται λοιπόν, ότι ενεργειακή οικονομία στα πλοία ακόμη και σήμερα είναι αμελητέα.

1.2.3 Καταστάσεις Οικονομικής Λειτουργίας Κινητήρων Εσωτερικής Καύσης στην Εκκίνηση των Ηλεκτρογεννητριών.

Οι κινητήρες εσωτερικής καύσης είναι η κύρια πηγή εκκίνησης των ηλεκτρογεννητριών στους ηλεκτρικούς σταθμούς πλοίων.
Το σχήμα 1.2 παρουσιάζει τα αποτελέσματα των μετρήσεων κατανάλωσης ειδικού καύσιμου από τρία ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη κινούμενα με κινητήρες εσωτερικής καύσης σε συνάρτηση του φορτίου των ηλεκτροπαραγωγών αυτών.
Από το διάγραμμα του σχήματος 1.2 απορρέει ότι η οικονομική εκμετάλλευση των ηλεκτροπαραγωγών ζευγών εξαρτάται κυρίως από το φορτίο τους.
Μπορούμε να θεωρήσουμε ότι το οικονομικότερο έργο των ηλεκτροπαραγωγών είναι μεταξύ 70% και 90% του φορτίου της ηλεκτρογεννήτριας. Διαπιστώνουμε, λοιπόν, πόσο σημαντική είναι η επιλογή της ισχύος και του αριθμού των ηλεκτροπαραγωγών ζευγών για τη σωστή λειτουργία και ανταπόκριση σε όλες τις καταστάσεις του πλοίου.

Από τις μέχρι τώρα πρακτικές εφαρμογές η οικονομικότερη λύση είναι η εγκατάσταση τριών όμοιων ηλεκτροπαραγωγών με αυτόματο σύστημα συγχρονισμού και φορτώματος. Αυτό μπορεί επιτευχθεί σε πλοία οριζόμενων πλόων και καταστάσεων φορτίων.

Στα ποντοπόρα φορτηγά πλοία όπου οι κλιματολογικές συνθήκες μεταβάλλονται συνεχώς και έχουμε μεγάλη διακύμανση των ηλεκτρικών φορτίων οι ηλεκτρικοί σταθμοί πρέπει να επιλέγονται με πολύ προσεκτική οικονομοτεχνική μελέτη.



Σχήμα 1.2 Κατανάλωση ειδικού καυσίμου ηλεκτροπαραγώγων σε συνάρτηση του ηλεκτρικού φορτίου.

1.2.4 Κατανομή σε Ομάδες Καταναλωτών Ηλεκτρικής Ενέργειας.

Η μεταβολή του φορτίου στους ηλεκτρικούς σταθμούς των πλοίων εξαρτάται από το είδος της εργασίας των καταναλωτών ηλεκτρικής ενέργειας. Ο τρόπος χρήσης εξαρτάται από τις χαρακτηριστικές καταστάσεις και την κλιματολογική ζώνη στην οποία βρίσκεται το πλοίο. Από ενεργειακής πλευράς όλοι οι καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει να κατανεμηθούν σε βασικές ομάδες της ίδιας λειτουργικότητας. Η κατανομή αυτή εξαρτάται πάρα πολύ από το είδος του πλοίου και από τον τύπο της κυρίας μηχανής πρόωσης. Για φορτηγά πλοία, κρουαζιερόπλοια και οχηματαγωγά με κύρια πρόωση μηχανή εσωτερικής καύσης, η κατανομή των καταναλωτών είναι η εξής :

1. μηχανισμοί κύριας μηχανής πρόωσης.
2. βοηθητικοί μηχανισμοί μηχανοστασίου.
3. μηχανισμοί καταστρώματος.
4. αερισμός και κλιματισμός.
5. μαγειρεία και αναψυκτήρια.
6. ψυκτικοί μηχανισμοί.
7. φωτισμός.
8. μηχανισμοί και συσκευές ασύρματων, τηλεπικοινωνίας και ναυσιπλοΐας.

1.2.5 Ανάλυση Εργασίας των Ομάδων Καταναλωτών.

Ο βασικότερος καταναλωτής ηλεκτρικής ενέργειας στα πλοία είναι ο ηλεκτρικός κινητήρας. Η σωστή επιλογή της ισχύος του ηλεκτρικού κινητήρα έχει μεγάλη σημασία στο ενεργειακό ισολογισμό του πλοίου, συνεπώς και στο μέγεθος του ηλεκτρικού σταθμού. Η μέγιστη τιμή ισχύος του ηλεκτρικού κινητήρα στον άξονά του, πρέπει να είναι ίση με τη μέγιστη τιμή ισχύος του κινούμενου μηχανισμού επαυξημένη κατά 10% (απώλειες λόγο τριβής του μηχανισμού).

α) Εργασία μηχανισμών κυρίας μηχανής πρόωσης.

Οι μηχανισμοί της κυρίας μηχανής πρόωσης λειτουργούν μόνο κατά τη διάρκεια του ταξιδιού στη θάλασσα. Ο βαθμός αξιοποίησης εγκατεστημένης ισχύος

ολόκληρης της ομάδας αυτής κυμαίνεται από 0,7 έως 0,9. Η συμμετοχή, λοιπόν της ομάδας αυτής στον ενεργειακό ισολογισμό είναι αρκετά μεγάλη. Ο συντελεστής χρήσης της ομάδας αυτής είναι $K_{\alpha} = 1$ και ο μέσος συντελεστής αξιοποίησης της ισχύος είναι : $K_1 = (0,7 + 0,9) / 2 = 0,8$ άρα η μέση ισχύς είναι $S_m = \sum K_1 \cdot S_n$.

β) Εργασία βοηθητικών μηχανισμών μηχανοστασίου.

Στη σύνθεση της ομάδας αυτής ανήκουν οι μηχανισμοί με διακεκομμένη εργασία και εκπέτασμα ισχύος (από 0,1 έως 250 KW) όπως μηχανισμοί προετοιμασίας μέσων εκκίνησης, λίπανσης, αεροσυμπιεστές, αντλίες έρματος, αντλίες σεντινών, αντλίες πυρκαγιάς, μηχανισμοί συνεργείων κ.τ.λ. Η μέση αξιοποιημένη ισχύς της συγκεκριμένης ομάδας σε όλες τις καταστάσεις υπολογίζεται σύμφωνα με την εξής σχέση :

$S_m = K'_1 \cdot S_{n1} + K_2 \cdot K_1 \cdot S_{ns}$ όπου :

K'_1 – συντελεστής αξιοποίησης ισχύος μεγαλύτερου κινητήρα (0,8)

K_1 – συντελεστής αξιοποίησης ισχύος υπόλοιπων ηλεκτρικών κινητήρων με αθροιστική ισχύ S_{ns}

K_2 – συντελεστής χρήσης υπολοίπων ηλεκτρικών κινητήρων.

S_{n1} – ονομαστική ηλεκτρική ισχύς μεγαλύτερου κινητήρα.

το γινόμενο $K_2 \cdot K_1$ κυμαίνεται μεταξύ 0,1 και 0,2.

γ) Εργασία μηχανισμών καταστρώματος.

Στη σύνθεση της ομάδας αυτής ανήκουν μηχανισμοί, όπως μηχανισμός πηδαλίου, βαρούλκα αγκυρών, βαρούλκα πρυμναίων προσδέσεων, πρωραίοι προωθητικοί μηχανισμοί, βαρούλκα φορτοεκφόρτωσης, ανελκυστήρες προσώπων και τροφίμων.

Κατά τη διάρκεια ταξιδιού στη θάλασσα οι μόνοι μηχανισμοί που εργάζονται είναι : ο μηχανισμός του πηδαλίου και οι ανελκυστήρες, ενώ στο λιμάνι (φορτηγά πλοία) κατά την φορτοεκφόρτωση, τα βαρούλκα φορτοεκφόρτωσης και οι ανελκυστήρες. Τη μεγαλύτερη συμμετοχή στον ενεργειακό ισολογισμό της ομάδας αυτής έχουμε στην κατάσταση ελιγμών.

Στην κατάσταση αυτή οι μόνοι μηχανισμοί που δεν συμμετέχουν όπως και στην κατάσταση ταξιδιού στη θάλασσα, είναι τα βαρούλκα φορτοεκφόρτωσης.

Η αξιοποιημένη ισχύς της ομάδας αυτής είναι:

για την κατάσταση ταξιδιού στη θάλασσα $S_m = K_1 (S_{nSG} + S_{nEL})$ $K_1 = 0,3.$

Για την κατάσταση ελιγμών : $S_m = K_1 S_{nSG} + K'_1 \cdot K_2 (S_{nBT} + S_{nw} + S_{nc})$ *όπου* :

S_{nSG} – ονομαστική ισχύς μηχανισμού πηδαλίου.

S_{nBT} – ονομαστική ισχύς προωραίου προωθητικού μηχανισμού.

S_{nw} – ονομαστική ισχύς βαρούλκου άγκυρας.

S_{nc} – ονομαστική ισχύς βαρούλκου πρυμναίων προσδέσεων

$K_1 = 0,5 \qquad K'_1 \cdot K_2 = (0,6 – 0,7)$

Στην περίπτωση φορτηγών πλοίων με βαρούλκα φορτοεκφόρτωσης, η μέση αξιοποιημένη ισχύς στην κατάσταση φορτοεκφόρτωσης είναι :

$$S_m = K \sum S_n W_n$$

όπου : $S_n W_n$ – αθροιστική ισχύς των εν λειτουργία βαρούλκων.

K – το γινόμενο συντελεστή χρήσης και συντελεστή φορτίου, για βαρούλκα κινούμενα με κινητήρες συνεχούς ρεύματος

$K = [2 + 0,2 (n – 2)] / n$

για βαρούλκα κινούμενα με κινητήρες εναλλασσομένου ρεύματος

$K = [2 + 0,37 (n – 2)] / n$

άεργος ισχύς

$K = [2 + 0.47 (n – 2)] / n$

για βαρούλκα στο σύστημα (Ward – Leonard)

$K = [2 + 0,18 (n – 2)] / n$

όπου : n – αριθμός εν λειτουργία βαρούλκων.

δ) Εργασία μηχανισμών αερισμού – κλιματισμού.

Στη σύνθεση της ομάδας αυτής ανήκουν ο κλιματισμός χώρων ενδιαίτησης, αερισμός χώρου μηχανών, αερισμός χώρου φορτίου. Τη μεγαλύτερη εγκατεστημένη ισχύ στην ομάδα αυτή έχουν τα Ε / Γ – Ο / Γ πλοία.

Παραδείγματα δείχνουν το μέγεθος εγκαταστημένης ισχύος διαφόρων τύπων πλοίων, τα οποία είναι.

φορτηγά πλοία γενικού τύπου

80 – 140 KW.

φορτηγά πλοία ξηρού τύπου

100 – 170 KW

δεξαμενόπλοια

200 – 250 KW.

Ε / Γ – Ο / Γ πλοία γραμμής για 500 επιβάτες και 100 οχήματα
300 – 500 KW.
Ε / Γ – Ο / Γ πλοία γραμμής για 1000 επιβάτες και 200 οχήματα
800 – 1200 KW.
Η αξιοποιημένη ισχύς της ομάδας αυτής είναι :

$S_m = K \sum S_n$ *όπου* :

Ο συντελεστής Κ είναι το γινόμενο του συντελεστή χρήσης και του φορτίου, για την κατάσταση ταξιδιού στη θάλασσα (Κ = 0,6 – 0,8).
Για την κατάσταση παραμονής στο λιμάνι είναι Κ = (0,5 – 0,6).
Για την κατάσταση ελιγμών Κ = 0,7.

ε) Εργασία συσκευών μαγειρείων και αναψυκτηρίων.

Στην ομάδα αυτή ανήκουν αντιστάσεις θέρμανσης των μαγειρείων, οι οποίες έχουν τη μεγαλύτερη επιρροή στο φορτίο των ηλεκτρικών σταθμών όπως και στην ομάδα του κλιματισμού – αερισμού, την μεγαλύτερη εγκατεστημένη ισχύ έχουν τα Ε / Γ – Ο / Γ πλοία η οποία κυμαίνεται μεταξύ 150 KW και 500KW ανάλογα με το είδος και τη γραμμή του πλοίου. Ο συντελεστής Κ της ομάδας αυτής κυμαίνεται μεταξύ 0,3 – 0,4.

στ) Φωτισμός.

Σε όλους τους τύπους των φορτηγών πλοίων ο φωτισμός δεν έχει μεγάλη επιρροή στην ισχύ του ηλεκτρικού σταθμού, αντίθετα όμως στα Ε / Γ – Ο / Γ πλοία λόγο μεγάλης εγκατεστημένης ισχύος έχει μεγάλη επιρροή. Ο συντελεστής Κ για τα φορτηγά πλοία κυμαίνεται μεταξύ του 0,3 – 0,5 και για τα Ε / Γ – Ο / Γ μεταξύ του 0,7 – 0,8.

1.2.6 Μέθοδοι Επιλογής Ηλεκτρικών Σταθμών.

Ενεργειακός Ισολογισμός.

Η πιο συνηθισμένη μέθοδος στην επιλογή των ηλεκτρικών σταθμών είναι η κατανομή σε ομάδες όλων των ηλεκτρικών καταναλώσεων.
Στον πίνακα 1.1 παρουσιάζεται ενδεικτικά ο ενεργειακός ισολογισμός του Ε / Γ – Ο / Γ Δαίδαλος της εταιρίας << Μινωικές Γραμμές >>.

Η μέθοδος αυτή, παρ' όλο που δέχτηκε και δέχεται ακόμα κριτική εξαιτίας της δύσκολης επιλογής κατάλληλων συντελεστών και έλλειψης δυνατότητας παρακολούθησης των πραγματικών μεταβολών φορτίων, εφαρμόζεται με διάφορους τρόπους, από τους μηχανικούς, μελετητές ηλεκτρολογικών εγκαταστάσεων πλοίων. Στην πραγματικότητα το εργάσιμο φορτίων των ομάδων σε διάφορες καταστάσεις του πλοίου είναι χαμηλότερο, διότι ο συντελεστής διαφοροποίησης, που είναι το γινόμενο του συντελεστή χρήσης και του συντελεστή φορτίου, είναι χαμηλότερος.

Υπολογισμός ισχύος ηλεκτρικού σταθμού κατά προσέγγιση.

Πολλά ναυπηγικά γραφεία στο αρχικό στάδιο μελέτης ενός πλοίου προκειμένου να δώσουν στον πλοιοκτήτη τις δαπάνες του πλοίου αυτού, υπολογίζουν την ισχύ του ηλεκτρικού σταθμού ως εξής :

α) Για την κατάσταση ταξιδιού στη θάλασσα $S_{ST} = 6 + 0{,}024\,N + S_d$ *όπου* :

N – ισχύς κύριας μηχανής πρόωσης σε HP.

S_d – ηλεκτρική ισχύς μεγαλύτερης κατανάλωσης με διακεκομμένη εργασία στην κατανάλωση [KW].

β) Για κατάσταση παραμονής πλοίου στο λιμάνι $S_p = 11 + 0{,}002\,D + S_d$

όπου : D – εκτόπισμα πλοίου [t].

γ) Για την κατάσταση ελιγμών πλοίου $S_m = S_{st} + 0{,}8\,(S_W + S_{ac} + S_{BT})$ *όπου* :

S_{st} – ηλεκτρική ισχύς κατάστασης παραμονής πλοίου στο λιμάνι.

S_W – ηλεκτρική ισχύς βαρούλκου αγκυρών.

S_{ac} – ηλεκτρική ισχύς αεροσυμπιεστή προκύνησης.

S_{BT} – ηλεκτρική ισχύς πρωραίου προωθητικού μηχανισμού.

Ομαδα α/α	Καταναλωτικη Ισχύς Ομαδων	Εγκατεστημενη Ηλεκτρικη Ισχυς KW	Πραγματικο Εργασιμο φορτιο					
			Εν πλω		Εν ορμω		Ελιγμοι	
			συντελ. διαφορ.	Εργασιμο φορτιο KW	συντελ. διαφορ.	Εργασιμο φορτιο KW	συντελ. διαφορα οιησης	Εργασιμο φορτιο KW
1	Μηχανισμοι ανωτερης μηχανης	226	0,6	136	—	—	0,7	158
2	Βοηθητικοι μηχανισμοι καταστρωματος	481	0,25	120	0,2	96	0,4	192
3	Μηχανισμοι καταστρωματος	920	—	22	—	—	0,7	644
4	Κλιματισμος αερισμος	706	0,65	459	0,5	363	0,5	363
5	Κουζινα μαγειρ φυγεια	312	0,65	203	0,4	125	0,4	125
6	Φωτισμος	140	0,8	112	0,8	112	0,8	112
7	Μεσα Επικοινωνιας	18	0,5	9	—	—	0,5	9
Συνολικη Εγκατεστημενη Ονομαστικη Ισχυς		2803						
Εργασιμο φορτιο ομαδων (1-7) KW				1061		686		1593
Ως ανωτερο εφεδρειου 5% σε απωλειες				1114		720		1673
Ως ανωτερο με συνφ=0,8 KVA				1393		900		2091
Αριθμος και Ισχυς Εργαζομενων Εναλλακτηρων			2 X 712 KVA		2 X 712 KVA		3 X 712 KVA	

Πίνακας 1.1

Ενεργειακός ισολογισμός Ε / Γ - Ο / Γ Δαίδαλος

1.2.7 Δαπάνες Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας.

Το ζήτημα της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στα πλοία είναι στην εποχή μας το αντικείμενο πολλών συζητήσεων και αναλύσεων. Το σύνολο των δαπανών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με την συμβατική μέθοδο διαιρείται σε πέντε ομάδες :

1. – δαπάνη για καύσιμα (K_{Fuel}).
2. – δαπάνη για λιπαντικά ($K_{λιπ.}$).
3. – δαπάνη για συντήρηση και επισκευές ($K_{συντ.}$).
4. – δαπάνη για ασφάλιση ($K_{ασφ.}$).
5. – δαπάνη χρεολύσια ($K_{χρ.}$).

1. Η δαπάνη για τα καύσιμα είναι ανάλογη στην παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια

K_{Fuel} = ———— (€ / KWh) *όπου* :

be – κατανάλωση ειδικού καύσιμου από μηχανή diesel (*Kg* / HPh).

Kr – τιμή του ειδικού καύσιμου (€ / *Kg*).

ng – ο βαθμός απόδοσης εναλλακτήρα.

2. Η δαπάνη των καταναλωμένων λιπαντικών είναι στην ουσία ανεξάρτητη από το φορτίο, εξαρτάται όμως από το χρόνο χρησιμοποίησης.

Με σκοπό τη μετατροπή σε δαπάνη μονάδας παραγόμενης ενέργειας, πρέπει να ορισθεί ο συντελεστής χρήσης της εγκαταστημένης ηλεκτρικής ισχύος, ο οποίος εξαρτάται από τη χαρακτηριστική κατάσταση Α.

—— —— *όπου* :

L = ————————————

α_m – συντελεστής χρήσης ονομαστικής ισχύος ταξιδιού στη θάλασσα.

α_ρ – συντελεστής χρήσης ονομαστικής ισχύος παραμονής στο λιμάνι χωρίς τη φορτοεκφόρτωση.

α_l – συντελεστής χρήσης ονομαστικής ισχύος παραμονής στο λιμάνι με τη φορτοεκφόρτωση.

Η δαπάνη για λιπαντικά είναι :

—— ——

F – η ποσότητα λιπαντικών μίας πλήρωσης [Kg].

Κλιπ – η τιμή του λιπαντικού (€ / Kg).

Sn – η ισχύς του εναλλακτήρα (KW).

z – ο χρόνος εργασίας του λιπαντικού (από μία αλλαγή στην άλλη) σε (h).

3. – Η δαπάνη για συντήρηση και επισκευές.

Κσυντ = ——— (———) *όπου* :

S_m – εγκατεστημένη ισχύς κινητήρα diesel (HP).

r – στοιχειώδη δαπάνη συντήρησης (€ / HP ανά έτος).

$U = S_n \cdot 8760 \cdot A$ (KWh / έτος).

Στην ως άνω δαπάνη εισέρχονται οι αποδοχές του πληρώματος που ασχολείται με την συντήρηση και τις μικροεπισκευές.

———————— ———

Ψ – χρόνος συντήρησης (h).

Η – ωρομίσθιο πληρώματος (€ / h).

Τ – χρόνος εργασίας (από μια συντήρησης στην άλλη) (h).

4. – Η δαπάνη για ασφάλιση.

Κασφ. = [($P_κ$ + Ρτοπ) . $S_κ$ + P_e . S_{mp}] · (V / U) [———]

όπου :

$P_κ$ – τιμή μονάδας κινητήρων diesel (€ / HP).

$S_κ$ – ισχύς κινητήρα diesel (HP).

P_e – τιμή μονάδας εναλλακτήρων (€ / KW).

V – ετήσια συμμετοχή στην συνδρομή ασφάλισης.

Ρτοπ. – τιμή μονάδας τοποθέτησης κινητήρων diesel (€ / HP).

S_{mp} – ισχύς ηλεκτρικού σταθμού.

Σοβαρό ποσοστό συμμετοχής στις δαπάνες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας έχουν :

5. Δαπάνες χρεολύσιες.

Αυτές τις δαπάνες υπολογίζουμε όπως και τις δαπάνες ασφάλισης.

$K_{χρ} = [(P_κ + P_{τοπ.}) \cdot S_κ + P_ε \cdot S_{mp}] -$ (———) *όπου* :

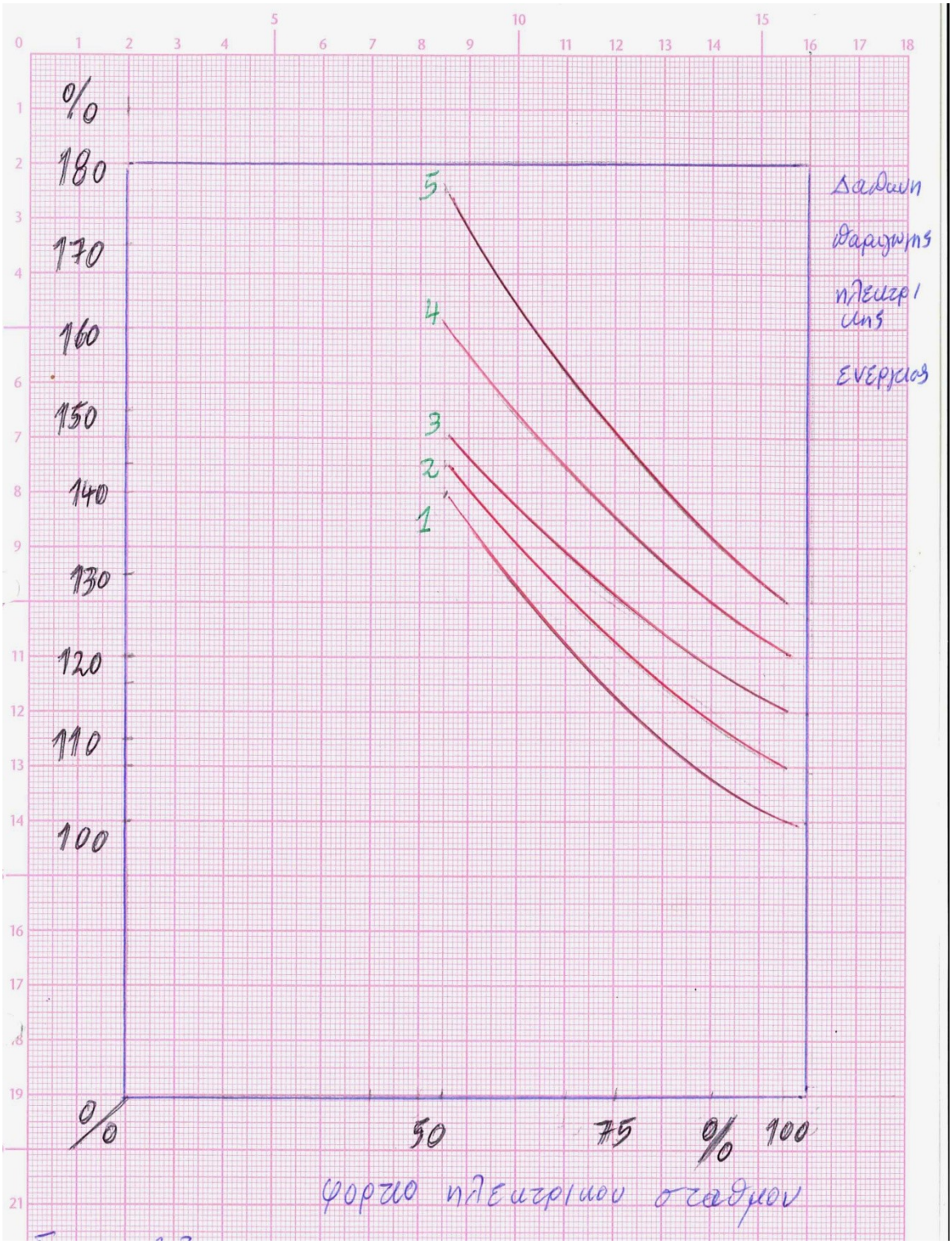
f – ετήσια δόση αντίτιμου χρεολυσίου.

Μετά την άθροιση όλων των άνω δαπανών, η δαπάνη παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στο πλοίο είναι :

$$K = K_F + K_{λιπ} + K_{συντ} + K_{λιπ} + K_{ασφ} + K_{χρ} \ (\text{€} / KWh).$$

Με βάση της ανωτέρω σχέσης έχουν υπολογισθεί οι δαπάνες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στο Δ / Ξ << ΑΔΡΙΑΤΙΚΗ >> της ναυτικής εταιρίας « ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΔΕΞΑΜΕΝΟΠΛΟΙΑ » Α.Ε. σε φορτίο εναλλακτήρων 100 %, 75 %, 50 % και για χρονική αξιοποίηση εναλλακτήρων στο 50 %, 60 %, 70 %, 80 % και 90 %.

Η χαμηλότερη δαπάνη παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι στο 100 % του φορτώματος και 90 % της αξιοποίησης των εναλλακτήρων, ενώ η μεγαλύτερη δαπάνη είναι στο 50 % του φορτίου και 50 % αξιοποίησης.



Σχήμα 1.3 Σχετική δαπάνη μονάδας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας εξαρτημάτων από διάφορες βαθμίδες αξιοποίησης εναλλακτήρων του Δ / Ξ ΑΔΡΙΑΤΙΚΗ

Χρόνος αξιοποίησης

1 – 90% 2 – 80% 3 – 70% 4 – 60% 5 – 50%

1.3 Σύγχρονοι Εναλλακτήρες Ναυτικού Τύπου

Με την χρησιμοποίηση στα πλοία για την εκκίνηση των εναλλακτήρων πολύστροφων κινητήρων εσωτερικής καύσης των 1500 ή 1800 σ / λ και στατικών συστημάτων ρύθμισης τάσης, τοποθετούνται ορισμένες απαιτήσεις ως προς τις κατασκευαστικές και φυσικές παραμέτρους. Στις απαιτήσεις αυτές μπορούμε να χρεώσουμε τις εξής :

1. – Επιτρεπτές αυξήσεις της θερμοκρασίας σε διάφορα μέρη του εναλλακτήρα, κυρίως στης περιελίξεις και στους δακτυλίους. Η απαίτηση αυτή είναι συνδεδεμένη με το είδος της χρησιμοποιημένης μόνωσης και της δεχόμενης θερμοκρασίας του ψυκτικού παράγοντα.

2. – Απαίτηση που αφορά την επιτρεπτή υπερφόρτωση και χρόνο διάρκειας αυτής. Η πλέον τυπική, άλλα και λογική απαίτηση υπερφόρτωσης είναι 125 % του ονομαστικού φορτίου σε χρόνο 2 ωρών και 150 % σε χρόνο 1 λεπτού. Η δοκιμή υπερφόρτωσης πρέπει να γίνεται όταν ο κινητήρας diesel με συνεχές ονομαστικό φορτίο αποκτήσει τις επιτρεπτές οριακές θερμοκρασίες.

3. – Απαίτηση που αφορά τη διαδρομή της εξωτερικής χαρακτηριστικής από την οποία εισάγεται η επιτρεπτή μεταβολή της τάσης η οποία, συμφωνά με τις συστάσεις των περισσότερων οργανισμών κατάταξης, δεν πρέπει να υπερβαίνει το ± 2,5 % της ονομαστικής τάσης. Η απαίτηση αυτή αφορά ολόκληρο το σύστημα, δηλαδή, τον κινητήρα εσωτερικής καύσης, του εναλλακτήρα και τον ρυθμιστή τάσης του εναλλακτήρα.

4. – Κατασκευαστικές απαιτήσεις που αφορούν τον κινητήρα εσωτερικής καύσης, του εναλλακτήρα και το σύστημα ζεύξης αυτών.

Κεφάλαιο 2 .Συνδυασμός Δικτύων και Διανομή Ηλεκτρικής Ενέργειας .

2.1 Συνδυασμός Δικτύων.

2.1.1 Συνδυασμός Δικτύων Χαμηλής Τάσης.

Στις συστάσεις αρκετών βασικών οργανισμών κατάταξης πλοίων, συμπεριλαμβανομένου και του Ελληνικού Νηογνώμονα περιλαμβάνονται οι κάτωθι συνδυασμοί δικτύων χαμηλής τάσης :

α). δύο αγωγών συνεχούς ρεύματος ή μονοφασικού Ε.Ρ.

β). τριών αγωγών τριφασικού Ε.Ρ. με μονωμένο τον ουδέτερο κόμβο.

γ). τριών αγωγών Σ.Ρ. με γειωμένο τον αγωγό επιστροφής.

δ). τεσσάρων αγωγών τριφασικού Ε.Ρ. με γειωμένο τον ουδέτερο κόμβο.

Μερικοί οργανισμοί κατάταξης πλοίων επιτρέπουν το συνδυασμό ενός αγωγού στο συνεχές και μονοφασικό εναλλασσόμενο ρεύμα με χρησιμοποίηση του σκάφους ως αγωγό επιστροφής (μόνο για τάσεις έως 30 V).

Ως επί το πλείστον ο εξηλεκτρισμός των πλοίων γίνεται με εναλλασσόμενο ρεύμα, κατά συνέπεια πρέπει να γίνει υπενθύμιση των στοιχειωδών γνωρισμάτων τριφασικών δικτύων – με μονωμένο δίκτυο, δηλαδή με μονωμένο τον ουδέτερο κόμβο και των τριφασικών γειωμένων δικτύων, δηλαδή με γειωμένο τον ουδέτερο κόμβο.

Στο με μονωμένο τριφασικό δίκτυο, όπου η προβολή της χωρητικότητας σε σχέση με το σκάφος είναι ελάχιστη η τα χωρητικά ρεύματα σε σχέση με το σκάφος είναι αντισταθμισμένα, ο κίνδυνος ηλεκτροπληξίας είναι μικρότερος από το τριφασικό γειωμένο δίκτυο. Επίσης, από πλευράς κινδύνου πυρκαγιάς, το με μονωμένο δίκτυο είναι ασφαλέστερο του γειωμένου δικτύου και αυτό λόγω σημαντικών ρευμάτων βραχυκυκλώματος στο σκάφος. Αυτό είναι η κυρία αιτία που στα δεξαμενόπλοια χρησιμοποιείται το με μονωμένο δίκτυο.

Ο σύγχρονος εξοπλισμός εντόπισης βραχυκυκλωμάτων με το σκάφος στα με μονωμένα δίκτυα είναι περίπλοκος και δεν εντοπίζεται συγκεκριμένα το μέρος βλάβης του δικτύου, συνεπώς υπάρχει καθυστέρηση αποκατάστασης της βλάβης. Εμφανίζεται λοιπόν, μακροχρόνια αβαρία εργασίας του συστήματος με τη γείωση (σκάφος) και αυτό ανοίγει οξύτερες συνθήκες στην τάση των αυτόματων διακοπτών, που εκείνη τη στιγμή αποσυνδέουν τα ρεύματα εργασίας ή βραχυκυκλώσεως. Τα γειωμένα δίκτυα δεν έχουν αυτά τα μειονεκτήματα.

Στα μεμονωμένα δίκτυα τα μη ταυτόχρονα ρεύματα βραχυκυκλώματος, δηλαδή αυτά που ξεκινούν από διφασικό βραχυκύκλωμα και με το πέρασμα κάποιου χρόνου (π.χ. μερικών εκατομμυριοστών του δευτερολέπτου) επέρχεται το τριφασικό βραχυκύκλωμα, μπορούν να είναι μεγαλύτερα από ταυτόχρονα ρεύματα. Το γειωμένο δίκτυο την ιδιότητα αυτή δεν την καταλογή.

Ονομαστική τάση.

Οι τιμές των μέγιστων ονομαστικών τάσεων, σύμφωνα με τις συστάσεις των οργανισμών κατάταξης πλοίων, ποικίλλουν και εξαρτώνται από το είδος της ηλεκτρικής συσκευής και τον τρόπο χρησιμοποίησης της εγκατάστασης.
Οι περισσότεροι Νηογνώμονες επιτρέπουν τη χρησιμοποίηση τάσης έως και 500 V συνεχούς και εναλλασσόμενου ρεύματος σε κινητήρες θέρμανσης και συσκευές μαγειρίων άνω των 5 KW μονίμως εγκαταστημένων και μονίμως συνδεδεμένων με την ηλεκτρική εγκατάσταση.
Στην περίπτωση πηγών φωτισμού προσωπικών συσκευών θέρμανσης και ρευματοδοτών οι οργανισμοί κατάταξης πλοίων επιτρέπουν τάση έως και 250 V συνεχούς ή εναλλασσομένου ρεύματος. Εκεί που υπάρχει μεγάλος κίνδυνος ηλεκτροπληξίας, όπως στην περίπτωση των φορητών συσκευών και φορητού φωτισμού, οι οργανισμοί κατάταξης πλοίων συνιστούν τη χρησιμοποίηση μετασχηματιστών με τάση εξόδου έως 42 V για το εναλλασσόμενο ρεύμα και συσσωρευτών 12 ή 24 V για το συνεχές ρεύμα.

2.1.2 Συνδυασμός Δικτύων Υψηλής Τάσης.

Η ανάγκη εγκατάστασης στα πλοία ηλεκτρικών σταθμών μεγάλης ισχύος δημιουργείται από τους ακόλουθος λόγους :

1. – Άνοδος βαθμού εξηλεκτρισμού των πλοίων με μικρή δυνατότητα φόρτου Καυσίμου κυρίας μηχανής (π.χ. στα αλιευτικά πλοία), όπου το μεγαλύτερο μέρος κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας είναι για την επεξεργασία του αλιεύματος.

2. – Κατασκευή πλοίων με ηλεκτρική κυρία κίνηση (ηλεκτροπρόωση).

3. – Κατασκευή πλοίων με συμβατική κυρία κίνηση, αλλά με μηχανισμούς μεγαλύτερης ισχύος, όπως οι μηχανισμοί καταστρώματος και οι βοηθητικοί μηχανισμοί μηχανοστασίου.

4. – Αντικατάσταση μηχανικής κίνησης αντλιών φορτίου με ηλεκτρική κίνηση στα δεξαμενόπλοια.

5. – Κατασκευή μεγάλων Ε / Γ – Ο / Γ πλοίων.

6. – Κατασκευή ειδικών πλοίων, όπως αυτά που τροφοδοτούν με ηλεκτρική ενέργεια συσκευές ξηράς μεγάλης ισχύος πλωτές εξέδρες κ.τ.λ.

Η ανάγκη εισαγωγής στα πλοία υψηλής τάσης π.χ. 3 KV ή 6 KV αντί των τάσεων 400 V ή 450 V απορρέει ακόμη από διάφορες οικονομικές διαπιστώσεις συνδεμένες με τη διανομή και την αξιοποίηση της ηλεκτρικής ενέργειας.

Οι διαπιστώσεις αυτές είναι :

1. – Οι εναλλακτήρες και οι κινητήρες μεγάλης ισχύος σε τάση 3 KV ή 6 KV έχουν μικρότερο κόστος κατασκευής από αυτούς σε τάση 400 ή 450 V.

2. – Στους ηλεκτρικούς σταθμούς μεγάλης ισχύος παρουσιάζονται μεγάλα ρεύματα βραχυκυκλώματος, των οποίων οι μηχανισμοί προστασίας χαμηλής τάσης από άποψη ικανότητας αδυνατούν να αντιμετωπίσουν τα προβλήματα αυτά.

3. – Τα μεγάλα ρεύματα βραχυκυκλώματος στη χαμηλή τάση προξενούν μεγαλύτερη δαπάνη κατασκευής κυρίων πινάκων διανομής, λόγω όγκου και βάρους των συσκευών προστασίας και την ανάγκη εξασφάλισης αντιστάσεων στις δυναμικές και θερμικές ενέργειες του ρεύματος.

4. – Η δαπάνη κατασκευής των καλωδίων υψηλής τάσης είναι χαμηλότερη από εκείνη των καλωδίων χαμηλής τάσης λόγω της τιμής του χαλκού, η δε διαφορά δαπάνης λόγω μόνωσης είναι μηδαμινή, εξάλλου το πάχος του μονωτικού στρώματος των καλωδίων χαμηλής τάσης και των καλωδίων σε τάση 3 KV ή 6 KV είναι περίπου ίδιο. Μεγάλη ισχύς ηλεκτρικού σταθμού μπορούμε να αποκτήσουμε με δύο τρόπους. Ο ένας τρόπος βασίζεται στη χρησιμοποίηση μεγάλου αριθμού ηλεκτροπαραγωγών μικρής ισχύος και ο δεύτερος τρόπος στη χρησιμοποίηση μικρού αριθμού ηλεκτροπαραγωγών μεγάλης ισχύος.

Ο τελευταίος τρόπος είναι αρκετά οικονομικότερος εξαιτίας της μικρής δαπάνης του ηλεκτρικού σταθμού, της φθηνής εκμετάλλευσης και του μικρού χώρου που καταλαμβάνουν τα ηλεκτροπαραγωγά αυτά. Σύμφωνα με γερμανικές και βρετανικές πηγές, η δαπάνη των ηλεκτροπαραγωγών με ισχύ άνω των 1,5 MW σε τάση 3,3 KV είναι μικρότερη από τη δαπάνη ηλεκτροπαραγωγών της ίδιας ισχύος σε τάση 400 ή 450 V. Εξαιτίας αυτών, στα πλοία με μεγάλη εγκατεστημένη ισχύ, θα ήταν περισσότερο αποδεκτοί οι εναλλακτήρες με ονομαστική τάση 3 KV ή ακόμα 6 KV. Κατά τη γνώμη βρετανών συγγραφέων οι τετραπολικοί επαγωγικοί κινητήρες με ισχύ άνω των 1500 HP σε τάση 3,3 KV είναι φθηνότεροι από αυτούς σε τάση 440 V.

Οι ηλεκτρικοί κινητήρες με μεγαλύτερο αριθμό πόλων είναι φθηνότεροι ακόμη και σε μικρότερες ιπποδυνάμεις. Σύμφωνα όμως με γερμανούς συγγραφείς οι ηλεκτρικοί κινητήρες με ισχύ κάτω των 250 KW, σε τάση 6 KV ή 10 KV, είναι δύσκολη η κατασκευή τους, λόγο της πολύ μικρής μηχανικής αντοχής των λεπτών συρμάτων κεντρικών συνδέσεων. Ως προς τα ανώτερο, νομίζω, θα συμφωνούσαν πολλοί μηχανικοί ηλεκτρολόγοι.

Η επιλογή των διακοπτών για καταστάσεις βραχυκυκλώματος στα πλοία, γίνεται σύμφωνα με την ονομαστική ικανότητα ζεύξης, στο βραχυκύκλωμα των διακόπτων αυτών. Όπως θα δούμε και πιο κάτω, στην περιγραφή της διανομής ηλεκτρικής ενέργειας για πλοία με πετρελαιοκίνηση και με αριθμό εγκατεστημένων εναλλακτήρων n = 3, στην περίπτωση των αυτομάτων διακοπτών προστασίας εναλλακτήρων με ικανότητα αντοχής στο βραχυκύκλωμα 100 KA, η ισχύς του ηλεκτρικού σταθμού, εργαζομενης σε κοινές μη διαιρούμενες ράβδους (μπάρες), δε μπορεί να είναι μεγαλύτερη από 3 MVA.

Στις ίδιες αυτές συνθήκες, ανεξάρτητα από τον αριθμό των εναλλακτήρων, η μεγαλύτερη ισχύ ηλεκτρικού σταθμού, περιορισμένη από την ικανότητα ζεύξης των διακοπτών εξόδου, δεν μπορεί να είναι μεγαλύτερη από 3 MVA. Σε περίπτωση ανάγκης χρησιμοποίησης μεγαλύτερης ισχύος ηλεκτρικού σταθμού, εργαζόμενης σε κοινές μη διαιρούμενες ράβδους από ότι δίνεται πιο πάνω, εισέρχεται η ανάγκη χρησιμοποίησης υψηλής τάσης.

Η υψηλή τιμή του χαλκού, η οποία συνεχώς έχει κλίση ανόδου, προκαλεί την ανάγκη χρησιμοποίησης καλωδίων υψηλής τάσης παρόλο, που τα καλώδια αυτά απαιτούν ανθεκτικότερη μόνωση από τα καλώδια χαμηλής τάσης 400 V. Η μόνωση των καλωδίων χαμηλής τάσης είναι συνήθως υπέρμετρη (αναφορά των ηλεκτρικών απαιτήσεων). Με την αιτία αυτή π.χ. καλώδια της ίδιας διατομής σε τάση 3 KV , είναι ελαφρώς φθηνότερα (10 – 15 %) από τα καλώδια χαμηλής τάσης 400 V.

Προβλήματα ασφάλειας στα πλοία με την εισδοχή υψηλής τάσης.

Τα βασικά προβλήματα με την εισδοχή στα πλοία υψηλής τάσης είναι ο κίνδυνος πυρκαγιάς και ο κίνδυνος ηλεκτροπληξίας. Η πυρκαγιά στο πλοίο προκαλεί περισσότερους κινδύνους από ότι στην ξηρά. Επίσης, ο κίνδυνος ηλεκτροπληξίας στο πλοίο είναι μεγαλύτερος, επειδή ο άνθρωπος μπορεί πιο εύκολα να έρθει σε επαφή με μηχανισμό ή συσκευή, όπου υπάρχει διαρροή τάσης.

Κίνδυνος πυρκαγιάς.

Ο κίνδυνος πυρκαγιάς εξαρτάται από την τιμή του ρεύματος βραχυκυκλώματος, του οποίου το θερμαντικό αποτέλεσμα επίδρασης είναι ανάλογο στο τετράγωνο του ρεύματος. Για παράδειγμα, ρεύμα βραχυκυκλώματος με τιμή 45 ΚΑ και χρόνο ροής 0,5 sec. θερμαίνει χάλκινο καλώδιο με διατομή 120 mm από θερμοκρασία 35^0 C σε 280^0 C. Η τιμή του ρεύματος βραχυκυκλώματος είναι ανάλογη της ισχύος των ηλεκτρογεννητριών και αντιθέτως ανάλογη της υπομεταβατικής αντίδρασης των συνδεμένων σε κοινούς ζυγούς ηλεκτρογεννητριών. Εναλλακτήρας ονομαστικής ισχύος 10 MVA έχει ρεύμα βραχυκυκλώματος 75 ΚΑ σε τάση 440 V, ενώ ο ίδιος εναλλακτήρας σε τάση 3,3 KV έχει ρεύμα βραχυκυκλώματος μόνο 10 ΚΑ. Στην τάση 3,3 KV το θερμαντικό αποτέλεσμα επίδρασης στις ίδιες καταστάσεις και στον ίδιο χρόνο ροής είναι περίπου 56 φορές μικρότερο. Προκύπτει λοιπόν, ότι ο κίνδυνος πυρκαγιάς είναι μικρότερος στην περίπτωση εγκατάστασης στο πλοίο υψηλής τάσης.

Κίνδυνος από ηλεκτροπληξία.

Ο κίνδυνος από ηλεκτροπληξία εξαρτάται από την ονομαστική τάση του δικτύου. Καταφανής τρόπος προστασίας από κινδύνους ηλεκτροπληξίας είναι ο εφοδιασμός των καλωδίων με ορθή γειωμένη μεταλλική επένδυση. Στα μονοφασικά καλώδια το χωρητικό ρεύμα της κακής γείωσης μεταλλικής επένδυσης με το σκάφος προκαλεί κινδύνους με την επαφή της τάσης από τους ανθρώπους. Στα τριφασικά καλώδια τέτοια συνθήκη μπορεί να δημιουργηθεί μόνο σε περίπτωση σφάλματος.
(π.χ. γείωσης μίας φάσης)

Η μικρότερη επιτρεπτή τιμή ρεύματος, η οποία θα μπορούσε να δημιουργήσει ατύχημα είναι 0,2m A. Στην πραγματικότητα, η θανατηφόρα τιμή ρεύματος σε χρόνο διέλευσης 10 sec είναι από 6 έως 20m A.

Η τιμή του ρεύματος 0,2m A σε τάση δικτύου 3,3 KV διέρχεται όταν το μήκος του κακώς γειωμένου πλέγματος καλωδίου είναι περίπου 1,2 m, ενώ σε τάση δικτύου 400 V το μήκος είναι περίπου 10 m. Η μεταλλική κατασκευή του πλέγματος καλωδίου υψηλής τάσης (σε περίπτωση βραχυκυκλώματος με αυτό), δεν πρέπει να επιτρέπει την επιστροφή ρεύματος στην πηγή. Επομένως το ρεύμα βραχυκυκλώματος πρέπει να επιστρέφει μέσω του κελύφους του σκάφους στο γειωμένο κόμβο του δικτύου.

Σε επαφή του καλωδίου με την εξωτερική μονωτική επένδυση, δεν υπάρχει κίνδυνος ηλεκτροπληξίας (το ρεύμα που διαρρέει στο χέρι, ακόμα και στα δύο

χέρια δεν είναι μεγάλο). Σε συνέχεια καλώδια χωρίς εξωτερική επένδυση είναι εκτεθειμένα σε μηχανική βλάβη μόνωσης.

Τα καλώδια υψηλής τάσης μη καλυμμένα με μεταλλικές σωλήνες, μπορούν να είναι τοποθετημένα σε βραχίονες υπό τον όρο διατήρησης της εξωτερικής μεταλλικής επένδυσης σε συνεχή ενεργή γείωση. Σε καμία περίπτωση, ακόμα και στο μικρότερο τμήμα, δεν μπορεί το καλώδιο να είναι ακάλυπτο. Στο σωλήνα δεν πρέπει να τοποθετούνται άλλα καλώδια. Δεν πρέπει επίσης, όσο αυτό είναι δυνατό τα καλώδια να διέρχονται από χώρους διαμονής (καμπίνες, τραπεζαρίες και σαλόνια). Τα καλώδια υψηλής τάσης πρέπει να είναι έτσι καθορισμένα, που η διάκρισή τους να είναι εμφανής.

Επιλογή βασικού συστήματος δικτύου.

Στα συστήματα δικτύων των πλοίων υπερτερούν τα δίκτυα χαμηλής τάσης με μονωμένο τον ουδέτερο κόμβο. Η λύση αυτή, στην περίπτωση επαφής μίας φάσης με το σκάφος, επιτρέπει την συνέχιση της κίνησης. Στις καταστάσεις αυτές δημιουργούνται υπερτάσεις συνδεδεμένες με τη διακοπή του χωρητικού ρεύματος, οδηγώντας τη διαφορά δυναμικού των υγειών φάσεων σε σχέση με το σκάφος στην πολλαπλή αύξηση, με αποτέλεσμα την καταστροφή των μονώσεων.

Η διαδικασία γένεσης τέτοιων υπερτάσεων παρουσιάζεται στο σχήμα 2.1.

Το χωρητικό ρεύμα, κλεισμένο μεταξύ φάσης Τ και υγιών φάσεων R και S στο σημείο βραχυκυκλώματος με το σκάφος μπορεί να κλείνεται με το ηλεκτρικό τόξο.

Το υποκατάστατο σχήμα τέτοιου τριφασικού συστήματος μπορεί να παρουσιαστεί σε σχήμα διφασικού κυκλώματος, στο οποίο οι φάσεις R και S αποτελούν ένα πόλο, και σε σειρά με το τόξο είναι συνδεδεμένη η επαγωγή L του βραχυκυκλωμένου κυκλώματος. Στην περίπτωση αυτή, κατά τη μετάβαση του ρεύματος από το μηδέν (διάγραμμα C), ακολουθεί το σβήσιμο του τόξου. Αυτό γίνεται τη στιγμή που η τιμή της τάσης V_1 είναι μέγιστη. Εάν το τόξο δε ξανανάψει, τότε στην χωρητικότητα C_1 (η οποία είναι υποκατάστατη των υγιών φάσεων S και T), θα παραμένει η τάση V_2, ίση με την τιμή της τάσης V_1. Οι υπερτάσεις αυτές στην περίπτωση του δικτύου χαμηλής τάσης είναι ακίνδυνες, διότι το σύστημα μόνωσης έχει αρκετή εφεδρική αντοχή. Στην περίπτωση όμως του δικτύου υψηλής τάσης, η εφεδρεία αυτή είναι ελάχιστη, και για αυτό το δίκτυο υψηλής τάσης με γειωμένο τον ουδέτερο, μπορεί να γίνει ασύμφορο. Ακόμη το

δίκτυο αυτό, με μονωμένο τον ουδέτερο κόμβο, έχει το μειονέκτημα ότι στον αγωγό του κόμβου μπορεί να παρουσιαστούν αρκετά ρεύματα τρίτης αρμονικής, δυναμωμένα από την επίδραση της τρίτης αρμονικής τάσης στον εναλλακτήρα.

Αναφορικά με την αντίσταση του ουδέτερου κόμβου, οι κανονισμοί συνιστούν, όπως η τιμή της, πρέπει να περιορίζει το ρεύμα βραχυκυκλώματος, σε τιμή όχι μεγαλύτερη από την ονομαστική τιμή του ρεύματος του μεγαλύτερου εναλλακτήρα, εργαζομένου σε κοινούς ζυγούς με τον πίνακα διανομής, αλλά όχι και μικρότερη από την τριπλάσια ονομαστική τιμή του ενεργού ρεύματος κάθε συσκευής προστασίας.

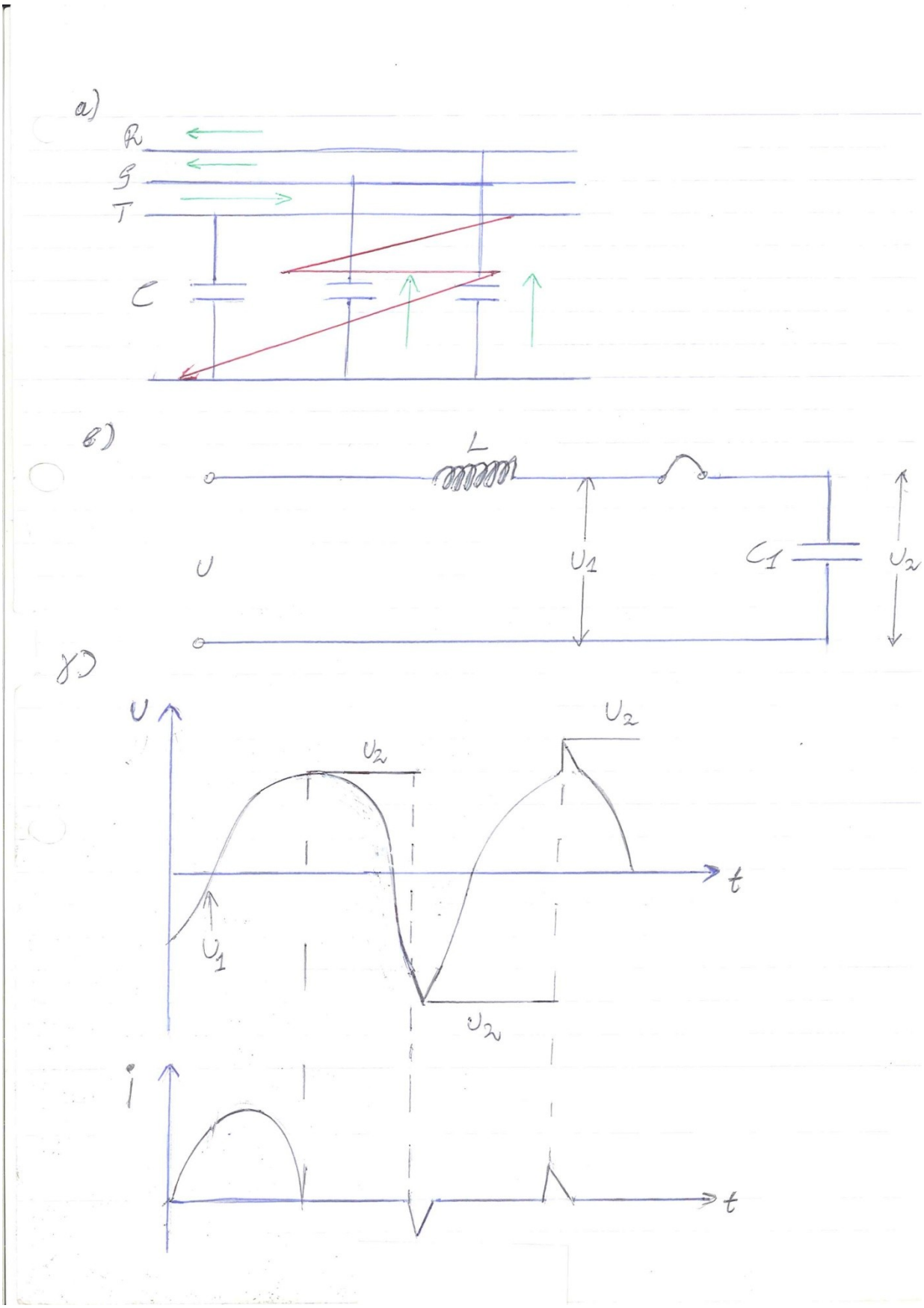
Οι κόμβοι των εναλλακτήρων μπορούν να έχουν κοινό σημείο σύνδεσης υπό τον όρο ότι η τρίτη αρμονική, στην ημιτονοειδή καμπύλη της τάσης κάθε εναλλακτήρα, δεν υπερβαίνει το 5%.

Εάν ο κύριος πίνακας διανομής αποτελείται από αρκετά ανεξάρτητα μέρη ή εάν στο πλοίο είναι εγκατεστημένοι αρκετοί ανεξάρτητοι πίνακες διανομής, τότε στην πρώτη περίπτωση το κάθε μέρος του κύριου πίνακα διανομής, πρέπει να έχει δική του αντίσταση και στη δεύτερη περίπτωση, ο κάθε ξεχωριστός πίνακας να έχει την αντιστασή του. Όλες οι αντιστάσεις πρέπει να είναι συνδεδεμένες με το κέλυφος του πλοίου.

Με σκοπό την απάλειψη της επιρροής των εξισορροπημένων ρευμάτων στο ραντάρ, ασυρμάτων και άλλων, συστήνεται η κοινή σύνδεση όλων των αντιστάσεων από το μέρος της γείωσης. Η κοινή αυτή γείωση πρέπει να είναι συνδεδεμένη με το κέλυφος του σκάφους χωριστά από άλλες γειώσεις μηχανημάτων ή συσκευών. Στα συστήματα με γειωμένο τον ουδέτερο κόμβο οι εναλλακτήρες πρέπει να έχουν διάταξη προστασίας έναντι εσωτερικών βραχυκυκλωμάτων. Τέτοιου είδους διατάξεις προστασίας συστήνεται επίσης και στα συστήματα με μονωμένο τον ουδέτερο κόμβο. Το κάθε κύκλωμα χαμηλής τάσης που τροφοδοτείται μέσω μετασχηματιστή από το δίκτυο υψηλής τάσης πρέπει να είναι καλά γειωμένο.

Για την προστασία από βραχυκυκλώματα και υπερεντάσεις, μπορούν να χρησιμοποιηθούν αυτόματοι διακόπτες ή ασφάλειες. Οι αυτόματοι διακόπτες δεν πρέπει να δημιουργούν δυνατότητες πυρκαγιάς, γι' αυτό πρέπει να χρησιμοποιούνται διακόπτες με ηλεκτρομαγνητική εκκένωση.

Στο δίκτυο υψηλής τάσης συνάγεται η ανάγκη χρησιμοποίησης μετασχηματιστών με αρκετά μεγάλη ισχύ. Επιθυμητοί είναι οι μετασχηματιστές φυσικής ψύξης με άκαυστη σταθερή μόνωση.



Σχήμα 2.1

Επεξήγηση αιτίων γένεσης υπερτάσεων σε βραχυκύκλωμα μίας φάσης με το σκάφος του πλοίου.

α) – τριφασικό μεμονωμένο δίκτυο.

β) – υποκατάστατο δίκτυο.

γ) – διάγραμμα τάσης και έντασης όπου :

V_1 – τάση σε χωρητικότητα C_1.

V_2 – τάση σε χωρητικότητα C_1 ίση με το άθροισμα της χωρητικότητας φάσης R και S στο σκάφος.

L – επαγωγή κυκλώματος.

2.2 Γενικές απαιτήσεις που Αφορούν τους Ηλεκτρικούς Σταθμούς και την Διανομή Ηλεκτρικής Ενέργειας.

Η ηλεκτρική ενέργεια από τις ηλεκτρογεννήτριες μεταφέρεται στους ζυγούς του κυρίου πίνακα, από τον οποίο διανέμεται στους καταναλωτές. Το ενεργοηλεκτρικό σύστημα λοιπόν, αποτελείται από τα εξής μέρη:

α) ηλεκτρογεννήτριες.

β) ζυγούς κυρίου πίνακα διανομής και τις συνδέσεις μεταξύ αυτών.

γ) όπως επίσης, από το μέρος των συνδέσεων με αρχή τον κύριο πίνακα και τέλος τους καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας.

Το (α) μέρος αφορά την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας, δηλαδή τους ηλεκτρικούς σταθμούς και το (β) & (γ) αφορά τη διανομή ηλεκτρικής ενέργειας.

Στη σύνταξη συστημάτων ηλεκτρικών σταθμών και πινάκων διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι απαιτήσεις των οργανισμών κατάταξης πλοίων και της Διεθνούς Επιτροπής Ηλεκτρολογίας (I. E.C.), που αφορούν την ασφαλή συνέχεια της παροχής, την απλότητα και την εύκολη συντήρηση, καθώς και την οικονομία των συστημάτων αυτών.

Ο βαθμός ασφαλούς και συνεχούς παροχής εξαρτάται από το είδος του πλοίου, τον αριθμό προσώπων που ασχολούνται με την επισκευή και συντήρηση, καθώς επίσης, από το είδος και προορισμό των καταναλωτών.

Με σκοπό την εξασφάλιση της ασφαλούς και συνεχούς παροχής σε ελεύτερες καταστάσεις εργασίας του πλοίου προβλέπονται γενικά τα ακόλουθα μέσα:

α – Χρησιμοποίηση εφεδρικών ηλεκτρογεννητριών για την τροφοδότηση ειδικών μετασχηματιστών μεταλλακτών και ανορθωτικών συστημάτων.

β – Διαίρεση τροφοδοτικών δικτύων σε αρκετά ανεξάρτητα μέρη.

γ – Πλήρης αυτοματισμός στους ηλεκτρικούς σταθμούς όπως: αυτόματη εκκίνηση ηλεκτροπαραγωγών, αυτόματος συγχρονισμός και ζεύξη, αυτόματο φόρτωμα και ξεφόρτωμα ηλεκτρογεννητριών.

δ – Χρησιμοποίηση επιλεκτικών συστημάτων προστασίας, με όσο το δυνατό μικρότερο χρόνο ενεργοποίησης.

Το ενεργοηλεκτρικό σύστημα μπορεί να θεωρηθεί ελαστικό, όταν υπάρχει δυνατότητα λειτουργίας του ηλεκτρικού σταθμού κατά τη διάρκεια των επισκευών και ταυτόχρονης βλάβης μέρους σύνθεσης του συστήματος.

Την ελαστικότητα αυτή την αποκτούμε με την παράλληλη λειτουργία των ηλεκτρογεννητριών, μετασχηματιστών κ.ο.κ. Την εύκολη προσαρμογή του συστήματος στις φορτικές αλλαγές, υλοποιούμε με την σωστή επιλογή του αριθμού και της ισχύος των ηλεκτρογεννητριών και τον τρόπο λειτουργίας αυτών.

Το επιλεγμένο σύστημα θα είναι οικονομικό όταν, τα ετήσια έξοδα της ηλεκτρικής ενέργειας είναι τα χαμηλότερα δυνατά με την ταυτόχρονη εκπλήρωση των παραπάνω απαιτήσεων. Πρέπει να τονισθεί εδώ ότι η απαίτηση της ασφαλούς και συνεχούς τροφοδότησης των καταναλωτών πρέπει να ανταποκρίνεται στο βαθμό σημαντικότητας των καταναλωτών.

Από πλευράς σημαντικότητας λειτουργίας οι καταναλωτές χωρίζονται σε τρείς ομάδες. Στην πρώτη ομάδα σύμφωνα με τις συστάσεις των οργανισμών κατάταξης ανήκουν καταναλωτές εξαιρετικά ουσιώδεις των οποίων η διακοπή λειτουργίας προκαλεί άμεσο κίνδυνο στη ζωή των ανθρώπων του πλοίου και του μεταφέροντος φορτίου. Οι καταναλωτές αυτοί σε ακτινοειδές και μεικτό σύστημα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει να τροφοδοτούνται απευθείας από τους ζυγούς του κύριου πίνακα. Στους καταναλωτές της πρώτης ομάδας ανήκουν :

1 – μηχανισμός πηδάλιου.
2 – βαρούλκα αγκυρών.
3 – αντλίες ραντισμού.
4 – αντλίες πυρκαγιάς.
5 – αντλίες έρματος.
6 – πίνακας ασύρματου.
7 – πίνακας συσκευών και μηχανισμών ναυσιπλοΐας.
8 – σύστημα συναγερμού.

9 – σύστημα ανίχνευσης πυρκαγιάς.

10 – πίνακας κατεύθυνσης και ελέγχου.

11 – πίνακας ηλεκτρογεννήτριας ανάγκης (εάν υπάρχει).

12 – φωτισμός πλοίου.

Μερικοί από τους καταναλωτές της πρώτης ομάδας (μηχανισμός πηδάλιου, αντλία ραντισμού, πίνακας φώτων ναυσιπλοΐας), σύμφωνα με τις συστάσεις των οργανισμών κατάταξης πλοίων, πρέπει να τροφοδοτούνται από δύο ανεξάρτητα κυκλώματα.

Στα Ε/Γ – Ο/Γ πλοία όπου οι κανονισμοί επιβάλουν την εγκατάσταση ηλεκτρογεννήτριας ανάγκης, οι καταναλωτές της πρώτης ομάδας που πρέπει να τροφοδοτηθούν και από τον πίνακα ανάγκης, είναι :

1 – μηχανισμός πηδαλίου.

2 – αντλία ραντισμού.

3 – μια αντλία πυρκαγιάς.

4 – μια αντλία σεντινών.

5 – σύστημα στεγανών θυρών.

6 – σύστημα συναγερμών και αναγγελιών.

7 – σύστημα ανίχνευσης πυρκαγιάς.

8 – πίνακας ασύρματου.

9 – πίνακας συσκευών και μηχανισμών ναυσιπλοΐας.

10 – πίνακας διεύθυνσης και ελέγχου.

11 – φωτισμός ανάγκης.

Ο χρόνος διακοπής της τροφοδότησης των εξαιρετικά ουσιωδών καταναλωτών και της αυτόματης επανασύνδεσης αυτών με την πηγή ανάγκης, σύμφωνα με τα επιτρεπόμενα των οργανισμών κατάταξης των πλοίων, δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερος από 10 Sec. Στην δεύτερη ομάδα ανήκουν ουσιώδες καταναλωτές όπως :

1 – αντλίες και μηχανισμοί της κύριας μηχανής πρόωσης.

2 – βαρούλκα πρυμναίων προσδέσεων.

3 – βαρούλκα φορτοεκφόρτωσης.

4 – μηχανισμοί προετοιμασίας μέσων εκκίνησης και λίπανσης.

5 – αεροσυμπιεστές.

6 – ψυκτικές φορτίου.

7 – αερισμός μηχανοστασίου.

8 – αερισμός χώρου φορτίου.

Στην τρίτη ομάδα ανήκουν μη ουσιώδεις καταναλωτές όπως :

1 – συνεργεία.

2 – κλιματισμός.

3 – προθερμαντήρες.

4 – διάφορες συσκευές θέρμανσης.

5 – μαγειρεία.

6 – αερισμός χώρου ενδιαίτησης.

Στις νέες κατασκευές πλοίων ανεξάρτητα από τον προορισμό εργασίας των πλοίων αυτών υπάρχει (ή πρέπει να υπάρχει) σύστημα αυτόματου αποκλεισμού κατά την υπερφόρτωση των ηλεκτρογεννητριών των καταναλωτών της τρίτης ομάδας από τον κύριο πίνακα διανομής.

Εκτός των ανωτέρω βασικών απαιτήσεων για την εκλογή του ηλεκτρικού σταθμού, μπορεί επίσης να έχουν μεγάλη επιρροή τα αναμενόμενα ρεύματα βραχυκύκλωσης. Εάν τα ρεύματα αυτά υπερβαίνουν των ονομαστικών ρευμάτων βραχυκύκλωσης συσκευών και μηχανισμών προστασίας, τότε εισέρχεται η ανάγκη διαίρεσης ζυγών, πινάκων, εγκατάστασης δύο ή και περισσότερων ανεξάρτητων ηλεκτρικών σταθμών , η εγκατάσταση στραγγαλιστικών πηνίων, εκλογή υψηλής τάσης για τον ηλεκτρικό σταθμό.

2.3 Συστήματα Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας.

Όσον αφορά τον τρόπο σύνδεσης των ηλεκτρογεννητριών με κοινούς ζυγούς και τη διαίρεση των ζυγών αυτών, διακρίνουμε τους εξής συνδυασμούς συστημάτων ζυγών διανομής.

1 – με ένα μη διαιρετό σύστημα ζυγών διανομής.

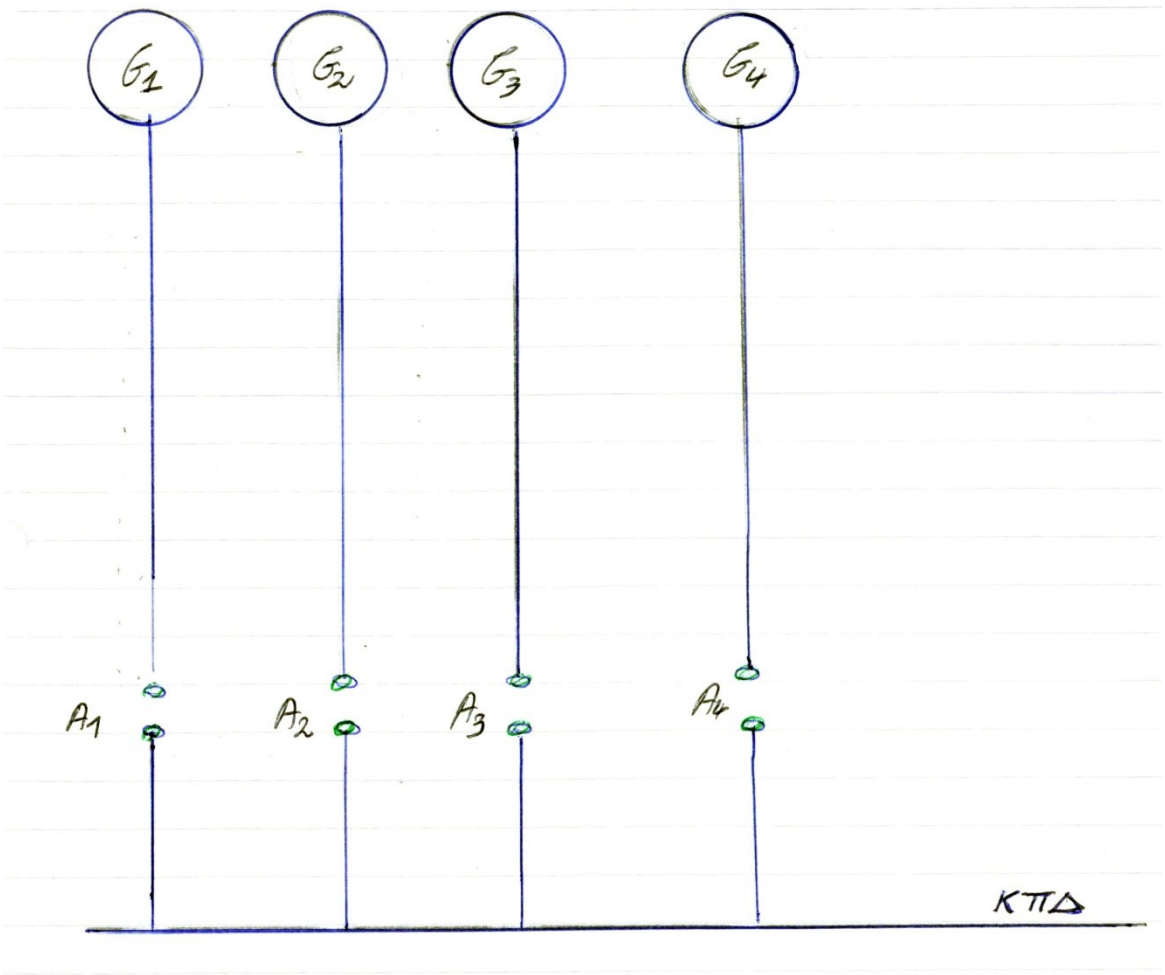
2 – με ένα διαιρετό σύστημα ζυγών διανομής.

3 – με αρκετά διαιρετά συστήματα ζυγών διανομής.

Το κάθε ένα από τα παραπάνω συστήματα μπορεί να έχει εφαρμογή στα πλοία με συμβατικό ή αυτοματοποιημένο τρόπο λειτουργίας των συστημάτων προστασίας.

Συνδυασμός με ένα μη διαιρετό σύστημα ζυγών διανομής.

Ο πιο απλός συνδυασμός με ένα μη διαιρετό σύστημα ζυγών διανομής, το οποίο εφαρμόζεται στη διανομή του συνεχούς και εναλλασσόμενου ρεύματος είναι αυτός που παρουσιάζεται στο σχήμα 2.2.



Σχήμα 2.2
Σχεδιάγραμμα ΚΠΔ με ένα μη διαιρετό σύστημα ζυγών.

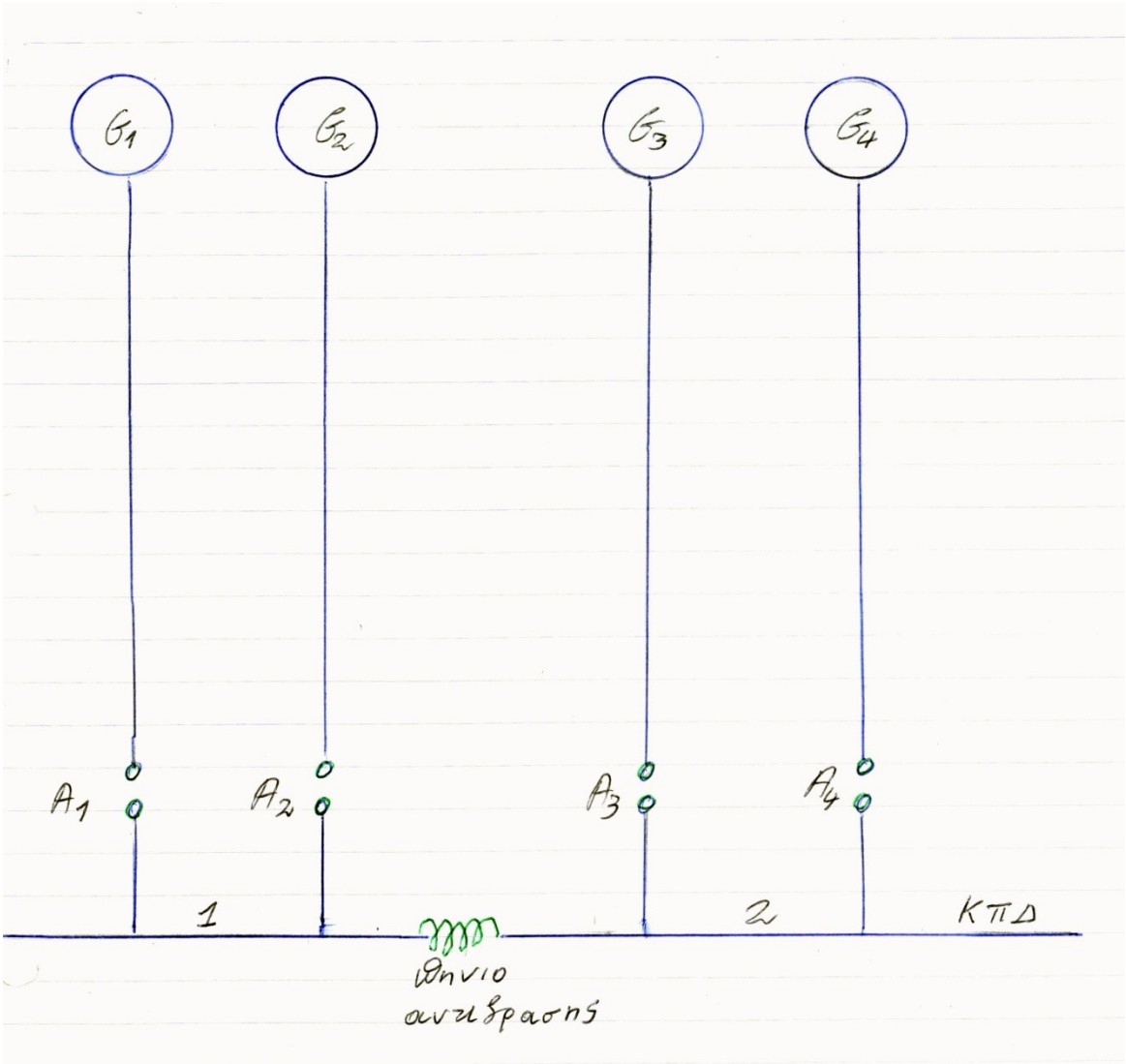
Το χαρακτηριστικό γνώρισμα του συνδυασμού αυτού είναι οι μη διαιρετοί ζυγοί, στους οποίους προμηθεύεται η ηλεκτρική ενέργεια από τις ηλεκτρογεννήτριες. Οι ηλεκτρογεννήτριες είναι συνδεμένες με τους ζυγούς μέσω αυτομάτων διακοπτών, ενώ τα κυκλώματα διανομής μπορούν να είναι είτε μέσω αυτομάτων διακοπτών, είτε μέσω ασφαλειών. Πολλοί είναι εκείνοι που θεωρούν και εφαρμόζουν τον συνδυασμό αυτό, ως τον ευκολότερο και οικονομικότερο τρόπο ζεύξης και διανομής.

Ο συνδυασμός όμως αυτός παρουσιάζει μειονεκτήματα και μάλιστα αρκετά σοβαρά.

Σε περίπτωση βραχυκυκλώματος στους ζυγούς ή σε καταναλωτή του οποίου ο μηχανισμός προστασίας δεν επενεργεί σωστά, τότε επακολουθεί αποκλεισμός του ηλεκτρικού σταθμού από την τροφοδότηση της ηλεκτρικής ενέργειας, με αποτέλεσμα να έχουμε δυσάρεστες καταστάσεις.

Σοβαρό επίσης μειονέκτημα του συστήματος αυτού είναι το εξής, κατά την επισκευή ή συντήρηση των ζυγών, πρέπει να γίνει πάλι αποκλεισμός του ηλεκτρικού σταθμού.

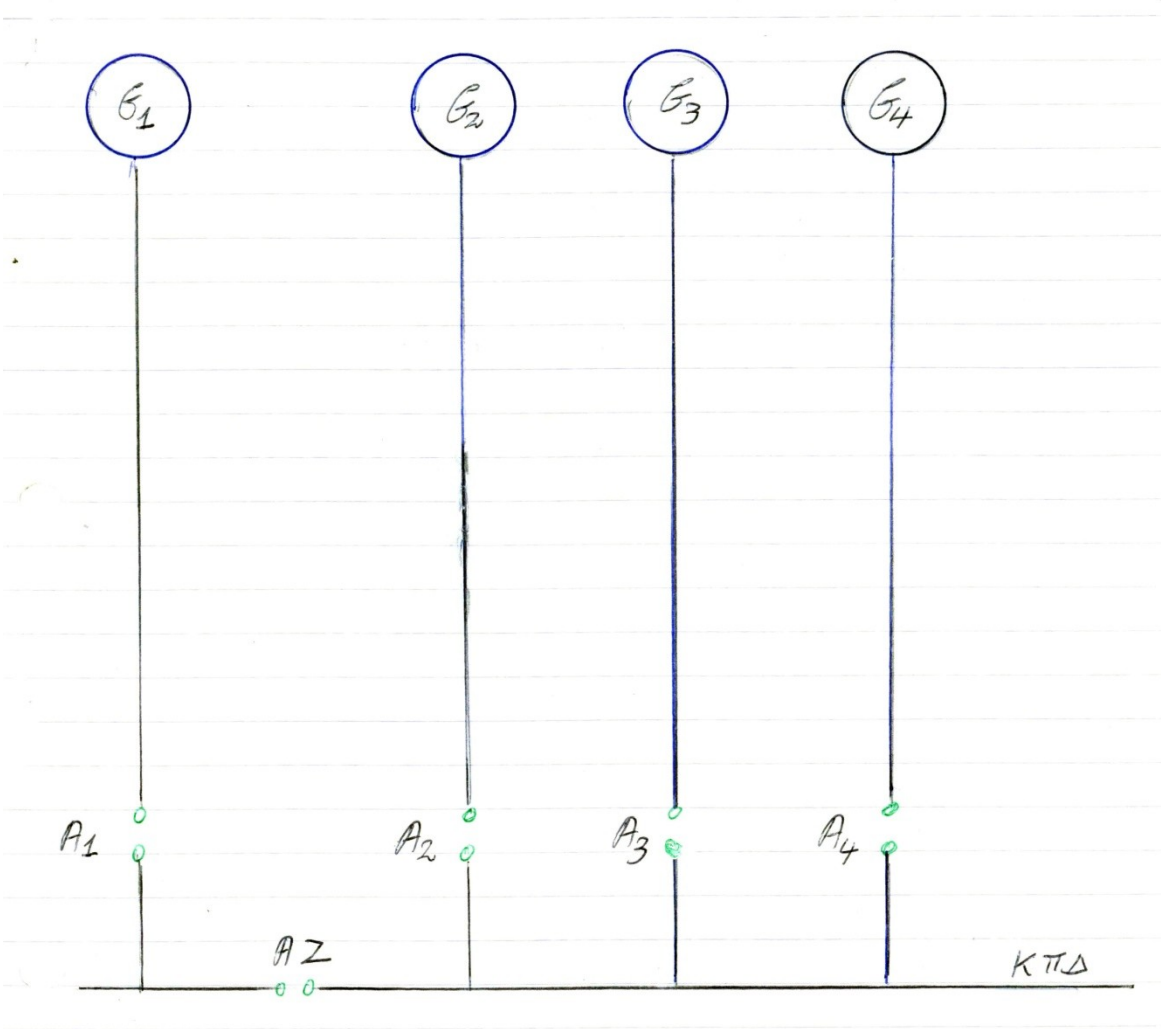
Στο βραχυκύκλωμα πολύ ελαστικά συμπεριφέρεται το σύστημα εναλλασσόμενου ρεύματος με πηνίο αντίδρασης. Ένα τέτοιο σύστημα παρουσιάζεται στο σχήμα 2.3.



Σχήμα 2.3

Σχεδιάγραμμα ΚΠΔ διαιρετών ζυγών, με τη βοήθεια πηνίου αντίδρασης.

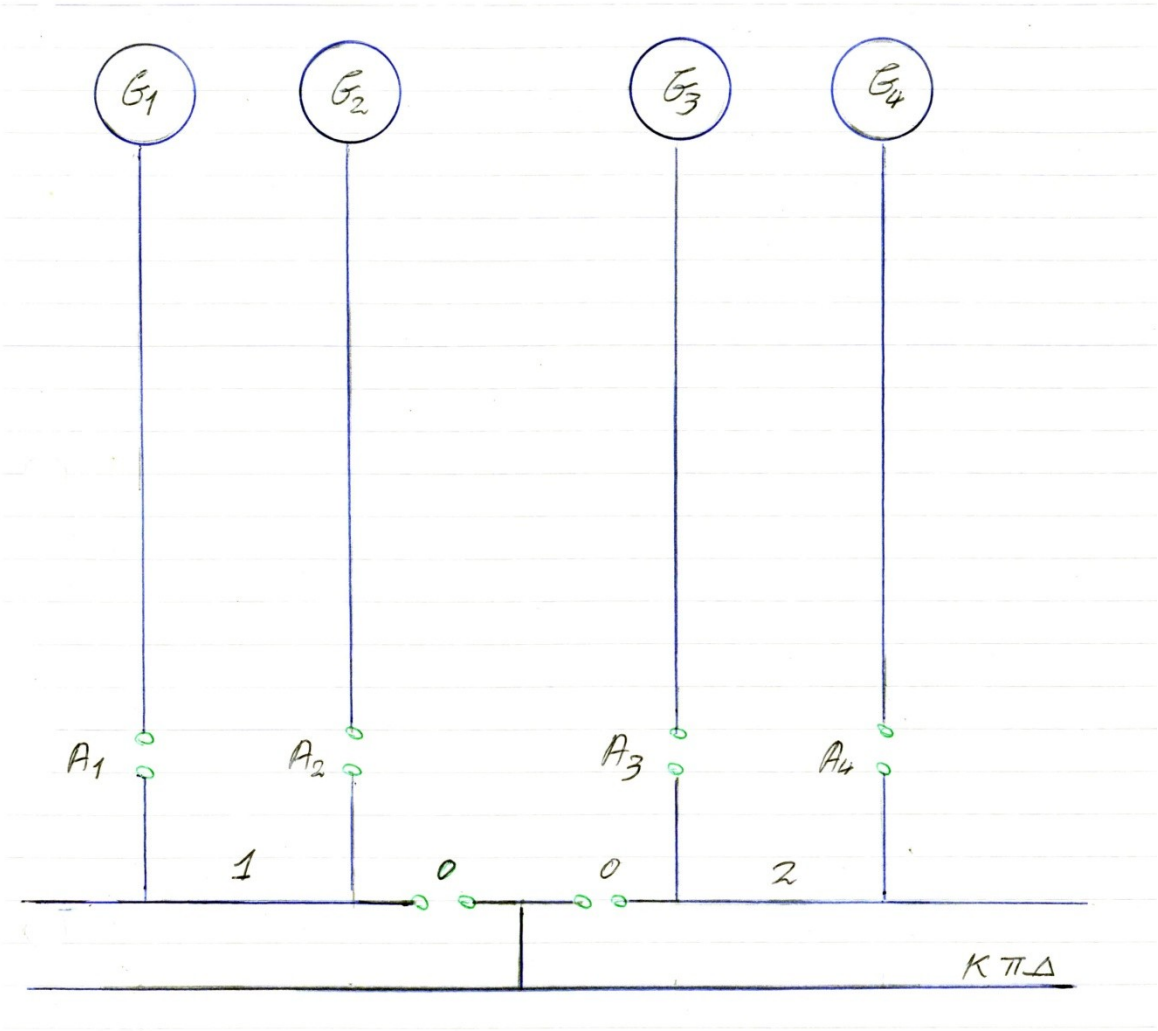
Οι μηχανισμοί προστασίας από βραχυκύκλωμα των αυτόματων διακοπτών των εναλλακτήρων, πρέπει να έχουν τέτοια επίδραση, που στην περίπτωση βραχυκυκλώματος σε ένα τμήμα των ζυγών (πχ. στο τμήμα 1) η ροή του ρεύματος βραχυκυκλώματος από τους συνδεμένους στο τμήμα αυτό εναλλακτήρες πρέπει να διακοπεί (θα επενεργήσουν οι αυτόματοι διακόπτες A_1 και A_2).
Εάν το ρεύμα βραχυκυκλώματος δεν υποχωρήσει, τότε θα εξακολουθεί να ρέει ρεύμα από τους έναλλακτήρες του τμήματος 2 (G_3 και G_4).
Η ένταση του ρεύματος βραχυκυκλώματος θα είναι μικρότερη, όχι μόνο λόγω αποκλεισμού των εναλλακτήρων G_1 και G_2, αλλά και λόγω περιοριστικής επίδρασης του πηνίου αντίδρασης.
Η προστασία από βραχυκύκλωμα στην περίπτωση αυτή επιλέγεται με τέτοιο τρόπο ώστε μετά από καθορισμένο χρόνο να γίνει αποκλεισμός του βραχυκυκλώματος από τους αυτόματους διακόπτες A_3 και A_4.
Εάν μετά τον αποκλεισμό των εναλλακτήρων G_1 και G_2 το βραχυκύκλωμα υποχωρήσει, τότε η κίνηση θα συνεχιστεί λόγω παραμονής στο σύστημα των εναλλακτήρων G_3 και G_4.
Το παραπάνω περιγραφικό σύστημα είναι αρκετά ευαίσθητο στα μεταβατικά φορτία λόγω πρόσθετης απώλειας τάσης στο πηνίο αντίδρασης.
Για τις περιπτώσεις επισκευών, μετασκευών ή συντηρήσεων κύριων ζυγών πινάκων, ο συνδυασμός με ηλεκτρογεννήτρια πόρτου συμπεριφέρεται ελαστικά. Ένα τέτοιο σύστημα παρουσιάζεται στο σχήμα 2.4.



Σχήμα 2.4
Συνδυασμός ΚΠΔ με ηλεκτρογεννήτρια πόρτου.

Στο σύστημα αυτό η παροχή του ρεύματος από τις κύριες ηλεκτρογεννήτριες γίνεται κανονικά με τον αποζεύκτη AZ σε θέση κλειστός. Σε περίπτωση ανάγκης επισκευής, μετασκευής ή συντήρησης των ζυγών θέτουμε τον αποζεύκτη AZ σε θέση - ανοικτός - τροφοδοτούμε τις αναγκαίες καταναλώσεις (όπως αυτές περιγράφονται στον ενεργειακό ισολογισμού του πλοίου) από το πεδίο της ηλεκτρογεννήτριας πόρτου, και πραγματοποιούμε τις απαραίτητες εργασίες όπως ακριβώς συμβαίνει με τα πλοία που διαθέτουν ηλεκτρογεννήτρια ανάγκης.
Με σκοπό τη διευκόλυνση της επισκευής του ηλεκτρικού σταθμού, μπορούμε επίσης να χρησιμοποιήσουμε ένα σύστημα στο οποίο εκτός των κυρίων ζυγών, να υπάρχουν βοηθητικοί ζυγοί. (σχήμα 2.5)

Πολλές φορές λόγω μικρής ικανότητας διακοπής των αυτόματων διακοπτών, στο σύστημα με μονό μη διαιρετό σύστημα ζυγών, ο ηλεκτρολόγος μελετητής επιτρέπει την παράλληλη ή σύγχρονη λειτουργία ηλεκτρογεννητριών μόνο σε περιορισμένη έκταση.

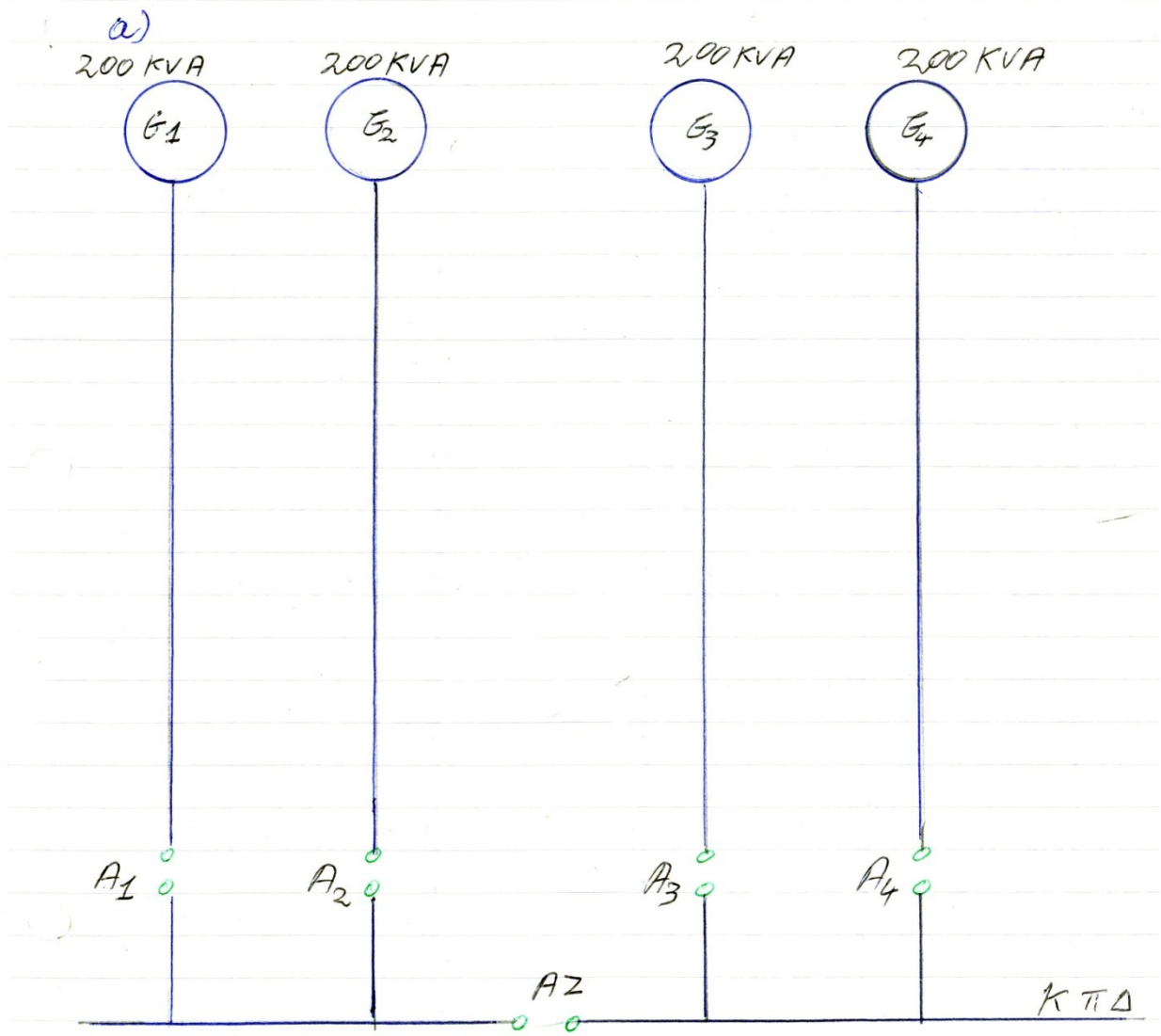


Σχήμα 2.5
Συνδυασμός ΚΠΔ με βοηθητικούς ζυγούς.

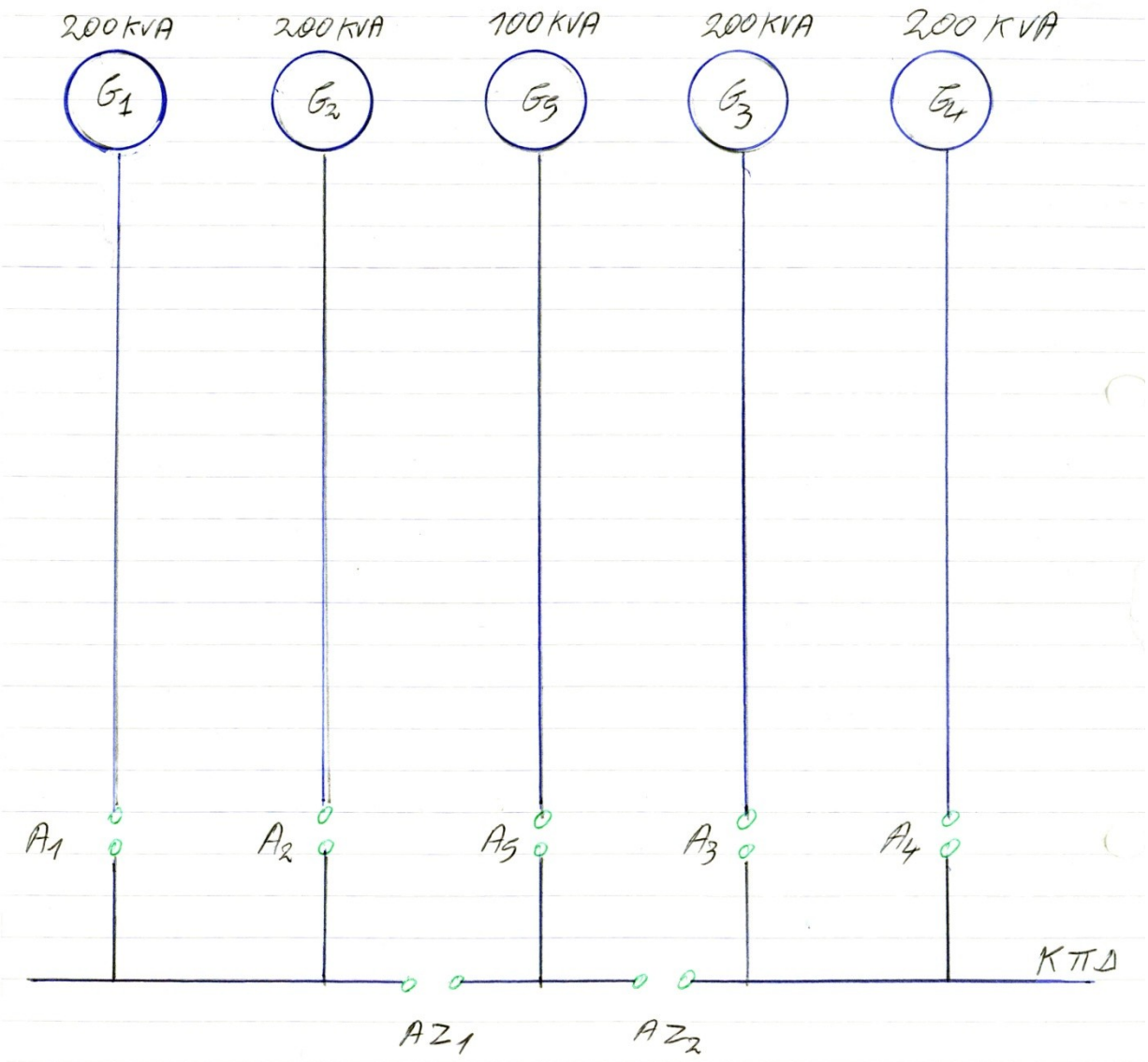
Συνδυασμός με μονό διαιρετό σύστημα ζυγών.
Η τμηματοποίηση των ζυγών διανομής, δηλαδή η διαίρεση αυτών σε ανεξάρτητα τμήματα (σχήμα 2.6), όπου το κάθε τμήμα τροφοδοτείται από ανεξάρτητη πηγή ρεύματος, επιτρέπει την αποφυγή μερικών μειονεκτημάτων του μη διαιρετού συστήματος.

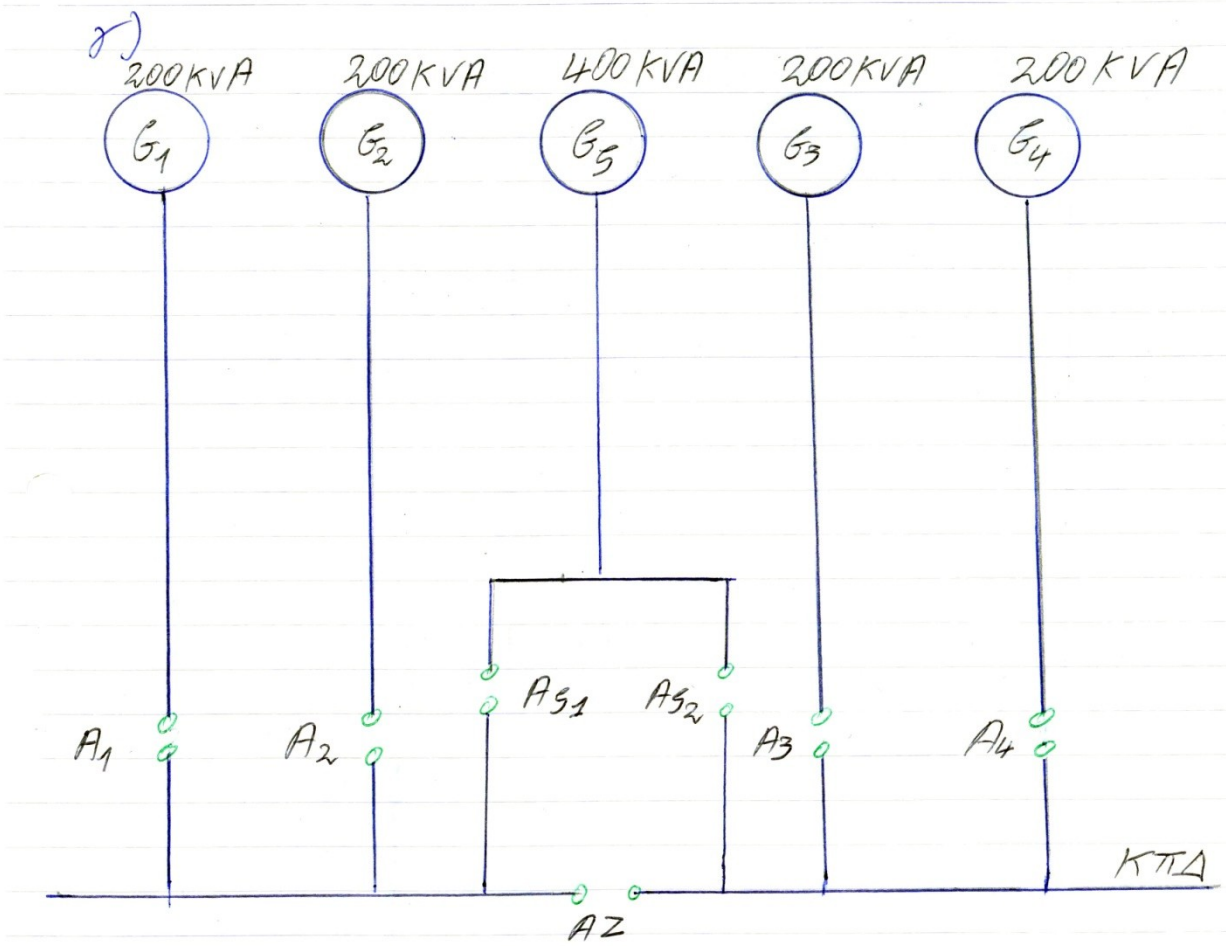
Σχήμα 2.6

Παραδείγματα συνδυασμών με ένα διαιρετό σύστημα.

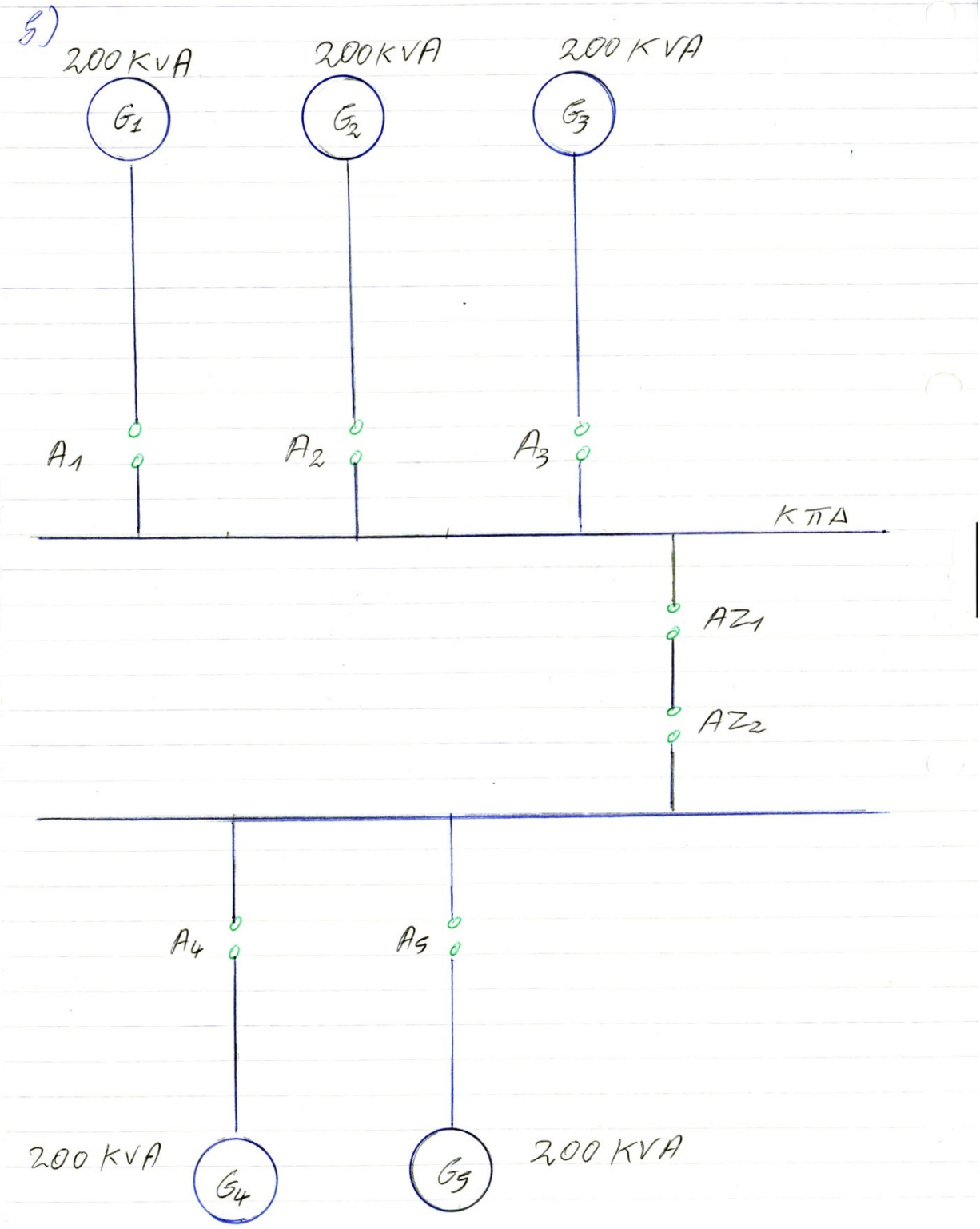


b)


200 KVA
200 KVA
100 KVA
200 KVA
200 KVA
G1
G2
G5
G3
G4
A1
A2
A5
A3
A4
KTA
AZ1
AZ2


200KVA
200KVA
400KVA
200KVA
200KVA
G1
G2
G5
G3
G4
A1
A2
AS1
AS2
A3
A4
KTA
AZ

5)


200 KVA
200 KVA
200 KVA
G1
G2
G3
A1
A2
A3
KTA
AZ1
AZ2
A4
A5
200 KVA
200 KVA
G4
G5

Η επισκευή και συντήρηση των ζυγών στους συνδυασμούς με ένα διαιρετό σύστημα ζυγών είναι εύκολη, η ελαστικότητα στο βραχυκύκλωμα μεγαλύτερη. Ο βαθμός ελαστικότητας στο βραχυκύκλωμα εξαρτάται από τον τρόπο ζεύξης των συστημάτων. Εάν στη ζεύξη χρησιμοποιηθούν απλοί μεταλλικοί δεσμοί ή απλοί αποζεύκτες τότε η ελαστικότητα στο βραχυκύκλωμα είναι ίδια με αυτή του μη διαιρετού συστήματος. Εάν όμως χρησιμοποιηθούν αυτόματοι διακόπτες με κατάλληλη διάταξη προστασίας κατά του βραχυκυκλώματος, τότε η ελαστικότητα είναι αρκετά μεγάλη. Επίσης, μεγαλύτερη είναι η αξιοπιστία της συνεχούς παροχής ηλεκτρικής ενέργειας στους καταναλωτές, όταν η μεταγωγή της παροχής γίνεται αυτόματα.

Συνδυασμός δικτύων με αρκετά συστήματα ζυγών διανομής.

Ο συνδυασμός με αρκετά συστήματα ζυγών διανομής είναι περίπλοκος (σχήμα 2.7). Ο συνδυασμός αυτός χρησιμοποιείται μόνο ως μεικτό σύστημα σε μετασκευασμένα πλοία, στα οποία γίνεται επέκταση των εγκαταστάσεων. Στην Ελλάδα τέτοιου είδους μετασκευές έχουν γίνει κυρίως σε Ε/Γ – Ο/Γ πλοία. Η άνοδος της τουριστικής κίνησης αφενός και η πρόθεση των Ελληνικών Κυβερνήσεων για καλύτερη εξυπηρέτηση των Ελληνικών Νησιών αφετέρου, οδήγησαν τους Έλληνες εφοπλιστές στην αγορά ενός μεγάλου αριθμού μεταχειρισμένων Ε/Γ – Ο/Γ πλοίων.
Το μέγεθος μετασκευής των πλοίων αυτών είναι αρκετά μεγάλο λόγω αύξησης των χώρων ενδιαίτησης, συνεπώς υπάρχει αύξηση των μονάδων κλιματισμού, φωτισμού, μαγειρείων και μπαρ. Η υπάρχουσα ηλεκτρική ενέργεια των πλοίων αυτών δεν επαρκεί για την κάλυψη των νέων αναγκών, με αποτέλεσμα την εγκατάσταση ενός η και περισσοτέρων ηλεκτροπαραγωγών, ανάλογα με το μέγεθος της ζητούμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Εάν το μέγεθος της ζητούμενης επιπλέον ενέργειας είναι μικρό και το υπάρχον σύστημα ζεύξης και διανομής (από άποψη ηλεκτρικής και μηχανικής αντοχής) μπορεί να δεχθεί την επαυξημένη ηλεκτρική ενέργεια, τότε ο νέος ηλεκτρικός σταθμός προσαρμόζεται εύκολα, χωρίς μεγάλη οικονομική επιβάρυνση στο υπάρχον ενεργό ηλεκτρικό σύστημα. Εάν, όμως, το μέγεθος της ζητούμενης επιπλέων ηλεκτρικής ενέργειας είναι μεγάλο, και το υπάρχον σύστημα ανίκανο να τη δεχτεί, τότε η αντικατάσταση του ηλεκτρικού σταθμού με νέο κατάλληλο για τα νέα δεδομένα, είναι οικονομικά ασύμφορη.

Στην περίπτωση αυτή για την τροφοδότηση των νέων καταναλωτών τοποθετούμε ένα νέο ηλεκτρικό σταθμό (σχήμα 2.6 β) με ξεχωριστό πίνακα ζεύξης και διανομής. Οι νέες καταναλώσεις μπορούν σε περίπτωση βλάβης του νέου ηλεκτρικού σταθμού, να τροφοδοτηθούν και από τον υπάρχοντα ηλεκτρικό σταθμό μέσω των μεταγωγικών διακοπτών ισχύος, εφόσον φυσικά το επιτρέπει αυτό η υπάρχουσα ασφαλιστική διάταξη.

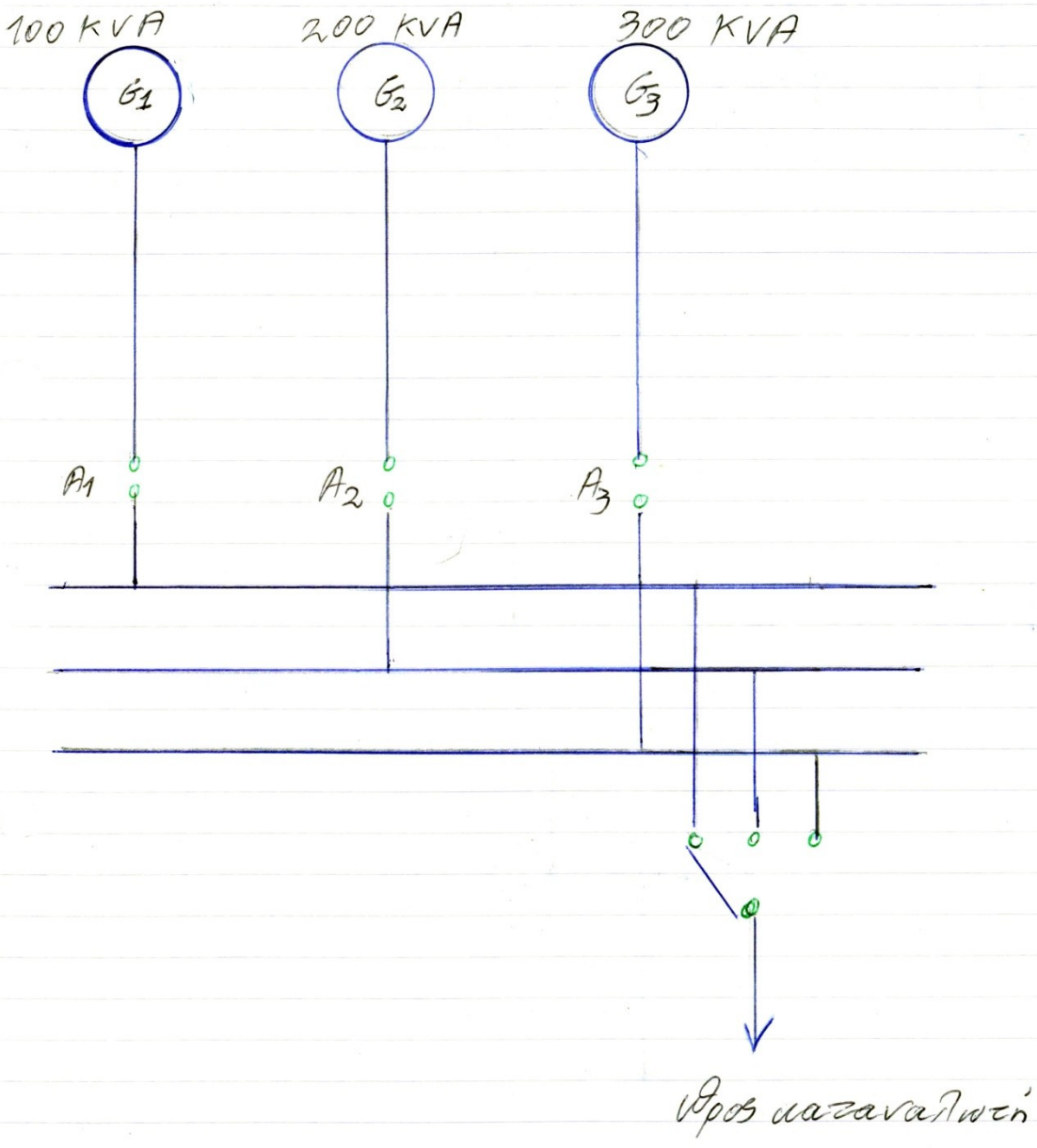
Σχήμα 2.7

Συνδυασμός με αρκετά συστήματα ζυγών διανομής.

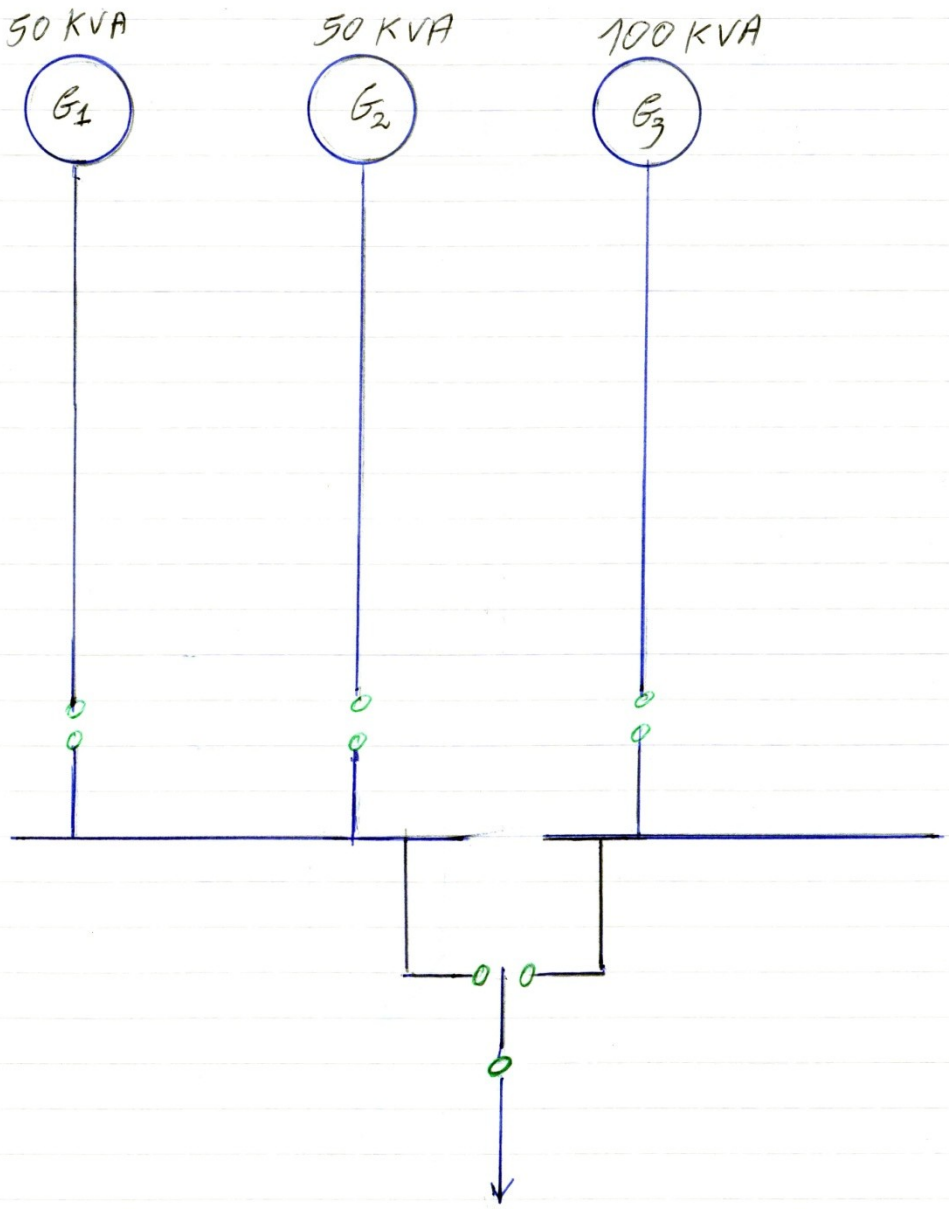
α) 1Β – τριπολικός διακόπτης ισχύος τριών θέσεων.

β) 2Β – τριπολικός διακόπτης ισχύος δύο θέσεων.

α)



6)



2.4 Συστήματα Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας στους Ηλεκτρικούς Σταθμούς με Μεγάλη Ισχύ.

Με την άνοδο της ισχύος των ηλεκτρικών σταθμών κυρίως εναλλασσομένου ρεύματος, οι μηχανισμοί προστασίας από βραχυκύκλωμα μπορεί να είναι ανεπαρκείς εάν το σύστημα διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας δεν εκσυγχρονιστεί. Όσον αφορά την επιλογή των μηχανισμών προστασίας, είναι αναγκαίος ο καθορισμός της μέγιστης επιτρεπόμενης ισχύος του ηλεκτρικού σταθμού σε συνδυασμό με μονό μη διαιρετό σύστημα ζυγών.
Η τιμή του ρεύματος βραχυκυκλώματος πριν αυτό φτάσει στους μηχανισμούς προστασίας και ενώ βρίσκεται στις αναχωρήσεις των ζυγών διανομής, είναι μεγαλύτερη από εκείνη στην οποία οι αυτόματοι διακόπτες των εναλλακτήρων είναι εκτιθειμένοι.
Τα παραπάνω ανάγκασαν τους κατασκευαστές των αυτόματων διακπτών να προβούν σε νέες έρευνες στον τομέα των μηχανισμών προστασίας από βραχυκύκλωμα. Έτσι σήμερα οι κατασκευαστικοί οίκοι όπως Merlin Gerin, ABB, General Electric, Mitsubishi, Terasaki, κατασκευάζουν αυτόματους διακόπτες με ικανότητα διακοπής στο βραχυκύκλωμα έως και 250 ΚΑ σε τάση δικτύου 500V.

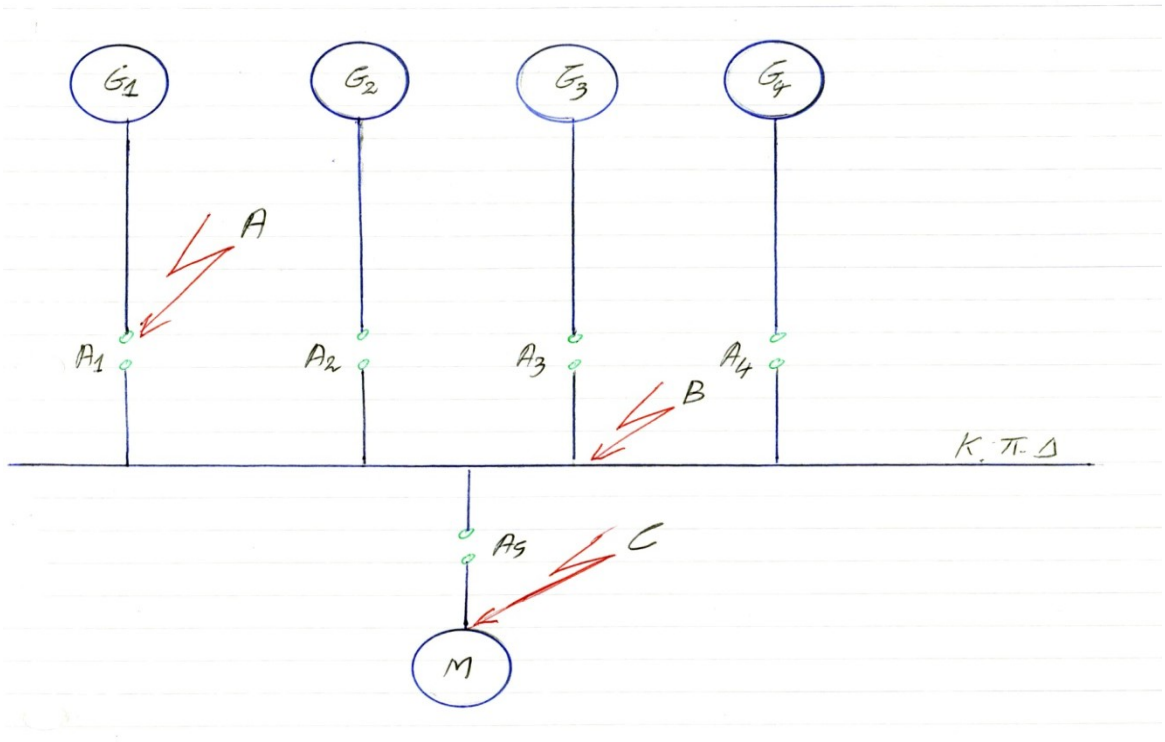
2.4.1 Η Μεγαλύτερη Ισχύς Ηλεκτρικού Σταθμού με μη Διαιρετούς Ζυγούς ΚΠΔ σε Σχέση της Ικανότητας Ζεύξης των Διακοπτών.

Δεχόμαστε ότι σε κοινούς ζυγούς εργάζονται συγχρονισμένοι (n) εναλλακτήρες, με ονομαστική ισχύ S_n (σχήμα 2.8). Η συνολική ισχύ των εναλλακτήρων είναι $S_a = n \cdot S_n$
Τους διακόπτες αέρος στο ενεργοηλεκτρικό σύστημα του πλοίου επιλέγουμε σύμφωνα με την ικανότητα ζεύξης στο βραχυκύκλωμα στη τιμή του κρουστικού ρεύματος.
Η τιμή του κρουστικού ρεύματος που προέρχεται από τους εναλλακτήρες και κινητήρες εν λειτουργία τη στιγμή του βραχυκυκλώματος, πρέπει να είναι η ελάχιστη τιμή ρεύματος ζεύξης των διακοπτών.
Με βάση των μέχρι τώρα πειραμάτων, που απορρέουν από την ανάλυση ενεργειακών ισολογισμών, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι, στην αρχική τιμή της περιοδικής συνιστώσας του ρεύματος βραχυκυκλώματος, που προέρχεται από τους

εναλλακτήρες, οι κινητήρες προσθέτουν το 40 – 50 % του ρεύματος αυτού με συντελεστή κρούσης 1,4. Επομένως η τιμή του κρουστικού ρεύματος είναι : $1{,}4 \cdot \sqrt{2}$ φορές μεγαλύτερη από την ενεργό τιμή της περιοδικής συνιστώσας του ρεύματος βραχυκυκλώματος από τους κινητήρες αυτούς.

Εάν το πλοίο έχει ηλεκτρική πρόωση και η προπέλα κινείται με ηλεκτρικούς κινητήρες συνεχούς ρεύματος, που τροφοδοτούνται από το κύριο δίκτυο εναλλασσόμενου ρεύματος μέσω ανορθωτών, τότε οι κινητήρες αυτοί δε λαμβάνουν μέρος στην τροφοδότηση του βραχυκυκλώματος, λόγω της αποκοπής αυτών από τους ανορθωτές. Στο ρεύμα βραχυκυκλώματος λαμβάνουν μέρος μόνο τα ρεύματα που προέρχονται από κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος.

Σύμφωνα με διεθνείς πληροφορίες που προέρχονται από ιδρύματα ερευνών, το ρεύμα βραχυκυκλώματος προερχόμενο από κινητήρες, ανέρχεται στο 20% της αρχικής τιμής περιοδικής συνιστώσας του ρεύματος βραχυκυκλώματος προερχόμενο από τους εναλλακτήρες.



Σχήμα 2.8

Συνδυασμός ηλεκτρικού σταθμού με μη διαιρετούς ζυγούς A – B – C θέσεις βραχυκυκλώματος.

Σε αυτή την κατάσταση για τους περαιτέρω υπολογισμούς λαμβάνεται K = 0,2 για πλοία με ηλεκτρική πρόωση και K = 0,5 για πετρελαιοκίνητα πλοία. Με το K καθορίζεται ο λόγος των αρχικών τιμών περιοδικών συνιστωσών ρεύματος βραχυκυκλώματος προερχομένων από τους κινητήρες προς τις συνιστώσες προερχομένων από τους εναλλακτήρες.

Περιορισμοί από μέρος των διακοπτών εναλλακτήρων.

Στο διακόπτη του εναλλακτήρα, τα μεγαλύτερα ρεύματα βραχυκυκλώματος παρουσιάζονται στο ανάστροφο βραχυκύκλωμα (σχήμα 2,8 – σημείο A). Από το διακόπτη ρέουν ρεύματα βραχυκυκλώματος των υπολοίπων εναλλακτήρων (εκτός του εναλλακτήρα τον οποίο προστατεύει αυτός ο διακόπτης), ρεύμα βραχυκυκλώματος όλων των εν λειτουργία κινητήρων. Σε βραχυκύκλωμα στο σημείο B το ρεύμα βραχυκυκλώματος που ρέει από το διακόπτη του εναλλακτήρα είναι ίσο με το ρεύμα βραχυκυκλώματος ενός εναλλακτήρα.

Το κρουστικό ρεύμα I_s για ανάστροφο βραχυκύκλωμα υπολογίζεται με την εξής σχέση :

$I_s =$ —

– συντελεστής κρούσης κυκλώματος εναλλακτήρα.

– συντελεστής κρούσης κυκλώματος υποκατάστατου κινητήρα M.

K – αναλογία αρχικών περιοδικών συνιστωσών υποκατάστατου κινητήρα M στο ρεύμα βραχυκυκλώματος εναλλακτήρων.

– αρχική τιμή περιοδικής συνιστώσας ρεύματος βραχυκυκλώματος ενός εναλλακτήρα.

n – αριθμός εναλλακτήρων.

Γνωρίζοντας ότι — (2.2) όπου :

X_d'' – επιμήκης αναλογική υπομεταβατική αντίδραση εναλλακτήρα.

In – ονομαστικό ρεύμα εναλλακτήρα.

Όπως επίσης η μέγιστη ονομαστική ισχύ όλων των εναλλακτήρων στη σύγχρονη λειτουργία με ονομαστική τάση U_n είναι ίση.

$$S_{max} = n \cdot \overline{\quad} \; U_n I_n \qquad (2.3)$$

Επειδή το μέγιστο ρεύμα ζεύξης του διακόπτου I_c είναι ίσο με το κρουστικό ρεύμα I_s έχουμε : $S_{max} = n \cdot \overline{\quad} \; U_n I_g \cdot X_d''$ όπου:

άρα λαμβάνουμε

(2.4)

Για τους εναλλακτήρες πλοίων δεχόμαστε = *1,8*, ενώ για τους κινητήρες K_m = *1,4.*

Εάν συσχετίσουμε τις τιμές του *K* τότε για πετρελαιοκίνητα πλοία λαμβάνουμε

(2.5)

Και για πλοία με ηλεκτρική πρόωση :

S_{max} = (2.6)

Ενώ σε ορισμένη επιθυμητή συνολική ισχύ S στη σύγχρονη λειτουργία επί κοινούς μη διαιρετούς ζυγούς η ισότιμων εναλλακτήρων, το απαιτούμενο ελάχιστο ρεύμα ζεύξης για πετρελαιοκίνητα πλοία είναι :

I_{Cmin} = *0,81 (* (2.7)

και για πλοία με ηλεκτρική πρόωση :

I_{Cmin} = *0,81 (* (2.8)

Περιορισμοί από το μέρος των διακοπτών αναχωρήσεων.

Σε βραχυκύκλωμα στο σημείο C (σχήμα 2.8) το κρουστικό ρεύμα είναι ίσο :

I_s = K_m *K* *n I*

Με την αποδοχή των καθορισμών και τις μετατροπές, όμοιες με τη σχέση (2.1) λαμβάνουμε : S_{max} = (2.10)

Με την τοποθέτηση των δεδομένων τιμών του

K

Η σχέση (2.10) για πετρελαιοκίνητα πλοία λαμβάνει τη μορφή :

S_{max}= 0,49

και για τα πλοία με ηλεκτροπρόωση :

S_{max}= 0,59 (2.12)

Για την απαιτούμενη ελάχιστη τιμή ρεύματος *Icmin* και για τις δύο περιπτώσεις λαμβάνουμε ανάλογα.

Για πετρελαιοκίνητα πλοία :

$$Icmin = 2 \text{ ————} \qquad (2.13)$$

Για πλοία με ηλεκτρική πρόωση :

$$Icmin = 1.7 \text{ ————} \qquad (2.14)$$

Η μεγαλύτερη ισχύ ηλεκτρικού σταθμού σε σχέση των περιορισμών από διακόπτες εναλλακτήρων και αναχωρήσεων.

Η μεγαλύτερη ισχύ ηλεκτρικού σταθμού εργαζομένου σε κοινούς ζυγούς ΚΠΔ εξαρτάται από την ικανότητα ζεύξης των εγκατεστημένων διακοπτών.

Οι μεγαλύτερες τιμές του ονομαστικού ρεύματος ζεύξης των διακόπτων είναι 200 ΚΑ. Στις τιμές αυτές αποκρίνονται ρεύματα διακοπής 100 ΚΑ.

Αξιοποιώντας τις σχέσεις (2.5), (2.6), (2.11) και (2.12) μπορούμε να εκτιμήσουμε τη μεγαλύτερη ισχύ ηλεκτρικού σταθμού, σε σχέση των περιορισμών από μέρος των διακοπτών εναλλακτήρων και αναχωρήσεων. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών παρουσιάζονται στο σχήμα (2.9).

Στους υπολογισμούς ελήφθησαν τιμές : *Xd΄΄= 0,1 - 0,2 : Un = 400V : n =2 – 5* όπως επίσης : *Ic =100 KA* και *200 KA.*

Όπως προκύπτει από το σχήμα για πετρελαιοκίνητα πλοία, όπου ο αριθμός εναλλακτήρων είναι συνήθως *n = 3* στην περίπτωση των διακοπτών με ονομαστικό ρεύμα ζεύξης *100 KA*, η ισχύ του ηλεκτρικού σταθμού συνδεδεμένη σε κοινούς ζυγούς για μέση τιμή *Xd΄΄ = 0,1 – 0,12* δε μπορεί να είναι μεγαλύτερη από *2,5 – 3,0 MVA.* Με την αύξηση του αριθμού εναλλακτήρων η μεγαλύτερη ισχύ μειώνεται. Συμφέρει λοιπόν, η χρησιμοποίηση μικρού αριθμού εναλλακτήρων με μεγαλύτερη ισχύ έκαστος.

Στις ίδιες αυτές συνθήκες, ανεξάρτητα από τον αριθμό των εναλλακτήρων η μεγαλύτερη ισχύς του ηλεκτρικού σταθμού περιορισμένη από την ικανότητα ζεύξης του διακόπτου της αναχώρησης δεν μπορεί να είναι μεγαλύτερη από (*2,5 – 3 MVA*).

Σχήμα 2.9

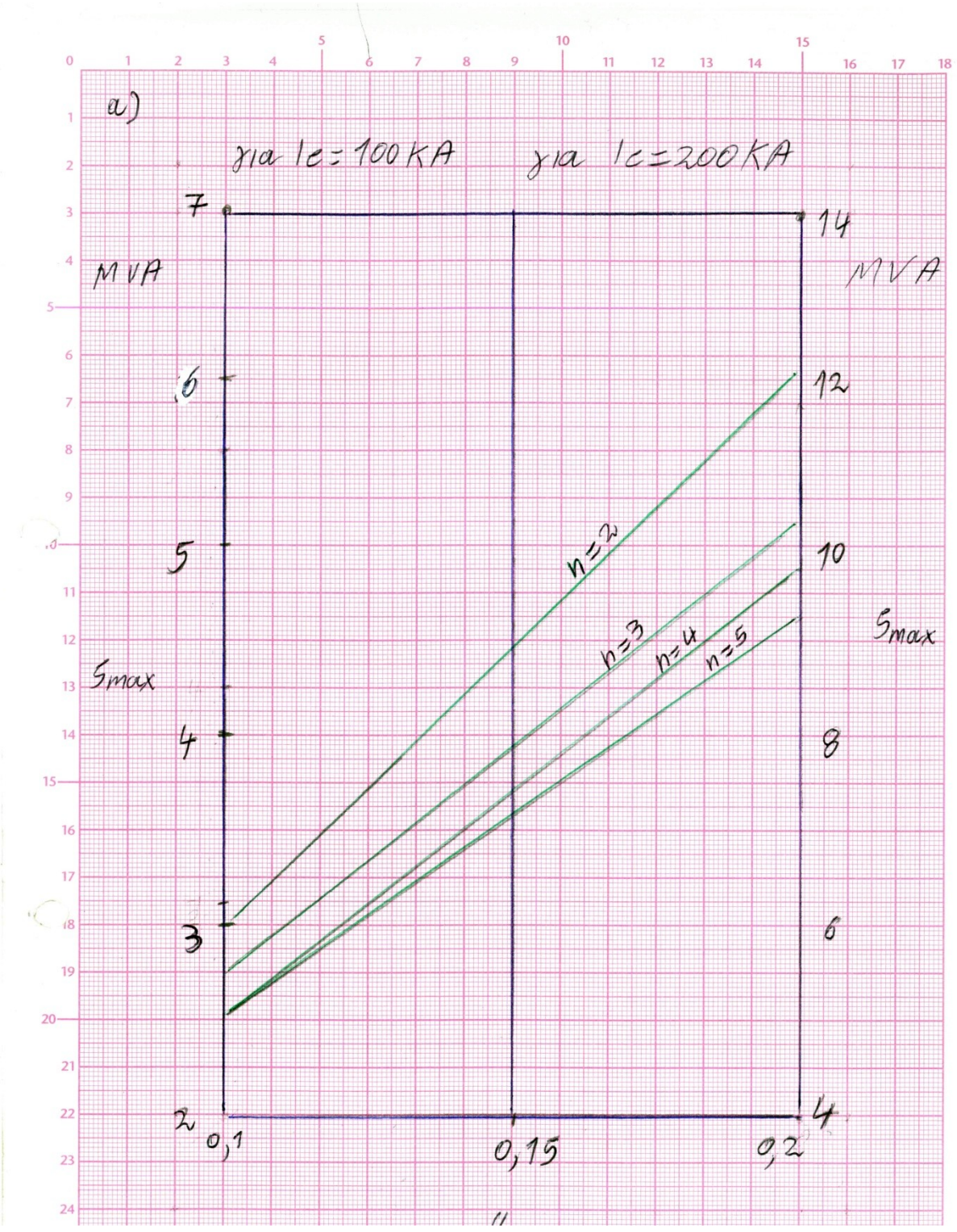
Εξάρτηση της μεγαλύτερης επιτρεπόμενης ισχύος *Smax* από την αντίδραση *Xd"* ηλεκτρικού σταθμού συνδεδεμένου σε κοινούς ζυγούς *Κ.Π.Δ,* για διάφορους αριθμούς εναλλακτήρων και δύο τιμών ονομαστικής ικανότητας ζεύξης διακοπτών (*100 & 200 ΚΑ*), όταν η ισχύ είναι περιορισμένη.

α) από το διακόπτη του εναλλακτήρα για πετρελαιοκίνητο πλοίο.

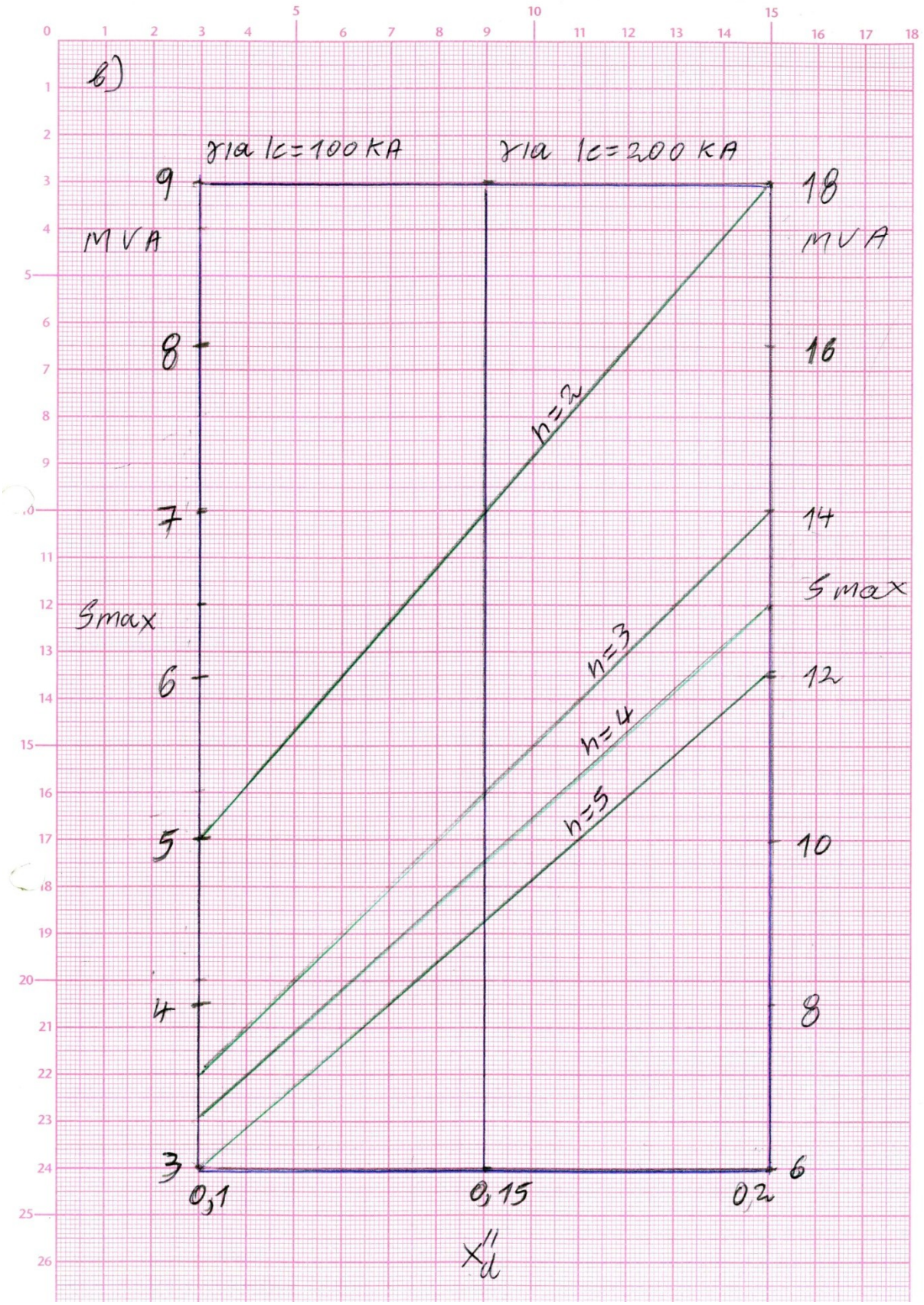
β) από το διακόπτη του εναλλακτήρα για πλοίο με ηλεκτροπρόωση.

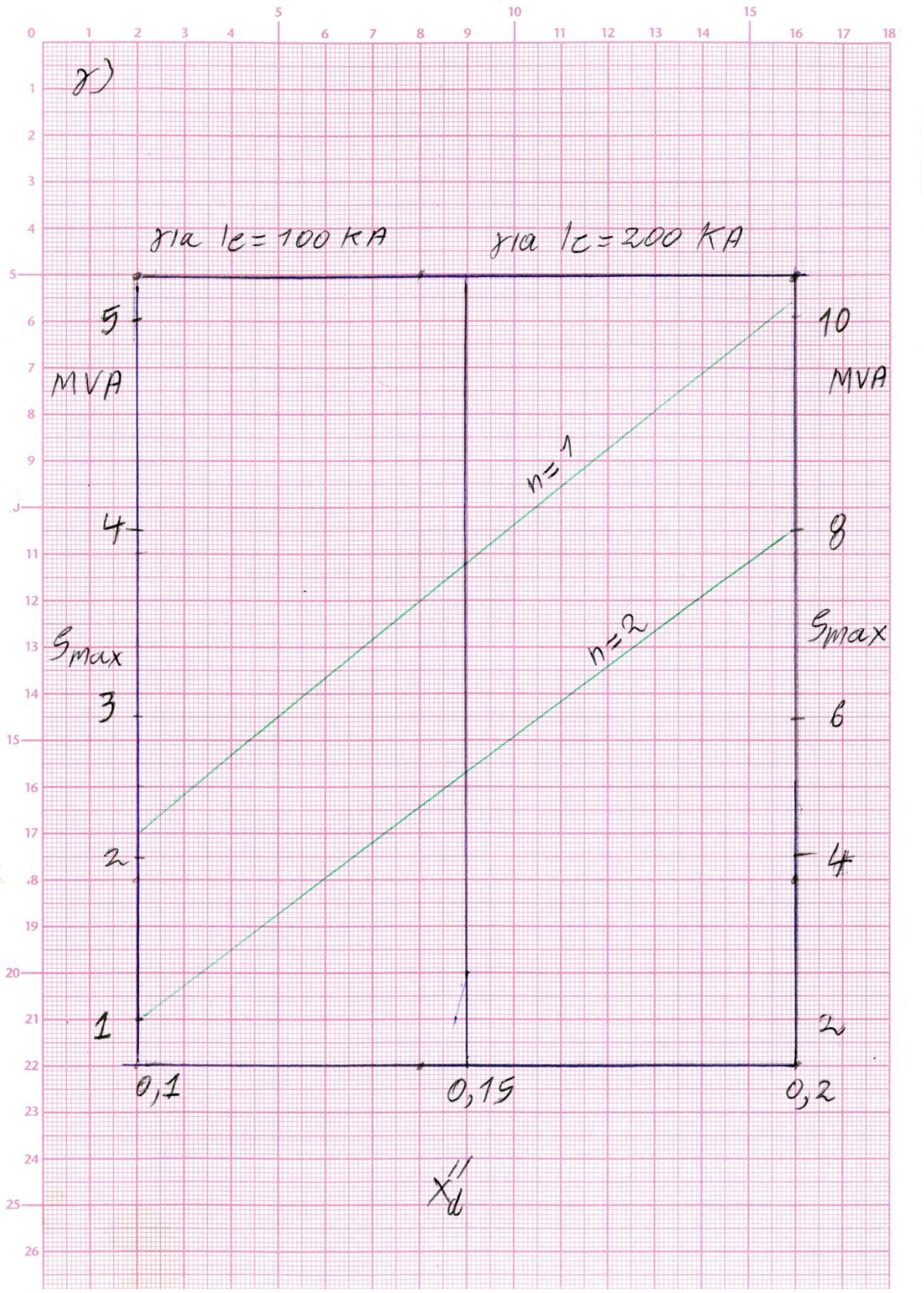
γ) από το διακόπτη αναχώρησης από *Κ.Π.Δ*.

1 – πετρελαιοκίνητο, 2 – ηλεκτροκίνητο.


a)
για Ic=100KA
για Ic=200KA
7
MVA
6
5
Smax
4
3
2
14
MVA
12
10
Smax
8
6
4
n=2
n=3
n=4
n=5
0,1
0,15
0,2

X


б)
dla Ic=100 kA
dla Ic=200 kA
9
MVA
8
7
Smax
6
5
4
3
18
MVA
16
14
Smax
12
10
8
6
h=2
h=3
h=4
h=5
0,1
0,15
0,2
X''d


γ)
dla Ic = 100 kA
dla Ic = 200 kA
5
MVA
4
Smax
3
2
1
10
MVA
8
Smax
6
4
2
n=1
n=2
0,1
0,15
0,2
X''d

2.4.2 Μεγαλύτερη Ισχύς Ηλεκτρικού Σταθμού με Πηνία Αντίδρασης Βραχυκυκλώματος στον Κ.Π.Δ σε Σχέση της Ικανότητας Ζεύξης των Διακοπτών.

Στο ενεργοηλεκτρικό δίκτυο του πλοίου το πηνίο αντίδρασης μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε αρκετά διαφορετικά σημεία (σχήμα 2.10). Τα πηνία αντίδρασης εγκατεστημένα στον τομέα και στη γραμμή του εναλλακτήρα περιορίζουν το ανάστροφο βραχυκύκλωμα και το ρεύμα βραχυκυκλώματος στις αναχωρήσεις. Με το σωστό υπολογισμό και εφαρμογή του πηνίου αντίδρασης στον τομέα, δεν απαιτείται εγκατάσταση προσθέτουν πηνίων στις γραμμές ή ομάδες. Ο τρόπος αυτός λοιπόν, είναι μεγάλη οικονομία χώρου.

Τα πηνία αντίδρασης εναλλακτήρα σε δακτυλιοειδή σύνδεση δεν ανταποκρίθηκαν στις πρακτικές εφαρμογές, τα συστήματα αυτά λοιπόν, δεν είναι αντικείμενο περαιτέρω παραστάσεων. Τα πηνία αντίδρασης γραμμής και ομάδας επίσης, δεν ανταποκρίθηκαν στις πρακτικές εφαρμογές και είναι ανεφάρμοστα. Ως εκ τούτο, οι περαιτέρω παραστάσεις αφορούν τα πηνία αντίδρασης τομέα.

Για τον καθορισμό, εάν είναι σκόπιμη η χρησιμοποίηση των πηνίων αντίδρασης, πρέπει έστω και κατά προσέγγιση να γνωρίζουμε τις παραμέτρους αυτών, δηλαδή την επαγωγική αντίδραση, την ονομαστική τάση και την ένταση.

Εξήχθηκαν σχέσεις, οι οποίες επιτρέπουν τον υπολογισμό αναλογικής αντίδρασης του πηνίου X_L με την προϋπόθεση της ανάλογης ισχύος και αντίδρασης Xd'' των εναλλακτήρων. Ως βάση στους υπολογισμούς ελήφθη η προϋπόθεση περιορισμού από το πηνίο αντίδρασης το ρεύμα αναστρόφου βραχυκυκλώματος. Όπως εμφανώς φαίνεται στο σχήμα 2.11 σε ένα τομέα μπορούν να λειτουργούν ένας ή αρκετοί εναλλακτήρες με συνολική ισχύ S.

Εάν λειτουργούν αρκετοί εναλλακτήρες, τότε οι παράμετροι των εναλλακτήρων αυτών μετατρέπονται σε τιμή παραμέτρων υποκατάστατου εναλλακτήρα του δεδομένου τομέα.

Προϋποθέτουμε ότι η ισχύς των εναλλακτήρων κάθε τομέα είναι ίδια και ίση με το S. Στο σύστημα που παρουσιάζεται στο σχήμα 2.11 τα μικρότερα ρεύματα θα είναι στην περίπτωση βραχυκυκλώματος στα κυκλώματα των ακραίων εναλλακτήρων (1 και n), αφού το ρεύμα του επόμενου εναλλακτήρα είναι περιορισμένο από κάθε φορά και μεγαλύτερο αριθμό σε σειρά συνδεμένων πηνίων

αντίδρασης. Το μεγαλύτερο όμως ρεύμα θα είναι στην περίπτωση βραχυκυκλώματος στο κύκλωμα του μεσαίου εναλλακτήρα. Σε αυτή την περίπτωση παραδείγματος χάρη για n = 5 το ρεύμα βραχυκυκλώματος θα το περιορίζει αντίδραση τέσσερις φορές μικρότερη σε σύγκριση με την αντίδραση των ακραίων εναλλακτήρων.

Στους κοινούς ζυγούς μπορεί να λειτουργεί ζυγός η μονός αριθμός εναλλακτήρων $n = 2M$ *ή* $n = 2M + 1$ όπου $M = 1,2,3\ldots\ldots$

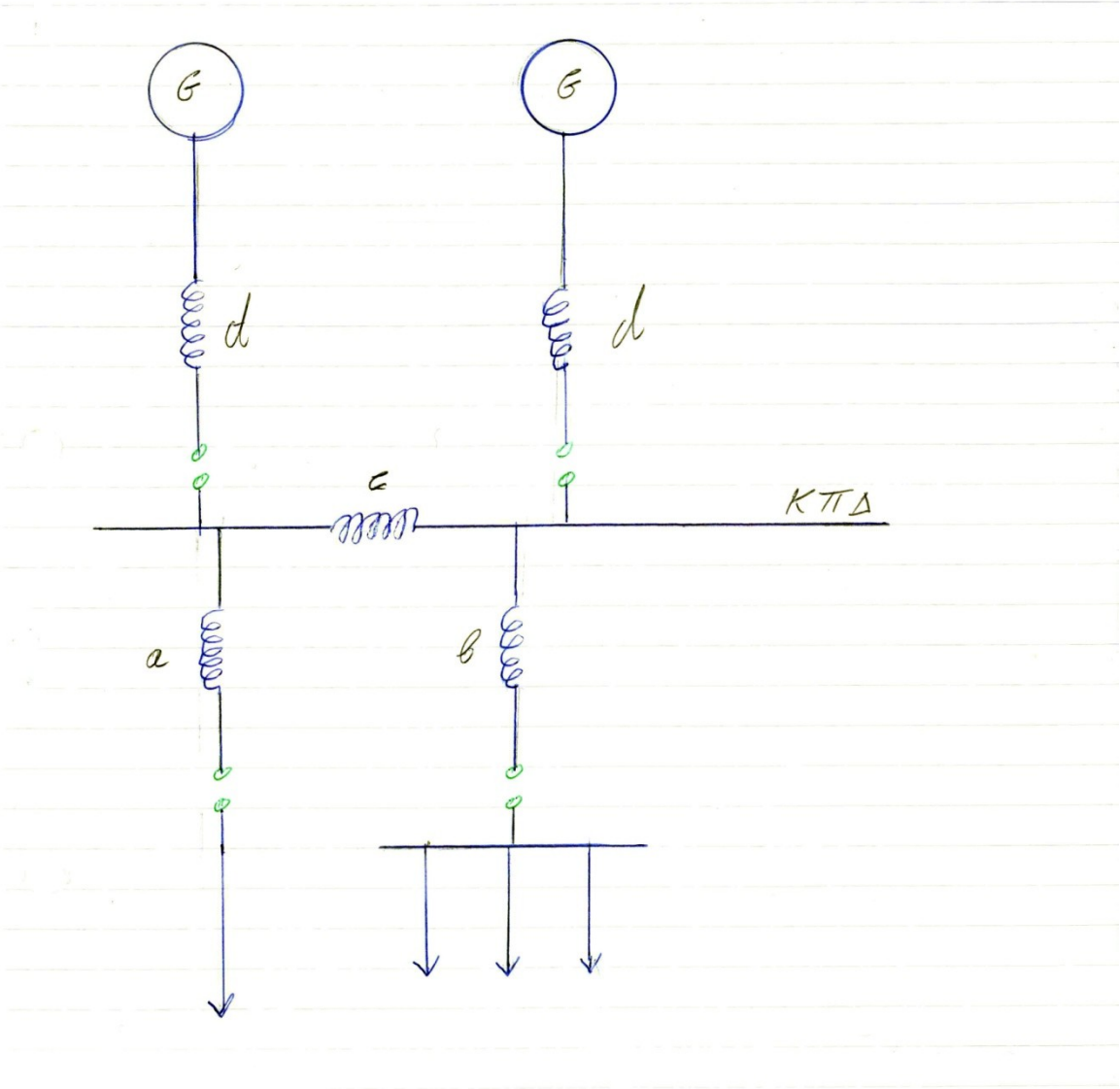
Το μεγαλύτερο ρεύμα βραχυκυκλώματος έχουμε στο ανάστροφο βραχυκύκλωμα του κυκλώματος του εναλλακτήρα ——— εάν $(n = 2M + 1)$.

Η αρχική τιμή της περιοδικής συνιστώσας ρεύματος ανάστροφου βραχυκυκλώματος στο κύκλωμα αυτού του εναλλακτήρα υπολογίζεται με την εξής σχέση :

——— ——— (2.15)

Όπου (n) καθορίζει τον αριθμό όλων των εναλλακτήρων, ενώ για τον αριθμό εναλλακτήρων $n = 2m$ έχουμε :

——— + ———] (2.16)



Σχήμα 2.10

Πηνία αντίδρασης βραχυκυκλώματος στο ενεργοηλεκτρικό σύστημα του πλοίου.

a. – πηνίο αντίδρασης γραμμής
b. – πηνίο αντίδρασης ομάδας
c. – πηνίο αντίδρασης τομέα
d. – πηνίο αντίδρασης εναλλακτήρα

(2.16)

με την συσχέτιση των σχέσεων (2.1, 2.15, 2.16) λαμβάνουμε για $n = 2\,m + 1$

(2.17)

και για $n = 2m$ έχουμε

(2.18)

Εάν δεχτούμε Κ

$n = 2m + 1$, τότε για μόνο αριθμό εναλλακτήρων λαμβάνουμε ισχύ σε MVA.

(2.19)

Η σχέση (2.19) αφορά τα πετρελαιοκίνητα πλοία. Στην περίπτωση των πλοίων με ηλεκτρική πρόωση ($K = 0.2$) η τιμή της *Smax* θα είναι λίγο μεγαλύτερη. Από τη σχέση (2.19) μπορούμε να προσδιορίσουμε την ελάχιστη τιμή της αντίδρασης X_L του πηνίου για διάφορες ισχύς ηλεκτρικού σταθμού *Smax* σε διάφορο αριθμούς (*n)* εναλλακτήρων, έτσι που το κρουστικό ρεύμα σε ελεύθερο σημείο του δικτύου να είναι μικρότερο από *100 KA*.

Η βεβαιότητα τροφοδότησης των καταναλωτών στο σύστημα που παρουσιάζεται στο σχήμα 2.11 εξαρτάται από την δυνατότητα τροφοδότησης δεδομένου καταναλωτή, από οποιονδήποτε εναλλακτήρα. Αυτό αφορά κυρίως τους ακραίους καταναλωτές, οι οποίοι έχουν μονομερή τροφοδότηση.

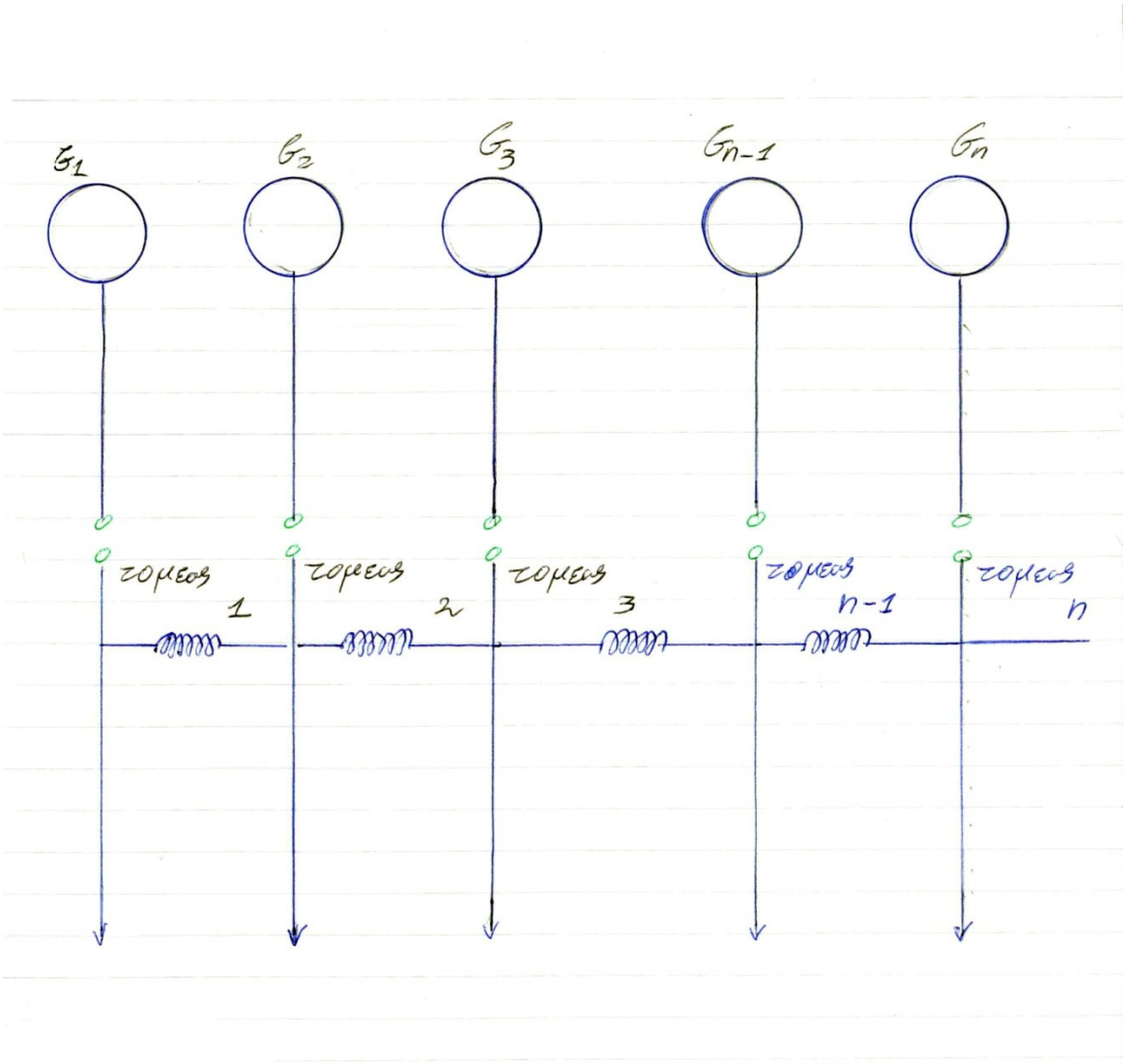
Εάν υποθέσουμε ότι οι καταναλωτές της μιας μισής σειράς κυρίων ζυγών, θα πρέπει να τροφοδοτηθούν από τους εναλλακτήρες της δεύτερης μισής σειράς, τότε τα μεσαία πηνία αντίδρασης μπορούν να φορτωθούν με ρεύμα ——, ενώ τα ακραία με το ονομαστικό ρεύμα *In* του εναλλακτήρα (για $n = 2m + 1$).

Κατασκευή πηνίων αντίδρασης μεγάλης ισχύος για της εγκαταστάσεις των πλοίων δεν ενδείκνυνται λόγω τεράστιων διαστάσεων βάρους αυτών.

Οι καταναλωτές από τον τομέα *2* έως τον τομέα $(n - 1)$ έχουν τη δυνατότητα της διμερούς τροφοδότησης, και αυτό απαιτεί ελάχιστο φορτίο ίσο με *In /2*.

Μάλλον, η αποδοχή φορτίου για το πηνίο αντίδρασης ίσο του ονομαστικού φορτίου εναλλακτήρα στην περίπτωση αυτή είναι ότι το καλύτερο.

Σύμφωνα με υπολογισμούς ένα τριφασικό πηνίο με τιμή αντίδρασης $X_L = 0,055$ έχει μήκος διαμέτρου περίπου *40 cm*, δηλαδή καταλαμβάνει χώρο ίσο με ένα πεδίο εναλλακτήρα *50 X 60 X 190 cm.* Οι τιμές της μεγαλύτερης ισχύος *S max* ηλεκτρικού σταθμού για $X_L = 0,055$ και για *3,5* και *7* τομείς ανέρχονται αντίστοιχα σε *4, 4,8, 8 MVA*. Όπως βλέπουμε από την μεταβολή του αριθμού τομέα *3* στο *5*, δεν κερδίζουμε και πολλά πράγματα ως προς την μεγαλύτερη ισχύ, αντιθέτως όμως χρειαζόμαστε περισσότερο χώρο *(2 πεδία για n = 3, 4 πεδία για n = 5)*. Προκύπτει από αυτό, ότι καλύτερα το σύστημα ζυγών να διαιρεθεί σε *3* τομείς παρά σε *5*.



Σχήμα 2.11
Συνεργασία πηνίων αντίδρασης.

Οι παραπάνω υπολογισμοί έχουν τον χαρακτήρα προσανατολισμού και δε λύνουν κατασκευαστικές λεπτομέρειες των πηνίων αντίδρασης. Ένα από τα σημαντικότερα

προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι κατασκευαστές είναι ο έλεγχος της κατεύθυνσης της εσωτερικής ροής, η οποία δεν πρέπει σε καμία περίπτωση να κλείνεται με τα μεταλλικά τοιχώματα του κυρίου πίνακα.

2.4.3 Συστήματα Διανομής Ηλεκτρικών Σταθμών Μεγάλης Ισχύος.

Σε περίπτωση ανάγκης χρησιμοποίησης μεγαλύτερης ισχύος ηλεκτρικού σταθμού από αυτή που δίνεται στο κεφάλαιο *2.4.1* και *2.4.2* χρειάζεται να εισάγουμε συστήματα διανομής διαφορετικά από τα μονά συστήματα.
Στα συστήματα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας ηλεκτρικών σταθμών μεγάλης ισχύος, μπορούν να αξιοποιηθούν οι εξής αρχές :

1 – τμηματοποίηση ζυγών διανομής με τη βοήθεια διακοπτών, ασφαλειών, πηνίων αντίδρασης και πηνίων αντίδρασης σε παράλληλη σύνδεση με διακόπτη ή ασφάλεια. (προστασία p)

2 – διαίρεση του ηλεκτρικού σταθμού σε μέρη όπου η ισχύς του κάθε μέρους δεν θα υπερβαίνει τις τιμές που προκύπτουν από το κεφάλαιο *2.4.1*.

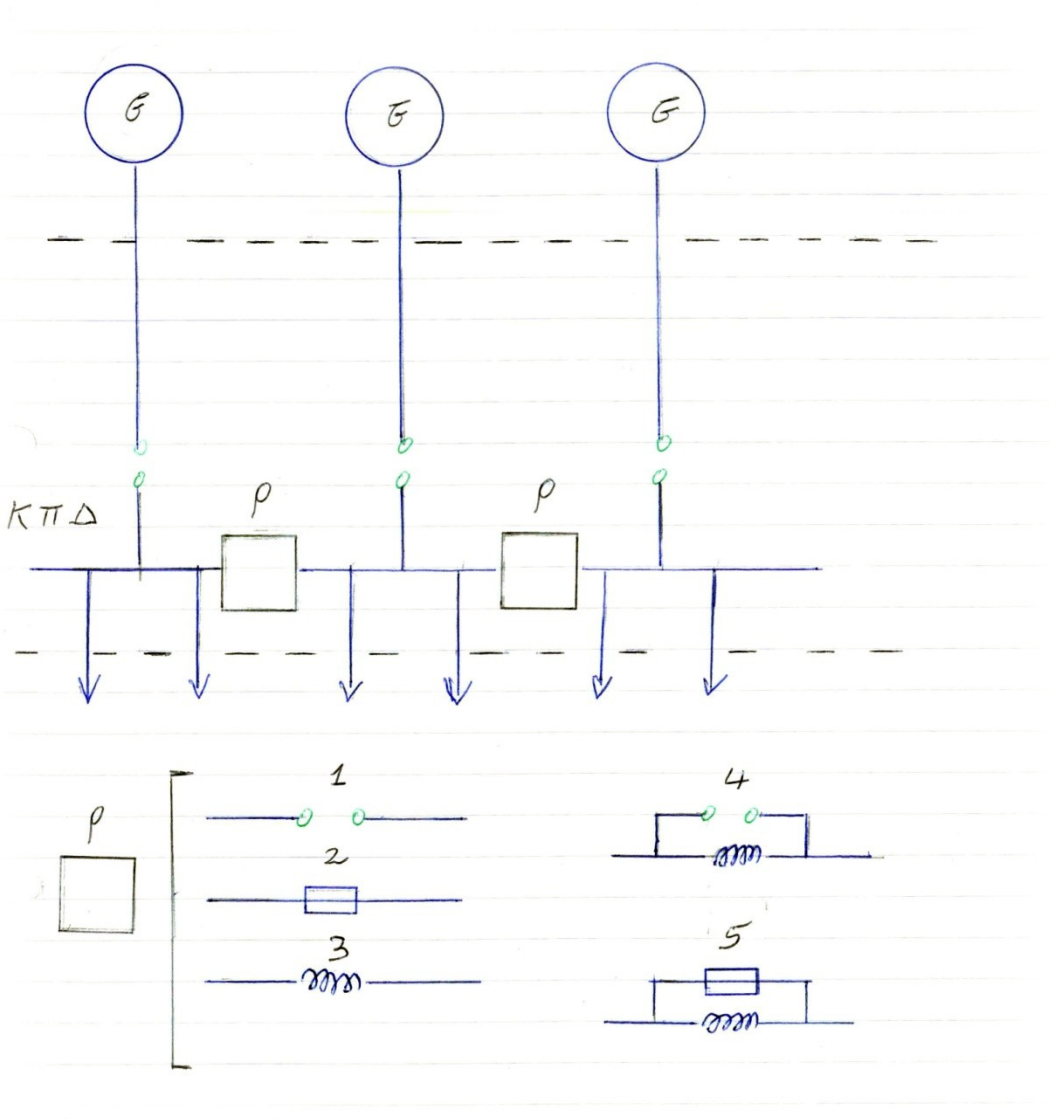
3 – χρησιμοποίηση υψηλής τάσης.

Οι λύσεις με την τμηματοποίηση παρουσιάζονται στο σχήμα *2.12*. Η ουσία προστασίας των P πρέπει να βασίζεται σε τέτοιο περιορισμό ρεύματος βραχυκυκλώματος, το οποίο προέρχεται από εναλλακτήρες των υπολοίπων τομέων, ώστε οι διακόπτες του τομέα αυτού να είναι σε θέση αυτόματης ζεύξης στο βραχυκύκλωμα χωρίς να εισέλθουμε σε λεπτομέρειες του προβλήματος, η πιο σωστή προστασία *P* είναι με αυτόματους διακόπτες. Ένα τέτοιο σύστημα είναι εγκατεστημένο στον *ΚΠ* του *Ε / Γ – Ο / Γ*
<< *Πρέβελη* >> της Ρεθυμνιακής *ΑΝΕ*.
Οι διακόπτες αυτοί πρέπει να ενεργούν πριν την παρουσίαση της πλήρης τιμής του ρεύματος ζεύξης, περιορίζοντας αυτό σε τιμή το ελάχιστο ίσο του ρεύματος ελεύθερου διακόπτου του τομέα αυτού *ΚΠ*, στον οποίον επήλθε το βραχυκύκλωμα. Στην περίπτωση αυτή απαιτείται δυνατός βαθμός περιορισμού ρεύματος βραχυκυκλώματος και για αυτό το λόγο, οι αυτόματοι διακόπτες πρέπει να είναι ειδικής κατασκευής.

Η προστασία *P* σύμφωνα με το σχεδιάγραμμα *4* (*σχήμα 2.12*) θα προσέφερε καλύτερα αποτελέσματα αλλά, και εδώ ο αυτόματος διακόπτης πρέπει δυνατά να περιορίζει το ρεύμα βραχυκυκλώματος.

Η προστασία *P* σύμφωνα με τα σχεδιαγράμματα *2* και *5* είναι πρακτικά ανεφάρμοστη και αυτό διότι, οι ασφάλειες στα συνεχή μεγάλα ονομαστικά ρεύματα δεν είναι αποτελεσματικές στον περιορισμό του ρεύματος.

Για την προστασία *P* σύμφωνα με το σχεδιάγραμμα *3 (σχήμα 2.12)* έχει ήδη γίνει περιγραφή στο κεφάλαιο *2.4.2.*

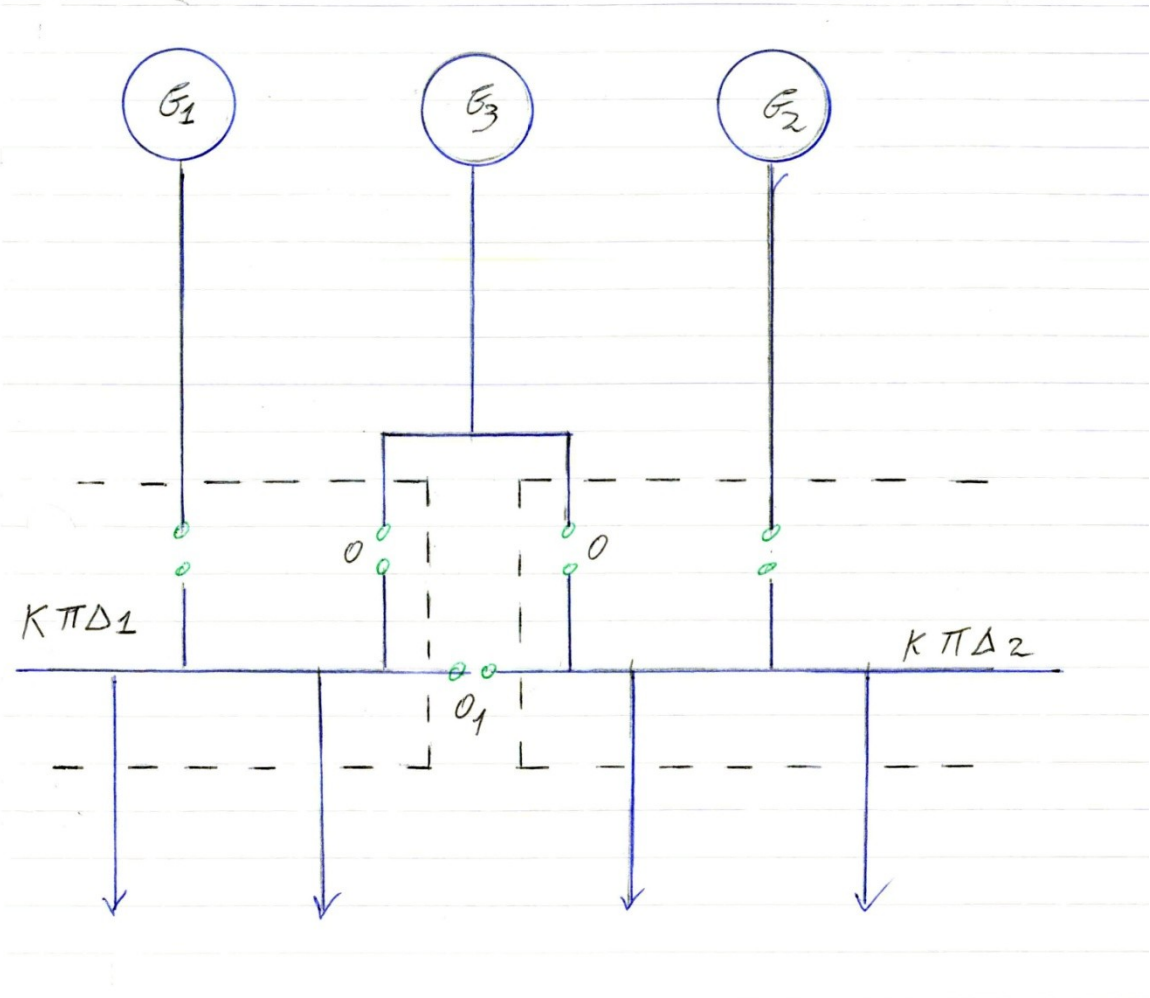


Σχήμα 2.12

Διάφορα είδη προστασίας P μεταξύ των τομέων ΚΠΔ.

Το σύστημα που αξιοποιεί δύο ανεξάρτητους ηλεκτρικούς σταθμούς παρουσιάζεται στο (*σχήμα 2.13*). Ο εφεδρικός εναλλακτήρας μπορεί να συνδεθεί ελεύθερα με

ένα από τους δύο ηλεκτρικούς σταθμούς. Ο αποζεύκτης O_1 σε κανονικές συνθήκες είναι ανοικτός, μπορεί να κλείσει μόνο στην περίπτωση αβαρίας και των δύο ηλεκτρικών σταθμών G_1 και G_2. Όλα τα ανωτέρω σε μεγάλο βαθμό αφορούν την Ελληνική Ναυτιλία και κυρίως την Ελληνική Ακτοπλοΐα, όπου τα περισσότερα πλοία αγοράζονται μεταχειρισμένα και μετασκευάζονται στην Ελλάδα.



Σχήμα 2.13

Σύστημα με δύο ανεξάρτητους ηλεκτρικούς σταθμούς και ένα εφεδρικό.

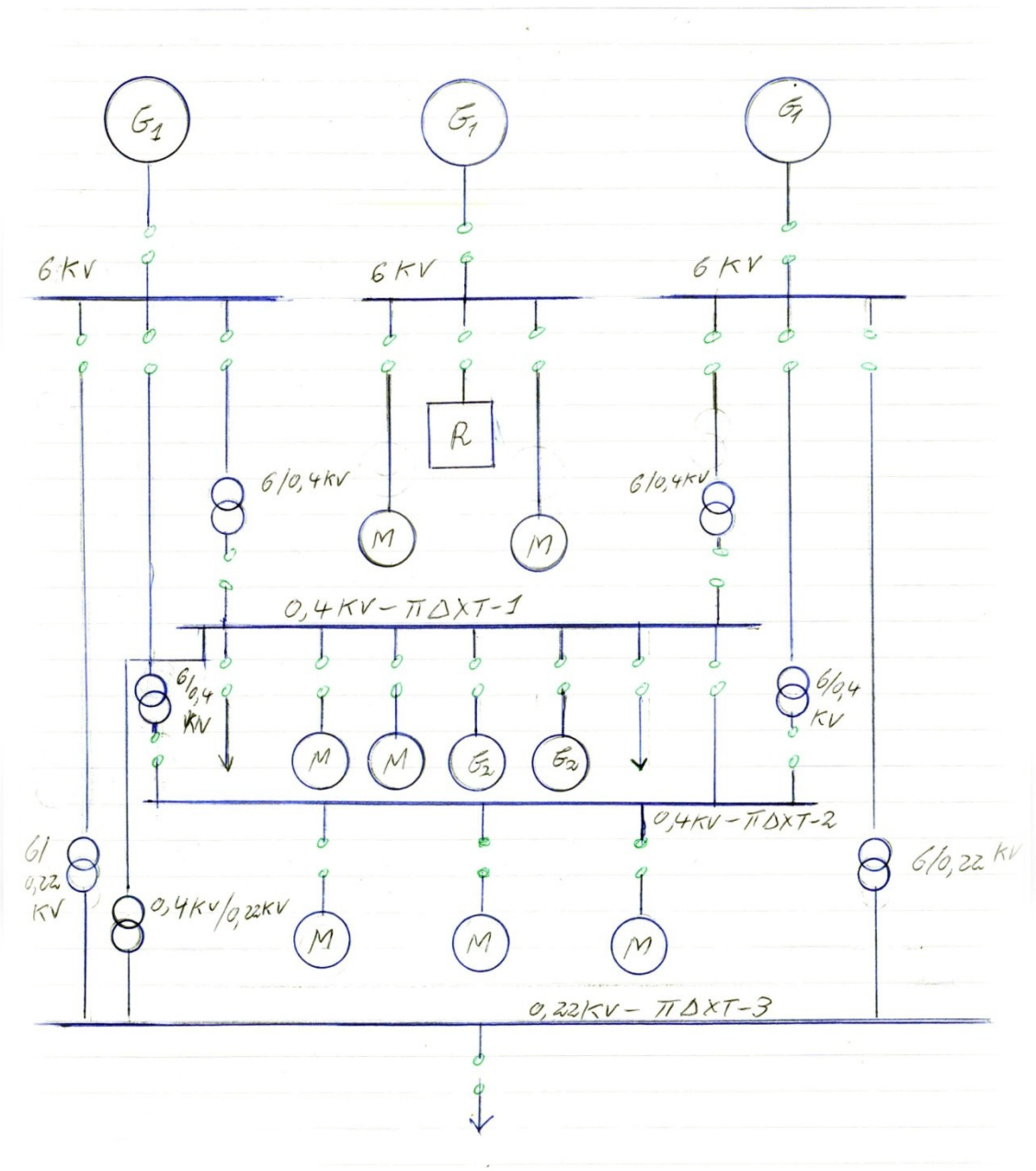
Πρέπει λοιπόν, οι μηχανικοί ηλεκτρολόγοι και τα εργαστήρια που ασχολούνται με τις μετασκευές ηλεκτρικών σταθμών των πλοίων αυτών, να γνωρίζουν τις συνέπειες που προκύπτουν από λανθασμένη μελέτη και εφαρμογή των συστημάτων αυτών.

Στον Πειραιά σήμερα λειτουργούν πάνω από *30* ηλεκτρολογικά εργαστήρια που ασχολούνται με κατασκευές, μετασκευές πλοίων. Εάν αφαιρέσουμε πέντε μεγάλες εταιρίες, ζήτημα από τα υπόλοιπα εργαστήρια να υπάρχουν πέντε που είναι σε θέση να ανταποκριθούν στις προσαρμογές των συστημάτων διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας.

Το σχεδιάγραμμα υψηλής τάσης *6 KV* συστήματος διανομής ηλεκτρικής ενέργειας που παρουσιάζεται στο (*σχήμα 2.14)*, αφορά κυρίως ηλεκτροκίνητα πλοία μεγάλης ισχύος.

Ο πίνακας υψηλής τάσης *ΠΥΤ* είναι υπό τάση, όταν το πλοίο είναι εν πλω. Από τους ζυγούς του *ΠΥΤ* τροφοδοτούνται κινητήρες κυρίας πρόωσης. Ο ανορθωτής *R* χρησιμεύει για την τροφοδότηση καταναλωτών συνεχούς ρεύματος. Μπορούμε επίσης, από τους ζυγούς των *6 KV* να τροφοδοτήσουμε κινητήρες μεγάλης ισχύος (π.χ. άνω των *250 KW*).

Ο πίνακας χαμηλής τάσης *ΠΧΤ – 1* χρησιμεύει για την τροφοδότηση καταναλωτών εγκατεστημένων στο μηχανοστάσιο του πλοίου. Στους ζυγούς του πίνακα αυτού είναι συνδεμένοι εναλλακτήρες G_2, οι οποίοι εργάζονται κατά την παραμονή του πλοίου στο λιμάνι. Ο πίνακας διανομής χαμηλής τάσης (ΠΧΤ – *2*) χρησιμεύει για την τροφοδότηση καταναλωτών εγκατεστημένων εκτός του χώρου μηχανοστασίου (όπως, βαρούλκα φορτοεκφόρτωσης, βαρούλκα αγκύρων κ.α.). Ο πίνακας διανομής *ΠΧΤ – 3* χρησιμεύει για την τροφοδότηση καταναλωτών *220 V*. Λόγω της παρουσίας εναλλακτήρων *G 2* χρεάζεται οπωσδήποτε πρόσθετη σύνδεση του *ΠΧΤ – 1* με τον *ΠΧΤ – 2* μέσω μετασχηματιστού με τον *ΠΧΤ – 3*.



Σχήμα 2.14

Σύστημα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας με υψηλή τάση 6KV

2.5 Εξαρτήματα Διανομής.

2.5.1 Κύριος Πίνακας Διανομής.

Στα ενεργοηλεκτρικά συστήματα πλοίων η διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται μέσω κυρίων πινάκων διανομής. Στη σύνθεση των πινάκων αυτών εισέρχονται ζυγοί (ράβδοι), διακόπτες, αποζεύκτες, ασφάλειες, μετασχηματιστές σχέσης ρεύματος και τάσης, συστήματα ρύθμισης τάσης, συστήματα ελέγχου και σήμανσης, όργανα μέτρησης.

Οι ζυγοί είναι συνήθως σχήματος ορθογωνίου και κατασκευάζονται από ηλεκτρολυτικό χαλκό, πρέπει δε να βάφονται για καλύτερη ψύξη και γρήγορο ξεχώρισμα των φάσεων. Οι ζυγοί επιλέγονται σε επιτρεπτή ανύψωση της θερμοκρασίας, σύμφωνα με τους κανονισμούς των οργανισμών κατάταξης πλοίων. Στον πίνακα *2.1* δίνονται οι επιτρεπτές τιμές φορτίων διαρκείας των επιπέδων χάλκινων ζυγών για θερμοκρασία περιβάλλοντος $40^0\,C$. Οι τιμές αυτές είναι καθορισμένες για επιτρεπτή οριακή θερμοκρασία $85^0\,C$, δηλαδή για μέγιστη ύψωση θερμοκρασίας $\Delta t = 45^0\,C$.

Για διαφορετική θερμοκρασία περιβάλλοντος, στην ίδια οριακή επιτρεπτή θερμοκρασία η μέγιστη επιτρεπτή ύψωση Δt θα είναι διαφορετική και θα πρέπει τότε τα φορτία που δίνονται στο πίνακα *2.1* να πολλαπλασιαστούν με *0,149*

Πίνακας 2.1

Μέγιστο επιτρεπτό φορτίο χάλκινων επιπέδων ζυγών στο συνεχές και εναλλασσόμενο (90 - 60 Hz) σε οριακή θερμοκρασία 85^0 C και θερμοκρασία περιβάλλοντος 40^0 C.

Διατομή ζυγού [mm]	Βαρος ζυγού Kg/m	Μεγιστο επιτρεπτο φορτιο διαρκειας [A]											
		ζυγοι βαμμενοι						ζυγοι αβαφτοι					
		αριθμος ξεχωρων ζυγων						αριθμος ξεχωρων ζυγων					
		1		2		3		1		2		3	
		ΕΡ	ΣΡ	ΕΡ	ΣΡ	ΕΡ	ΣΡ	ΕΡ	ΣΡ	ΕΡ	ΣΡ	ΕΡ	ΣΡ
12x2	0,209	125	130	225	230			110	115	200	205		
15x2	0,262	139	160	270	275			140	145	240	245		
15x3	0,396	185	190	330	335			170	175	300	305		
20x2	0,351	205	210	350	360			185	190	315	325		
20x3	0,529	245	250	425	435			220	225	380	390		
20x5	0,882	325	330	560	570			295	300	500	510		
25x3	0,663	300	305	520	530			270	275	460	470		
25x5	1,11	345	400	670	680			350	355	600	610		
30x3	0,796	355	360	610	630			315	320	540	560		
30x5	1,33	450	460	780	800			400	410	700	720		
40x3	1,06	460	470	710	820			420	430	710	740		
40x5	1,77	600	610	1000	1030			520	530	900	930		
40x10	3,55	850	870	1500	1550	2060	2180	760	770	1350	1400	1850	2000
50x5	2,22	720	740	1220	1270	1750	1870	630	650	1100	1150	1650	1750
50x10	4,44	1030	1070	1800	1900	2430	2700	920	960	1600	1700	2250	2500
60x5	2,66	850	870	1450	1500	1930	2100	760	780	1250	1300	1760	1900
60x10	5,33	1200	1250	2100	2200	2800	3000	1060	1100	1900	2000	2600	2800
80x5	3,55	1070	1100	1900	2000	2500	2700	970	1000	1700	1800	2300	2500
80x10	7,11	1560	1650	2500	2800	3300	3700	1380	1450	2300	2600	3400	3700
100x5	4,44	1350	1400	2300	2500	3000	3400	1200	1250	2050	2250	2850	3150
100x10	8,89	1980	2000	3100	3600	4000	4400	1700	1800	2800	3200	3650	4500
120x10	10,7	2200	2350	3500	4200	4500	5700	2000	2150	3100	3700	4100	5200
160x10	14,2	2800	3100	4400	5400	5800	7500	2500	2800	3900	4800	5300	6900
200x10	17,8	3350	3800	5300	6700	6900	9200	3000	3400	4750	6000	6350	8500

Στην περίπτωση μεγάλων φορτίων, αντί μονών ζυγών σε κάθε φάση χρησιμοποιούνται πολλαπλοί ζυγοί. Οι αποστάσεις μεταξύ των ζυγών, στην περίπτωση πολλαπλών ζυγών δίνεται το πάχος ενός ζυγού. Οι συνθήκες ψύξης των πολλαπλών ζυγών είναι χειρότερες από ότι των μονών ζυγών, και για το λόγο αυτό τα επιτρεπτά φορτία είναι μικρότερα.

Για τη διάκριση των φάσεων χρησιμοποιούνται τα εξής χρώματα

- πράσινο για τη φάση *R*.
- κίτρινο για τη φάση *S*.
- βιολετί για τη φάση *T*.
- γκρίζο για το μονωμένο ουδέτερο κόμβο.

Η εκλογή των ζυγών από τους κατασκευαστές πινάκων, πρέπει να βασίζεται στις συστάσεις της Διεθνεούς Επιτροπής Ηλεκτρολογίας (*IEC*). Πριν την τοποθέτηση και στήριξη των ζυγών, πρέπει να γίνονται οι εξής υπολογισμοί :

1 – της δύναμης που ασκείται μεταξύ των ζυγών.

2 – της ροπής αντίστασης διατομής του ζυγού.

3 – της ροπής αδρανείας διατομής του ζυγού.

4 – της ροπής που ασκείται σε κάθε ζυγό.

5 – της συχνότητας μηχανικής ταλάντωσης των ζυγών.

6 – της θερμοκρασίας που αναπτύσσεται στους ζυγούς.

Η δύναμη που ασκείται μεταξύ των ζυγών υπολογίζεται με την εξής σχέση :

$$F = 2{,}04 \quad 10^{-2} \quad \frac{\quad}{\quad} \quad [\ K$$

όπου (*σχήμα 2.15*)

L – μήκος του ζυγού μεταξύ κέντρων στήριξης δύο βραχιόνων [*cm*].

Is – κρουστικό ρεύμα βραχυκυκλώματος [*KA*].

d – απόσταση μεταξύ αξόνων των ζυγών [*cm*].

Η ροπή αντίστασης ορθογώνιας διατομής του ζυγού υπολογίζεται με την εξής σχέση :

$$W = \frac{\quad}{\quad} \quad [\ cm^3\ ] \qquad (2.21)$$

όπου : b – πλάτος, h – ύψος.

Η ροπή αδρανείας ορθογώνιας διατομής του ζυγού υπολογίζεται ως εξής :

$$J = \frac{\quad}{\quad} \quad [\ cm^4\ ] \qquad (2.22)$$

Στον πίνακα 2.2 δίνονται οι τιμές της ροπής αντίστασης και αδράνειας για τις διαστάσεις των ζυγών του πίνακα 2.1.

Η ροπή που ασκείται σε κάθε ζυγό είναι :

$M =$ —— [K $/cm$] (2.23)

Η επιτρεπτή τάση κάμψης του ζυγού :

σ = — [K $/cm^2$] (2.24)

για χαλκό σ [K $/cm^2$]

Η συχνότητα μηχανικής ταλάντωσης των ζυγών υπολογίζεται ως εξής :

$f =$ —— — (HZ) (f HZ (2.25)

όπου:

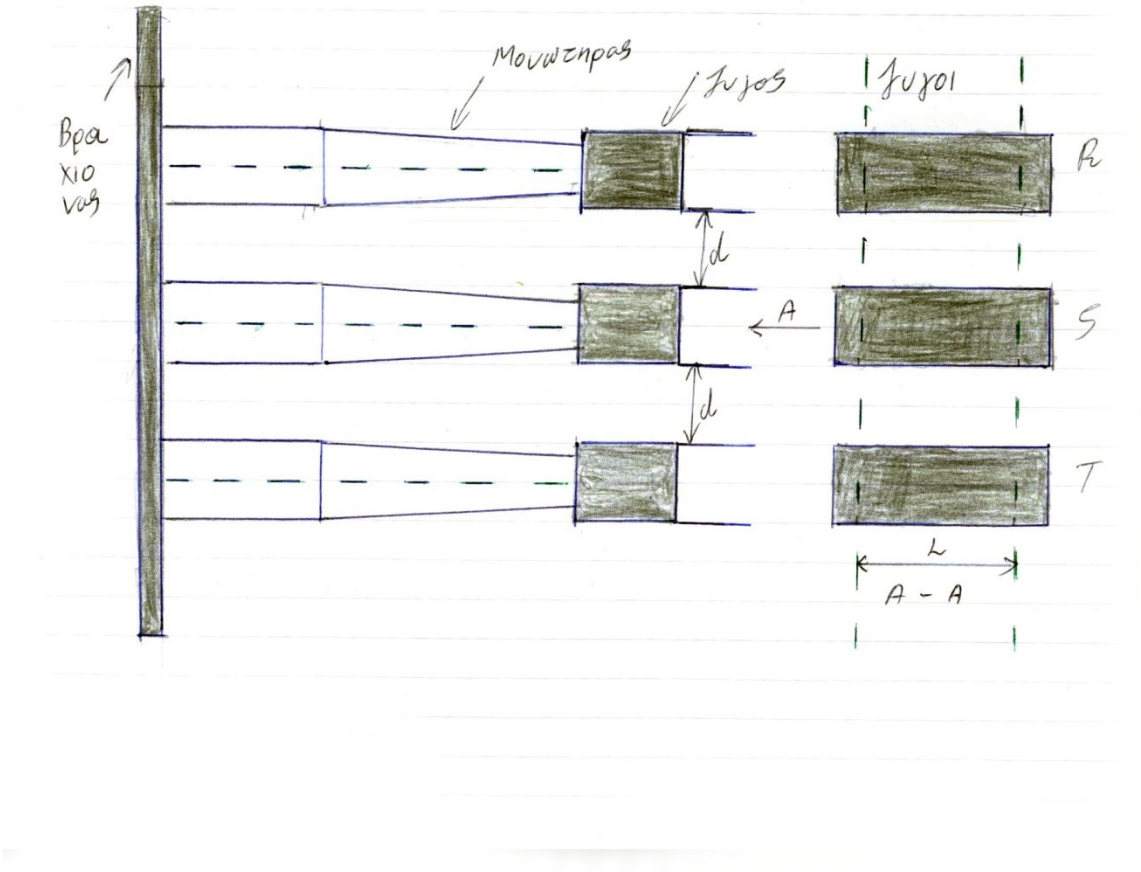
Ε – μέτρο ελαστικότητας του υλικού για Cu

Ecu= 1,1 10^6 [Kg/cm^2]

Β – βάρος του ζυγού [Kg/m]

Η θερμοκρασία που αναπτύσσεται στους ζυγούς υπολογίζεται ως εξής,

— $I^2s(t+\Delta t)$ [(2.26)



Σχήμα 2.15

Πίνακας 2.2
Τιμές ροπής αντίστασης και αδράνειας ορθογώνιας διατομής ζυγών

Διαστασεις ζυγου mm	Διατομη ζυγου mm^2 S	Ιδιοτητες ζυγου			
		x y F		x y F	
		$W\ cm^3$	$J\ cm^4$	$W\ cm^3$	$J\ cm^4$
12X2	24	0,0480	0,0288	0,00800	0,000800
15X2	30	0,0750	0,0563	0,0100	0,00100
15X3	45	0,113	0,0844	0,0225	0,00338
20X2	40	0,133	0,133	0,0133	0,00133
20X3	60	0,200	0,200	0,0300	0,00450
20X5	100	0,333	0,333	0,0833	0,0208
25X3	75	0,313	0,391	0,0375	0,00563
25X5	125	0,521	0,651	0,104	0,0260
30X3	90	0,450	0,675	0,0450	0,00675
30X5	150	0,750	1,13	0,125	0,0313
40X3	120	0,800	1,60	0,0600	0,00900
40X5	200	1,33	2,67	0,167	0,0417
40X10	400	2,67	5,33	0,667	0,333
50X5	250	2,08	5,21	0,208	0,0521
50X10	500	4,17	10,4	0,833	0,417
60X5	300	3,00	9,00	0,250	0,625
60X10	600	6,00	18,00	1,00	0,500
80X5	400	5,33	21,3	0,333	0,0833
80X10	800	10,7	42,7	1,33	0,667
100X5	500	8,33	41,7	0,417	0,104
100X10	1000	16,7	83,3	1,67	0,833
120X10	1200	24,0	144	2	1
160X10	1600	42,7	341	2,67	1,33
200X10	2000	66,7	667	3,33	1,67

Κεφάλαιο 3.Υπολογισμός ρεύματος βραχυκύκλωσης.

3.1 Εισαγωγή

Η ανάλυση ρεύματος βραχυκυκλώματος είναι θεμελιώδης απαίτηση όλων των νηογνομώνων και των κυβερνητικών οργανισμών. Παρ' όλο που οι συνθήκες του ρεύματος βραχυκύκλωσης είναι μια εξωτερική κατάσταση λειτουργίας, η ανάλυση είναι ουσιώδης για να εξασφαλίσουμε, ότι μια ναυτική μονάδα εν πλω ηλεκτρικού συστήματος είναι σχεδιασμένη με την οφειλόμενη γνώση στο σύστημα και στην ασφάλεια του προσωπικού.

Υπάρχουν αρκετοί διαθέσιμοι μέθοδοι υπολογισμού, μερικοί εύκολοι, μερικοί σύνθετοι. Είναι σημαντικό να καταλάβουμε ότι μια μέθοδος που περιλαμβάνει πολύπλοκους υπολογισμούς μπορεί να μην παράγει καλύτερα αποτελέσματα από μια μέθοδο που χρησιμοποιεί απλούς προσεγγιστικούς υπολογισμούς ειδικά αν οι βασικές πληροφορίες που απαιτούνται για τους υπολογισμούς είναι προκαταρκτικές. Οι μέθοδοι υπολογισμού τείνουν να γίνουν πολύ ευαίσθητες στα δεδομένα εισόδου και συνεπώς η ποιότητα των αποτελεσμάτων εξαρτάται πλήρως από την ποιότητα των πληροφοριών που είναι διαθέσιμες.

Οι μέθοδοι υπολογισμού που περιγράφονται σε αυτή την εργασία εμπίπτουν σε τρεις μεγάλες κατηγορίες, βασισμένες σε πλατειές παραδοχές, στην βασική γεννήτρια και το σύστημα δεδομένων, βασιζόμενο στα πλήρη χαρακτηριστικά της γεννήτριας που μας επιτρέπουν να εκτιμηθούν οι μειώσεις του ρεύματος βραχυκύκλωσης. Η σωστή μέθοδος που πρέπει να χρησιμοποιηθεί μπορεί να μην είναι πάντα εύκολο να ορισθεί και όπως γίνεται στις περισσότερες μηχανικές καταστάσεις είναι απαραίτητο να εφοδιαστούμε με επαγγελματικά κριτήρια για να χρησιμοποιήσουμε το σωστό εργαλείο στη σωστή ώρα. Ένας γενικός κανόνας θα ήταν να ακολουθήσουμε την πιο απλή μέθοδο προσέγγισης πρώτα και μετά να κρίνουμε αν χρειαζόμαστε μια πιο πλήρη και πιο εκτεταμένη ανάλυση.

Γενικά αν αποφασίσουμε μια πιο πλήρη ανάλυση, η μέθοδος που προτείνεται από τη Διεθνή Ηλεκτροτεχνική επιτροπή είναι η IEC 61363-1, που θα μας δώσει, με λιγότερη προσπάθεια, τα καλύτερα υπολογιστικά αποτελέσματα.

Αυτή η εργασία περιλαμβάνει μια απλή άποψη του υπολογισμού του ρεύματος βραχυκυκλώματος και μια πιο συνθέτη που προτείνεται από την IEC 61363-1. Κάθε εργασία της διαδικασίας υπολογισμού βραχυκυκλωμάτων δε μπορεί να διαφύγει από την

δέσμευση κάποιων υπολογισμών και στην περίπτωση ηλεκτρολογικών υπολογισμών γενικά εμπλέκονται μαθηματικά διανύσματα.
Στην εργασία παραθέτονται βασικές εξισώσεις που απαιτούνται για να ολοκληρωθεί ο υπολογισμός του ρεύματος βραχυκυκλώματος, σε μια προσπάθεια να κρατηθούν οι μαθηματικές αποδείξεις στο ελάχιστο. Μερικές βασικές γνώσεις διανυσματικών μαθηματικών θα μας βοηθήσουν να καταλάβουμε τη διαδικασία που περιγράφεται συμφώνα με το διεθνές πρότυπο IEC 61363-1. Ο υπολογισμός του ρεύματος βραχυκυκλώματος είναι εύκολος, όπως είναι τα πάντα εφόσον ξέρουμε τον τρόπο. Αλλά πάντα πρέπει να θυμόμαστε ότι λίγη γνώση είναι επικίνδυνη και μπορεί να γίνει ακριβή, γι' αυτό ίσως θα πρέπει να κοιτάξουμε τους παρακάτω υπολογισμούς καλύτερα.

3.2 Γιατί χρειαζόμαστε να υπολογίσουμε το ρεύμα βραχυκύκλωσης;

Όπως σε κάθε δουλειά πρέπει να βρεθεί ο κατάλληλος άνθρωπος, έτσι και στο βραχυκύκλωμα πρέπει να βρεθεί ο κατάλληλος εξοπλισμός. Στην περίπτωση του βραχυκυκλώματος ενδιαφερόμαστε για τα φυσικά μεγέθη και την ηλεκτρική καταλληλότητα των ασφαλειών, διακοπτών ισχύος, διακοπτών στους ζυγούς διανομής και άλλα εξαρτήματα κατά την διάρκεια της απελευθερωμένης ενέργειας από το βραχυκύκλωμα. Τα εξαρτήματα πρέπει να διαστασιολογούνται έτσι ώστε να ανθίστανται σε κάθε ενέργεια βραχυκυκλώματος , στην περίπτωση των διακοπτών ισχύος και ασφαλειών επιθυμούμε να ανοίγουν και να αντιμετωπίζουν το ρεύμα βραχυκύκλωσης με ασφάλεια. Οι διακόπτες ισχύος και οι ασφάλειες πρέπει να είναι σχεδιασμένες έτσι ώστε να ανιχνεύουν αντικανονικές υπερεντάσεις στο ηλεκτρικό σύστημα και να ανοίγουν το κύκλωμα αν οποιαδήποτε υπερένταση εμφανιστεί. Το βραχυκύκλωμα είναι μια κατάσταση που μπορεί να προκαλέσει μια υπερένταση και η ανάλυση των συνθηκών του ρεύματος βραχυκυκλώματος είναι ένας συντελεστής που πρέπει να υπολογίσουμε όταν σχεδιάζουμε ή τροποποιούμε ένα ναυτικό ηλεκτρικό σύστημα. Το βραχυκύκλωμα παρουσιάζεται όταν δύο ή περισσότεροι φορτισμένοι αγωγοί έρθουν σε επαφή. Αυτό μπορεί να προκληθεί από ατύχημα, π.χ. κάποιος τοποθέτησε ένα κλειδί στους ζυγούς του κυρίου πίνακα η από σφάλμα των μονώσεων των αγωγών. Στα ναυτικά συστήματα τα τριφασικά βραχυκυκλώματα γενικά προκαλούν τις υψηλότερες τιμές ρεύματος βραχυκυκλώματος που συμβαίνουν. Στα ακαριαία βραχυκυκλώματα εμφανίζεται μια πολύ μικρή σύνθετη αντίσταση δια μέσου

του δρόμου που εφοδιάζει με τάση τη γεννήτρια ή το σύστημα. Το συνισταμένο ρεύμα είναι πολύ μεγάλο από το κανονικό ρεύμα και αν το κύκλωμα δεν ανοίξει τότε το ρεύμα βραχυκύκλωσης μπορεί να παγιδευτεί και να προκαλέσει μεγάλη ζημιά, πολλές φορές και πυρκαγιά. Παρομοίως εάν η συσκευή που ανοίγει το κύκλωμα δε σχεδιαστεί έτσι ώστε να διακόψει το υψηλό ρεύμα, πολλά πράγματα μπορεί να συμβούν που θα ζημιώσουν την ασφάλεια:

a) Η ενέργεια που ελευθερώνεται από το ρεύμα μπορεί να προκαλέσει έκρηξη συσκευής
b) Οι επαφές που ανοίγουν το κύκλωμα μπορεί να κολλήσουν μεταξύ τους με αποτέλεσμα το ρεύμα να μην διακοπεί.
c) Οι επαφές μπορεί να αρχίσουν να ανοίγουν, το ρεύμα μπορεί να αυτό-αποκατασταθεί και να προκαλέσει στο διάκενο επαφών ένα τόξο. Το τόξο μπορεί να αναφλέξει αλλά υλικά και να προκαλέσει πυρκαγιά.

Έτσι είναι βασικό να εκτιμήσουμε η να υπολογίσουμε την τιμή του αναμενόμενου ρεύματος που εμφανίζεται κάτω από τις συνθήκες βραχυκυκλώματος και ακολούθως διαπιστώνουμε ότι οι συσκευές που προμηθευτήκαμε για να διακόψουν το ρεύμα και χρησιμοποιούνται, αντέχουν και το διακόπτουν. Παρομοίως είναι σημαντικό να εξασφαλίσουμε ότι οι συσκευές που είναι συνδεδεμένες στο δρόμο του βραχυκυκλώματος π.χ. κινητήρες, εκινητές, είναι επαρκώς διαστασιολογισμένοι για να αντέχουν το ρεύμα βραχυκύκλωσης και το χρόνο που απαιτείται έτσι ώστε να ανοίξουν οι συσκευές προστασίας.

3.3 Το ρεύμα βραχυκύκλωσης πρέπει να είναι στο δρόμο της σύνθετης αντίστασης και στο σύστημα ενέργειας;

Αυτό είναι σωστό και αυτή είναι η βασική λογική που μας οδηγεί στον υπολογισμό του ρεύματος βραχυκυκλώματος. Δυστυχώς δε μπορούμε να ξέρουμε που και πότε ένα βραχυκύκλωμα θα παρουσιαστεί. Οπότε εκτιμούμε ότι η διαδρομή της σύνθετης αντίστασης βραχυκυκλώματος μπορεί να είναι αρκετά περίπλοκη. Επιπλέον παρ' όλο που το σύστημα ισχύος των γεννητριών είναι γνωστό, άλλοι καταναλωτές του δικτύου προστίθενται στο σύστημα κάτω από συνθήκες βραχυκυκλώματος. Για παράδειγμα καθώς ένας κινητήρας επιβραδύνει λειτουργεί σαν γεννήτρια και συνεισφέρει στην ισχύ οδηγώντας το ρεύμα βραχυκύκλωσης. Είναι δύσκολο να

ορίσουμε τον ακριβή αριθμό των κινητήρων ή άλλων καταναλωτών που συνεισφέρουν ισχύ τη στιγμή του βραχυκυκλώματος.
Συνεπώς να ορίσουμε ακριβώς την ολική ισχύ τη στιγμή που συμβαίνει το βραχυκύκλωμα είναι πολύ δύσκολο. Χωριστά από αυτές τις εμπλοκές όταν μια γεννήτρια δοκιμάζεται σε ένα ρεύμα βραχυκύκλωσης, ανταποκρίνεται σε μια μη γραμμική μορφή και επηρεάζει αλλάζοντας τη σύνθετη αντίσταση της γεννήτριας , καθώς το βραχυκύκλωμα εξελίσσεται. Αυτό πάλι επηρεάζει το ρεύμα βραχυκύκλωσης κάθε στιγμή.

3.4 Πρέπει να υπάρχει ένας εύκολος τρόπος για τον υπολογισμό.

Υπάρχουν πολλοί εύκολοι τρόποι για τον υπολογισμό του ρεύματος βραχυκύκλωσης. Δυστυχώς καθώς οι υπολογιστικές μέθοδοι γίνονται πιο εύκολοι η ακρίβεια ελαττώνεται. Μερικές φορές αυτό δεν είναι σημαντικό και δεν επηρεάζει την τελική επιλογή των εξαρτημάτων προστασίας. Άλλες φορές οι υπολογισμοί ακρίβειας είναι σημαντικοί έτσι ώστε να προλάβουμε τον υπάρχων εξοπλισμό από καταστροφή και αντικατάσταση. Απαιτείται ένας βαθμός κρίσης του μηχανικού να αποφασίσει τη μεθοδολογία του υπολογισμού και την έκταση των απαιτούμενων υπολογισμών για κάθε συγκεκριμένη κατασκευή και για κάθε συγκεκριμένη περίπτωση.

3.5 Για να μην μπερδευόμαστε ας πάρουμε έναν εύκολο υπολογισμό.

Πολύ ωραία , ο πιο εύκολος υπολογισμός του ρεύματος βραχυκυκλώματος είναι να πολλαπλασιάσουμε το συνολικό ρεύμα φορτίου των γεννητριών 10 και να προσθέσουμε το συνολικό ρεύμα των κινητήρων πολλαπλασιασμένο

Αυτό θα μας προμηθεύσει μια κατά προσέγγιση τιμή της (τετραγωνικής ρίζας του συμμετρικού ρεύματος βραχυκύκλωσης) ή (RMS συμμετρικό ρεύμα βραχυκύκλωσης) και μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο να ειδικεύσουμε την ελάχιστη ρύθμιση βραχυκυκλώματος για όλους τους ηλεκτρικούς διακόπτες. Αυτή η συγκεκριμένη τιμή

καθορίζει το μέγιστο ρεύμα διακοπής του διακόπτη. Μια λογική στρατηγική σχεδιασμού θα ήταν να εξειδικεύσει τους ηλεκτρικούς διακόπτες στο να έχουν μια πρότυπη διαβάθμιση πάνω στην υπολογιζόμενη τιμή. Χρησιμοποιώντας αυτή την προσέγγιση θα πρέπει να εξασφαλίσουμε ότι τα χρησιμοποιούμενα πρότυπα διαβάθμισης, είναι πρότυπα για τη συγκεκριμένη χώρα που προορίζονται οι διακόπτες. Γενικά στη βόρεια Αμερική οι κανονισμοί είναι διαφορετικοί από τον υπόλοιπο κόσμο, αλλά και σε χώρες εκτός της βόρειας Αμερικής σε γενικές γραμμές ακολουθούν τους ίδιους κανονισμούς. Οι βορειοαμερικανικοί κανονισμοί για rms συμμετρικό ρεύμα διαβάθμισης για χαμηλής τάσης διακόπτες, είναι 14,18,22,25,30,35,42,50,65,85,100,125,160 και 200 KA. Ο ηλεκτρικός διακόπτης μπορεί να διαβαθμιστεί βάσει του συμμετρικού ή ασύμμετρου ρεύματος. Μπορεί να χρειαστεί να ορίσουμε άλλες τιμές ρεύματος βραχυκυκλώσεως, τέτοιες όπως η (μέση ασύμμετρη τιμή) ή (μέγιστη rms ασύμμετρη τιμή) ή ακόμα (κορυφαία τιμή για ρεύμα βραχυκύκλωσης). Οι ασύμμετρες τιμές μπορούν να υπολογιστούν πολλαπλασιάζοντας το RMS συμμετρικό ρεύμα με τους παρακάτω συντελεστές.

a) Μέσο ασύμμετρο RMS ρεύμα= 1,4 x RMS συμμετρικό ρεύμα.
b) Μέγιστο ασύμμετρο RMS ρεύμα= 1,8 x RMS συμμετρικό ρεύμα.
c) Κορυφαίο ασύμμετρο RMS ρεύμα= 2,6 x RMS συμμετρικό ρεύμα.

Παράδειγμα

Υπολογισμός ρεύματος για ρυμουλκό και καθορισμό των διαβαθμίσεων των διακοπτών. Οι γεννήτριες είναι 2x120KW με Σ.Ι.=0,8 και λειτουργούν παράλληλα. Οι κινητήρες λαμβάνονται να είναι 60KW. Το σύστημα είναι τριφασικό 440volts. Το RMS συμμετρικό ρεύμα υπολογίζεται όπως παρακάτω:

Ρεύμα γεννήτριας= $\frac{\quad}{\quad}$=197A

Ρεύμα κινητήρων= $\frac{\quad}{\quad}$

↑ Συντελεστής απόδοσης κινητήρων, υποθέτουμε 0,9

Για αυτό το λόγο το RMS συμμετρικό ρεύμα είναι 2x10x197+4x109=4376A

↑ Αριθμός γεννητριών

Επομένως, αντίστοιχα έχουμε μέσο ασύμμετρο ρεύμα = 1,4x4376A= 6126A

Μέγιστο ασύμμετρο ρεύμα =1,8 x4376A= 7877A

Στιγμιαίο ασύμμετρο ρεύμα = 2,6 x 4376A=11378A

Διαβάθμιση διακόπτη 5000A RMS συμμετρικό θα ήταν αρκετό για την εγκατάσταση. Αυτός ο εύκολος τρόπος υπολογισμού μας δίνει την κύρια τάξη μεγέθους των διακοπτών ισχύος. Εάν είναι απαραίτητο να υπολογίσουμε την τάξη μεγέθους των διακοπτών ισχύος, για σύστημα χαμηλής ισχύος που είναι συνδεδεμένος μετασχηματιστής, χρειαζόμαστε το μέγεθος του μετασχηματιστή. Το ασύμμετρο ρεύμα μπορεί να εκτιμηθεί πολλαπλασιάζοντας το ρεύμα στην πλευρά της χαμηλής τάσης επί 20. Οι ασύμμετρες τιμές του ρεύματος μπορεί να υπολογιστούν όπως δείξαμε παραπάνω με τους ίδιους συντελεστές.

Παράδειγμα

Το RMS συμμετρικό ρεύμα διανομής 3φ πίνακα 120V συνδεδεμένο με 30 KVA μετασχηματιστή θα είναι

RMS= ——=2887A

3.6 Οι παραπάνω υπολογισμοί είναι ικανοποιητικοί ή πρέπει να δούμε κάτι πιο περίπλοκο;

Για τις περισσότερες μικρές εγκαταστάσεις, συγκεκριμένα για εγκατεστημένες ισχύς γεννητριών μικρότερες από 500 KVA οι παραπάνω υπολογισμοί είναι ικανοποιητικοί. Αναλύοντας τους υπολογισμούς είναι απίθανο να εγκαταστήσουμε χαμηλότερου μεγέθους διακόπτη για χρήση. Αλλά για μεγάλες εγκαταστάσεις αυτοί οι απλοί υπολογισμοί μπορούν να φέρουν αποτελέσματα τέτοια ώστε να υπερεκτιμήσουμε τις απαιτούμενες ζητήσεις των διακοπτών.

Είναι σημαντικό το να καταλάβουμε ότι οι παραπάνω υπολογισμοί περιλαμβάνουν πολλές παραδοχές κι αυτό μπορεί να μην είναι σωστό για το συγκεκριμένο σύστημα. Η πιο σημαντική παραδοχή είναι εκείνη ότι είναι εκτός συστήματος οι χαρακτηριστικές της γεννήτριας.

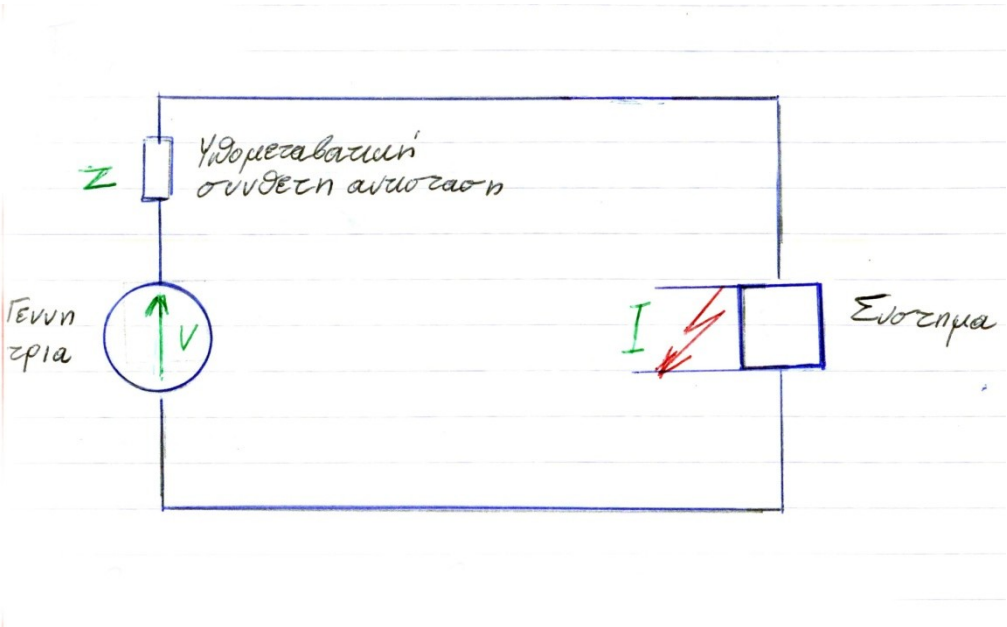
Βασικό χαρακτηριστικό της γεννήτριας που μας καθορίζει το ρεύμα βραχυκύκλωσης είναι η φαινόμενη αντίσταση. Δυστυχώς οι γεννήτριες δεν είναι χωρίς περιστροφές και η φαινόμενη αντίσταση αλλάζει από κάτω από διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας

των γεννητριών. Κάτω από συνθήκες βραχυκυκλώματος η φαινόμενη αντίσταση γεννήτριας αλλάζει καθώς το βραχυκύκλωμα εξελίσσεται με το χρόνο. Στον εγκατεστημένο διακόπτη είναι η φαινόμενη αντίσταση που στα πρώτα milliseconds του βραχυκυκλώματος καθορίζει τις τιμές του ρεύματος βραχυκύκλωσης. Ο παραπάνω εύκολος υπολογισμός έχει μια υποθετική συγκεκριμένη τιμή φαινόμενης αντίστασης της γεννήτριας και μόνο οι υψηλότερες τιμές του ρεύματος βραχυκύκλωσης χρειάζονται να υπολογιστούν. Αυτή η φαινόμενη αντίσταση αποκαλείται υπομεταβατική φαινόμενη αντίσταση. Στους παραπάνω απλούς υπολογισμούς η χειρότερη τιμή της υπομεταβατικής φαινόμενης αντίστασης όπως συναντάται στις ναυτικές εγκαταστάσεις είναι υποθετική. Εάν στην εγκατάσταση η υπομεταβατική φαινόμενη αντίσταση είναι περισσότερο από τη χειρότερη περίπτωση, τότε η τιμή του ρεύματος βραχυκυκλώματος θα είναι μικρότερη. Παρόμοιες παραδοχές έχουν γίνει για τη συνεισφορά των κινητήρων, αλλά δεν είναι τόσο σημαντικές όπως η συνεισφορά των γεννητριών.

3.7 Απλός υπολογισμός ρεύματος βραχυκύκλωσης γεννητριών.

Ένας απλός υπολογισμός, ειδικά για τις γεννήτριες είναι εφικτός, αλλά πρώτα είναι απαραίτητο να καταλάβουμε κάτι περισσότερο για την υπομεταβατική σύνθετη αντίσταση.

Σχήμα 3.1



Κύκλωμα ρεύματος βραχυκύκλωσης

Όπως με τους περισσότερους ηλεκτρικούς υπολογισμούς, το κλειδί της επιτυχίας είναι να χρησιμοποιήσουμε τον νόμο του Ohm.

I= –=————————

Στην περίπτωση του κυκλώματος βραχυκύκλωσης μπορούμε να υποθέσουμε ότι η τάση είναι η τάση της γεννήτριας που χρησιμοποιείται στην εγκατάσταση.

Παράδειγμα

Υπολογισμός ρεύματος βραχυκυκλώματος για ρυμουλκό και ειδικά τα μεγέθη των διακοπτών. Οι γεννήτριες είναι 2x120KW συνφ = 0,8 και λειτουργούν παράλληλα. Οι κινητήρες υποθέτουμε ότι έχουν φορτίο 60KW. Το ηλεκτρικό σύστημα είναι τριφασικό 440V. Η υπομεταβατική σύνθετη αντίσταση είναι 12%. Το ρεύμα βραχυκύκλωσης της γεννήτριας μπορεί να υπολογιστεί από την εξίσωση

Isc=———

Ig -> ρεύμα γεννήτριας STi -> υπομεταβατική σύνθετη αντίσταση

Το Ig μπορεί να δοθεί από τον κατασκευαστή αλλιώς χρησιμοποιούμε την παρακάτω σχέση

Ig= —————— που για το συγκεκριμένο παράδειγμα είναι

Ig= —————— =196,8A

Άρα το ρεύμα βραχυκύκλωσης είναι

Isc,g= ———— =1640A

Το πλήρες ρεύμα βραχυκύκλωσης μπορεί να υπολογιστεί ακολουθώντας την ίδια μεθοδολογία όπως στο προηγούμενο παράδειγμα χρησιμοποιώντας το RMS γεννήτριας =Isc,g =1640A και το ρεύμα κινητήρων 109A έτσι θα έχουμε RMS συμμετρικό ρεύμα = 2x1640 + 4x 109 = 3716A.

Μέσο ασύμμετρο ρεύμα = 1,4x3716A = 5202A

Μέγιστο ασύμμετρο ρεύμα RMS = 1,8 x 3716A = 6689A

Στιγμιαίο ασύμμετρο ρεύμα = 2,6 x 3716A = 9662A

Πάλι το μέγεθος του διακόπτη είναι 5000A RMS συμμετρικό και πάνω, θα ήταν επαρκής για αυτή την εγκατάσταση, και παρόλο που βρήκαμε τα μεγέθη βραχυκυκλώματος του διακόπτη ισχύος, το τελικό αποτέλεσμα είναι το ίδιο όπως και στο προηγούμενο παράδειγμα (μέγεθος διακόπτη ισχύος 5KA). Οι υπολογιζόμενες τιμές

του ρεύματος βραχυκύκλωσης σε πραγματικό σύστημα πρέπει να διερευνηθούν περισσότερο.

Για αυτό το απλό παράδειγμα ίσως να υπάρχουν ερωτήσεις , για την αθροιστική επιπλοκή, αλλά θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι υπολογιζόμενες τιμές είναι τώρα 17% λιγότερες από τον προηγούμενο υπολογισμό. Εάν ο πρώτος υπολογισμός είχε φανερώσει ρεύμα βραχυκύκλωσης αρκετά κοντά ή ακόμα λίγο παραπάνω από τα σταθερά μεγέθη του διακόπτη, μετά στο δεύτερο υπολογισμό έδειξε ένα 17% περιθώριο στα μεγέθη του διακόπτη, σώζοντας από την χρησιμοποίηση υψηλότερης τάξης διακόπτη. Πάλι σε αυτή την απλή εγκατάσταση το κόστος διαφοράς μεταξύ 5KA και 10KA διακόπτη είναι μικρό, αλλά τέτοιες διαφορές είναι περισσότερο σημαντικές σε μεγαλύτερες εγκαταστάσεις.

3.8 Αυτός ο τελευταίος υπολογισμός δε φαίνεται να έχει χρησιμοποιήσει το νόμο του Ohm.

Όχι απολύτως σωστό. Αλλά μια καλή παρατήρηση είναι ότι η μέθοδος υπολογισμού που χρησιμοποιήσαμε παραπάνω περιλαμβάνει πολλές απλοποιήσεις και προσεγγίσεις. Εάν χρησιμοποιούσαμε αυτή τη μέθοδο, ο διακόπτης που θα επιλέγαμε θα είχε το λιγότερο 10% περιθώριο προς τα πάνω από την υπολογιζόμενη τιμή. Και αυτό γιατί το υπολογισμένο RMS συμμετρικό ρεύμα 3716A ο επιλεγόμενος διακόπτης θα είναι περίπου 3716x0,1= 371,6A άρα 3716+371,6=4087,6A

Ο ακόλουθος υπολογισμός με το νόμο του Ohm θα δείξει το γιατί. Πρώτα μετατρέπουμε την υπομεταβατική σύνθετη αντίσταση από % τιμή σε ωμική τιμή. Πάλι από την ηλεκτρολογία χρησιμοποιούμε τον παρακάτω τύπο

Υπομεταβατική σύνθετη αντίσταση Ω =

STI (Ω)= ——————— για το παραπάνω παράδειγμα έχουμε

Εάν τώρα χρησιμοποιήσουμε τον νόμο του Ohm έχουμε Iscg = ——— είναι σωστό;

Όχι, είναι λάθος.

Η υπομεταβατική σύνθετη αντίσταση σε Ω είναι τιμή φασική και θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε φασική τάση στον υπολογισμό. Για αυτό το ρεύμα βραχυκύκλωσης της γεννήτριας είναι Iscg = ————=1640A όπως υπολογίσαμε προηγουμένως.

Δυστυχώς κι αυτό είναι λάθος. Στο προηγούμενο παράδειγμα δηλώνουμε ότι η τάση της γεννήτριας V οδηγεί το ρεύμα βραχυκύκλωσης μέσα στο κύκλωμα. Αυτό είναι αλήθεια αλλά η υπομεταβατική σύνθετη αντίσταση της γεννήτριας είναι εσωτερική, λαμβάνοντας υπόψη την V, στην περίπτωσή μας 440V είναι η τάση στα άκρα της γεννήτριας. Για αυτό πρέπει να ξανασχεδιάσουμε το σχεδιάγραμμα του κυκλώματος και να μειώσουμε την εσωτερική οδηγό τάση της γεννήτριας τόσο ώστε η τάση εξόδου να είναι 440V. Αυτό σημαίνει ότι η εσωτερική τάση της γεννήτριας E θα είναι V συν την πτώση τάσης που προκαλείται από την υπομεταβατική σύνθετη αντίσταση E= V+IZ
Αυτό εκεί που θα πρέπει να υπολογίσουμε την ακριβή εσωτερική τάση, υποθέτουμε ότι είναι 10% υψηλότερη από την τάση στα άκρα και χρησιμοποιούμε την παρακάτω σχέση.

* Iscg = ————= —— A

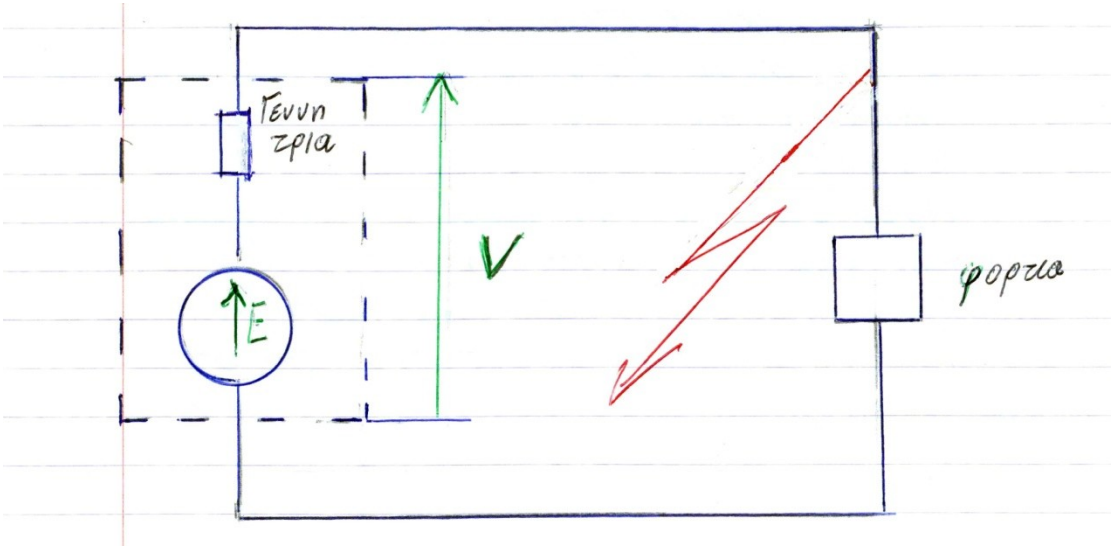
Στην περίπτωση μας είναι Iscg = ————=1804A

Το ασύμμετρο ρεύμα βραχυκύκλωσης υπολογίζεται όπως προηγουμένως. Γνωρίζοντας ότι η υπομεταβατική σύνθετη αντίσταση είναι 12%, μια πιο ακριβή προσέγγιση θα ήταν για RMS συμμετρικό ρεύμα

** Iscg=———— = 1837A

Είναι ενδιαφέρον να παρατηρήσουμε ότι οι πιο ακριβείς υπολογισμοί μας οδηγούν πολύ κοντά στη γρήγορη μέθοδο του 10 φορές κανόνα που αναφέραμε παραπάνω.

Σχήμα 3.2



Πραγματικό κύκλωμα γεννήτριας

Αποτελέσματα μεθόδων

Πίνακας 3.1

	Μεθοδοι Υπολογισμου	Κανονας 10 φορας	STI μεθοδο	Χρησιμο μοιωνας 1,1V	Χρησιμο μοιωνας 1,12V
	RMS γεννητριας Iscg	1970 A	1640 A	1804 A	1837 A
	Συνασφορα Κινητηρων A	436 A	436 A	436 A	436 A
	Συνολικο RMS Iscg	4376A	3716 A	4044 A	4110 A
***	Συντελεστης 10 φορες	1	0,85	0,92	0,94

*** Ο συντελεστής 10 μας δείχνει πόσο αντιστοιχούν οι προσεγγιστικές μέθοδοι υπολογισμού με την πρώτη προσέγγιση του κανόνα των 10 φορών

*για συνολικό Iscg = 2x1804+436A=3608A+1436A+436A = 4044A

**για συνολικό lscg = 2x1837A+436A=3674A+436A=4110A

3.9 Η Εξωτερική σύνθετη αντίσταση μειώνει το ρεύμα βραχυκύκλωσης

Ναι, αυτό είναι σωστό. Ο υπολογισμός του ρεύματος βραχυκύκλωσης στον πίνακα συνδεσμολογίας των γεννητριών μπορεί να μειωθεί περιλαμβάνοντας τη σύνθετη αντίσταση των καλωδίων της γεννήτριας. Παρομοίως, ο υπολογισμός του ρεύματος βραχυκύκλωσης στον πίνακα διανομής μειώνεται οφειλόμενος στη σύνθετη αντίσταση των καλωδίων τροφοδοσίας μεταξύ πίνακα συνδεσμολογίας και πίνακα διανομής. Το ποσό της μείωσης εξαρτάται από το μήκος των καλωδίων και από το μέγεθος. Ένα καλώδιο με μεγάλη διατομή έχει μικρή σύνθετη αντίσταση. Κατά συνέπεια η μείωση στους υπολογισμούς του ρεύματος βραχυκύκλωσης είναι μικρότερη από μία διατομή καλωδίου που έχει μεγάλη σύνθετη αντίσταση.
Γενικά τα καλώδια των γεννητριών είναι μεγάλα και τις περισσότερες φορές συμπεριλαμβανομένων των καλωδίων των γεννητριών έχουν μικρή επιρροή στην επιλογή διακοπτών ισχύος. Αυτό δεν ισχύει για τα καλώδια τροφοδοσίας του πίνακα διανομής, και η σύνθετη αντίσταση καλωδίων μπορεί συχνά να μειώσει το επίπεδο του βραχυκυκλώματος σε τέτοιο βαθμό ώστε να χρησιμοποιήσουμε μικρότερου μεγέθους διακόπτες ισχύος. Στο προηγούμενο παράδειγμα συμπεριλαμβανομένων των καλωδίων της γεννήτριας και του πίνακα διανομής δεν άλλαξε το μέγεθος του διακόπτη ισχύος για τάσεις 440V. Και αυτό γενικά ισχύει για περιπτώσεις μικρών ρυμουλκών και μικρών οχηματαγωγών που έχουν γεννήτριες μετρίου μεγέθους.

3.10 Θα πρέπει να ανησυχούμε για τα καλώδια;

Για μικρά οχηματαγωγά που έχουν εγκαταστημένες γεννήτριες μικρότερες από 500 KVA στα 440 Volts η περιπλοκότητα των υπολογισμών του ρεύματος βραχυκύκλωσης είναι απίθανο να αλλάξει την επιλογή του διακόπτη ισχύος. Σε όλους τους πιθανούς κανονισμούς 14 KA διακόπτες ή μικρότεροι μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε όλη την εγκατάσταση και η επιρροή των καλωδίων θα ήταν ελάχιστη.
Μια εξαίρεση σε αυτό είναι η MCB (μικροαυτόματοι) που μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Σε τέτοιες περιπτώσεις ένας υπολογισμός που περιλαμβάνει τα καλώδια τροφοδοσίας θα μας δώσει μια καλύτερη εκτίμηση για τις απαιτήσεις για το ρεύμα βραχυκύκλωσης στον πίνακα τροφοδοσίας. Για εγκαταστάσεις μεταξύ 500 KVA -1000 KVA θα είναι καλύτερα να συμπεριλάβουμε τις επιπτώσεις των καλωδίων. Για εγκαταστάσεις

μεταξύ 1000 KVA -1500 KVA και πάνω τα καλώδια πρέπει να συμπεριλαμβάνονται έτσι ώστε να ελαχιστοποιούμε τις απαιτήσεις για διακόπτη ισχύος σε μεγέθη βραχυκυκλώματος στον πίνακα διανομής.

3.11 Πως μπορώ να υπολογίσω το ρεύμα βραχυκυκλώσεως λαμβάνοντας υπόψη τα καλώδια;

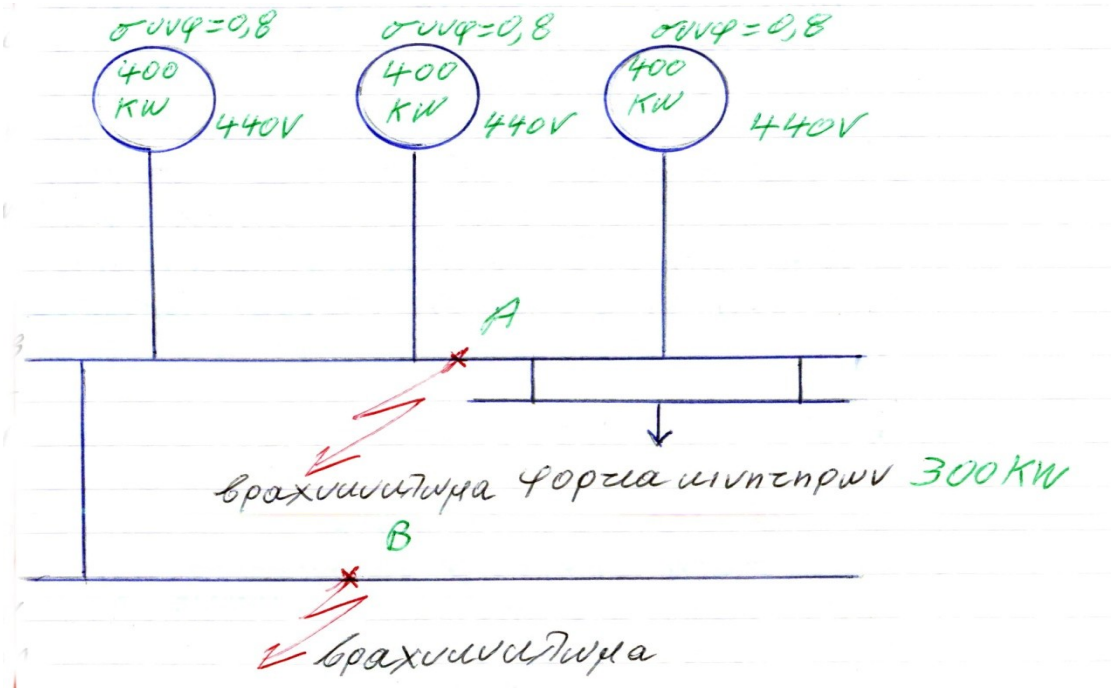
Ο υπολογισμός εξηγείται από το παρακάτω παράδειγμα.

Παράδειγμα

Υπολογίστε το ρεύμα βραχυκυκλώσεως σε φορτηγό - πλοίο και υπολογίστε τα μεγέθη των διακοπτών στον πίνακα συνδεσμολογίας και τα μεγέθη των διακοπτών στον πίνακα διανομής του μηχανοστασίου. Για 3x400 KW γεννήτριες με συνφ = 0,8 και οι τρεις λειτουργούν παράλληλα. Τα φορτία των κινητήρων θεωρούμε πως είναι 300 KW. Το ηλεκτρικό σύστημα είναι τριφασικό 440 Volt. Η υπομεταβατική σύνθετη αντίσταση είναι 12%. Η γεννήτρια συνδέεται με τον πίνακα συνδεσμολογίας με δυο γύρους 3φ αγωγών 500MCM μήκους 5 μέτρων. Ο πίνακας ισχύος συνδέεται με τον πίνακα συνδεσμολογίας χρησιμοποιώντας 20 μέτρα ενός γύρου καλώδια 3φ αγωγών.

Σχήμα 3.3

Ένα σχεδιάγραμμα είναι χρήσιμο

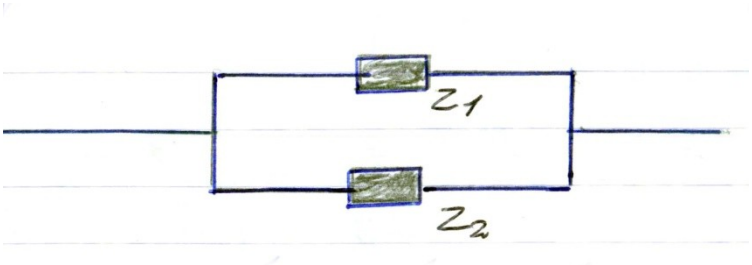


Κάθε γεννήτρια συνδέεται με 5m 2 γύρων καλώδια 3φ αγωγών
Ο πίνακας ισχύος του μηχανοστασίου συνδέεται με τον πίνακα συνδεσμολογίας με 1 γύρο 3φ αγωγών καλωδίων 20m.

Στο σχήμα 3.3 μας δείχνεται ένα διάγραμμα 3φ γεννητριών ισχύος 400KW που συνδέονται με τον πίνακα διανομής με 2 γύρους καλωδίων 5m αποτελούμενο από 3φ αγωγούς 500MCM. Και κινητήρες συνολικού φορτίου 300KW συνδεδεμένοι με τον πίνακα διανομής και ο πίνακας διανομής του μηχανοστασίου με 1 γύρο καλωδίου, 3φ αγωγών μήκους 20m.
Παρόλο που το παραπάνω παράδειγμα μπορεί να γίνει με πραγματικές ωμικές τιμές είναι πιο εύκολο να χρησιμοποιήσουμε τη γνωστή μας μέθοδο για ηλεκτρολόγους μηχανικούς «ανά μονάδα» ή « %» μέθοδο αλλάζει όλες τις τιμές στο σύστημα σε τιμές που είναι συγγενείς σε μια κοινή βάση, όπως 100,500 ή 1000. Η μέθοδος αυτή απλοποιεί τις αριθμητικές πράξεις. Η μέθοδος χρησιμοποιείται σημαντικά περισσότερο στην ηλεκτρική βιομηχανία στο να προσδιορίσουμε χαρακτηριστικά ηλεκτρικών εξαρτημάτων, πχ. η υπομεταβατική σύνθετη αντίσταση γεννήτριας συνήθως εκφράζεται σε % της τιμής όπως στο παράδειγμα 12%. Αυτή είναι η τιμή της σύνθετης αντίστασης της γεννήτριας, «βασισμένη» στα KW ή KVA της γεννήτριας. Μάλλον θεωρείται μέθοδος των ηλεκτρολόγων μηχανικών, μια τυφλή εφαρμογή είναι αρκετή να μας περιγράψει τους υπολογισμούς του ρεύματος βραχυκυκλώματος..

3.11.1 Σύνθετη αντίσταση γεννήτριας και καλωδίων.

Για τις γεννήτριες ξέρουμε ότι η σύνθετη αντίσταση της μιας γεννήτριας είναι 12% βασισμένη σε 400 KW ή 400 KW/0,8 = 500 KVA . Το καλώδιο της γεννήτριας είναι 2 γύρους, 5m μήκος, 3φ αγωγών 500 MCM. Για 60Hz εγκατάσταση αυτό το καλώδιο έχει αντίσταση (R) = 0,069 Ω/KM και αντίδραση (X) = 0,092 Ω/KM (αυτά τα νούμερα είναι από πίνακες)
Η σύνθετη αντίσταση του καλωδίου είναι Z = (μήκος καλωδίου) = , άρα σύμφωνα με τα δεδομένα της εγκατάστασης έχουμε 2 γύρους καλωδίων παράλληλα, άρα η συνολική σύνθετη αντίσταση γίνεται:



$Z_{1,2}$ $Z_1 = Z_2 = Z$

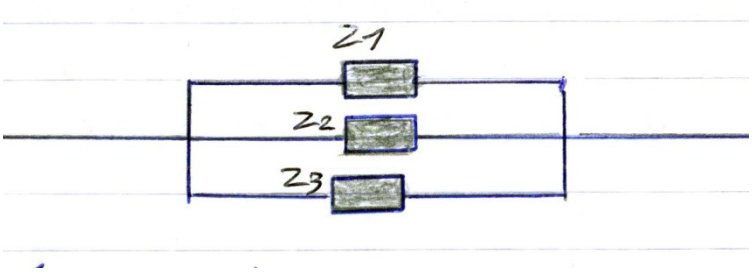
$$Z_{1,2} = \frac{}{} = \frac{}{} = 0{,}00029\ \Omega$$

Η παραπάνω ωμική τιμή πρέπει τώρα να μετατραπεί σε % τιμή χρησιμοποιώντας σα βάση σε αυτή την περίπτωση το μέγεθος της γεννήτριας 400KW ή 500 KVA. Θα μετατρέψουμε την ωμική τιμή σε % τιμή, χρησιμοποιώντας τον παρακάτω τύπο:

$$\%\, z = \frac{}{} \qquad \frac{}{}$$

Αυτή η τιμή προστίθεται στην % σύνθετη αντίσταση της γεννήτριας και καλωδίων συνδεδεμένα σε σειρά ie $Z_{(g+c)} = 12{,}0749\ \%$

Αυτή η παραπάνω πρόσθεση δεν είναι απολύτως σωστή γιατί δε λαμβάνει την αντίσταση και ανάδραση των στοιχείων της σύνθετης αντίστασης σαν ξεχωριστές ποσότητες. Αυτή η απλοποίηση επηρεάζει την ακρίβεια των τελικών αποτελεσμάτων όπως θα δούμε παρακάτω. Για 3 όμοιες γεννήτριες η παράλληλη σύνθετη αντίσταση είναι :



$Z_{1,2,3}$ $Z_1 = Z_2 = Z_3 = Z$, όπου $Z = Z_{(g+c)}$

$$\frac{}{} = \frac{}{}$$

$Z_{1,2,3=}$ ——— = ——— = 4,0250 %

Τώρα το ρεύμα λειτουργίας της γεννήτριας είναι

ρ= – –

——————— =

Το ρεύμα βραχυκυκλώσεως που οφείλεται στις γεννήτριες είναι σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:

———————

3.11.2 Φορτίο κινητήρων και η συνεισφορά στο βραχυκύκλωμα.

Για του κινητήρες υπάρχουν δύο σημεία που πρέπει να λάβουμε υπόψη.

a) Κάτω από συνθήκες βραχυκυκλώματος ο κινητήρας λειτουργεί σαν επαγωγική γεννήτρια στο σύστημα. Γι' αυτό μπορούμε να θεωρήσουμε την επί % σύνθετη αντίσταση της γεννήτριας παράλληλη με το σύστημα.

b) Τα φορτία των κινητήρων είναι διανεμημένα φορτία. Το επί % δεν είναι συγκεντρωμένο σ' ένα μέρος όπως στη γεννήτρια και συνεπώς η συνεισφορά του ρεύματος βραχυκύκλωσης διανέμεται στο σύστημα.

Στον κύριο πίνακα η συνεισφορά θα είναι διαφορετική από τον πίνακα διανομής , πολύ περισσότερο το μέγεθος της συνεισφοράς εξαρτάται από την τοποθεσία του βραχυκυκλώματος και τον ακριβή αριθμό των κινητήρων που λειτουργούν προγενέστερα του βραχυκυκλώματος. Για σφάλματα στον κύριο πίνακα διανομής , η συνεισφορά μιας ομάδας κινητήρων, θα επηρεάζεται από τη σύνθετη αντίσταση μεταξύ κινητήρων στον πίνακα διανομής και στον κύριο πίνακα όπου οι κινητήρες είναι συνδεδεμένοι. Πάλι πρέπει να θυμόμαστε ότι για την ακρίβεια αυτής της μεθόδου εφαρμόζουμε μικρή γνώση του συστήματος στην απόφαση που θα πάρουμε.
Γι' αυτό το συγκεκριμένο παράδειγμα η πλειοψηφία των μεγάλων κινητήρων που λειτουργούν θα είναι συνδεδεμένοι στον κύριο πίνακα . Γι' αυτό το λόγο θα κάνουμε

μια παραδοχή ότι όλα τα 300KW των κινητήρων, είναι συνδεδεμένοι στον κύριο πίνακα και όλοι λειτουργούν στην ώρα του βραχυκυκλώματος.
Τώρα πρέπει να υπολογίσουμε την επί % σύνθετη αντίσταση των κινητήρων. Αυτό μπορεί να γίνει υπολογίζοντας τη σύνθετη αντίσταση μιας ισοδύναμης γεννήτριας στο σύστημα που θα παράγει το ίδιο ρεύμα βραχυκύκλωσης, όπως οι εν λειτουργία κινητήρες. Έχουμε αναφέρει προηγουμένως ότι το ρεύμα βραχυκύκλωσης που παράγεται από τους κινητήρες είναι περίπου 4 φορές το ονομαστικό ρεύμα. Για αυτό η συνεισφορά των κινητήρων στο ρεύμα βραχυκύκλωσης είναι 4x547A = 2188A → RMS συμμετρικό

P = ← βαθμός απόδοσης κινητήρων συνήθως (n = 0,9)

Συντελεστής ισχύος στο παράδειγμα 0,8

Άρα έχουμε:

3.11.3 Ρεύμα βραχυκύκλωσης κύριου πίνακα

Στον κύριο πίνακα το ρεύμα βραχυκύκλωσης μπορεί να βρεθεί με συνδυασμό της συνεισφοράς του ρεύματος βραχυκύκλωσης της γεννήτριας και του κινητήρα ,
Συνεισφορά γεννήτριας → 16301A

Συνεισφορά κινητήρα → 2188A
Το συνολικό ρεύμα βραχυκύκλωσης κινητήρων θα είναι 18,489

3.11.4 Μέγεθος κύριου διακόπτη ισχύος του κύριου πίνακα.

Το πρόβλημα είναι τώρα πως θα χρησιμοποιήσουμε αυτή την πληροφορία για το μέγεθος του διακόπτη στον κύριο πίνακα διανομής. Ξέρουμε ότι η πληροφορία είναι ανακριβής, αλλά σε τι βαθμό; Το αποτέλεσμα του υπολογισμού είναι λίγο μεγαλύτερο από το σταθερό μέγεθος των 18KA για 440V διακόπτη. Θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε ένα διακόπτη 18KA ή ένα λιγότερο ψηλότερο 22KA;

Οι γνωστές ανακρίβειες είναι στον υπολογισμό του φορτίου κινητήρων, στο μέγεθος καλωδίων και στις φυσικές ποσότητες που χρησιμοποιούνται για την αντίσταση, αντίδραση και σύνθετη αντίσταση. Η φόρτιση των κινητήρων μπορεί να είναι υπερβολική αλλά κανείς δεν ξέρει ακριβώς ποια είναι η φόρτιση του κινητήρα όταν εμφανιστεί το βραχυκύκλωμα; Η ακρίβεια του μεγέθους των καλωδίων είναι δύσκολο να εκτιμηθεί αλλά η σύνθετη αντίσταση των καλωδίων είναι μόνο το 0,5% της σύνθετης αντίστασης της γεννήτριας και έτσι ένα 100% λάθος είναι απίθανο να προκύψει . Οι ανακρίβειες στα καλώδια και στις φυσικές τιμές της γεννήτριας εξαρτώνται από τη θερμοκρασία που έγιναν οι μετρήσεις, από τα εξαρτήματα, από την ώρα του σφάλματος, δύσκολο να μαντέψεις;

Η σύνθετη αντίσταση της γεννήτριας μπορεί να έχει ανακρίβεια , εξαρτάται από πού ήρθε η τιμή και κατά συνέπεια στο παράδειγμά μας θα κυμαινόταν μεταξύ . Ακόμα ξέρουμε ότι υπάρχει μια εσωτερική ανακρίβεια της μεθόδου. Για παράδειγμα για τον υπολογισμό του ρεύματος βραχυκύκλωσης χρησιμοποιήσαμε σα βασικό σύστημα μία από τις γεννήτριες, σα βασική ποσότητα. Για αυτό υποθέσαμε ότι η τάση της γεννήτριας είναι 440V. Αυτό είναι λάθος γιατί η τάση θα πρέπει να είναι , η τάση πίσω από την αντίδραση της γεννήτριας που είναι μεγαλύτερη από τα 440V.

Με όλες αυτές τις αβεβαιότητες είναι δύσκολο να έχουμε μια συγκεκριμένη ποσότητα ακρίβειας των παραπάνω υπολογισμένων τιμών. Γι ’αυτό μια ενδεδειγμένη πρακτική είναι να υποθέσουμε ότι το άθροισμα όλων αυτών των ανακριβειών θα είναι τουλάχιστον το 10% και το προσθέτουμε στην υπολογισμένη τιμή και μετά επιλέγουμε την υψηλότερη τιμή διακόπτη. Στην περίπτωσή μας υπολογίσαμε 18,5ΚΑ ή επιλογή 18ΚΑ διακόπτη μη σωστή και πάμε στο άμεσα μεγαλύτερο μέγεθος 22ΚΑ, γιατί;

,

Όπου 20,35ΚΑ ΚΑ , Αυτή η επιλογή παρέχει ανοχή 8,11%

3.11.5 Ρεύμα βραχυκύκλωσης στον πίνακα διανομής μηχανοστασίου.

Ο πίνακας διανομής του μηχανοστασίου συνδέεται με τον κύριο πίνακα διανομής με 1 γύρο καλωδίων 3φ αγωγών 20 m. Από πίνακες η αντίσταση και η αντίδραση είναι αντίστοιχα:

R (ERDP) * = 0,521 Ω/km και

* (ERDP) = Engine room distribution panel = Πίνακας διανομής μηχανοστασίου.

X (ERDP) = 0,105 Ω/km

Γι' αυτό το λόγο η σύνθετη αντίσταση 20m θα είναι:

Z_{ERDP} = ——— ——————— = 0,02 ——————————— = 0,01063Ω

Τώρα αυτή την ωμική τιμή θα την μετατρέψουμε σε % με βάση τα 500 KVA, άρα θα έχουμε σύμφωνα με το γνωστό τύπο :

———————

Για να βρούμε την σύνθετη αντίσταση του πίνακα διανομής του μηχανοστασίου η σύνθετη αντίσταση των καλωδίων πρέπει να προστεθεί στη σύνθετη αντίσταση των γεννητριών , καλωδίων και κινητήρων. Ξέρουμε ότι το ρεύμα βραχυκύκλωσης των γεννητριών και των κινητήρων είναι 18,5KA , γι' αυτό μπορούμε να υπολογίσουμε την σύνθετη αντίσταση όπως παρακάτω :

——————— → ————

Προσθέτοντας έχουμε:

) = Z (ERDP) =

3,547% +2,7452% = 6,2922%

Τώρα το ρεύμα βραχυκύκλωσης στον πίνακα διανομής του μηχανοστασίου μπορεί να υπολογισθεί χρησιμοποιώντας την παρακάτω εξίσωση:

——————————— = ————

3.11.6 Τιμές ασύμμετρων ρευμάτων βραχυκύκλωσης.

Τα μεγέθη των ασύμμετρων ρευμάτων μπορούν να υπολογισθούν πολλαπλασιάζοντας την τιμή του συμμετρικού ρεύματος που βρήκαμε παραπάνω με τους αντίστοιχους συντελεστές που αναφέραμε προηγουμένως.

a) Για κύριο πίνακα έχουμε RMS συμμετρικό ρεύμα = 18,5KA

Μέσο ασύμμετρο ρεύμα =

Μέγιστο ασύμμετρο ρεύμα = 1,8

Στιγμιαίο ασύμμετρο ρεύμα =

b) Για πίνακα μηχανοστασίου έχουμε RMS συμμετρικό ρεύμα = 10,43KA

Μέσο ασύμμετρο ρεύμα =

Μέγιστο ασύμμετρο ρεύμα =

Στιγμιαίο ασύμμετρο ρεύμα =

3.11.7 Μεγέθη διακοπτών ισχύος στον πίνακα διανομής του μηχανοστασίου.

Οι ανακρίβειες που αναφέραμε για τον κύριο πίνακα διανομής και το επίπεδο σφαλμάτων στους υπολογισμούς, παρουσιάζονται εξίσου και στους υπολογισμούς του πίνακα διανομής του μηχανοστασίου. Παρ' όλα αυτά η ανακρίβεια 10% που δεχτήκαμε στον κύριο πίνακα διανομής, εδώ στον πίνακα διανομής του μηχανοστασίου είναι της τάξης του 6%. Οι κύριες ανακρίβειες οφείλονται στο μήκος των καλωδίων τροφοδοσίας , τιμές αντίστασης και αντίδρασης. Πάλι δίνουμε ένα περιθώριο 10% και επιλέγουμε τον επόμενο υψηλότερο διακόπτη όπου για τον πίνακα διανομής θα είναι:

όπου το επόμενο μέγεθος διακόπτη που υπάρχει είναι 14KA.

3.11.8 Οι επιπτώσεις του υπολογισμού της σύνθετης αντίστασης καλωδίων.

Ο σκοπός αυτού του υπολογισμού είναι να μας δείξει την επίδραση της σύνθετης αντίστασης στο βραχυκύκλωμα. Είναι φανερό ότι εάν συμπεριλάβουμε την σύνθετη αντίσταση των καλωδίων των γεννητριών, δεν επηρεάζει την επιλογή των διακοπτών ισχύος του κύριου πίνακα. Παρ' όλα αυτά στον πίνακα διανομής του μηχανοστασίου τα καλώδια δραστικά μειώνουν το υπολογισμένο επίπεδο του βραχυκυκλώματος και

μπορούν να χρησιμοποιηθούν διακόπτες ισχύος 2 επιπέδων κάτω από ότι χρησιμοποιήθηκαν στον κύριο πίνακα με ασφάλεια.

3.12 Τι γίνεται με το λάθος συντελεστή ισχύος και την βεβαιότητα ότι η σύνθετη αντίσταση των καλωδίων πρέπει να επηρεάζει το ασύμμετρο ρεύμα;

Αυτό είναι πολύ σωστό και παράγει πολλά αποτελέσματα.

a) Είναι ο συντελεστής ισχύος του βραχυκυκλώματος ένα αποτέλεσμα;
b) Τι είναι η ασυμμετρία;
c) Αυτοί οι υπολογισμοί επηρεάζουν τη βασική γραμμή επιλογής του διακόπτη ισχύος;

Κάθε ένα από τα παραπάνω θέματα μπορούν να είναι μάλλον αντικείμενο πολλών σελίδων, αν θελήσουμε να έχουμε λεπτομερή ανάλυση θα προσπαθήσουμε να έχουμε μια σύντομη εξήγηση.

3.12.1 Συντελεστής ισχύος βραχυκυκλώματος

Ο συντελεστής ισχύος βραχυκυκλώματος είναι ο συντελεστής ισχύος του κυκλώματος όταν εμφανιστεί το βραχυκύκλωμα. Εξαρτάται από όλα τα στοιχεία που περιλαμβάνονται στη σύνθετη αντίσταση. Η βασική επίδραση είναι στην τάση που αναπτύσσεται πάνω στις επαφές του διακόπτη ισχύος. Τη στιγμή που ο διακόπτης ανοίγει το ρεύμα του κυκλώματος στα μέρη των επαφών πάει στο μηδέν. Σ' αυτό το σημείο το τόξο που παρουσιάζεται στις επαφές του διακόπτη εξαλείφεται και το ρεύμα σπάει. Εάν υπήρχε μόνο αντίσταση στο κύκλωμα, η τάση όταν ρεύμα είναι μηδέν, θα ήταν μηδέν. Όταν υπάρχει όμως σύνθετη αντίσταση στο κύκλωμα, οι ακαριαίες τιμές του μηδενικού ρεύματος και μηδενικής τάσης, εμφανίζονται σε διαφορετικές χρονικές στιγμές. Συνεπώς, είναι πολύ πιθανό όταν το ρεύμα πάει στο μηδέν, η τάση να είναι λογικά υψηλή και το τόξο επανεγκαθίσταται από μόνο του με προσφιλές αποτέλεσμα ότι ο διακόπτης ισχύος δεν κάνει τη δουλειά του, μπορεί να γίνει εκκένωση ή ακόμα και έκρηξη. Για αυτό μια εκτίμηση του συντελεστή ισχύος κάτω από συνθήκες βραχυκυκλώματος είναι μια σπουδαία θεώρηση. Ο συντελεστής ισχύος του κυκλώματος κάτω από τις συνθήκες βραχυκυκλώματος πρέπει να ληφθεί υπόψη όταν επιλέγουμε τους διακόπτες του κυκλώματος. Φυλλάδια των κανονισμών των διακοπτών ισχύος θα μας δείξουν πως είναι τεσταρισμένοι οι διακόπτες ισχύος κάτω από συνθήκες βραχυκυκλώματος. Η ανταπόκριση του συντελεστή ισχύος στο σπάσιμο του

ρεύματος στο διακόπτη ισχύος είναι απαραίτητη. Οι διακόπτες του κυκλώματος που έχουν μεγέθη 10000A και πάνω συμμετρικό συνήθως, δοκιμάζονται με συντελεστή ισχύος από 0,15 – 0,3. Ανάλογα πρέπει να χρησιμοποιούνται σε κυκλώματα όπου η αναμενόμενη ισχύ βραχυκυκλώματος είναι ίση ή μεγαλύτερη από αυτήν την τιμή. Εάν η αναμενόμενη τιμή του συντελεστή ισχύος είναι μικρότερη, υπάρχει κίνδυνος ο διακόπτης ισχύος να μη λειτουργήσει σωστά.

3.12.2 Ασυμμετρία κυκλώματος

Η ασυμμετρία κυκλώματος παρουσιάζεται όταν ένα ηλεκτρικό κύκλωμα περιλαμβάνει στοιχεία άλλα, εκτός της αντίσταση, τέτοια όπως αυτεπαγωγή των γεννητριών και καλωδίων. Έχει δυναμικά χαρακτηριστικά σύμφωνα με το αποτέλεσμα όποτε αλλάζει το ρεύμα στο κύκλωμα εξαιτίας μιας διακοπής ή βραχυκυκλώματος. Ένα μεταβατικό ρεύμα παρουσιάζεται που προκαλεί αιχμές ρεύματος υψηλότερες από εκείνες που προκαλούνται από τα ωμικά στοιχεία, μόνο. Παρόλα αυτά, η μεταβατικότητα με την πάροδο του χρόνου μειώνεται και το ρεύμα εγκαθίστανται σε μια συμμετρική κυματομορφή. Το ποσό της ασυμμετρίας κάτω από συνθήκες σφάλματος εξαρτάται από την ποσότητα της αυτεπαγωγής που οφείλεται στη γεννήτρια και στα καλώδια διανομής, αναλόγως διαφέρει σε διαφορετικά σημεία του συστήματος διανομής. Η ποσότητα της ασυμμετρίας επηρεάζεται από τις στιγμιαίες τιμές του ρεύματος βραχυκυκλώματος. Κατά συνέπεια επηρεάζει τους πολλαπλασιαστικούς συντελεστές που εμφανίζονται στο συμμετρικό ρεύμα, έτσι ώστε να βρίσκουμε τα ασύμμετρα μεγέθη αλλού και διάφορα μεγέθη στους διακόπτες του κυκλώματος. Γενικά, όταν λαμβάνονται στους υπολογισμούς έχουμε αποτελέσματα χαμηλότερων τιμών στα ασύμμετρα ρεύματα.

3.13 Πώς μπορώ εύκολα να εκτιμήσω τον συντελεστή ισχύος και να εξασφαλίσω τη σωστή λειτουργία των διακοπτών του κυκλώματος;

Υπάρχουν απλοί και αυστηροί τρόποι για να κάνει ο μηχανικός μια εκτίμηση της κατάστασης. Δυστυχώς οι απλές μέθοδοι απαιτούν επί μακρόν κατά προσέγγιση ηλεκτρικούς υπολογισμούς και είναι από μόνοι τους αντικείμενο για ανακρίβειες. Η επιλογή της μεθόδου απαιτεί εμπειρία του μηχανικού βασισμένη στην αξιοπιστία και στις ικανότητες των διακοπτών ισχύος του κυκλώματος. Ένα βραχυκύκλωμα αναλόγως

επιδρά στον διακόπτη επί το ωμικό και το επαγωγικό κύκλωμα. Αυτό προκαλεί την ύπαρξη ενός ασύμμετρου ρεύματος στο κύκλωμα.

Το ασύμμετρο ρεύμα μπορεί να χωρισθεί σε 2 μέρη, το συμμετρικό μέρος το οποίο είναι σταθερό και σε ένα τμήμα που μειώνεται με το χρόνο κάτω του μηδενός.

Το συμμετρικό μέρος συχνά αναφέρεται σαν a.c συνισταμένη και η τιμή εξαρτάται αρχικά από τη γεννήτρια και τα χαρακτηριστικά του συστήματος. Το ελατούμενο μέρος συχνά αναφέρεται σαν d.c συνισταμένη και η τιμή εξαρτάται από την στιγμιαία τιμή που εμφανίζεται στο βραχυκύκλωμα. Η συμμετρική συνισταμένη του ρεύματος βραχυκύκλωσης υπολογίζεται με παρόμοιο τρόπο όπως προηγουμένως. Οι στιγμιαίες τιμές και ασύμμετρες τιμές υπολογίζονται χρησιμοποιώντας πολλαπλασιαστικούς συντελεστές και εξαρτώνται από το συντελεστή ισχύος του βραχυκυκλώματος. Οι σταθερές τιμές παραθέτονται παραπάνω. Η μέθοδος υπολογισμού έχει επεξηγηθεί προηγουμένως. Θα υπολογίσουμε τα μεγέθη του ρεύματος βραχυκύκλωσης στο προηγούμενο παράδειγμα βρίσκοντας το συντελεστή ισχύος βραχυκυκλώματος και θα αξιολογήσουμε τα αποτελέσματα.

Παράδειγμα

Υπολογισμός ρεύματος βραχυκύκλωσης για φορτηγό πλοίο και προσδιορισμό των μεγεθών διακοπτών στον κύριο πίνακα και στον πίνακα διανομής του μηχανοστασίου. Οι γεννήτριες είναι 3x400 KW, συνφ= 0,8 και όλες λειτουργούν παράλληλα. Τα φορτία των κινητήρων είναι 300 KW. Το ηλεκτρικό σύστημα είναι τριφασικό 440 Volts. Η υπομεταβατική σύνθετη αντίσταση είναι 12%. Οι γεννήτριες συνδέονται με τον κύριο πίνακα διανομής χρησιμοποιώντας 2 γύρους καλωδίων 3φ αγωγών 500 MCM μήκους 5 m . Ο πίνακας ισχύος του μηχανοστασίου συνδέεται με τον κύριο πίνακα χρησιμοποιώντας 1 γύρο καλωδίων 3φ αγωγών μήκους 20 m.

3.13.1 Συνεισφορά γεννητριών.

Αυτή τη φορά θα χρειαστούμε την ωμική αντίσταση της γεννήτριας καθώς και την επαγωγική αντίδραση. Η αντίσταση μπορεί να βρεθεί από τον κατασκευαστή ή από καταλόγους. Συνήθως αναφέρεται σαν «ra» ή επαγωγική αντίσταση. Για γεννήτριες του μεγέθους 400 KW η επαγωγική αντίσταση είναι συνήθως 1,2%. Οι κατασκευαστές των γεννητριών μπορούν να παρέχουν ειδικά στοιχεία για ειδικές μηχανές. Σύμφωνα με την επιθυμία να διασφαλίσουμε την καταλληλότητα της ανάλυσης του ρεύματος βραχυκύκλωσης. Τέτοια δεδομένα θα πρέπει να

συμπεριληφθούν στην σύμβαση απαιτήσεων και να παρέχονται στο μελετητή πριν το σύστημα σχεδιαστεί και τελειοποιηθεί.

Γι' αυτό το παράδειγμα ή υπομεταβατική και σύνθετη αντίσταση μιας γεννήτριας είναι 12% βασιζόμενη στα 400 KW. Γι' αυτό μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την αντίσταση 1,2% για να υπολογίσουμε την υπομεταβατική επαγωγική αντίδραση χρησιμοποιώντας την παρακάτω εξίσωση.

Σύνθετη αντίσταση (z)= .

Γενικά η υπομεταβατική αντίδραση γράφεται σαν X

X =

Ξέρουμε τα καλώδια των γεννητριών είναι 2 γύροι 5m μήκους 3φ αγωγών 500 MCM. Καθώς ξέρουμε από προηγουμένως για 60 Hz τα καλώδια έχουν αντίσταση R = 0,069 Ω/Km και επαγωγική αντίδραση X = 0.092 Ω/Km. Οι παραπάνω τιμές παίρνονται από πίνακες. Ο λόγος της αντίστασης και της σύνθετης αντίστασης είναι σημαντικός. Αντί να υπολογίσουμε την % σύνθετη αντίσταση απευθείας χρειαζόμαστε να υπολογίσουμε την % αντίσταση και την % σύνθετη αντίσταση ξεχωριστά. Αυτές οι τιμές υπολογίζονται ακριβώς όπως και προηγουμένως χρησιμοποιώντας την παρακάτω εξίσωση.

Επί % αντίσταση =

Επί % αντίδραση =

Τώρα για 2 γύρους καλωδίων 5m θα έχουμε ανάλογα

αντίσταση =

αντίδραση = αυτές οι τιμές προστίθενται ξεχωριστά στην αντίσταση της γεννήτριας και στην υπομεταβατική αντίδραση της γεννήτριας, η γεννήτρια και τα καλώδια συνδέονται σε σειρά, οπότε έχουμε :

R(g+c)% = 1,2%+0,0455% = 1,2455%

X(g+c)% = 11,94%+0,0594% = 12%

Από τις παραπάνω τιμές βρίσκουμε τη σύνθετη αντίσταση γεννήτριας και καλωδίων:

Z(g+c)% = = 12,064%

Τώρα για 3 όμοιες γεννήτριες η συνολική παράλληλη σύνθετη αντίσταση είναι:

Ztotal = = = 4,021%

Οι διαφορές μεταξύ αυτού του υπολογισμού και προηγουμένων είναι ελάχιστες. Πρέπει να θυμόμαστε ότι το ρεύμα βραχυκύκλωσης είναι ανυσματικό μέγεθος και τα στοιχεία της αντίστασης και επαγωγικής αντίδρασης του κυκλώματος τελικά επηρεάζουν το συντελεστή ισχύος.

Ο συντελεστής ισχύος υπολογίζεται όπως παρακάτω:

συνφ = —— = 0,103241

Γι' αυτό το ρεύμα βραχυκύκλωσης των γεννητριών θα είναι :

Igc(1,2,3) = ———

Ο υπολογισμός αυτός είναι συγκρίσιμος με το αποτέλεσμα που βρήκαμε προηγουμένως (16301A), μόνο που τώρα ξέρουμε το (συνφ = 0,1032) γι' αυτό το κομμάτι του ρεύματος βραχυκύκλωσης.

3.13.2 Συνεισφορά φορτίων κινητήρων.

Η συνεισφορά των κινητήρων θα διανεμηθεί με τον ίδιο τρόπο όπως και προηγουμένως. Θεωρούμε ότι όλοι οι κινητήρες είναι συνδεδεμένοι στον κύριο πίνακα διανομής, οπότε πρέπει να γνωρίζουμε την αντίσταση του κινητήρα και την επαγωγική αντίδραση. Αποδεχόμαστε την παραδοχή ότι η σύνθετη αντίσταση Z που ισότιμα συνεισφέρει σ' ένα ρεύμα βραχυκύκλωσης 4 φορές το πλήρες ρεύμα φορτίου είναι 25%. Και γενικά ο λόγος μεταξύ υπομεταβατικής αντίδρασης και σύνθετης αντίστασης είναι 0,94 , δηλαδή:

0,94 = —— —— για ημφ = 0,94

φ =70,051

συνφ = –

Γι' αυτό η συνεισφορά των κινητήρων θα είναι :

Iscm = 4x547A = 2188A με συνφ = 0,341

3.13.3 Ρεύμα βραχυκυκλώσεως γεννήτριας και κινητήρων.

Για να βρούμε το ρεύμα βραχυκύκλωσης στον κύριο πίνακα διανομής χρειαζόμαστε να υπολογίσουμε το άθροισμα συνεισφοράς γεννητριών και κινητήρων. Επειδή αυτές οι

τιμές είναι και οι δύο διανυσματικές θα τις προσθέσουμε χρησιμοποιώντας διανυσματικά μαθηματικά. Θα αλλάξουμε από πολικές συντεταγμένες σε μιγαδικές και θα τις αθροίσουμε.

$$Iscc\ (g+c)\ (1,2,3) = 16.317^{\,84,074} = 1684,6388 + 16229803i$$

Ανάλογα για τους κινητήρες

$$Iscc\ (m) = 2188^{\,70,051} = 746,50965 + 2056,7128i$$

Αθροίζοντας έχουμε:

$$Iscc\ (g+c)(1,2,3,m) = 2431,1485 + 18286,516i = 18447,418^{\,82,427073}$$

όπου συνφ = 0,131788

3.13.4 Συντελεστής ισχύος.

Οπότε η διανυσματική τιμή του ρεύματος βραχυκυκλώματος στον κύριο πίνακα είναι:

$$Iscc\ (g+c)\ (1,2,3,m) = 18447A^{\,82,43}, \quad \text{οπότε}$$

συνφ = συν (82,43

Η παραπάνω τιμή χρησιμοποιείται για 2 σκοπούς. Ο ένας είναι για να ελέγξει τις ικανότητες των προτεινόμενων διακοπτών ισχύος συγκρίνοντας αυτή την τιμή με την τεσταρισμένη τιμή των διακοπτών του κυκλώματος και δεύτερος είναι για να υπολογίσει τις ασύμμετρες τιμές του ρεύματος βραχυκύκλωσης.

Για προσδοκώμενους διακόπτες ισχύος με ρεύμα βραχυκύκλωσης 22ΚΑ, ο ι διακόπτες γενικά τεστάρονται μεταξύ 0,15 - 0,2 συντελεστή ισχύος. Οι κανονισμοί μας επιτρέπουν να τεστάρουμε σε χαμηλότερους συντελεστές και αν οι διακόπτες ισχύος που θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε δεν έχουν δοκιμαστεί με χαμηλότερο συντελεστή ισχύος θα ήταν σωστό να ελεγχθούν από τον κατασκευαστή ότι ο προσδοκώμενος συντελεστής ισχύος (0,1317) είναι ικανοποιητικός.

3.13.5 Γρήγοροι υπολογισμοί.

Όταν ολοκληρωθούν οι λεπτομερείς υπολογισμοί του ρεύματος βραχυκύκλωσης είναι δύσκολο να αποδράσουμε από τα διανυσματικά μαθηματικά. Παρ' όλα αυτά όταν υπολογίζουμε στον κύριο πίνακα διανομής το ρεύμα βραχυκύκλωσης σε μια μέση ναυτική εγκατάσταση, τα παραπάνω αποτελέσματα είναι πολύ τυπικά. Κατά συνέπεια για το επίπεδο της ακρίβειας είναι εφικτό να χρησιμοποιήσουμε αυτές τις μεθόδους αριθμητικά, προσθέτοντας τα ρεύματα βραχυκύκλωσης της γεννήτριας και κινητήρων και να υπολογίσουμε ένα συντελεστή ισχύος μεταξύ 0,12 - 0,15 που είναι γενικά αποδεκτός όπως στο παράδειγμά μας.

Περισσότεροι λεπτομερείς υπολογισμοί θα ήταν αναγκαίοι για εγκαταστήσεις με μεγάλο << bowthrusters>> = (κινητήρες σε έλικες ελιγμού) ή αντλίες φορτώματος με μεγέθη ανάλογα με τη μία γεννήτρια και τροφοδοτούνται από τον κύριο πίνακα ή εναλλακτικά αν μία ή περισσότερες γεννήτριες είναι εγκατεστημένες για παράδειγμα στην πρωριαία δεξαμενή, ή σε άλλες θέσεις μακριά από τον κύριο πίνακα. Σε τέτοιες περιπτώσεις τα φορτία μεγάλων κινητήρων και τα καλώδια των γεννητριών θα αλλάξουν μεγαλώνοντας το συντελεστή ισχύος κοντά στο 0,15 ή και υψηλότερα.

3.13.6 Υπολογισμός ασύμμετρου ρεύματος βραχυκυκλώματος από μαθηματικές εξισώσεις.

Οι ασύμμετρες τιμές μπορούν να υπολογισθούν ή από μαθηματικές εξισώσεις ή από πίνακες που προέρχονται από διεθνείς κανονισμούς { Figure 11-1 in IEEE STD 45-1998 and Table 3 in the transport marine safety code TP 127 }

Οι εξισώσεις δείχνουν για ωμικό και επαγωγικό κύκλωμα τις ασύμμετρες τιμές ρεύματος για 0,5 κύκλο ρεύματος και δίνονται από τις παρακάτω εξισώσεις :

a) Στιγμιαία τιμή Ipk = ‾ Irms [1+ ___]

b) Ασύμμετρο RMS Iasy rms = Irms [___]

c) Μέσο 3 φ RMS $I_{3phavg\ rms}$ = Irms [1/3 $\sqrt{\ }$ + $\sqrt{\ }$ 2/3 $\sqrt{\ }$],

όπου συνφ = 0,1317

Αντικαθιστώντας στις παραπάνω εξισώσεις έχουμε :

a) Ipk = $\sqrt{\ }$ 18447 [1+ $\sqrt{\ }$]

b) $I_{asy\ rms}$ = 18447 [$\sqrt{\ }$] = 18447 [$\sqrt{\ }$] =

c) $I_{3phavg\ rms}$ = 18447 [1/3 $\sqrt{\ }$ + 2/3 $\sqrt{\ }$ $\sqrt{\ }$] = 18447 [0,4556155 + 0,7355] = 18447 (1,1911)

Έχουμε υπολογίσει για αυτή την εγκατάσταση συμμετρικό ρεύμα RMS = 18,447KA, άρα μπορούμε να έχουμε σε 0,5 cycles

Στιγμιαίο ρεύμα Ipk = 43,208KA = 2,3423

Ασύμμετρο RMS ρεύμα Iasg rms = 25,214KA = 1,367 μέσω 3φ rms

$I_{3phavgrms}$ = 22 KA = 1,19 με συντελεστή ισχύος βραχυκυκλώματος συνφ = 0,1317.

3.13.7 Υπολογισμός ασύμμετρου ρεύματος βραχυκυκλώσεως από πίνακες.

Οι παραπάνω τιμές μπορούν να υπολογισθούν από πίνακες χρησιμοποιώντας το συντελεστή ισχύος (συνφ) και την εφαπτομένη (εφφ) σύμφωνα με τον κανονισμό Figure

1-1 of IEEE 45 - 1998, για εφφ = 0,7527 έχουμε αντίστοιχους συντελεστές για συμμετρικό RMS ρεύμα = 18,447KA, K1 = 1,195 και K2 = 1,373.

- Για ασύμμετρο RMS Iasy rms = K2
- Για μέσο 3Φ RMS I_{3phavg} rms = K1

Παρατηρούμε παραπλήσια αποτελέσματα.

3.13.8 Μηχανοστάσιο και πίνακας διανομής.

Το ρεύμα βραχυκύκλωσης στον κύριο πίνακα διανομής οφειλόμενο στη γεννήτρια και $82,432^0$ στη συνεισφορά των κινητήρων το βρήκαμε Iscc(g+c) (1,2,3,m) = 18,447 KA και με συνφ=0,1317, αυτό μπορεί να μας βοηθήσει να υπολογίσουμε την % σύνθετη αντίσταση χρησιμοποιώντας τον παρακάτω τύπο:

Isc = ——————— ———

Αυτή η σύνθετη αντίσταση αποτελείται από 2 μέρη, την ωμική αντίσταση R και την επαγωγική αντίσταση X όπου έχουμε:

συνφ = R/Z και

αντίστοιχα:

ημφ = X/Z

Όπως είναι γνωστό ο πίνακας διανομής του μηχανοστασίου συνδέεται με τον κύριο πίνακα με 1 γύρο καλωδίων μήκους 20 m 3φ αγωγών , τα οποία έχουν τα παρακάτω χαρακτηριστικά.

- Ωμική αντίσταση καλωδίου —
- Επαγωγική αντίσταση καλωδίου —
- Ωμική αντίσταση καλωδίων τροφοδοσίας μηχανοστασίου —

  —
- Επαγωγική αντίσταση καλωδίων τροφοδοσίας μηχανοστασίου —

  —

- Σύνθετη αντίσταση καλωδίων ——— = ——————— = 0,0106 Ω ,

Μετατρέποντας τις παραπάνω τιμές σε % έχουμε αντίστοιχα:

R% = ————

X% = ———— 0,0021 = 0,542%

Άρα οι συνολικές τιμές είναι αντίστοιχα:

$R_{(g+c)\ 1,2,3,m\ ERDP}$ = 0,468 % + 2,686 % =3,154 %

$X_{(g+c)\ 1,2,3,m\ ERDP}$ = 3,526 % + 0,542 % = 4,068 %

Άρα η $Z_{(g+c)1,2,3,\ ERDP}$ =

——————————————————— =

——————— = ———————— = 5,1474596

3.13.9 Υπολογισμός συμμετρικού ρεύματος μηχανοστασίου.

Η τιμή της σύνθετης αντίστασης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να υπολογίσουμε το rms συμμετρικό ρεύμα βραχυκύκλωσης στον πίνακα διανομής του μηχανοστασίου.

$I_{sc\ ERDP}$= ——— = 12747, 231A

Παρατήρηση: Αυτή η τιμή είναι 22,2 % περίπου υψηλότερη από ότι βρήκαμε προηγουμένως 10,43 KA. (12,747-10,43) = 2,317KA

10,43

100 y % y = 22,214%

3.13.10 Συντελεστή ισχύος πίνακα διανομής μηχανοστασίου.

συνφ = ——————— = ——— = 0,6127841

3.13.11 Ασύμμετρα ρεύματα βραχυκύκλωσης πίνακα διανομής μηχανοστασίου.

a) Στιγμιαία τιμή rms

Ipk = ¯ ¯] = ¯ [1+ ¯] = 19,554 KA

b) Ασύμμετρο rms

Iasy rms = Irms [¯ ¯] = 12,75 [¯] = 12,75

[¯] = 12,85 KA

c) Μέσο 3φ rms

I3phavg rms = Irms [1/3 ¯ + 2/3 ¯] = 12,75 [0,3358859 +0,6679466]

Παρατηρήσεις:

Όπως είχαμε αναφέρει προηγουμένως μπορούμε από λίστες να υπολογίσουμε τα ασύμμετρα ρεύματα Νούμερο 11-1 IEEE45 – 1998 για εφφ = 1,29 , δεν υπάρχουν συντελεστές K1 και K2. Οι πιο κοντινοί συντελεστές K1 και K2 για εφφ = 1,333 φ = 53,13 είναι αντίστοιχα K1 = 1,004 και K2 = 1,009.

Άρα θα έχουμε για Irms = 12,75 KA

Ασύμμετρο RMS Iasy rms = K2

Μέσο 3φ RMS

Τα αποτελέσματα είναι αρκετά κοντά στις ονομαστικές τιμές.

3.13.12 Άθροισμα υπολογισμών ρεύματος βραχυκύκλωσης στον πίνακα διανομής μηχανοστασίου.

Τα υπολογισμένα ρεύματα βραχυκύκλωσης στο μηχανοστάσιο είναι

Συμμετρικό RMS ρεύμα
Iscg = 12,75 KA

a) Στιγμιαία τιμή RMS στους 0,5 κύκλους

   Ipk = 19,554 KA = 1,534

b) Ασύμμετρο RMS ρεύμα

   Iasy rms = 12,85 KA = 1,008

c) Μέσο τριφασικό ρεύμα RMS

I_{3phavg} rms = 12,8 KA = 1,004 Iscg

Συντελεστής ισχύος ρεύματος βραχυκύκλωσης στο μηχανοστάσιο συνφ = 0,613

3.13.13 Σύγκριση μεταξύ Z μεθόδου και X/R μεθόδου.

Μπορούμε τώρα να αθροίσουμε και να συγκρίνουμε τα αποτελέσματα που βρήκαμε από τις δύο διαφορετικές μεθόδους υπολογισμού του ρεύματος βραχυκύκλωσης στον παρακάτω πίνακα 3.1.

Πίνακας 3.1

Κυριος Πινακας Διανομης	Z μεθοδος	X/R μεθοδος
Συμμετρικο RMS Ρευμα	18,5 KA	18,45 KA
Στιγμιαια Τιμη Ipk σε 0,5 κυκλους	48,1 KA	43,208 KA
Ασυμμετρο RMS Ρευμα lasy rms	33,3 KA	25,214 KA
Μεσο 3φ RMS Ισχυ rms	25,9 KA	22 K.A
Συντελεστης Ισχυος	αγνωστος	0,1317
Πινακας Διανομης Μηχανοστασιου	Z μεθοδος	X/R μεθοδος
Συμμετρικο RMS Ρευμα	10,43 KA	12,75 KA
Στιγμιαια Τιμη Ipk σε 0,5 κυκλους	27,118 KA	19,554 KA
Ασυμμετρο RMS Ρευμα lasy rms	18,774 KA	12,85 KA
Μεσο 3φ RMS Ισχυ rms	14,602 KA	12,8 KA
Συντελεστης Ισχυος	αγνωστος	0,613

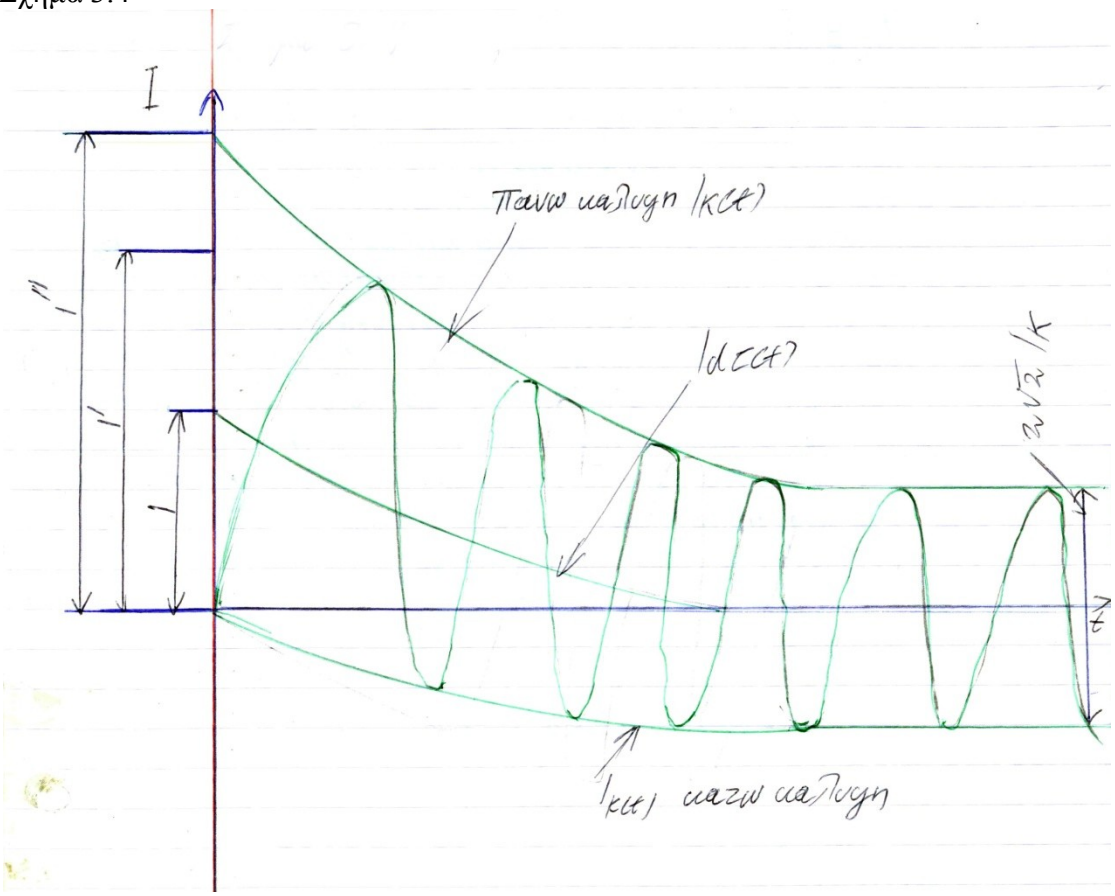
Παρατηρούμε ότι λαμβάνοντας υπόψη τους αντίστοιχους υπολογισμούς του κύριου πίνακα διανομής μας προμηθεύει συγκρίσιμα αποτελέσματα για το RMS συμμετρικό ρεύμα , σε άλλες τοποθεσίες στον πίνακα διανομής του μηχανοστασίου οι διαφορές μπορεί να είναι ουσιώδεις. Μπορεί να ζητηθεί να υπολογισθούν οι ασύμμετρες τιμές σε θέσεις μακριά από τον κύριο πίνακα διανομής, τότε ένας πλήρης υπολογισμός που να διαχωρίζει τα χαρακτηριστικά των καλωδίων σε ωμικά και επαγωγικά στοιχεία προτιμάται. Θα πρέπει να θυμόμαστε ότι ανακρίβειες συντροφεύουν αυτές τις υπολογιστικές μεθόδους. Σημαντικό είναι ακόμα ότι η συμμετρική rms τιμή του ρεύματος βραχυκύκλωσης έχει υπολογισθεί βασιζόμενη στα 440 Volt ονομαστική τάση του συστήματος και όχι λαμβάνοντας υπόψη την εσωτερική τάση της γεννήτριας πίσω από την υπομεταβατική αντίδραση.

Ισοδύναμης σημασίας είναι ότι οι ασύμμετρες τιμές έχουν όλες υπολογισθεί βασισμένες στη συμμετρική τιμή rms , υπολογισμένη την χρονική στιγμή t = 0, αλλά οι υπολογισμοί των ασύμμετρων τιμών έχουν όλοι υπολογιστικές τιμές στους 0,5 κύκλους του ρεύματος βραχυκύκλωσης.
Το πιο σημαντικό συμπέρασμα είναι ότι το συμμετρικό ρεύμα έχει υπολογισθεί χωρίς να λάβουμε υπόψη το χρόνο στην αρχή του σφάλματος. Μια γρήγορη αντίδραση στα παραπάνω είναι ότι η αύξηση του ρεύματος βραχυκύκλωσης οφείλεται στην αύξηση της εσωτερικής τάσης των γεννητριών. Αυτό πιθανώς εξισορροπείται από τη μείωση που θα εμφανιζόταν εάν το συμμετρικό rms ρεύμα υπολογιζόταν στους 0,5 κύκλους. Είναι μια ενδιαφέρουσα αντίδραση αλλά δεν είναι κάτι που μπορούμε να εγγυηθούμε.

3.14 Έτσι ποια είναι η αλήθεια για τους υπολογισμούς του ρεύματος βραχυκυκλώματος;

Για να καταλάβουμε την προηγούμενη κριτική είναι σημαντικό πρώτα να καταλάβουμε τι είναι πραγματικά συμμετρικές και ασύμμετρες τιμές.
Στο σχήμα 3.4 δείχνεται η καμπύλη μείωσης του ρεύματος βραχυκύκλωσης μιας σύγχρονης γεννήτριας.

Σχήμα 3.4



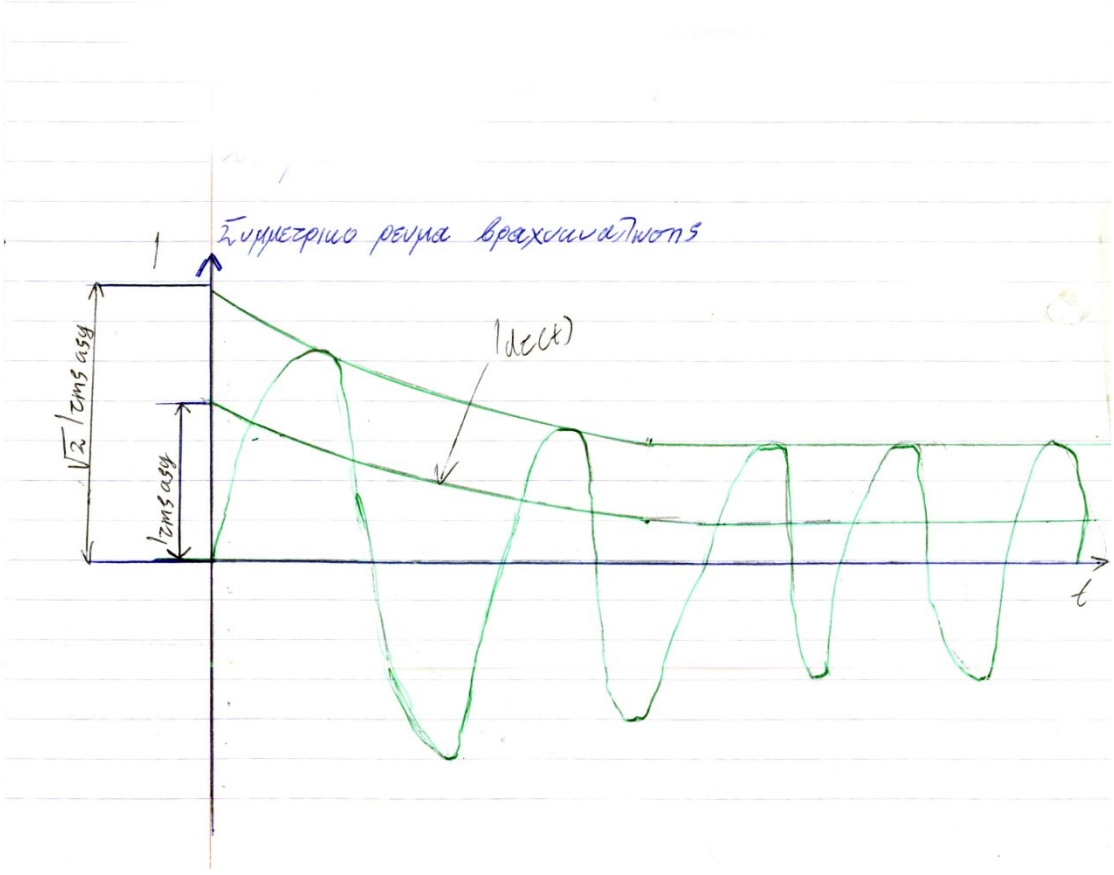
Όπου:
Ι΄΄ = Υπομεταβατική συνιστώσα του ρεύματος βραχυκύκλωσης.

I΄ = Μεταβατική συνιστώσα του ρεύματος βραχυκύκλωσης.
I = Μόνιμη κατάσταση του ρεύματος βραχυκύκλωσης.
Idc(t) = Μειούμενη συνεχή συνιστώσα του ρεύματος βραχυκύκλωσης.
I΄΄ = 2 ¯ ΄΄κ
Όπου:
I΄΄κ = αρχικό συμμετρικό ρεύμα βραχυκύκλωσης,
Iκ = Ρεύμα βραχυκύκλωσης μόνιμης κατάστασης.

Το παραπάνω σχήμα μας δείχνει το δρόμο της μείωσης του ρεύματος βραχυκύκλωσης σε μια περίοδο του χρόνου. Είναι μια χρονικά εξαρτώμενη μείωση εναλλασσόμενου ρεύματος. Το ασύμμετρο ρεύμα έχει μια στιγμιαία τιμή και μια RMS τιμή Iasy rms. Το ασύμμετρο ρεύμα αποτελείται από 2 συνιστώσες, την εναλλασσόμενη συνιστώσα Iac(t) και τη συνεχή συνιστώσα Idc(t), οι οποίες εξαρτώνται από το χρόνο. Εάν η συνεχή συνιστώσα μετακινηθεί από το ασύμμετρο ρεύμα, το ρεύμα γίνεται συμμετρικό. Το συμμετρικό RMS ρεύμα στην περίπτωση που χρησιμοποιείται η υπομεταβατική σύνθετη αντίσταση ονομάζεται Irms sym (σχήμα 3.5)

Σχήμα 3.5

Συμμετρικό ρεύμα βραχυκύκλωσης.



Φαίνεται ότι η RMS τιμή ανταποκρινόμενη στην μέγιστη τιμή στη διάρκεια των πρώτων 0,5 cycle του ρεύματος βραχυκυκλώματος είναι κάπως λιγότερη. Και εφόσον οι υπολογιζόμενες τιμές του ασύμμετρου ρεύματος είναι πολλαπλάσιες της συμμετρικής τιμής, θα είναι λίγο λιγότερο από ότι υπολογίσαμε παραπάνω.

3.15 Είναι αλήθεια ότι οι πραγματικές τιμές είναι λιγότερες από αυτές που υπολογίσαμε παραπάνω;

Η απάντηση είναι, «εξαρτάται».
Μέχρι τώρα οι υπολογισμοί του ρεύματος βραχυκύκλωσης έχουν παραδεχθεί μια μοναδική τιμή για την υπομεταβατική σύνθετη αντίσταση. Δυστυχώς αυτό δεν είναι σωστό όπως φαίνεται στο σχήμα 3.4. Το ρεύμα βραχυκύκλωσης μειώνεται στους πρώτους κύκλους και μετά γίνεται σταθερή τιμή. Γι' αυτό η σύνθετη αντίσταση αυξάνεται, ή η εσωτερική τάση μειώνεται ή ένας συνδυασμός και των δυο.
Όταν υπολογίζουμε ένα ρεύμα βραχυκύκλωσης στον πίνακα διανομής εγκατεστημένο μερικές εκατοντάδες μέτρα μακριά από τον κύριο πίνακα, η πραγματική μείωση μπορεί να μην είναι τόσο σημαντική στο ρεύμα βραχυκύκλωσης γιατί βασικά εξαρτάται από την σύνθετη αντίσταση των καλωδίων τροφοδοσίας. Παρ όλα αυτά για τον κύριο πίνακα και οι πίνακες που είναι εγκατεστημένοι κοντά σε αυτόν και χρησιμοποιούν διακόπτες ισχύος που ανοίγουν λιγότερο από 0,5 κύκλους, η μείωση μπορεί να επηρεάσει τα μεγέθη των διακοπτών της εγκατάστασης.
Η μείωση του ρεύματος βραχυκύκλωσης στη διάρκεια των πρώτων λίγων κύκλων παρουσιάζεται γιατί η μαγνητική επιρροή και ο κορεσμός που προκαλείται από τις υψηλές τιμές του ρεύματος βραχυκύκλωσης επηρεάζει τις παραμέτρους της μηχανής. Οι ηλεκτρολόγοι μηχανικοί έχουν ποσοτικοποιήσει αυτές τις επιδράσεις λαμβάνοντας υπόψη τις παραμέτρους της μηχανής σε τρεις χρονικές περιόδους. Οι εσωτερικές τιμές που αναφέρονται σαν «υπομεταβατικές», οι τιμές που ακολουθούν την υπομεταβατική περίοδο ονομάζονται «μεταβατικές» τιμές και τελικά οι τιμές εκείνες που λαμβάνουν χώρα σε σταθερές καταστάσεις, τιμές «σταθερής κατάστασης».
Οι υπομεταβατικές και μεταβατικές τιμές εξαρτώνται από το χρόνο και έχουν σταθερές χρόνου, που συνδυάζονται με αυτές, σαν υπομεταβατική και μεταβατική σταθερά χρόνου.

3.16 Υπάρχει υπολογιστική μέθοδος που να ξεπερνά αυτά τα προβλήματα;

Για ναυτικές εγκαταστάσεις υπάρχει η υπολογιστική μέθοδος από τη διεθνή ηλεκτροτεχνική επιτροπή IEC 61363-1 και ίσως η καλύτερη διαθέσιμη μέχρι τώρα. Καλύτερη σημαίνει ότι η μέθοδος IEC χρησιμοποιεί την ελάχιστη ποσότητα υπολογισμού στη διαδικασία και παράγει τις χαμηλότερες υπολογιστικές τιμές του

ρεύματος βραχυκυκλώσεως, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν με εμπιστοσύνη στην επιλογή των διακοπτών ισχύος. Η IEC μέθοδος κάνει ακόμα βέβαιο ότι οι υποθέσεις που συστήνονται σαν ανακρίβειες εκτιμώνται να επηρεάσουν το αποτέλεσμα λιγότερο από 10%.

Η IEC μέθοδος βασίζεται στον υπολογισμό του παραπάνω περιβάλλοντος του ρεύματος βραχυκυκλώματος στα διαφορετικά χρονικά διαστήματα στην προσπάθεια να πετύχουμε μέγιστες τιμές. Έχοντας βρει το ρεύμα βραχυκύκλωσης στον κύριο πίνακα, οι τιμές σε άλλους πίνακες διανομής υπολογίζονται παρόμοια όπως δείξαμε παραπάνω, χρησιμοποιώντας την αντίσταση καλωδίων και την επαγωγική αντίδραση για να βρούμε την τιμή της σύνθετης αντίστασης. Η επιπλέον αλλαγή στο κύκλωμα από τις χρονικές σταθερές περιλαμβάνει το αποτέλεσμα από τα επιπλέον καλώδια τροφοδοσίας. Φορτία κινητήρων που μπορούν να υπολογισθούν είναι συμπαγή στον κύριο πίνακα ή χωρισμένα εκτός της εγκατάστασης. Μεγάλοι κινητήρες υπολογίζονται ξεχωριστά χρησιμοποιώντας τους κινητήρες φθείροντας εκθετικά το ρεύμα βραχυκύκλωσης.

Οι βασικές εξισώσεις που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του ρεύματος βραχυκύκλωσης στις γεννήτριες είναι οι παρακάτω:

a) Εναλλασσόμενη συνιστώσα Iac(t)

$$Iac(t) = (I''kd - Ikd')\ n(\text{—}) + (I\ kd - Ikd)\ n(\text{—}) + Ikd$$

b) Συνεχή συνιστώσα Idc(t)

$$Idc(t) = \bar{\ }\ (I''kd - Io\eta\mu\varphi)\ \text{—}$$

c) Συνολικό ρεύμα βραχυκύκλωσης Ik(t)

$$Ik(t) = \bar{\ }\ Iac(t) + Idc(t),$$

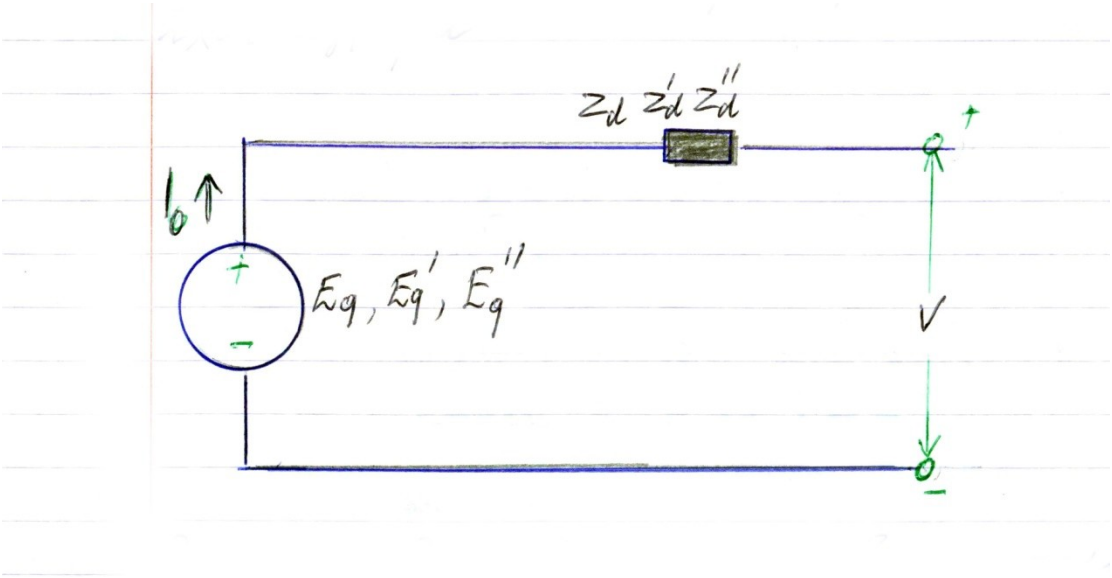
Όπου:

- Ikd , I´kd = υπομεταβατικό και μεταβατικο αρχικό ρεύμα βραχυκύκλωσης σύγχρονης μηχανής (rms)
- Ikd = ρεύμα βραχυκύκλωσης μόνιμης κατάστασης σύγχρονης μηχανής (rms)
- T´´d , T´d = υπομεταβατική και μεταβατική κατάσταση, χρονικές σταθερές σύγχρονης μηχανής Io = ρεύμα (rms) λειτουργίας.
- t = χρονική διάρκεια από την έναρξη του βραχυκυκλώματος
- Tdc = χρονική σταθερά συνεχούς ρεύματος σύγχρονης μηχανής

Οι τιμές των I΄΄kd και I΄kd εξαρτώνται από την υπομεταβατική και μεταβατική σύνθετη αντίσταση της γεννήτριας και από την ενεργή εσωτερική τάση της μηχανής. Η σύνθετη αντίσταση δίνεται από τον κατασκευαστή. Οι τάσεις πρέπει να υπολογισθούν από την ονομαστική τάση της μηχανής που αυξάνεται από την εσωτερική σύνθετη αντίσταση.

- Eq = V/ ¯ + Io Zd εσωτερική τάση σε μονοφασικό σύστημα
- E΄q = V/ ¯ + Io Z΄d εσωτερική μεταβατική τάση σε μονοφασικό σύστημα
- E΄΄q = V/ ¯ + Io Z΄΄d εσωτερική υπομεταβατική τάση σε μονοφασικό σύστημα

Σχεδιάγραμμα



Οι τάσεις που υπάρχουν στη διάρκεια του βραχυκυκλώματος χωρίζονται σε υπομεταβατικές, μεταβατικές και μόνιμης κατάστασης και εξαρτώνται από το ρεύμα λειτουργίας πριν το βραχυκύκλωμα Io. Εύκολα στους υπολογισμούς υποθέτουμε ότι η μηχανή λειτουργεί με πλήρες φορτίο πριν το βραχυκύκλωμα. Αυτό μας εξασφαλίζει ότι θα υπολογισθούν οι υψηλότερες τιμές του ρεύματος βραχυκύκλωσης.

3.16.1 Το προηγούμενο παράδειγμα θα χρησιμοποιηθεί για να επεξηγηθεί η μέθοδος κατά IEC 61363-1.

Αντί να πηγαίνουμε μέσω υπολογισμού – γραμμή προς γραμμή – το προηγούμενο παράδειγμα θα το ξαναδουλέψουμε σύμφωνα με τις εξισώσεις του παραπάνω κανονισμού IEC 61363-1.

Παράδειγμα

Να υπολογιστεί το ρεύμα βραχυκύκλωσης για φορτηγό πλοίο και να προσδιοριστούν τα μεγέθη των διακοπτών ισχύος στον κύριο πίνακα και τα μεγέθη στον πίνακα μηχανοστασίου. Οι γεννήτριες είναι 3x400KW με συνφ = 0,8 και λειτουργούν παράλληλα. Το ηλεκτρικό σύστημα είναι 3φ 440 Volts. Η υπομεταβατική σύνθετη

αντίσταση είναι 12%. Η γεννήτρια συνδέεται στον κύριο πίνακα χρησιμοποιώντας δύο γύρους καλώδιο 3φ αγωγών 500 MCM μήκους 5m. Ο πίνακας του μηχανοστασίου συνδέεται με τον κύριο πίνακα χρησιμοποιώντας 20m ενός γύρου 3φ καλώδιο τριών αγωγών.
Για να απλοποιήσουμε τους υπολογισμούς και για συγκριτικούς λόγους θα υποθέσουμε ότι όλα τα φορτία των κινητήρων είναι συνδεδεμένα στον κύριο πίνακα. Αυτό είναι γενικά μια συμμόρφωση με το άρθρο IEC 6.3.4 στην παραδοχή ότι κανένας από του κινητήρες δεν είναι παραπάνω από 100 KW.

3.16.2 Απαιτούμενα δεδομένα

Επιπρόσθετα δεδομένα γεννήτριας απαιτούνται. Αυτά περιλαμβάνουν την υπομεταβατική και μεταβατική αντίδραση και αντίσταση και τη σταθερά του χρόνου κάτω από έντονες καταστάσεις. Αυτές οι πληροφορίες είναι διαθέσιμες από τον κατασκευαστή. Για 400 KW, συνφ = 0,8 , 440 Volts γεννήτρια, για το εξεταζόμενο παράδειγμα οι τυπικές τιμές είναι οι ακόλουθες.

- Υπομεταβατική αντίδραση: X΄΄d = 11,94%
- Υπομεταβατική σταθερά χρόνου: T΄΄d = 12ms
- Μεταβατική αντίδραση: X΄d = 15%
- Μεταβατική σταθερά χρόνου: T΄d = 80ms
- Αντίσταση:Ra=0,0046 Ω/ανά φάση και 1,2% με 500KVA βάση
- Σταθερά χρόνου συνεχούς ρεύματος : Tdc = 17ms

3.16.3 Χαρακτηριστικά γεννήτριας και καλωδίων

Στους προηγούμενους υπολογισμούς του ρεύματος βραχυκύκλωσης ήταν απαραίτητο να αυξήσουμε τις τιμές της αντίστασης και αντίδρασης γεννήτριας περιλαμβάνοντας τα χαρακτηριστικά των καλωδίων. Αυτό είναι ακριβές όπως εξηγήσαμε στα προηγούμενα παραδείγματα και οι διεθνείς κανονισμοί IEC στο άρθρο 8.2 διαφωτίζουν τον υπολογισμό. Αυτό πρέπει να γίνει και για τη μεταβατική και υπομεταβατική σύνθετη αντίσταση. Δεν πρέπει να ξεχνάμε ότι για να συνδυάσουμε τη γεννήτρια και τα καλώδια της γεννήτριας, οι τιμές της αντίστασης και της αντίδρασης πρέπει να μετατραπούν στην ίδια βάση.
Υπομεταβατική αντίδραση = υπομεταβατική αντίδραση γεννήτριας + επαγωγική αντίδραση καλωδίων = 11,94% + 0,0594% = 12%
Μεταβατική αντίδραση = Μεταβατική αντίδραση γεννήτριας + επαγωγική αντίδραση καλωδίων = 15%+0,0594% =15,06%

3.16.4 Η τάση που οδηγεί το ρεύμα βραχυκύκλωσης.

Όπως εξηγήσαμε προηγουμένως η τάση που οδηγεί το ρεύμα βραχυκύκλωσης είναι υψηλότερη από την τάση του συστήματος. Η διαφορά οφείλεται στην πτώση τάσης που προκαλείται από την εσωτερική αντίσταση και την επαγωγική αντίδραση της γεννήτριας καθώς και το προηγούμενο ρεύμα πριν την εμφάνιση του βραχυκυκλώματος. Αν η

γεννήτρια λειτουργεί χωρίς φορτίο η εσωτερική τάση και η τάση εξόδου θα είναι ίσες, όμως καθώς το φορτίο αυξάνεται τότε η εσωτερική τάση θα προκαλέσει μια αύξηση στο υπολογιζόμενο ρεύμα βραχυκύκλωσης.

Η υπομεταβατική και η μεταβατική αντίσταση και αντίδραση χρησιμοποιούνται στο να υπολογίσουμε τα υπομεταβατικά και μεταβατικά συστατικά, τις ενεργές τάσεις της γεννήτριας.

E΄΄qo = Vo/ ¯ + Io Z΄΄d Υπομεταβατική ενεργή τάση.

E΄qo = Vo/ ¯ + Io Z΄d Μεταβατική ενεργή τάση, όπου έχουμε:

$$Z''d = Ra + i\,X''d = 1,2 + 12i = 12,064^{84,3}$$

$$Z\,d = Ra + i\,X'd = 1,2 + 15,006i = 15,108^{85,444}$$

Τις παραπάνω τιμές τις μετατρέπουμε με τον γνωστό τύπο που αναφέραμε προηγουμένως και έχουμε αντίστοιχα :

Z΄΄d = 12,064 / 100 000 500 = 0,0467 Ω

Άρα έχουμε το ανυσματικό μέγεθος $Z''d = 0,0467^{84,3^o}$

Αντίστοιχα για Z΄d έχουμε:

Z΄d = 15,108 / 100000 ,

άρα έχουμε το ανυσματικό μέγεθος $Z'd = 0,0585^{85,444^o}$

Ξέρουμε ότι $Io = 656,1^{-36,87^o}$ άρα θα έχουμε:

$$E''qo = \text{—} + Io\ Z''d = \text{—} + 656,1^{-36,87^o} = 254,04157^{84,3^o} + 30,6352^{47,43^o} =$$

$$254,04157 + 20,724 + 22,56i = 274,76557 + 22,56i = 275,7^{4,894^o}\ \text{Volts.}$$

Αντίστοιχα:

$$E'qo = \text{—} + Io\ Z'd = \text{—} + 656,1^{-36.87^o} = 254,04157^{85,444^o} + 38,376^{48,574^o} = 254,04157 +$$

$$5,88^{5,88^o}$$

$25,39 + 28,775i = 279,4316 + 28,775i = 280,91$ Volts.

Για να υπολογίσουμε τις χειρότερες συνθήκες θεωρήσαμε ότι το ρεύμα πριν τη φόρτιση είναι το ονομαστικό ρεύμα και βρήκαμε τις παρακάτω τιμές.

$E''qo = 275,7$ Volt ανά φάση και αντίστοιχα :

$E'qo = 280,91$ Volt ανά φάση.

Ξέροντας τις τιμές τάσης και σύνθετης αντίστασης μπορούμε να υπολογίσουμε τις αρχικές τιμές του υπομεταβατικού και μεταβατικού ρεύματος.

- Αρχικό υπομεταβατικό ρεύμα

$$Ik''d = E''qo / Z''d \quad Ik''d = 275,7 \angle 4,89^o / 0,0467 \angle 84,3^o = 5903,64 \angle -79,67^o$$

και σε απόλυτες τιμές $Ik''d = 5903,64$ A.

- Αρχικό μεταβατικό ρεύμα $I'kd$

$$I'kd = E'qo / Z'd \quad I'kd = 280,91 \angle 5,88^o / 0,0585 \angle 85,444^o = 4801,88 \angle -79,564^o$$

και σε απόλυτες τιμές $I'kd = 4801,88$ A.

3.16.5 Ρεύμα βραχυκύκλωσης AC και DC συστατικά.

Οι εσωτερικές τιμές του ρεύματος βραχυκύκλωσης χρησιμοποιούνται για να υπολογιστούν τα AC και DC. Για να γίνει αυτό δύο άλλα δεδομένα χρειάζονται, οι σταθερές χρόνου και η σταθερή κατάσταση ρεύματος. Οι σταθερές χρόνου περιλαμβάνουν την αξονική υπομεταβατική και μεταβατική σταθερά απευθείας στη γεννήτρια και την dc σταθερά (που συνήθως δίνεται από τον κατασκευαστή) και μεταβάλλονται γιατί περιλαμβάνουν τις επιπτώσεις των καλωδίων της γεννήτριας.
Η υπομεταβατική χρονική σταθερά μπορεί να υπολογιστεί από τον παρακάτω τύπο:

$$Te'' = \frac{\quad}{\quad}$$

Και η μεταβατική χρονική σταθερά μπορεί να υπολογισθεί από τον παρακάτω τύπο:

$$Te' = \frac{\quad}{\quad}$$,όπου :

- Ra: αντίσταση στάτη σύγχρονης μηχανής.
- Rc: αντίσταση καλωδίων.
- X΄΄d, X΄d : υπομεταβατική και μεταβατική αντίδραση ευθέως άξονα σύγχρονης μηχανής.
- Xc: επαγωγική αντίδραση καλωδίων.
- T΄΄d, T΄d : υπομεταβατική και μεταβατική χρονική σταθερά σύγχρονης μηχανής.
- Xd: αντίδραση σύγχρονης μηχανής ευθέως άξονα.

Ακόμα η χρονική σταθερά Σ.Ρ. μπορεί να υπολογισθεί από τον παρακάτω τύπο :

Tdce = [Tdc + ———] / (1+ —), όπου Tdc : χρονική σταθερά Σ.Ρ. σύγχρονης μηχανής.

Υπολογισμός σταθερών Te΄΄, Te΄, Tdce.

a) Υπολογισμός Te΄΄

   Ξέρουμε από προηγουμένως ότι :

   Ra + Rc =1,24455% και ακόμα

   X(g+c) = 12% , ακόμα δίνονται από τον κατασκευαστή X΄΄d = 11,94% και X΄d= 15% . Αντικαθιστώντας στον αντίστοιχο τύπο προκύπτει.

   T΄΄e = ——————— ——————— = ——— =

   12,038284 ms

b) Υπολογισμός T΄e

   Ξέρουμε από προηγουμένως ότι :

   X΄d +Xc = 15,06% , ακόμα είναι γνωστό ότι

   Z=12% και μας έχει δοθεί Ra = 1,2%, άρα Z = ——— Xd= ——— = ——— = 11,94%, όπου Xd +Xc =11,94% + 0,06% = 12% τώρα αντικαθιστώντας στον αντίστοιχο τύπο προκύπτει

T΄e = ——————————— = ——————————————— =————————

=79,7804ms

c) Υπολογισμός Tdce

Αντικαθιστούμε τις αντίστοιχες τιμές στον τύπο που αναφέραμε προηγουμένως προκύπτει :

Tdce = ——————————— = (17+ 0,000132696) / (1 + 0,037125) =

17,000133 / 1,037125 = 16,3916

d) Ρεύμα βραχυκύκλωσης μόνιμης κατάστασης (rms).

Γενικά το ρεύμα σταθερής κατάστασης εξαρτάται από τον τύπο του ρυθμιστή τάσης που χρησιμοποιείται στην γεννήτρια. Για αυτήν την περίπτωση, θεωρούμε ότι ο ρυθμιστής τάσης έχει κανονιστεί να οδηγήσει το ρεύμα βραχυκύκλωσης σε τιμή όχι παραπάνω από 3 φορές το ρεύμα πλήρους φορτίου, άρα Ikd = 3·656,1=1968,3A

Ikd ---> Ρεύμα βραχυκύκλωσης μόνιμης κατάστασης σύγχρονης μηχανής (rms). Αυτό συμβαίνει όταν οι υπομεταβατικές και μεταβατικές καταστάσεις έχουν εξαλειφθεί. Οι παραπάνω τιμές μπορεί να χρησιμοποιηθούν έτσι ώστε να υπολογίσουμε την εναλλασσόμενη και συνεχή συνιστώσα σε αυτήν ακριβώς τη χρονική στιγμή. Για να ευθυγραμμιστούμε με το προηγούμενο παράδειγμα η εξίσωση θα υπολογιστεί στα πρώτα 0,5 cycle των συνθηκών βραχυκυκλώματος 8,33ms, για 60 Hz εφαρμογής έχουμε.

a) Η εναλλασσόμενη συνιστώσα

Iac(t)=(I΄΄kd - I΄kd) + (I΄kd-Ikd) +Ikd

Αντικαθιστώντας έχουμε Iac(t)=(5903,64-4801,88) + (4801,88-1968,3) +1968,3=1101,84

551,55237+2552,6547+1968,3=5072,45A

b) Συνεχή συνιστώσα

Idc(t)= ‾ = ‾ — ‾

=77791,3428

4687,1A.

Για τις 3 γεννήτριες στα 8,33 ms οι παραπάνω τιμές είναι αντίστοιχα:

3 =3

3 =3

3.16.6 Συνεισφορά φορτίων κινητήρων.

Στην προσπάθεια να συμπεριλάβουμε την συνεισφορά των κινητήρων και να υπολογίσουμε τον συντελεστή ισχύος του βραχυκυκλώματος είναι απαραίτητο να υπολογίσουμε τη σύνθετη αντίσταση της γεννήτριας που παρήγαγε τις παραπάνω τιμές του ρεύματος βραχυκυκλώματος και να τις συνδυάσουμε με την σύνθετη αντίσταση των κινητήρων, χρησιμοποιώντας τη γνωστή εξίσωση που χρησιμοποιήσαμε προηγουμένως. Η σύνθετη αντίσταση που απαιτείται για να παραχθεί ρεύμα βραχυκύκλωσης 15217,35A είναι Z % = 100 ——— .

Παρόλο που η αντίδραση της μηχανής θα αλλάξει μεταξύ στο αρχικό σφάλμα και στα 8,33 ms η αντίσταση της γεννήτριας και καλωδίων θα μείνει σταθερή 1,244% ή για τις 3 γεννήτριες που λειτουργούν παράλληλα θα είναι:

1,244% / 3 = 0,415% , άρα η αντίδραση θα είναι:

X= ——————— = 4,29%

Τώρα θα υπολογίσουμε την συνεισφορά των κινητήρων. Θεωρούμε βασικά μεγέθη Sbase = 500 KVA , V base = 440 Volt, άρα θα έχουμε στο ανά μονάδα σύστημα

Vpu= —— = —— = 1

Ibase = ———— = ——— = 656,1 A

Τώρα το ρεύμα βραχυκύκλωσης που συνεισφέρουν οι κινητήρες στο ανά μονάδα σύστημα είναι :

Ipu = ————— = ——

Zpu = —— = ———

Zpu ,

η Zpu έχει συνφ=0,34 τιμή που υπολογίσαμε προηγουμένως

συνφ=0,34 φ= 70,123 , άρα

R= συν70,123

X = ημ70,123 0,2821 28,21%

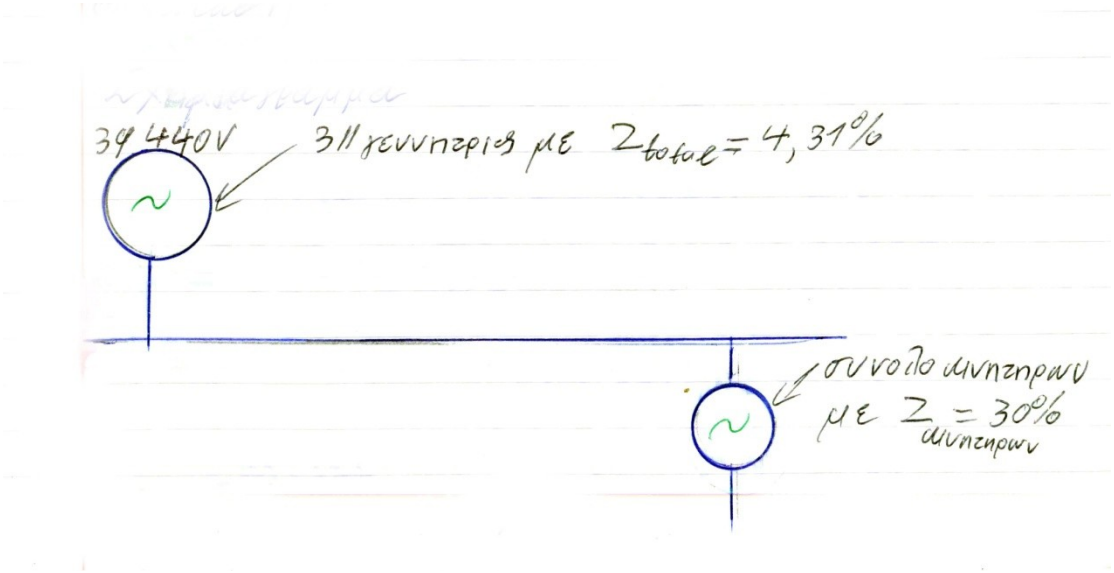
Η συνεισφορά των κινητήρων είναι :

R αντίσταση κινητήρων = 10,2%

X αντίδραση κινητήρων = 28,21%

Έπειτα πρέπει να συνδυαστεί η σύνθετη αντίσταση των κινητήρων με την σύνθετη αντίσταση των 3 παράλληλων γεννητριών..

Σχεδιάγραμμα.



Οι τρεις γεννήτριες και οι κινητήρες είναι σε παράλληλη σύνδεση, οπότε:

– = —— + —— = ———— —— = 0,3941564

Αντίστοιχα για την αντίδραση έχουμε:

– = —— + —— = ———— ——— = 3,723%, άρα έχουμε :

Z = ——— = ——————— = ——————————— = 3,744%

συνφ = 0,4 / 3,744 0,107

συνφ συντελεστής ισχύος βραχυκυκλώματος

Το συμμετρικό ρεύμα βραχυκύκλωσης υπολογίζεται

Irmssym = 100 —— = 17,524 KA,

Επομένως:

Τα ασύμμετρα ρεύματα βραχυκύκλωσης υπολογίζονται από τις παρακάτω γνωστές εξισώσεις που αναφέραμε προηγουμένως:

εφφ = X/R = 3,723 / 0,4 = 9,3075 φ = 83,867

a. Στιγμιαία τιμή Ip

Ip = ‾ = ‾ ——— = 24,782678

b. Ασσύμετρο RMS Iasyrms

Iasyrms = Irms ——— ‾ = 17,524 ——————— = 17,524 ——————— = 17,524 = 24,896 KA

c. Μέσο 3φ RMS I3phavgrms

I3phavgrms = Irms[1/3 ——————— + 2/3 ——————— = 17,524 [1/3 ——————— +2/3 ———————] = 17,524[0,473565 + 0,7467243] = 21,38435KA

3.16.7 Συνολικά αποτελέσματα υπολογισμών ρεύματος βραχυκύκλωσης κύριου πίνακα.

Οι υπολογισμένες τιμές του ρεύματος βραχυκύκλωσης στον κύριο πίνακα είναι:

Συμμετρικό rms ρεύμα Iscg

Iscg= 17,52 KA

a) Στιγμιαία τιμή RMS στους 0,5 κύκλους
   Ipk = 42,467 KA = 2,423

b) Ασύμμετρο RMS ρεύμα I_{asyrms}
   Iasyrms = 24,896 KA = 1,42

c) Μέσο τριφασικό ρεύμα RMS $I_{3phavgrms}$
   $I_{3yhavgrms}$ = 21,38KA = 1,22

Συντελεστής ρεύματος ισχύος στον κύριο πίνακα συνφ = 0,107

3.16.8 Υπολογισμός του ρεύματος βραχυκυκλώσεως στον πίνακα διανομής του μηχανοστασίου.

Για να υπολογίσουμε το ρεύμα βραχυκυκλώσεως στον πίνακα διανομής του μηχανοστασίου, πρέπει να συμπεριλάβουμε τις επιπτώσεις από τα καλώδια τροφοδοσίας του πίνακα διανομής μηχανοστασίου.
Η μεθοδολογία που θα χρησιμοποιήσουμε είναι παρόμοια όπως και προηγουμένως. Ο υπολογισμός περιλαμβάνει την σύνθετη αντίσταση της ισοδύναμης γεννήτριας όπως είχαμε βρει στον κύριο πίνακα σε 0,5 κύκλους του ρεύματος βραχυκύκλωσης και προσθέτουμε σε αυτή την σύνθετη αντίσταση του καλωδίου τροφοδοσίας του πίνακα διανομής του μηχανοστασίου. Οι τιμές της αντίστασης , αντίδρασης και σύνθετης αντίστασης που βρίσκουμε μετά , τις χρησιμοποιούμε για να βρούμε τις συμμετρικές και ασύμμετρες τιμές.
Πρέπει να γνωρίζουμε ότι αυτή η μέθοδος δεν είναι ακριβής γιατί δεν λαμβάνει υπόψη της τις αλλαγές που οφείλονται στη μείωση της σύνθετης αντίστασης των καλωδίων τροφοδοσίας.
Όπως υπολογίσαμε προηγουμένως οι τιμές αντίστασης και αντίδρασης για την ισοδύναμη γεννήτρια στους 0,5 κύκλους είναι :

$R_{(g+c)(1,2,3,m)}$ = 0,4% αντίσταση και
$X_{(g+c)(1,2,3,m)}$ = 3,723% αντίδραση
$Z_{(g+c)(1,2,3,m)}$ = 3,75% σύνθετη αντίσταση

Η σύνθετη αντίσταση των καλωδίων τροφοδοσίας έχει τις τιμές που βρήκαμε προηγουμένως.

R = 2,691% αντίσταση και
X= 0,5424% αντίδραση και
Z= 2,737% σύνθετη αντίσταση,

Άρα προκύπτει:

$R_{(g+c)(1,2,3,m,ERDP)}$ = 0,4% + 2,691% = 3,091%
$X_{(g+c)(1,2,3,m,ERDP)}$ = 0,5424% + 3,723% = 4,2654% ,

Επομένως η συνολική σύνθετη αντίσταση είναι:

$Z_{(g+c)(1,2,3,m,ERDP)}$ = 5,28%

Η παραπάνω τιμή της σύνθετης αντίστασης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να υπολογισθεί το rms συμμετρικό ρεύμα βραχυκύκλωσης στον πίνακα διανομής του μηχανοστασίου.

$Isc_{(ERDP)}$ =Irms = = 12,425 KA

Ο συντελεστής ισχύος βρίσκεται:

συνφ = =

Αντίστοιχα βρίσκουμε:

εφφ = =

Επομένως οι αντίστοιχες ασύμμετρες τιμές του ρεύματος βραχυκύκλωσης θα είναι:

a) Στιγμιαία τιμή Ip
   Ip = 12425(1+ =
   17571,604(1,1026852) = 19,376 KA

b) Ασύμμετρο RMS Iasyrms
   Iasyrms = Irms = 12,425 = 12,555 KA

c) Μέσο τριφασικό (3φ) RMS $I_{3phavgrms}$
   $I_{3phavgrms}$ = Irms[1/3 + 2/3] =
   12,425[1/3 + 2/3] = 12,425[0,3368297 + 0,6684217] =
   12,49 KA

3.16.9 Τελικά αποτελέσματα υπολογισμών του ρεύματος βραχυκύκλωσης στον πίνακα διανομής μηχανοστασίου.

Οι υπολογισμένες τιμές του ρεύματος βραχυκύκλωσης στον κύριο πίνακα είναι:

Συμμετρικό RMS ρεύμα Iscg
Iscg = 12,425 KA

a) Στιγμιαία τιμή RMS στους 0,5 κύκλους
   Ipk= 19,376 KA =1,56 Iscg

b) Ασύμμετρο RMS ρεύμα Iasyrms
   Iasyrms= 12,555 KA = 1,0124

c) Μέσο 3φ RMS Iɜphavgrms

Iɜphavgrms = 12,49 KA = 1,0052

Συντελεστής ισχύος ρεύματος βραχυκύκλωσης στο μηχανοστάσιο
συνφ = 0,586

3.16.10 Σύγκριση της μεθόδου με προηγούμενες μεθόδους.

Πίνακας 3.2

Κυριος Πινακας Διανομης	Ζ μεθοδος	Χ/R μεθοδος	Περιλαμβανομενα μειωτη Γεννητριας
Συμμετρικο RMS Ρευμα	18,5 KA	18,45 KA	17,524 KA
Στιγμιαια Τιμη Ipk σε 0,5 κυκλους	48,1 KA	43,208 KA	42,467 KA
Ασυμμετρο RMS Ρευμα last cms	33,3 KA	25,214 KA	24,896 KA
Μεσο 3φ RMS Ιɜphavg cms	25,9 KA	22 KA	21,38 KA
Συντελεστης Ισχυος	αγνωστος	0,1317	0,107
Πινακας Διανομης Μηχανοστασιου	Ζ μεθοδος	Χ/R μεθοδος	Περιλαμβανομενα μειωτη Γεννητριας
Συμμετρικο RMS Ρευμα	10,43 KA	12,75 KA	12,423 KA
Στιγμιαια Τιμη Ipk σε 0,5 κυκλους	27,118 KA	19,554 KA	19,376 KA
Ασυμμετρο RMS Ρευμα last cms	18,774 KA	12,85 KA	12,555 KA
Μεσο 3φ RMS Ιɜphavg cms	14,602 KA	12,8 KA	12,49 KA
Συντελεστης Ισχυος	αγνωστος	0,613	0,586

Στον πίνακα 3.2 παραθέτουμε τα αποτελέσματα με τις 3 μεθόδους που χρησιμοποιήσαμε και γενικά μπορούμε να κάνουμε την παρατήρηση ότι περιλαμβάνοντας την μείωση της γεννήτριας, το υπολογιζόμενο ρεύμα βραχυκυκλώσεως μειώθηκε στο RMS συμμετρικό περίπου 6,5% και στο ασύμμετρο περίπου 9,1%. Οπότε εύκολα μπορεί να βγει το συμπέρασμα ότι αν ετοιμαζόμασταν να εφοδιαστούμε με 10% περιθώριο στο ασύμμετρο ρεύμα για την επιλογή διακοπτών ισχύος μετά τον υπολογισμό της μείωσης γεννήτριας, αυτό το περιθώριο μπορεί να μειωθεί. Γι' αυτό στο συγκεκριμένο παράδειγμα, η βασική γραμμή μπορεί να χρησιμοποιήσει 22ΚΑ διακόπτες ισχύος στον κύριο πίνακα , αλλά μερικές φορές μπορεί χρησιμοποιώντας την μέθοδο μείωσης γεννήτριας στους υπολογισμούς να μας επιτρέπει να ρίξουμε το επίπεδο ρεύματος με σιγουριά.

3.17 Η τιμή του ρεύματος βραχυκύκλωσης που θα προκύψει από τον υπολογισμό της μείωσης της γεννήτριας είναι αξιόπιστη;

Η απάντηση είναι ναι αλλά ίσως μπορούμε να εξάγουμε καλύτερα αποτελέσματα και αυτό γιατί μπορούμε να υπολογίσουμε χαμηλότερες τιμές με εμπιστοσύνη και ίσως να χρησιμοποιήσουμε εξαρτήματα με χαμηλότερα μεγέθη και λιγότερο ακριβά, χωρίς να επηρεάζεται η ασφάλεια και η αξιοπιστία.
Ο παραπάνω υπολογισμός ελάττωσης, μας σύστησε την έννοια της «ισοδύναμης» γεννήτριας, που παρήγαγε το ίδιο ρεύμα βραχυκύκλωσης όπως οι τρεις γεννήτριες και κινητήρες στο σύστημα. Το ρεύμα βραχυκύκλωσης για κάθε γεννήτρια υπολογίσθηκε στη βάση μιας εκθετικής φθοράς στο να πετύχουμε ρεύμα στο σημείο 0,5 του κύκλου. Η συνεισφορά των κινητήρων στο ρεύμα βραχυκύκλωσης θεωρήθηκε σταθερή τιμή για τη διάρκεια του ρεύματος βραχυκυκλώσεως των γεννητριών. Δυστυχώς αυτή η μεθοδολογία είναι μερικώς ακριβή. Υπάρχουν δύο στοιχεία που επηρεάζουν το ρεύμα βραχυκύκλωσης στον πίνακα διανομής του μηχανοστασίου, που δεν λάβαμε υπόψη.

a) Η συνεισφορά των κινητήρων δεν είναι ακριβώς σταθερή τιμή αλλά επίσης μειώνεται με το χρόνο. Ειδικότερα στο ακαριαίο βραχυκύκλωμα η τάση που οδηγεί το ρεύμα βραχυκύκλωσης και η εσωτερική τάση των κινητήρων είναι αισθητά μικρότερη από την τάση στα άκρα. Συνεπώς η ακριβή συνεισφορά των κινητήρων στο ρεύμα βραχυκύκλωσης στα πρώτα milliseconds, μπορεί να είναι 15-20% λιγότερη, στο σημείο 0,5 του κύκλου προηγουμένως θεωρήθηκε σταθερή.

b) Η αντίσταση και η επαγωγική αντίδραση των καλωδίων τροφοδοσίας επηρεάζουν και οι δύο την σύνθετη αντίσταση και τις σταθερές χρόνου ac εναλλασσόμενου ρεύματος και dc συνεχούς ρεύματος. Γι' αυτό το λόγο η μείωση του ρεύματος βραχυκύκλωσης στη διάρκεια του σφάλματος στον πίνακα διανομής του μηχανοστασίου θα είναι μικρότερη σε αριθμητική τιμή και πιο αργή στη φθορά, σαν αποτέλεσμα της επιπλέον αντίστασης και επαγωγικής αντίδρασης.

3.17.1 Συνεισφορά φορτίων κινητήρων λαμβάνοντας υπόψη τη μείωση.

Για να συγκρίνουμε τις μεθόδους θα χρησιμοποιήσουμε ορισμένες σχέσεις που χρησιμοποιήσαμε στις προηγούμενες μεθόδους. Η κύρια διαφορά μεταξύ των IEC δεδομένων είναι ότι τώρα χρησιμοποιούμε το ποσό της συνεισφοράς που θεωρήσαμε. Στην βόρεια Αμερική οι κανονισμοί επιτρέπουν μια συνεισφορά κινητήρων 4 φορές το μέγιστο ρεύμα λειτουργίας του κινητήρα και μία σύνθετη αντίσταση Zm = 25%. Οι διεθνείς κανονισμοί IEC επιτρέπουν 5 φορές το ρεύμα σε πλήρες φορτίο και Zm = 20%.

Στο προηγούμενο παράδειγμα χρησιμοποιήσαμε:

- Επαγωγική αντίδραση κινητήρα → $X'm = 23{,}5\%$
- Ωμική αντίσταση κινητήρα → $Rm = 8{,}5\%$
- Σύνθετη αντίσταση κινητήρα → $Zm = 25\%$
- Συντελεστής ισχύος → $συνφ = 0{,}8$
- Απόδοση κινητήρων → $n = 90\%$
- Ισχύς κινητήρων → P = 300 KW
- Μέγιστο ρεύμα λειτουργίας → $Io = 547A$

  Συνεισφορά κινητήρων στο ρεύμα βραχυκύκλωσης = 4
  $\times$ *μέγιστο ρεύμα φορτίου* $= 4 \times 547\ A = 2188\ A$

  Οι σταθερές χρόνου δίνονται για 60 Hz

  - Υπομεταβατική χρονική σταθερά ασύγχρονου κινητήρα → $T''m =$ $18{,}67\ ms(σύμφωνα\ με\ τον\ IEC)$

  - Χρονική σταθερά συνεχούς ρεύματος (ΣΡ) ασύγχρονου κινητήρα → Tdcm$= 11{,}73ms(σύμφωνα\ με\ τον\ IEC)$

    Η υπομεταβατική αντίσταση και αντίδραση χρησιμοποιούνται για να υπολογισθεί η εσωτερική ενεργή τάση , στη χειρότερη περίπτωση θεωρούμε ότι το ρεύμα φορτίου των κινητήρων είναι στη μέγιστη τιμή, στην προκειμένη περίπτωση 547A.

Γι' αυτό έχουμε E΄΄m = $(\frac{Vrm}{\sqrt{3}})$- Irm Z΄΄m, όπου: Vrm = 440 Volt

Και Irm = 547 A

Ακόμα μας είναι γνωστό από προηγουμένως ότι η συνεισφορά των κινητήρων στο βραχυκύκλωμα είναι :

Z΄΄m = Rm +X΄΄mi → Z΄΄m = $\sqrt{Rm^2 + Xm^2}$ → Z΄΄m = $\sqrt{10{,}2^2 + 28{,}2^{\,2}}$ = 30%

Αυτήν την επί % τιμή την μετατρέπουμε σε ωμική σύμφωνα με το γνωστό τύπο που αναφέραμε προηγουμένως:

$$30 = \frac{100000 \cdot 500}{440^2} \cdot Z''m \rightarrow Z''m = 0{,}116114\ \Omega$$

Ακόμα μπορούμε να υπολογίσουμε:

$$\varepsilon\varphi\varphi = X''m / R''m = 28{,}2/10{,}2 = 2{,}7647089 \rightarrow \varphi = 70{,}115^\circ$$

Οπότε διανυσματικά έχουμε την παρακάτω σχέση :

$$E''m = \frac{440}{\sqrt{3}} \underset{-36{,}87^\circ}{-547}$$

$$0{,}11644 \underset{70{,}115^\circ}{=} 254{,}092 - 63{,}514 \underset{33{,}245^\circ}{=} 200{,}9231 - 34{,}82i \underset{-9{,}832^\circ}{=} 203{,}92 \text{ Volt}$$

Ξέροντας την E΄΄m μπορούμε να έχουμε την υπομεταβατική τιμή του ρεύματος βραχυκύκλωσης.

$$I''m = \frac{E''m}{Z''m} = 203{,}92 / 0{,}116114 = 1756{,}2051 \underset{-79{,}947^\circ}{\underset{-70{,}115^\circ}{\underset{-9{,}832^\circ}{\rightarrow}}} I''m = 1756\ \text{A}$$

εσωτερική τιμή υπομεταβατικού ρεύματος βραχυκύκλωσης

Ξέροντας τις χρονικές σταθερές T΄΄m , Tdcm μπορούμε να υπολογίσουμε τις συνιστώσες εναλλασσόμενη και συνεχή Iacm(t) και Idcm(t) αντίστοιχα από τις παρακάτω εξισώσεις:

$$Iacm(t) = I''m \cdot e^{-t/T''m} = 1756 \cdot e^{-8{,}33/18{,}67} = 1756 \cdot e^{-0{,}4462} = 1124\ \text{A}$$

Και αντίστοιχα :

$$Idcm(t) = \sqrt{2}\,(I''m + Irm \cdot \eta\mu\varphi_m) \cdot e^{-t/Tdcm} = \sqrt{2}\,(1756 + 547 \cdot \eta\mu 36{,}87) \cdot e^{-8{,}33/11{,}73} = 2997{,}5039 \cdot e^{0{,}710145} = 1449\ \text{A}$$

Αντίστοιχα βρίσκουμε τη στιγμιαία τιμή του ρεύματος από τον παρακάτω τύπο:

$$Ipm(t) = \sqrt{2}\ Iacm(t) + Idcm(t) = \sqrt{2} \cdot 1124 + 1449\ \text{A} = 3038{,}6\ \text{A}.$$

Προηγουμένως είχαμε βρει ότι για γεννήτριες , η εναλλασσόμενη και συνεχή συνιστώσα στα 8,33 ms ήταν αντίστοιχα :

3 Iac(t) g 123 = 15217,35 A και

3 Idc(t) g_{123} = 14061,3 A

3.17.2 Ρεύμα βραχυκύκλωσης στον κύριο πίνακα διανομής περιλαμβάνοντας την μείωση κινητήρων.

Μπορούμε τώρα να προσθέσουμε τη συνεισφορά των γεννητριών και να ορίσουμε τις συνιστώσες εναλλασσόμενη και συνεχή αντίστοιχα.

Iac(g_{123})m(t) = 3 Iac(t) g_{123} + Iacm(t) = 15217,35 A + 1124 A = 16341,35 A

Και

Idc(g_{123})m(t) = 3 Idc(t) g_{123} + Idcm(t) = 14061,3 A + 1449 A = 15510,3 A

Ακόμα μπορούμε να βρούμε την στιγμιαία τιμή του ρεύματος βραχυκύκλωσης

Ip(g123)m = 3 Ip(g123)(t) + Ipm, όπου:

3 Ip(g,1,2,3)(t) = ‾ (3 Iac(t)g123) + (3 Idc(t)g123),

Αντικαθιστώντας προκύπτει :

3 Ip(1,2,3)(t) = ‾ 15217,35 A + 14061,3 A = 35581,883 A

Επομένως έχουμε:

Ipg(1,2,3)m = 3 Ip(g123)(t) + Ipm(t) = 35581,583 A + 3038,6 A = 38,6205 KA.

3.17.3 Ασύμμετρα ρεύματα βραχυκύκλωσης στον κύριο πίνακα περιλαμβάνοντας τη μείωση του κινητήρα.

Είναι γνωστό ότι

Ip = ‾ Irms{ 1 + } αντικαθιστώντας

38,6205 = ‾ 16,34135 [1 + $^{-3,14/\epsilon\varphi\varphi}$]

0,6711485 = ——

-0,3987648 = -3,14/εφφ

εφφ = 7,8743159

φ = 82,762

συνφ = 0,126 (συντελεστής ισχύος)
Επομένως τα ασύμμετρα ρεύματα βραχυκύκλωσης είναι αντίστοιχα.

Έχουμε βρει προηγουμένως :

a) Στιγμιαία τιμή Ipk

   Ipk = 38,6 KA

   και προχωράμε να βρούμε τα υπόλοιπα.

b) Ασύμμετρο RMS $Iasg_{rms}$

   $Iasg_{rms} = Irms \sqrt{\quad} = 16,34135 \sqrt{\quad} = 16,34135$
   $1,3787242 = 22,53$ KA

c) Μέσο 3φ RMS $I_{3phavgrms}$

$I_{3phavgrms} = Irms [1/3 \sqrt{\quad} + 2/3 \sqrt{\quad}] = 16,34135 [$
$0,4595747 + 0,7379311] = 19,57$ KA.

3.17.4 Υπολογισμοί κύριου πίνακα αθροίζοντας τη μείωση των κινητήρων.

Οι τιμές που υπολογίσαμε στον κύριο πίνακα για το ρεύμα βραχυκύκλωσης είναι:

Συμμετρικό RMS ρεύμα Iscg

Iscg = 16,34135 KA

a) Στιγμιαίο ρεύμα Ipk σε 0,5 κύκλους

   Ipk = 38,6205 KA = 2,3633 Iscg

b) Ασύμμετρο RMS ρεύμα $Iasg_{rms}$

   $Iasg_{rms} = 22,53$ KA = 1,3787 Iscg

c) Μέσο 3φ RMS $I_{3phavg_{rms}}$

   $I_{3phavg_{rms}} = 19,57$ KA = 1,1976 Iscg

Συντελεστής ισχύος βραχυκυκλώματος κύριου πίνακα διανομής
συνφ = 0,126

3.17.5 Ρεύμα βραχυκύκλωσης πίνακα διανομής μηχανοστασίου περιλαμβανομένου τη μείωση των κινητήρων.

Για να υπολογίσουμε το ρεύμα βραχυκύκλωσης του πίνακα διανομής του μηχανοστασίου πρέπει να λάβουμε υπόψη τις επιπτώσεις που έχει το καλώδιο τροφοδοσίας. Όπως και προηγουμένως είχαμε ενδιαφερθεί σε αυτό το παράδειγμα, στο να αποτιμήσουμε τα αποτελέσματα από την συνεισφορά των κινητήρων στη μείωση, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την ίδια μεθοδολογία όπως χρησιμοποιήσαμε προηγουμένως. Τώρα θα εγκαταλείψουμε τις αλλαγές μείωσης που προκαλούνται στην σύνθετη αντίσταση του καλωδίου τροφοδοσίας του πίνακα διανομής του μηχανοστασίου. Για να ολοκληρώσουμε τον υπολογισμό χρειάζεται να προσδιορίσουμε τη σύνθετη αντίσταση της ισοδύναμης γεννήτριας στον κύριο πίνακα διανομής, σε 0,5 cycle σημείο του ρεύματος βραχυκυκλώματος και να προσθέσουμε τη σύνθετη αντίσταση του καλωδίου τροφοδοσίας του πίνακα διανομής του μηχανοστασίου. Τα αποτελέσματα της αντίστασης, επαγωγικής αντίδρασης και σύνθετης αντίστασης χρησιμοποιούνται μετά για τον υπολογισμό συμμετρικών και ασύμμετρων τιμών του ρεύματος βραχυκύκλωσης. Παρατηρούμε πάλι ότι αυτή η μέθοδος δε λαμβάνει υπόψη κάθε αλλαγή μείωσης των αποτελεσμάτων από την σταθερά του χρόνου των καλωδίων τροφοδοσίας.

Από προηγούμενους υπολογισμούς έχουμε :

εφφ=7,8743159 και συνφ=0,126, ακόμα

Isg=16,34135 KA και ημφ=0,992

Η σύνθετη αντίσταση που είναι απαραίτητη για να παραχθεί βραχυκύκλωμα 16,34135 KA είναι :

Z=————

Άρα θα έχουμε γεννήτρια σε συνδυασμό με κινητήρες.

Αντίσταση: R=0,126 4,0149682%=0,5059%

Επαγωγική αντίδραση:X=0,992 4,0149682%=3,9828%

Ακόμα είναι γνωστό από προηγουμένως ότι η αντίσταση και η επαγωγική αντίδραση καλωδίων τροφοδοσίας είναι αντίστοιχα.

Αντίσταση καλωδίου: Rc = 2,6911% και

Επαγωγική αντίδραση καλωδίου: Xc = 0,5424%

Προσθέτοντας τα παραπάνω προκύπτει:

R(g+c)(1,2,3,m,ERDP) = 2,6911% + 0,5059% = 3,197% και
X(g+c)(1,2,3,m,ERDP) = 3,9828% + 0,5424% = 4,525%, άρα
Z(g+c)(1,2,3,m,ERDP) = = 5,54%

Τώρα υπολογίζουμε το rms συμμετρικό ρεύμα βραχυκύκλωσης του πίνακα διανομής του μηχανοστασίου.

IscERDP = ——— = 11,843 KA

Ακόμα βρίσκουμε :

εφφ = X/R = 4,525% / 3,197% = 1,4154
συνφ = 0,577(συντελεστής ισχύος)

Υπολογίζουμε τώρα κατά τα γνωστά τις ασύμμετρες τιμές ρεύματος βραχυκύκλωσης.

a) Στιγμιαία τιμή Ipk

Ipk = / Irms (1 +) = 11,843(1+) = 16,748531

b) Ασύμμετρο RMS $Iasy_{rms}$

$Iasy_{rms}$ = Irms ( ) = 11,843 ( ) = 11,843

c) Μέσο 3φ RMS $I_{3phavg_{rms}}$

$I_{3phavg_{rms}}$ = Irms + 2/3] = 11,843
– – 0058995 = 11,913 KA

3.17.6 Άθροισμα αποτελεσμάτων ρεύματος βραχυκύκλωσης στο πίνακα διανομής του μηχανοστασίου λαμβάνοντας υπόψη την ελάττωση των κινητήρων.

Οι τιμές που υπολογίσαμε για το ρεύμα βραχυκύκλωσης στο πίνακα διανομής του μηχανοστασίου είναι οι παρακάτω:

Συμμετρικό RMS ρεύμα Iscg = 11,843 KA

a) Στιγμιαία τιμή Ipk στους 0,5 cycles

Iscg = 18,5704 KA = 1,568

b) Ασύμμετρο RMS ρεύμα $Iasy_{rms}$

$Iasy_{rms}$ = 12 KA = 1,0118

c) Μέσο 3φ RMS $I_{3phavg_{rms}}$

$I_{3phavg_{rms}}$ = 11,913 KA = 1,0059

3.17.7 Σύγκριση υπολογισμών της μεθόδου μείωσης κινητήρων με προηγούμενους μεθόδους.

Πίνακας 3.3

Κυριος Πινακας Διανομης	Z Μεθοδο	X/R Μεθοδο	Περιλαμβανει μειωση γεννητριας	Περιλαμβανει μειωση γεννητριας και κινητηρων
Συμμετρικο RMS Ρευμα	18,5 KA	18,45 KA	17,524 KA	16,341 KA
Στιγμιαια Τιμη Ιρκ σε 0,5 κυκλους	48,1 KA	43,208 KA	42,524 KA	38,62 KA
Ασυμμετρο RMS Ρευμα Ιασυ στις	33,3 KA	25,214 KA	24,896 KA	22,53 KA
Μεσο 3φ RMS Ισχυος στις	25,9 KA	22 KA	21,38 KA	19,57 KA
Συντελεστης Ισχυος	αγνωστος	0,1317	0,107	0,126
Πινακας Διανομης Μηχανοστασιου	Z Μεθοδο	X/R Μεθοδο	Περιλαμβανει μειωση γεννητριας	Περιλαμβανει μειωση γεννητριας και κινητηρων
Συμμετρικο RMS Ρευμα	10,43 KA	12,75 KA	12,428 KA	11,843 KA
Στιγμιαια Τιμη Ιρκ σε 0,5 κυκλους	27,118 KA	19,354 KA	19,376 KA	18,57 KA
Ασυμμετρο RMS Ρευμα Ιασυ στις	18,774 KA	12,85 KA	12,555 KA	12 KA
Μεσο 3φ RMS Ισχυος στις	14,602 KA	12,8 KA	12,49 KA	11,913 KA
Συντελεστης Ισχυος	αγνωστος	0,613	0,586	0,577

Είναι φανερό ότι με τους τελευταίους υπολογισμούς μπορούμε με σιγουριά να χρησιμοποιήσουμε διακόπτες ισχύος τάξης μεγέθους 18 ΚΑ στον κύριο πίνακα διανομής και στον πίνακα διανομής του μηχανοστασίου, διακόπτες ισχύος μεγέθους 14 ΚΑ. Ακόμα παρατηρούμε ότι έχουμε 10% επιπλέον περιθώριο στην τιμή του υπολογισμού ρεύματος βραχυκύκλωσης.

3.18 Υπάρχει ακόμα άλλος Δρόμος για Εξερεύνηση;

Ένα από τα κύρια προβλήματα με τις προηγούμενες μεθόδους υπολογισμού που αναφέραμε, είναι η εκτίμηση ότι τι ασύμμετρο ρεύμα βραχυκύκλωσης βασίζεται στον υπολογισμό της σύνθετης αντίστασης σε 0,5 κύκλους. Αυτή η μεθοδολογία είναι σωστή στις αρχές αλλά περιέχει ένα βασικό ψεγάδι. Ο υπολογισμός χρησιμοποιεί τη σχέση

$$STI\% = \frac{\quad}{\quad}$$ όπου μας προσδιορίζει στους 0,5 κύκλους τη σύνθετη

αντίσταση του συνδυασμού κινητήρων, γεννήτριας. Χρησιμοποιώντας αυτή την εξίσωση ο υπολογισμός παραδέχεται ότι η τάση πίσω από το ρεύμα βραχυκύκλωσης είναι σταθερή και ίση με την ονομαστική τάση. Ξέρουμε ότι αυτό δεν ισχύει και η τάση είναι μεγαλύτερη.Οι διεθνείς κανονισμοί IEC για αυτό το λόγο παραδέχονται την έννοια της «ισοδύναμης γεννήτριας». Το ρεύμα βραχυκύκλωσης της ισοδύναμης γεννήτριας εκτιμάται από τα ξεχωριστά χαρακτηριστικά γεννήτριας και κινητήρα.
Τα οποία από μόνα τους λαμβάνουν υπόψη την αλλαγή στην τάση από υπομεταβατική σε μεταβατική. Τα χαρακτηριστικά της ισοδύναμης γεννήτριας λαμβάνονται υπόψη σε ένα μόνο σημείο του χρόνου και βασίζονται στην ονομαστική τιμή τάσης. Συνεπώς, η εκτίμηση του ασύμμετρου ρεύματος χρησιμοποιώντας τη σύνθετη αντίσταση της ισοδύναμης γεννήτριας θα μας δώσει πιο ακριβείς υπολογισμούς.

3.19 Εκτίμηση του ρεύματος βραχυκύκλωσης χρησιμοποιώντας την κατά IEC «Ισοδύναμη Γεννήτρια».

Η μέθοδος της ισοδύναμης γεννήτριας βασίζεται στον συλλογισμό ότι το ρεύμα βραχυκύκλωσης σε οποιοδήποτε σημείο του ηλεκτρικού συστήματος μπορεί να εκτιμηθεί από τα οριστικοποιημένα χαρακτηριστικά μιας απλής γεννήτριας (ή κινητήρα αλλά γενικά μιας γεννήτριας), αυτή παράγει το ίδιο ρεύμα βραχυκύκλωσης με τα ξεχωριστά μηχανήματα που αντικαθιστά. Η μέθοδος απαιτεί αρκετούς λογικούς και σύνθετους υπολογισμούς αλλά είναι χρήσιμη όταν το σύστημα περιλαμβάνει γεννήτριες διαφορετικών μεγεθών ή γεννήτριες και μεγάλα bowthrusters που πρέπει να ληφθούν υπόψη γιατί επηρεάζουν την μείωση του ρεύματος βραχυκύκλωσης.
Όπως είδαμε από προηγούμενους υπολογισμούς περιλαμβάνουν για το ρεύμα βραχυκύκλωσης της γεννήτριας και κινητήρων μείωση που μας επιτρέπει να πέσει η απαίτηση για το μέγεθος των διακοπτών ισχύος από 22KA σε 18KA με σιγουριά.

Σε αυτό το παράδειγμα οι γεννήτριες έχουν τα ίδια μεγέθη και δεν έχουμε bowthrusters οπότε η μέθοδος της ισοδύναμης γεννήτριας θα χρησιμοποιηθεί για το ρεύμα βραχυκύκλωσης του μηχανοστασίου. Η χρησιμοποίηση της μεθοδολογίας της ισοδύναμης γεννήτριας σ' αυτό το παράδειγμα δεν θα μειώσει και άλλο το ρεύμα βραχυκύκλωσης στον κύριο πίνακα διανομής.
Παρόλα αυτά αν μπορέσουμε να προσδιορίσουμε τα χαρακτηριστικά της ισοδύναμης γεννήτριας και μετά να συνδυάσουμε αυτά τα χαρακτηριστικά με τη σύνθετη αντίσταση των καλωδίων τροφοδοσίας του πίνακα διανομής του μηχανοστασίου, είναι πιθανόν ο υπολογισμός του ρεύματος βραχυκύκλωσης του πίνακα διανομής του μηχανοστασίου να μειωθεί. Δυστυχώς στην προσπάθεια της οριστικοποίησης για να μπορεί αυτή να είναι ωφέλιμη ίσως να είναι απαραίτητο να πάμε σε μία πλήρη διαδικασία υπολογισμού με την μεθοδολογία της ισοδύναμης γεννήτριας. Παρόλα αυτά στο συγκεκριμένο παράδειγμα χρησιμοποιούμε 14KA διακόπτες ισχύος (Βορειοαμερικανικοί κανονισμοί) στο μηχανοστάσιο. Είναι πιθανόν τελικά να τους χρησιμοποιήσουμε όταν θα ολοκληρώσουμε την εργασία. Πρώτον, στο να παρουσιάσουμε την εργασία και δεύτερο στο να συγκεκριμενοποιήσουμε τις επιπτώσεις που έχει στο τελικό αποτέλεσμα.

3.19. 1 Βασικά χαρακτηριστικά της Μεθόδου Ισοδύναμης Γεννήτριας.

Σ' αυτό το πρώτο βήμα είναι στο να οριστικοποιήσουμε τα βασικά χαρακτηριστικά από τις γεννήτριες και κινητήρες που θα διαμορφώσουν την ισοδύναμη γεννήτρια. (E.G.).
Το παράδειγμά μας περιλαμβάνει 3 γεννήτριες 400KW η κάθε μια και ισοδύναμους κινητήρες συνολικής ισχύος 300KW με απόδοση 0,9 που σημαίνει ότι καταναλώνουμε ισχύ 300KW/0,9=333KW από το σύστημα. Έτσι έχουμε : 3x400KW + 333,33KW = 1533,33KW με συντελεστή ισχύος συνφ = 0,8 άρα προκύπτει S = 1533,33 KW/0,8 → S 1917KVA.

3.19.2 Υπολογισμός των σταθερών Μ και Ν.

Οι σταθερές Μ και Ν χρησιμοποιούνται στον υπολογισμό των εναλλασσόμενων υπομεταβατικών και μεταβατικών σταθερών χρόνου. Υπολογίζονται χρησιμοποιώντας τις εσωτερικές τιμές του ρεύματος βραχυκύκλωσης της EG. Το ρεύμα βραχυκύκλωσης της EG στον κύριο πίνακα διανομής αποτελείται από την εναλλασσόμενη συνιστώσα AC και από την συνεχή συνιστώσα DC περιλαμβάνει το άθροισμα του ρεύματος βραχυκύκλωσης των γεννητριών και κινητήρων στον κύριο πίνακα διανομής.
Η AC συνιστώσα του ρεύματος βραχυκύκλωσης ορίζεται από την παρακάτω εξίσωση:

$Iac(t) = (I'' - I')$ — —

Όπου Ι΄΄, Ι΄, Ik είναι οι εσωτερικές τιμές του ρεύματος βραχυκύκλωσης της EG υπομεταβατική, μεταβατική και σταθερή κατάσταση του ρεύματος βραχυκύκλωσης.
Από προηγούμενους υπολογισμούς είχαμε βρει τις παρακάτω τιμές για γεννήτριες:
Εσωτερική τιμή υπομεταβατική του ρεύματος βραχυκύκλωσης → Ι΄΄kd=5903,64A.
Εσωτερική τιμή μεταβατική του ρεύματος βραχυκύκλωσης → Ι΄kd=4801,88A.
Εσωτερική τιμή σταθερής κατάστασης του ρεύματος βραχυκύκλωσης → Ikd= 1968,24A.
Η εσωτερική τιμή του υπομεταβατικού ρεύματος βραχυκύκλωσης για κινητήρες έχουμε υπολογίσει από προηγούμενα → Ι΄΄m 1756A.
Από τα παραπάνω προκύπτει για την EG (ισοδύναμη γεννήτρια)
Εσωτερική τιμή υπομεταβατικού ρεύματος βραχυκύκλωσης → Ι΄΄=3

Εσωτερική τιμή μεταβατικού ρεύματος βραχυκύκλωσης → Ι΄=3
= 14406 A
Εσωτερική τιμή ρεύματος σταθερής κατάστασης → Ik = 3

.

Άρα μπορούμε να υπολογίσουμε τις σταθερές Μ και Ν, όπου ορίζουμε :

M = Ι΄΄- Ι΄=19467 A -14406 A = 5061 A
Και
N = Ι΄- Ik =14406 -5905 = 8501 A

3.19.3 Υπολογισμός Υπομεταβατικής Σταθεράς χρόνου της Ισοδύναμης Γεννήτριας E. G.

Ξέρουμε ότι ισχύει ο τύπος για την εναλλασσόμενη συνιστώσα του ρεύματος βραχυκυκλώσεως για μια γεννήτρια.

Οπότε παρατηρούμε ότι έχουμε 1 εξίσωση με δύο αγνώστους T΄΄d και T΄d από τη θεωρία του κανονισμού IEC 61363-1 μας λέει ότι για τον πρώτο μισό κύκλο της κατάστασης του σφάλματος μπορεί να αγνοηθεί η μεταβατική απόσβεση της συνιστώσας EP και χρησιμοποιώντας αυτήν την προσέγγιση η παραπάνω σχέση γίνεται:

Ακόμη από προηγούμενο υπολογισμό μας είναι γνωστά τα παρακάτω στοιχεία.

Εσωτερική τιμή υπομεταβατικού ρεύματος βραχυκύκλωσης → I΄΄kd = 5903,64 A

Εσωτερική τιμή μεταβατικού ρεύματος βραχυκύκλωσης → I΄kd = 4801,88 A

Υπομεταβατική σταθερά χρόνου → T΄΄e =12,04ms

Μεταβατική σταθερά χρόνου → T΄e = 79,7804ms

DC χρονική σταθερά → Tdce =16,4ms,

όπου :

Άρα για κάθε γεννήτρια θα έχουμε

,

για 3 γεννήτριες έχουμε :

Ακόμα από προηγουμένως έχουμε :

Iac(m) = 1124 A , συνεισφορά κινητήρων

Iac(t) = 16060,41 + 1124 A = 17184,408 17184,41 A.

Οπότε ο γνωστός τύπος για 3 γεννήτριες γίνεται :

Iac(t) = (I – I)

Iac(t) = M

T΄΄d = , κάνοντας αριθμητική αντικατάσταση προκύπτει :

T΄΄d = = = 13,89 ms

Άρα T_d'' = 13,89 ms → Υπομεταβατική χρονική τιμή ισοδύναμης γεννήτριας.

3.19.4 Υπολογισμός Μεταβατικής Σταθεράς του Χρόνου.

Από προηγουμένως είναι γνωστό ότι Iac(t) = M

T΄d =

Μεταβατική σταθερά χρόνου T΄d = 79,766 ms

3.19.5 Υπολογισμός Σταθεράς Συνεχούς Ρεύματος.

Ξέρουμε ότι ισχύει ο τύπος

Idc(t) = (I΄΄kd + Io ημφo)

Όπου από προηγουμένως έχουμε Idc(t)=14061,3 A και η συνεισφορά των κινητήρων είναι 1449 A από προηγούμενους υπολογισμούς, άρα προκύπτει:

Idc(t)=14061,3A + 1449 A= 15510,3 A

Λύνοντας την παραπάνω σχέση προκύπτει:

→

→

→ κάνοντας αριθμητική αντικατάσταση προκύπτει :

Σταθερά συνεχούς ρεύματος.

Tdc = 14,296 ms

3.19.6 Η Σύνθετη Αντίσταση της Ισοδύναμης Γεννήτριας

Η σύνθετη αντίσταση της EG στο σημείο 0,5 κύκλους μπορεί να υπολογισθεί χρησιμοποιώντας τις τιμές I΄΄, I ΄, Ik που υπολογίσαμε προηγουμένως.

Εσωτερική τιμή του υπομεταβατικού ρεύματος βραχυκύκλωσης I΄΄=19467 A

Εσωτερική τιμή του μεταβατικού ρεύματος βραχυκύκλωσης I΄=14406 A

Ρεύμα βραχυκύκλωσης σταθερής κατάστασης:

Ik=5905A

Η προσφαλματική τάση είναι γνωστή για την εγκατάστασή μας και είναι Vo=440 V.

Επομένως έχουμε υπομεταβατική σύνθετη αντίσταση με αριθμητική αντικατάσταση

Z΄΄=Vo/ ¯ I΄΄=440V/ ¯ 19467 A=0,013 Ω

Μεταβατική σύνθετη αντίσταση με αριθμητική αντικατάσταση προκύπτει:

Z΄=Vo ¯¯ I΄=440V/ ¯ 14406 A=0,0176 Ω

Σύνθετη αντίσταση σταθεράς κατάστασης με αριθμητική αντικατάσταση προκύπτει:

Z = Vo ¯¯ I=440V/ ¯

Στην προσπάθειά μας να ορίσουμε τις τιμές RMS αντίστασης και επαγωγικής αντίδρασης ορίζουμε μια σταθερά C3 που θα μας βοηθήσει στους υπολογισμούς.

Προσδιορισμός σταθεράς C3.

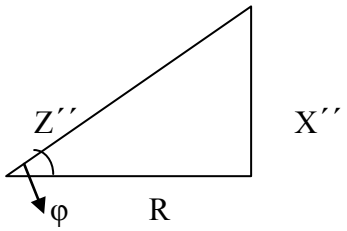
Είναι γνωστό από τους διεθνείς κανονισμούς ότι ισχύει ο παρακάτω τύπος.

Tdc = —— ορίζουμε C3 = R/X΄΄, άρα θα έχουμε

Tdc = ——— = = ——— →

C3 = ———

Είναι γνωστό από την τριγωνομετρία ότι ισχύει :



Επομένως : ημφ = — →

X΄΄ = Z΄΄ημφ = —— →

ημφ = — = ——— ——— = ——— , άρα αντικαθιστώντας προκύπτει :

X΄΄ = ——— = ———, Ισχύει ο διπλανός τύπος.

Αριθμητικός υπολογισμός C3:

——— ——————————— ———

Αντικαθιστώντας προκύπτουν:

——— ——— ——— Ω

R = C3

Ακόμα X΄ = ——— = ——————— =

——————————— = 0,01744 Ω

Ακόμα X = ——— = ——————— =

——————————— = 0,042934 Ω

3.19.7 Συγκέντρωση χαρακτηριστικών ισοδύναμης γεννήτριας.

Έχουμε υπολογίσει όλες τις παραμέτρους της ισοδύναμης γεννήτριας και τις συγκεντρώνουμε πριν προχωρήσουμε σε περαιτέρω υπολογισμούς.

EG ισχύ = 1533 KW, S = 1917 KVA, συνφ = 0,8

P = ¯ ——— ———

I = 2514,5 A → ρεύμα ισοδύναμης γεννήτριας EG

- Υπομεταβατική σταθερά χρόνου EG
  T΄΄d = 13,89 ms

- Μεταβατική σταθερά χρόνου EG
  T΄d = 79,766 ms

- Χρονική σταθερά συνεχούς ρεύματος EG
  Tdc = 14,296 ms

- Ωμική αντίσταση EG
  R = 0,0238 Ω

- Υπομεταβατική αντίδραση EG
  X΄΄ = 0,0128 Ω

- Υπομεταβατική σύνθετη αντίσταση EG

  $Z'' = 0{,}013\ \Omega$

- Μεταβατική αντίδραση EG

  $X' = 0{,}01744\ \Omega$

- Μεταβατική σύνθετη αντίσταση EG

  $Z' = 0{,}0176\ \Omega$

- Επαγωγική αντίδραση σταθερής κατάστασης EG

  $X = 0{,}042934\ \Omega$

Σύνθετη αντίσταση σταθερής κατάστασης EG

$Z = 0{,}043\ \Omega$

3.19.8 Υπολογισμός του ρεύματος βραχυκύκλωσης της ισοδύναμης γεννήτριας EG στον κύριο πίνακα διανομής.

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα που εξετάζουμε έχουμε τρεις γεννήτριες παράλληλες και ίδιας ισχύος, άρα και ίδιας τάσης. Είναι ένα τυπικό και σχετικά συνηθισμένο και απλό ναυτικό ενεργοηλεκτρικό σύστημα. Όπως αναφέραμε προηγουμένως η μέθοδος της EG γεννήτριας χρησιμοποιείται συνήθως όταν έχουμε στο ηλεκτροενεργιακό σύστημα του πλοίου γεννήτριες διαφορετικής ισχύος ή τάσης ή μεγάλα (bowthruster) σε διαφορετικά μέρη του πλοίου, πράγμα που δεν έχουμε στο συγκεκριμένο ναυτικό ενεργοηλεκτρικό σύστημα που εξετάζουμε. Αυτό σημαίνει σύμφωνα με τη θεωρία της μεθόδου της EG για τον κύριο πίνακα διανομής του παραδείγματος , ο υπολογισμός του ρεύματος βραχυκύκλωσης με τη μέθοδο της EG (ισοδύναμης γεννήτριας) μπορεί να μην

προκαλέσει περαιτέρω μειώσεις στις τιμές του ρεύματος βραχυκύκλωσης από την προηγούμενη μέθοδο που εξετάσαμε.
Παρ' όλα αυτά θα προχωρήσουμε στον υπολογισμό του ρεύματος βραχυκύκλωσης στον κύριο πίνακα διανομής και θα συγκρίνουμε τα αποτελέσματα και θα δούμε αν όντως συμβαίνουν αυτά που μας αναφέρει η θεωρία της ισοδύναμης γεννήτριας EG.

Παρατήρηση:
Ξέρουμε από την εκφώνηση του εξεταζόμενου παραδείγματος ότι οι γεννήτριες συνδέονται στον κύριο πίνακα διανομής με δύο γύρους καλωδίων μήκους 5m. Επομένως εύλογα γεννάται το ερώτημα, οι αριθμητικές τιμές της ισοδύναμης γεννήτριας EG που βρήκαμε προηγουμένως και παραθέτουμε συγκεντρωτικά στην προηγούμενη σελίδα, λαμβάνουν υπόψη τους την αντίσταση και τις υπομεταβατκές και μεταβατικές τιμές των επαγωγικών και σύνθετων αντιστάσεων των συγκεκριμένων καλωδίων;
Η απάντηση είναι ναι γιατί όλες οι σταθερές χρόνου και σε όλες τις τιμές της αντίστασης και αντίδρασης και σύνθετης αντίστασης, που υπολογίσαμε με τη μέθοδο της ισοδύναμης γεννήτριας EG περιλαμβάνουν αυτά τα καλώδια.

Προχωράμε στον υπολογισμό των ρευμάτων στην υπομεταβατική, μεταβατική και μόνιμης κατάστασης της EG (I΄΄kd, I΄kd, Ikd). Στην εκτίμηση της ισοδύναμης γεννήτριας υποθέσαμε ότι η τάση πίσω από το ρεύμα βραχυκύκλωσης ήταν η τάση του συστήματος 440 Volts. Όταν όμως η γεννήτρια είναι σε φορτίο, η τάση αυτή είναι υψηλότερη. Γι' αυτό σ' αυτή την περίπτωση υποθέτουμε ότι η EG λειτουργεί χωρίς φορτίο έτσι ώστε η εσωτερική τάση να είναι ίση με την εξωτερική 440 Volts, άρα οι ενεργές τιμές θα είναι :

E΄΄= 440V/ $\sqrt{3}$ = 254,041 Volt ανά φάση και

E΄= 440V/ $\sqrt{3}$ = 254,041 Volt ανά φάση.

Άρα τώρα μπορούμε να υπολογίσουμε.

Υπομεταβατικό αρχικό ρεύμα βραχυκύκλωσης EG:

I΄΄kd = — ———

Μεταβατικό αρχικό ρεύμα βραχυκύκλωσης EG:

I΄kd = — ———

Ρεύμα βραχυκύκλωσης μόνιμης κατάστασης EG:

Ikd = – ———

Κάνοντας αριθμητική αντικατάσταση των παραπάνω τιμών στις γνωστές σχέσεις βρίσκουμε τις συνιστώσες εναλλασσόμενη και συνεχή.

Εναλλασσόμενη συνιστώσα:

Iac(t) = (I΄΄kd – I΄kd) (I΄kd - Ikd) + Ikd →

Iac(t) = (19541,615 – 14434,148)

5107,467

Συνεχή συνιστώσα:

Idc(t) = , κάνοντας αριθμητική αντικατάσταση έχουμε:

Idc(t) =

Το στιγμιαίο ρεύμα θα είναι σύμφωνα με το γνωστό τύπο:

Ipk =

Ακόμα όπως είναι γνωστό το Ip δίνεται από τη σχέση:

Ipk = , άρα προκύπτει έπειτα από αριθμητική αντικατάσταση:

38239,641 = 1,4142136 →

38239,641 = 23168,071 →

1,6505313 = →

0,6505313 = →

-0,4299648 = →

εφφ = 7,3029234 →

συνφ= 0,135→

Αντικαθιστώντας στις γνωστές σχέσεις έχουμε τις παρακάτω ασύμμετρες τιμές:

Ασύμμετρο RMS $Iasg_{rms}$:

$Iasg_{rms}$=

Μέσος όρος 3φ RMS $I_{3phavg_{rms}}$:

$I_{3phavg_{rms}} = Irms$ + = 16382,3

– = 16382,3

Παρατήρηση:
Παρατηρούμε ότι λαμβανομένου υπόψη των υπολογιστικών προσεγγίσεων οι τιμές των ρευμάτων που βρήκαμε με την EG μέθοδο είναι παραπλήσιες με τις τιμές της μεθόδου που περιλαμβάνει τη μείωση γεννήτριας και κινητήρων για τον κύριο πίνακα διανομής του παραδείγματος που εξετάζουμε.

Υπολογισμένες τιμές ρεύματος βραχυκύκλωσης στον κύριο πίνακα είναι:

Συμμετρικό RMS ρέυμα Iscg

Iscg = 16,382 KA

a) Στιγμιαία τιμή στους 0,5 κύκλους Ipk

Ipk = 38,239 KA = 2,3342 Iscg

b) Ασύμμετρο RMS ρεύμα $Iasy_{rms}$

$Iasy_{rms}$ = 29,26 KA = 1,3588446 Iscg

c) Μέσο 3φ RMS $I_{3phavg_{rms}}$

$I_{3phavg_{rms}}$ = 19,44 KA= 1,18675 Iscg

Συντελεστής ισχύος βραχυκυκλώματος
συνφ = 0,135

3.19.9 Υπολογισμός του ρεύματος βραχυκύκλωσης στον πίνακα διανομής του μηχανοστασίου.

Ξέρουμε από τα δεδομένα της εγκατάστασης ότι ο πίνακας διανομής του μηχανοστασίου τροφοδοτείται από καλώδιο 20m 3φ αγωγών.

Ξαναθυμίζω ότι:

Αντίσταση καλωδίου

Rc = 0,521 20/1000 = 0,01042 Ω

Αντίδραση καλωδίου

Xc = 0,105 20/1000 = 0,0021 Ω

Άρα η σύνθετη αντίσταση καλωδίων είναι :

Zc =

= = 0,0106099

Έπειτα προσθέτουμε τα χαρακτηριστικά της ισοδύναμης γεννήτριας EG με τα χαρακτηριστικά του καλωδίου τροφοδοσίας του μηχανοστασίου και έχουμε:

- Αντίσταση Rt

Rt = + ERD = 0,00238 + 0,01042 = 0,0128 Ω

- Υπομεταβατική αντίδραση X΄΄t

X΄΄t = + ERD = 0,0128 + 0,0021 = 0,0149 Ω

- Υπομεταβατική σύνθετη αντίσταση Z΄΄t

Z΄΄t = = =

= 0,019643 Ω

- Μεταβατική αντίδραση X΄t

X΄t = + ERD = 0,01744 + 0,0021 = 0,01954 Ω

- Μεταβατική σύνθετη αντίσταση Z΄t

$Z'_t = \frac{\quad}{\quad} = \frac{\quad}{\quad} =$

$= 0{,}02336\ \Omega$

- Αντίδραση σταθερής κατάστασης Xt

$X_t = 0{,}042934 + 0{,}0021 = 0{,}045034\ \Omega$

- Σύνθετη αντίσταση σταθερής κατάστασης Zt

$Z_t = \frac{\quad}{\quad} = \frac{\quad}{\quad} =$

$= 0{,}0468177\ \Omega$

Υπολογίζουμε τώρα τις καινούριες σταθερές χρόνου αφού συμπεριλάβαμε και τα καλώδια τροφοδοσίας του πίνακα διανομής του μηχανοστασίου.

Υπομεταβατική σταθερά T΄΄

Δίνεται από τον παρακάτω τύπο :

$T'' = \frac{\quad}{\quad}$,

κάνοντας αριθμητική αντικατάσταση έχουμε :

$T'' = \frac{\quad}{\quad} = \frac{\quad}{\quad}$

$= \frac{\quad}{\quad} = 16{,}067\ \text{ms}$

Μεταβατική σταθερά T΄

Δίνεται από τον παρακάτω τύπο

Τ΄ = ——————— , κάνοντας αριθμητική αντικατάσταση προκύπτουν:

Τ΄= ———————————————

——————————————— ———

Χρονική σταθερά συνεχούς ρεύματος
Υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

——— ———————————

Ακολουθώντας την ίδια συλλογιστική όπως και στον κύριο πίνακα διανομής, δηλαδή ότι η ισοδύναμη γεννήτρια EG την θεωρήσαμε χωρίς φορτίο, δηλαδή η εσωτερική τάση είναι ίδια με την εξωτερική, έχουμε αντίστοιχα:

Υπομεταβατική τάση:

——

Μεταβατική τάση:

——

Υπολογίζουμε τώρα τις υπομεταβατικές και μεταβατικές εσωτερικές τιμές του ρεύματος βραχυκύκλωσης.

Υπομεταβατική Ι΄΄kd

—— ————

Μεταβατική I΄kd

Υπολογίζουμε ακόμα το ρεύμα βραχυκύκλωσης στη σταθερή κατάσταση Ikd

Μπορούμε τώρα να υπολογίσουμε τη συνεχή και εναλλασσόμενη συνιστώσα στα 8,33 ms. Η εναλλασσόμενη συνιστώσα Iac(t) δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

Iac(t) = (I΄΄kd – I΄kd) (I΄kd – Ikd)

Iac(t) = (12932,902 – 10875,043

Η συνεχή συνιστώσα Idc(t) δίνεται από την παρακάτω σχέση:

Idc(t) = , κάνοντας αριθμητική αντικατάσταση έχουμε:

Idc(t) =

Μετά βρίσκουμε την στιγμιαία τιμή του ρεύματος βραχυκύκλωσης από τον παρακάτω τύπο:

Ακόμα μπορούμε να υπολογίσουμε την εφφ από την παρακάτω σχέση:

, κάνοντας αριθμητική αντικατάσταση προκύπτει:

17697,473 =

συνφ → συντελεστής ισχύος του ρεύματος βραχυκύκλωσης.

Έχοντας κάνει τους παραπάνω υπολογισμούς μπορούμε να υπολογίσουμε τις ασύμμετρες τιμές κάνοντας αριθμητική αντικατάσταση στις γνωστές σχέσεις:

Ασύμμετρη τιμή RMS

Μέσος όρος 3φ RMS

=

Οπότε οι υπολογισμένες τιμές του ρεύματος βραχυκύκλωσης στον πίνακα διανομής του μηχανοστασίου είναι:

Συμμετρικό RMS ρεύμα Iscg
Iscg = 11675,414 A

a) Στιγμιαία τιμή στους 0,5 κύκλους Ipk

   Ipk = 17697,473 A = 1,5157898

b) Ασύμμετρο RMS ρεύμα $Iasy_{rms}$

   $Iasy_{rms}$ = 11735,762 A = 1,0051688

c) Μέσο 3φ RMS $I_{3phavg_{rms}}$

   $I_{3phavg_{rms}}$ = 11705,607 A = 1,002586

   Συντελεστής ισχύος βραχυκυκλώματος.

συνφ = 0,6423

3.19.10 Πίνακας σύγκρισης των αποτελεσμάτων υπολογισμού της ισοδύναμης γεννήτριας EG με προηγούμενες μεθόδους.

Όπως παρατηρούμε από τα αριθμητικά αποτελέσματα του πίνακα 3.4, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της ισοδύναμης γεννήτριας EG, υπάρχει μια μικρή μείωση του ρεύματος βραχυκύκλωσης στις τιμές των ρευμάτων στον κύριο πίνακα διανομής και στον πίνακα μηχανοστασίου. Αυτή η μικρή μείωση για το συγκεκριμένο ενεργοηλεκτρικό σύστημα δεν επηρεάζει την επιλογή διακοπτών ισχύος, τόσο στον κύριο πίνακα διανομής, όσο και στον πίνακα διανομής του μηχανοστασίου. Αυτό σε καμία περίπτωση δεν μειώνει την αξία της ισοδύναμης γεννήτριας EG σαν μια μέθοδο που μας παρέχει ασφαλή και με ακρίβεια αποτελέσματα, τόσο στον κύριο πίνακα διανομής, όσο και στον πίνακα διανομής του μηχανοστασίου. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η μέθοδος της ισοδύναμης γεννήτριας EG βασίζεται στον πρότυπο IEC 61363 – 1.

Πίνακας 3.4

Μεθοδοι θουβασιζονται στο θροτυπο IEC 61363-1

Κυριος Πινακας Διανομης	Z Μεθοδο	X/R Μεθοδο	Περιλαμβανα μειωση Γεννητριας	Περιλαμβανα μειωση Γεννητριας και Κινητηρων	Μεθοδος Ισοδυναμης Γεννητριας EG
Συμμετρικο RMS Ρευμα	18,5 KA	18,45 KA	17,524 KA	16,341 KA	16,383 KA
Στιγμιαια Τιμη Ιρκ στε 0,5 κυκλους	48,1 KA	43,208 KA	42,524 KA	38,62 KA	38,239 KA
Ασυμμετρο RMS Ρευμα Iasy τms	33,3 KA	25,214 KA	24,896 KA	22,53 KA	22,26 KA
Μεσο 3φ RMS Ρευμα Ισρhανy τms	25,9 KA	22 KA	21,38 KA	19,57 KA	19,44 KA
Συντελεστης Ισχυος	αγνωστος	0,1317	0,107	0,126	0,135
Πινακας Διανομης Μηχανοστασιου	Z Μεθοδο	X/R Μεθοδο	Περιλαμβανα μειωση Γεννητριας	Περιλαμβανα μειωση Γεννητριας Κινητηρων	Μεθοδος Ισοδυναμης Γεννητριας EG
Συμμετρικο RMS Ρευμα	10,43 KA	12,75 KA	12,425 KA	11,843 KA	11,6754 KA
Στιγμιαια Τιμη Ιρκ στε 0,5 κυκλους	27,118 KA	19,554 KA	19,376 KA	18,57 KA	17,6975 KA
Ασυμμετρο RMS Ρευμα Iasy τms	16,774 KA	12,85 KA	12,555 KA	12 KA	11,7357 KA
Μεσο 3φ RMS Ισρhανy τms	14,602 KA	12,8 KA	12,49 KA	11,913 KA	11,7056 KA
Συντελεστης Ισχυος	αγνωστος	0,613	0,586	0,577	0,6023

3.20. Συμπεράσματα

Υπάρχουν πολλοί τρόποι υπολογισμού του ρεύματος βραχυκύκλωσης στα ηλεκτρικά συστήματα πλοίων, μερικοί αρκετά απλοί, άλλοι αρκετά περίπλοκοι. Η περιπλοκότητα των υπολογισμών δεν είναι πάντα ένας καλός οδηγός για την αξία των αποτελεσμάτων που παράγουν. Μερικές μέθοδοι υπολογισμών εμπλέκονται σε εκτεταμένους υπολογισμούς αλλά τα αποτελέσματα που επιτυγχάνονται δεν μπορούν να ανακουφίσουν επιπρόσθετα. Άλλες μέθοδοι που εμπλέκουν εκτεταμένους υπολογισμούς δεν παράγουν απαραίτητα τελικά αποτελέσματα που είναι ισοδύναμα αξιόπιστα με εκείνα που επιτυγχάνονται με λιγότερες σύνθετες μεθόδους.
Σ' αυτή την εργασία ακολουθούνται 3 βασικοί μέθοδοι υπολογισμού:

1. Βασιζόμενη στον κανόνα «10 φορές» εις την υπομεταβατική σύνθετη αντίσταση της γεννήτριας
2. Βασιζόμενη στο νόμο του Ohm και στην παραμέληση της μείωσης του ρεύματος βραχυκύκλωσης σαν λειτουργία του χρόνου.
3. Βασιζόμενη στο IEC 61363-1 πρότυπο, χρησιμοποιώντας μια κατά προσέγγιση εκτίμηση του ρεύματος βραχυκύκλωσης για γεννήτριες και κινητήρες.

Στο να καθορίσουμε ποια είναι η καλύτερη μέθοδος υπολογισμού είναι δύσκολο, εξαρτάται από το μέγεθος της εγκατάστασης, το σημείο που μας ενδιαφέρει στο σύστημα και το σκοπό του υπολογισμού.
Για κάθε εγκατάσταση που έχει εγκατεστημένη ισχύ γεννητριών 500 KVA ή λιγότερο στα 440 Volt ή λιγότερο από 300 KVA στα 230 V η «10 φορές» μέθοδος είναι γενικά επαρκής. Αν στο κύριο πίνακα διανομής έχουμε δικαιολογημένα αποτελέσματα που μας επιτρέπουν να έχουμε ελάχιστο μέγεθος διακοπτών ισχύος (10 ή 14 KA) τότε περαιτέρω υπολογισμοί στον πίνακα διανομής του μηχανοστασίου δεν είναι απαραίτητοι. Ο κανόνας υπολογισμού «10 φορές» μπορεί να είναι αρκετά αποτελεσματικός, εάν η υπομεταβατική αντίδραση είναι γνωστή. Προσοχή πρέπει να δοθεί έτσι ώστε να χρησιμοποιήσουμε την εσωτερική τάση της γεννήτριας και όχι την τάση του συστήματος γιατί αλλιώς τα αποτελέσματα είναι ανακριβείς. Για μεγαλύτερες εγκαταστάσεις συστήνεται να χρησιμοποιήσουμε πιο περίπλοκες μεθόδους υπολογισμού. Αν χρησιμοποιηθεί ο κανόνας «10 φορές» οι τιμές ρεύματος βραχυκύκλωσης που θα υπολογιστούν θα είναι αρκετά

υψηλές με αποτέλεσμα οι διακόπτες ισχύος της εγκατάστασης να είναι υπερδιαστελλοποιημένοι με αποτέλεσμα να ανεβαίνει το κόστος εγκατάστασης.
Η μείωση των απαιτήσεων στο ρεύμα βραχυκύκλωσης που οφείλεται στα καλώδια τροφοδοσίας μπορεί να είναι σημαντική, ειδικά για χαμηλότερα μεγέθη τροφοδοσίας (πχ. 100 Α ή λιγότερο). Ανάλογα όταν υπολογίζουμε το επίπεδο βραχυκυκλώματος στους πίνακες πλοίου, οι πίνακες διανομής και άλλοι πίνακες διανομής που εφοδιάζονται από τον κύριο πίνακα διανομής, η σύνθετη αντίσταση των καλωδίων τροφοδοσίας πρέπει να λαμβάνεται υπόψη. Ακόμα πρέπει να ληφθεί υπόψη και η αντίσταση και η επαγωγική αντίδραση των καλωδίων τροφοδοσίας αλλιώς τα αποτελέσματα των υπολογισμών μπορεί να έχουν μη παραδεκτές τιμές.
Οι μέθοδοι υπολογισμού που περιλαμβάνουν γεννήτριες και κινητήρες στη μείωση του βραχυκυκλώματος θα παράγουν τις χαμηλότερες αποδεκτές τιμές του ρεύματος βραχυκύκλωσης. Τέτοιες μέθοδοι βασίζονται στο διεθνές πρότυπο IEC 61363-1. Η ποσότητα των υπολογισμών που απαιτούνται είναι παρόμοιες με τις Z και X/R μεθόδους που περιγράψαμε αλλά τα αποτελέσματα είναι σημαντικά μικρότερα. Πολύ περισσότερο η ευαισθησία των υπολογισμών μπορούν να παράγουν μεγάλες διαφορές στα αποτελέσματα για μικρές αλλαγές στις τιμές της σύνθετης αντίστασης. Κατά συνέπεια η IEC 61363-1 μέθοδος για αυτό το λόγο προτιμάται γιατί προσφέρει περισσότερη ακρίβεια στους υπολογισμούς της μεθόδου και δίνει «περισσότερη σημασία στον υπολογισμό του χρόνου» απ' ότι άλλες μέθοδοι.
Για συστήματα που περιλαμβάνουν :

a) Διαφορετικού μεγέθους γεννήτριες ή
b) Γεννήτριες με διαφορετικές τάσεις που είναι εγκατεστημένες σε διαφορετικούς πίνακες διανομής.

Οι υπολογισμοί του ρεύματος βραχυκύκλωσης στους πίνακες ισχύος που λαμβάνει υπόψην την ποσότητα μείωσης του ρεύματος δεν είναι απόλυτα ακριβής.
Βασικά υπάρχουν 2 προσεγγίσεις:

a) Αγνόηση των αλλαγών της σταθεράς χρόνου που προέρχονται από την σύνθετη αντίσταση των καλωδίων τροφοδοσίας.
b) Να συμπεριλάβουμε τις αλλαγές της σταθεράς χρόνου στα αποτελέσματα.

Οι τελευταίοι υπολογισμοί μπορεί να είναι πλήρεις, χρησιμοποιώντας την μέθοδο της Ισοδύναμης γεννήτριας. Προσεγγιστικά περιγράφονται στο πρότυπο IEC 61363-1.

Για τις πιο πολλές συμβατικές ναυτικές ηλεκτρικές μονάδες, η μέθοδος της Ισοδύναμης γεννήτριας περιλαμβάνει εκτεταμένους υπολογισμούς και θα παράγει αποτελέσματα με περιθώρια κέρδους αρκετά διαφορετικά από άλλες απλές μεθόδους. Για την πλειονότητα των ναυτικών ηλεκτρικών συστημάτων που χρησιμοποιούνται στην ναυτική βιομηχανία είναι μέθοδος υπολογισμού που βασίζεται στον διεθνή κανονισμό IEC 61363-1, λαμβάνει υπόψη την μείωση του ρεύματος βραχυκύκλωσης και από τις γεννήτριες και κινητήρες θα δώσει την χαμηλότερη αξιόπιστη υπολογισμένη τιμή του ρεύματος βραχυκύκλωσης.
Ακόμα με αυτή τη μέθοδο θα πρέπει να γνωρίζουμε την ακρίβεια των δεδομένων που χρησιμοποιούνται στον υπολογισμό, (Υπομεταβατική αντίδραση, ανοχές κλπ.)
Στην προσπάθεια να εφοδιάσουμε τον υπολογισμό με ένα περιθώριο λάθους στο αποτέλεσμα, πρακτικά όταν διαλέγουμε διακόπτες με μέγεθος κοντά στις υπολογισμένες τιμές, οι κανονισμοί γενικά μας επιτρέπουν ένα περιθώριο λάθους 5-10% σε όλες τις υπολογισμένες τιμές.

Κεφάλαιο 4. Διακόπτες Προστασίας Γεννητριών

4.1. Εισαγωγή

Για την επιλογή διακοπτών κυκλώματος το ρεύμα βραχυκύκλωσης που προέρχεται από το τριφασικό σφάλμα, γενικά θεωρείται σαν επαρκής τρόπος επιλογής.
Η πηγή ισχύος του βραχυκυκλώματος προέρχεται από γεννήτριες και κινητήρες που πέρνουν ισχύ από το δίκτυο, αλλά είναι δύσκολο να γνωρίζουμε ποια πηγή ισχύος μπορεί να τροφοδοτεί με ισχύ το δίκτυο κάτω από συνθήκες βραχυκυκλώματος, γι' αυτό όλες αυτές οι πηγές ισχύος πρέπει να ληφθούν υπόψη στον υπολογισμό. Η τιμή του ρεύματος βραχυκύκλωσης, η οποία μπορεί να ρέει σε κάθε δίκτυο κάτω από συνθήκες βραχυκυκλώματος μπορεί μόνο να περιορισθεί από τη σύνθετη αντίσταση του δικτύου. Γι' αυτό το λόγο είναι σημαντική η αντίσταση και η επαγωγική αντίδραση που βρίσκονται στο δρόμο του βραχυκυκλώματος και είναι διανυσματικά μεγέθη που υπολογίζονται με ακρίβεια.
Για ναυτικές εγκαταστάσεις οι αντιστάσεις συνήθως δεν αγνοούνται αφού συχνά μειώνουν τα αποτελέσματα στις απαιτούμενες συσκευές προστασίας και ακόμα βελτιώνουν τον συντελεστή ισχύος του σφάλματος. Για να προσδιορίσουμε τις τιμές του σφάλματος και τα μεγέθη των συσκευών προστασίας πρέπει μόνο να υπολογίσουμε τη χειρότερη κατάσταση. Η εσωτερική στιγμιαία τιμή του ρεύματος βραχυκύκλωσης μπορεί να είναι διπλάσια από τη στιγμιαία τιμή της εναλλασσόμενης συνιστώσας και αυτό επηρεάζει διπλά το λόγο [Αντίσταση (R) / Αντίδραση (X)] που συνδέεται με τον συντελεστή ισχύος του σφάλματος.

4.2. Διακόπτης ισχύος

Κάθε διακόπτης ισχύος έχει τρία βασικά καθήκοντα στη λειτουργία του κάτω από συνθήκες βραχυκυκλώματος:

α) Εάν είναι ανοιχτός πρέπει να κλείσει στο σφάλμα και να κλείσει το κύκλωμα στο ρεύμα βραχυκύκλωσης.

β) Εάν είναι ήδη κλειστός, όταν αναπτυχθεί το σφάλμα μπορεί να έχει ανοιχτό το κύκλωμα σφάλματος και να σπάσει το ρεύμα βραχυκύκλωσης.

γ) Μπορεί να μεταφέρει το ρεύμα σφάλματος μέχρι να λειτουργήσουν τα χρονικά ρελέ καθυστέρησης.

Στη δεύτερη περίπτωση το ρεύμα σφάλματος το λιγότερο σε μια φάση θα έχει σημαντική ασυμμετρία αν ο διακόπτης ανοίξει στην διάρκεια των πρώτων κύκλων μετά την εμφάνιση του σφάλματος, γι' αυτό οι χρόνοι λειτουργίας του διακόπτη είναι σημαντικοί.

4.2.1. Ικανότητα Κατασκευής (Making Capacity).

Με την έννοια της (Making Capacity) εννοούμε το ρεύμα που πρέπει να κατασκευαστεί ο διακόπτης για να αντέχει στο σφάλμα. Για να γίνει αυτό, ο διακόπτης πρέπει να είναι ικανός να αντέχει τις ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις που παράγονται από την στιγμιαία τιμή του ρεύματος σε μια φάση.
Αυτό μπορεί να είναι θεωρητικά 2 φορές τη στιγμιαία τιμή του συμμετρικού ρεύματος [2 $\bar{}$ 2,828] φορές την rms τιμή του συμμετρικού ρεύματος σφάλματος, βασιζόμενο στο διπλασιασμό του συντελεστή ισχύος. Αυτό σημαίνει, ότι το ρεύμα αποκατάστασης (making current ls), είναι το ασύμμετρο ρεύμα βραχυκύκλωσης στο οποίο η στιγμιαία τιμή του μέγιστου ρεύματος καμπύλης (συμπεριλαμβανομένης και της DC συνιστώσας) που αναπτύσσεται σε κάθε πόλο μετά την έναρξη του βραχυκυκλώματος. Η τιμή του ls εξαρτάται από τον στιγμιαίο χρόνο, όταν παρουσιαστεί το βραχυκύκλωμα και οι υπολογισμοί του ls γίνονται, όταν εμφανιστεί το μέγιστο ρεύμα βραχυκύκλωσης.

4.2.2. Ικανότητα Διακοπής (Breaking Capacity).

Η ικανότητα διακοπής είναι το ρεύμα σφάλματος, όπου ο διακόπτης πρέπει να διακόψει με ασφάλεια σε συγκεκριμένη τάση εξαρτώμενη από τους Κανονισμούς στις επαφές, μετά το σβήσιμο του τόξου. Η ικανότητα διακοπής για αυτό το λόγο εξαρτάται από την ανακτώμενη τάση που εμφανίζεται στης ανοιχτές επαφές, όταν το ρεύμα είναι 0.
Η ικανότητα διακοπής κανονικά δίνεται, σαν συμμετρική εναλλασσόμενη

[ac rms] τιμή μαζί με τον συντελεστή ισχύος του δοκιμαζόμενου κυκλώματος. Σε ορισμένους διακόπτες είναι πιθανό να συσχετιστεί η ικανότητα διακοπής απευθείας με τον συντελεστή ισχύος, έτσι ώστε τα μεγέθη να μπορούν να μετατραπούν από αυτά που πιστοποιούνται σε αυτά τα πραγματικά ρεύματα σφάλματος.
Αυτή η συνήθεια μείωσης του συντελεστή δεν έχει διεθνή εφαρμογή, παρ' όλα αυτά μπορεί να χρησιμοποιηθεί με προσοχή και πρέπει πρώτα να αποσαφηνιστεί με τους κατασκευαστές. Χαμηλοί συντελεστές ισχύος πρέπει να αναμένονται κοντά στην πηγή ισχύος (πχ. Κύριο πινάκα διανομής) και υψηλότεροι συντελεστές ισχύος στα σημεία διανομής (πχ. Πινάκες διανομής μηχανοστασίου), αυτό οφείλεται στις τιμές της σύνθετης αντίστασης που βρίσκεται στο δρόμο βραχυκυκλώματος.
Το ρεύμα διακοπής (breaking current) I είναι το εσωτερικό συμμετρικό ρεύμα βραχυκύκλωσης ac, το οποίο είναι η rms τιμή της εναλλασσόμενης συνιστώσας (a.c) του ρεύματος βραχυκύκλωσης που πολώνεται παραπάνω σε χρόνο μηδέν.

4.2.3. Ικανότητα Χρόνου Βραχυκύκλωσης

Ο διακόπτης μπορεί να μεταφέρει το ονομαστικό ρεύμα διακοπής από μια ορισμένη περίοδο στην τοποθετούμενη χρονική καθυστέρηση των ρελέ στο κύκλωμα, ενώ ένας άλλος διακόπτης σε σειρά καθαρίζει το σφάλμα. Στις ναυτικές εγκαταστάσεις αυτή η καθυστέρηση δεν μπορεί να είναι μεγαλύτερη από 1 *sec.* και γενικά καθορίζεται από τις ρυθμίσεις του διακόπτη της γεννήτριας.
Οι περισσότεροι διεθνείς κανονισμοί (νηογνώμονες για ναυτικές ηλεκτρικές εγκαταστάσεις), απαιτούν αυτό το 1 *sec.* να διαβαθμιστεί, να δοκιμαστεί και να πιστοποιηθεί. Οι διακόπτες ακόμα πρέπει να είναι ανθεκτικοί στην δημιουργούμενη θερμοκρασία.

4.3. Διακόπτης Προστασίας Γεννητριών

Στην ενότητα αυτή θα ασχοληθούμε με ένα συγκεκριμένο κατασκευαστή διακοπτών προστασίας γεννητριών, ο οποίος θεωρείται κορυφαίος στο είδος του, την MITSUBISHI ELECTRIC και θα περιγράψουμε τους διακόπτες αέρος AE-SW. Η Mitsubishi έχει τη δυνατότητα διατηρώντας τον ίδιο κύριο κορμό στο διακόπτη και αλλάζοντας το ηλεκτρονικό ρελέ προστασίας, να μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο

διακόπτης είτε σα διακόπτης γραμμής με ηλεκτρονικό ρελέ γενικής χρήσεως [W-S] relay, είτε σα διακόπτης προστασίας γεννητριών με ηλεκτρονικό ρελέ [W-M] relay.

Θα παρουσιάσουμε τις ομοιότητες των δύο ηλεκτρονικών ρελέ και θα αναδείξουμε τις διαφορές. Ακόμα ένα αριθμητικό παράδειγμα θα μας δείξει την αναγκαιότητα της ύπαρξης αυτών των δύο τύπων ηλεκτρονικών ρελέ, καθώς και τις διαφορές που παρουσιάζονται.

4.3.1. Περιγραφή Διακόπτη

Σταθερός τύπος:

1) Θάλαμος εξάλειψης τόξου.
2) Τερματικές επαφές κυκλώματος ελέγχου.
3) Τριπάρισμα ηλεκτρονικού ρελέ.
4) Κουμπί κλεισίματος.
5) Κουμπί ανοίγματος.
6) Άγκιστρο λουκέτου.
7) Ένδειξη φορτίσματος.
8) Ενδείξεις On/Off.
9) Κουμπί χειροκίνητου reset.

Συρόμενος τύπος:

1) Φορτίο
2) Τερματικές επαφές κυκλώματος ελέγχου.
3) Τρύπα ανύψωσης.
4) Χερούλι κουρδίσματος.
5) Ένδειξη θέσης συρόμενου διακόπτη.
6) Επιπλέον ράβδοι.
7) Θέση κλειδώματος.
8) Άνοιγμα για το χερούλι του συρόμενου διακόπτη.
9) Χερούλι συρόμενου διακόπτη.

4.3.2. Προδιαγραφές προϊόντος

Σ' αυτή την ενότητα παρουσιάζονται οι προδιαγραφές των διακοπτών από τον κατασκευαστή, αξίζει να σημειώσουμε ορισμένες παρατήσεις:

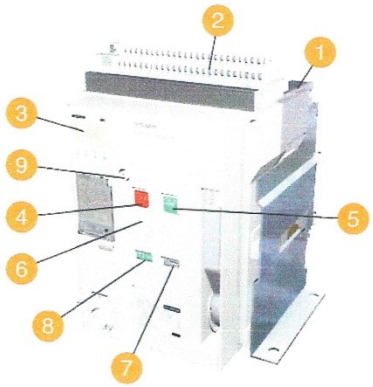
a) Οι διακόπτες για ναυτικές εγκαταστάσεις πρέπει να έχουν τις ανάλογες εγκρίσεις από τους νηογνώμονες (οργανισμούς κατάταξης)
[LR, BV, DNV, ABS, NK, CCS].

b) Για διακόπτες προστασίας γεννητριών το ρεύμα του θερμικού του διακόπτη έχει μια σταθερή τιμή μέσα σε καθορισμένα όρια ανάλογα με το ονομαστικό ρεύμα του ουδέτερου πόλου του διακόπτη.

c) Όπως παρατηρούμε η ικανότητα διακοπής (Breaking Capacity) είναι πάντοτε μικρότερη από την ικανότητα κατασκευής (Making Capacity) σ' όλες τις τάσεις λειτουργίας, που είναι κάτι αναμενόμενο.

Fixed type

AE-SW Series



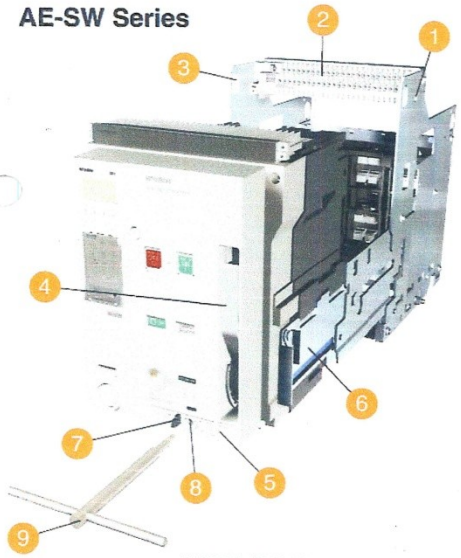
AE1600-SW 3P

1. Arc extinguishing chamber
2. Control circuit terminal block
3. Electronic trip relay
4. OFF button
5. ON button
6. Padlock hook
7. Charging indicator
8. ON/OFF indicator
9. Manual reset button(Optional)

In case of the fixed type,Lifting hooks (HP) are attached.

Drawout type

AE-SW Series



AE1600-SW 3P

1. Cradle
2. Control circuit terminal block
3. Lifting hole
4. Charging handle
5. Drawout position indicator
6. Extension rail
7. Position lock
8. Aperture for the drawout handle
9. Drawout handle

In case of the drawout type, Drawout handle is attached.

• Specification

Type				AE630-SW	AE1000-SW	AE1250-SW	AE1600-SW	
Frame size (A)				630	1000	1250	1600	
Rated insulation voltage (Ui) (AC.V)				1000				
Rated operational voltage (Ue) (AC.V)				690				
Rated impulse withstand voltage (Uimp) (kV)				12				
Pollution degree				3				
Number of poles				3, 4				
Rated current In (CT rating)				630	1000	1250	1600	
Current setting Ir (A) (40°C)	General use (Current rating adjustable 0.5 to 1.0 × In 0.05 step)			315-346.5-378-409.5-441-472.5-504-535.5-567-598.5-630 (Note 5)	500-550-600-650-700-750-800-850-900-950-1000	625-687.5-750-812.5-875-937.5-1000-1062.5-1125-1187.5-1250	800-880-960-1040-1120-1200-1280-1360-1440-1520-1600	
	Generator protection use (Current rating fixed)			160 ≤ Ir ≤ 630	400 ≤ Ir ≤ 1000	800 ≤ Ir ≤ 1250	1000 ≤ Ir ≤ 1600	
Rated current of neutral pole (A)				630	1000	1250	1600	
IEC60947-2 EN60947-2 BS VDE JIS C 8201-2-1	Ultimate breaking capacity Icu (kA rms)		690V AC	65				
			600V AC	65				
			240-500V AC	65				
		with MCR	690V AC	65				
			600V AC	65				
			240-500V AC	65				
		without Instantaneous	690V AC	25 (Note1)				
			500V AC	25 (Note1)				
	Rated service breaking capacity Ics (kA rms) %Icu			100%				
	Rated making capacity Icm (kA peak)		690V AC	143				
			600V AC	143				
			240-500V AC	143				
		with MCR	690V AC	143				
			600V AC	143				
			240-500V AC	143				
		without Instantaneous	690V AC	52.5				
			500V AC	52.5				
Rated short time withstand current Icw (kA rms)			1s	65				
			2s	60				
			3s	50				
Maximum total breaking time (ms)				40 (Note 6)				
Maximum closing time (ms)				80				
Number of operating cycles (Note 2)	With rated current	AC500V In		5000				
		AC690V In		5000				
	Without rated current			25000 (Note 4)				
Connecting terminal	Horizontal terminal			○				
	Vertical terminal			○				
	Front terminal			○				
Outline dimension (mm) H×W×D	Fixed type		3-pole	410×340×290				
			4-pole	410×425×290				
	Drawout type		3-pole	430×300×368				
			4-pole	430×385×368				
Weight (kg) (without Accessory)	Fixed type		3-pole	40	41	42		
			4-pole	50	51	52		
	Drawout type (including cradle)		3-pole	63	64	65		
			4-pole	77	78	79		
	Cradle only		3-pole	26				
			4-pole	30				
Marine approval	3-pole			○ (LR, GL, BV, DNV, ABS, NK, CCS)				

(Note 1) The columns for "without instantaneous" are the values when the bare main body and the external relay is combined.
(Note 2) The number of operating cycles without rated current also include the number of operating cycles with rated current.
(Note 3) AE2000-SWA, AE4000-SWA and AE4000-SW~AE6300-SW apply for only vertical terminal of connecting terminal.
(Note 4) This value is max. operating cycle for just ACB body not including any accessories.
(The max. operating cycles for the accessories like AX, MD,CC, SHT and UVT are half of this value.)
(Note 5) Products with low rating types is available.

AE 630-SW 3 kinds of products with low rating types is available.
- 250-275-300-325-350-375-400-425-450-475-500(CT 500A)
- 157.5-173.3-189-204.8-220.5-236.3-252-267.8-283.5-299.3-315(CT 315A)
- 125-137.5-150-162.5-175-187.5-200-212.5-225-237.5-250(CT 250A)

AE 2000-SW 2 kinds of products with low rating types is available.
- 800-880-960-1040-1120-1200-1280-1360-1440-1520-1600(CT 1600A)
- 625-687.5-750-812.5-875-937.5-1000-1062.5-1125-1187.5-1250(CT 1250A)

AE2000-SWA	AE2000-SW	AE2500-SW	AE3200-SW	AE4000-SWA	AE4000-SW	AE5000-SW	AE6300-SW
2000	2000	2500	3200	4000	4000	5000	6300
	1000				1000		
	690				690		
	12				12		
	3				3		
	3, 4				3, 4 (HN, FN) (Note7)		
2000	2000	2500	3200	4000	4000	5000	6300
1000-1100-1200-1300-1400-1500-1600-1700-1800-1900-2000	1000-1100-1200-1300-1400-1500-1600-1700-1800-1900-2000 (Note 5)	1250-1375-1500-1625-1750-1875-2000-2125-2250-2375-2500	1600-1760-1920-2080-2240-2400-2560-2720-2880-3040-3200	2000-2200-2400-2600-2800-3000-3200-3400-3600-3800-4000	2000-2200-2400-2600-2800-3000-3200-3400-3600-3800-4000	2500-2750-3000-3250-3500-3750-4000-4250-4500-4750-5000	3150-3465-3780-4095-4410-4725-5040-5355-5670-5985-6300
1250 ≤ Ir ≤ 2000	800 ≤ Ir ≤ 2000	1600 ≤ Ir ≤ 2500	2000 ≤ Ir ≤ 3200	2500 ≤ Ir ≤ 4000	2500 ≤ Ir ≤ 4000	3150 ≤ Ir ≤ 5000	4000 ≤ Ir ≤ 6300
2000	2000	2500	3200	4000	2000 (4000) (Note8)	2500 (5000) (Note8)	3150 (6300) (Note8)
	75				85		
	75				85		
	85				130 (Note9)		
	75				85		
	75				85		
	75				100		
	45 (Note1)				65 (Note1)		
	45 (Note1)				65 (Note1)		
	100%				100%		
	165				187		
	165				187		
	187				286		
	165				187		
	165				187		
	165				220		
	94.5				143		
	94.5				143		
	75				100		
	75				85		
	65				85		
	40 (Note 6)				50 (Note 6)		
	80				80		
1500	1500		1000	500	1000		
1500	1500		1000	500	1000		
	20000 (Note 4)				10000 (3P) / 5000 (4P)		
-	○			-	-		
○ (Note 3)	○			○ (Note 3)	○ (Note 3)		
-	○			-	-		
	410×475×290				414×873×290		
	410×605×290				414×1003(1133)×290 (Note 8)		
	430×435×368			430×439×368	480×875×368		
	430×565×368			430×569×368	480×1005(1135)×368 (Note 8)		
47	60	61	63	81	160	160	160
57	72	73	75	99	180 (200) (Note8)	180 (200) (Note8)	180 (200) (Note8)
70	92	93	95	108	233	233	240
84	113	114	116	136	256 (279) (Note8)	256 (279) (Note8)	263 (286) (Note8)
31	35		36	49	118	118	125
35	43		44	61	133 (148) (Note8)	133 (148) (Note8)	140 (155) (Note8)
	○ (LR, GL, BV, DNV, ABS, NK, CCS)				○ (NK), available soon (LR, GL, BV, ABS)		

(Note 6) This value means the instantaneous breaking time at shortcircuit interruption.
As for accessories (SHT, UVT), refer to page 13 and 14.

(Note 7) 4(HN) means the neutral poles current capacity is 50% of the rated current, for 4 poles.
4(FN) means the neutral poles current capacity is 100% of the rated current, for 4 poles.

(Note 8) ( ) shows the value for 4P FN type.

(Note 9) Marine approval value is 138kA.

(Remark) All models conform the isolating function according to IEC 60947-2.
Reverse connection is possible.

4.3.3. Φόρτωμα Διακόπτη

a) Χειροκίνητο φόρτωμα

Σ' αυτή την περίπτωση το ελατήριο κλεισίματος του διακόπτη φορτίζεται χειροκίνητα. Οι επαφές του διακόπτη κλείνουν όταν πατηθεί το 'μπουτόν' ON και ανοίγουν όταν πατηθεί το 'μπουτόν' OFF.

1) Όταν το ελατήριο κλεισίματος έχει φορτιστεί η ένδειξη φορτίσεως δείχνει << CHARGED >>.
2) Οι ενδείξεις ON και OFF δείχνουν την κατάσταση των κυρίων επαφών του διακόπτη.
3) Ο διακόπτης δεν μπορεί να κλείσει (θέση ON), ενώ το μπουτόν OFF πατιέται (προστασία).
4) Κλειδαριά OFF είναι διαθέσιμη.

b) Αυτόματο φόρτωμα κινητήρα φόρτισης (MD).

Το ελατήριο κλεισίματος φορτίζεται από ένα ηλεκτρικό κινητήρα. Όταν ο διακόπτης είναι κλειστός το ελατήριο φορτίζεται αυτόματα (on-charge method). Το πηνίο κλεισίματος (cc) απαιτείται για να κλείσουμε το διακόπτη από απόσταση, ενώ το πηνίο εργασίας (SHT) για να ανοίξουμε τον διακόπτη από απόσταση.

1) Χειροκίνητη φόρτιση είναι επίσης δυνατή.
2) Πρόβλεψη εξάντλησης εξασφαλίζεται ηλεκτρικά και μηχανικά.
3) Καθώς η φόρτιση αποπερατώνεται, η επαφή χωρίζεται από το ηλεκτρικό κύκλωμα φόρτισης και η λειτουργία στο σχέδιο ελέγχου μπορεί να κανονισθεί όπως επιθυμούμε.

4.3.4. Εξαρτήματα Διακόπτη

a) Πηνίο κλεισίματος (cc) closing coil

Το πηνίο κλεισίματος είναι μία συσκευή που μας δίνει τη δυνατότητα να κλείσουμε το διακόπτη από απόσταση.

1) Ο χρόνος κλεισίματος είναι ο χρόνος από την εσωτερική ενεργοποίηση μέχρι το οριστικό κλείσιμο των κυρίων επαφών του διακόπτη.

2) Μια σύνδεση στο να εμποδίσει την εξάντληση προβλέπεται ηλεκτρικά.
3) Καθώς το πηνίο κλεισίματος οδηγεί έναν παλμό, δεν είναι απαραίτητο να παρεμβάλουμε μια επαφή A×B με σκοπό να προλάβουμε μια ανάφλεξη.

b) Πηνίο ανοίγματος (SHT) Shunt trip coil

Το πηνίο ανοίγματος είναι μια συσκευή που ανοίγει το διακόπτη από απόσταση και περιλαμβάνει ένα διακόπτη αποκοπής.

c) Συσκευή πτώσης τάσης (VVT) controller

Αυτή η συσκευή κλείνει αυτόματα το διακόπτη όταν μειωθεί η τάση του κυκλώματος κάτω από την ονομαστική τάση και αποτελείται από το πηνίο ελλείψεως τάσεως (UVT coil) και το (UVT CONTROLLER ελεγκτή). Υπάρχουν τρία είδη διακοπής:

1) Ακαριαία διακοπή (instant)
2) Με χρονική καθυστέρηση 0.5 sec
3) Με χρονική καθυστέρηση 3.0 sec

d) Επαφή συναγερμού (OCR) alarm (AL)

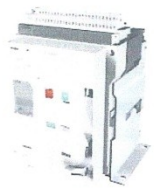
Είναι μια ανοικτή επαφή που είναι στο σταθερό εξοπλισμό του ηλεκτρονικού ρελέ του διακόπτη και αν έχουμε χρόνο βραχυκυκλώματος (30 ms) και πάνω μας δίνει οπτικό σήμα.

e) Βοηθητικές επαφές

Από αυτές τις βοηθητικές επαφές μπορούμε να δώσουμε και να πάρουμε πληροφορίες από το διακόπτη. Υπάρχουν δύο τύποι:

1) Κανονικές επαφές που περνάνε ορισμένες τιμές ρεύματος σε ωμικά και επαγωγικά φορτία.
2) Υψηλής ικανότητας επαφές που περνούν μεγαλύτερες τιμές ρεύματος σε ωμικά και επαγωγικά φορτία.

Manual charging



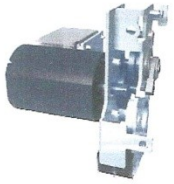
The closing spring is charged by the manual charging handle. The breaker is closed when the ON button is pressed, and opened when the OFF button is pressed.

- When the closing spring is completely charged, the charging indicator will show "CHARGED".
- The indicator shows the ON or OFF state of the main contacts.
- The breaker cannot be closed while the OFF button is being pressed. (Safety feature)
- OFF lock is available by padlock (See P7, P17) as standard.

Motor charging device (MD)

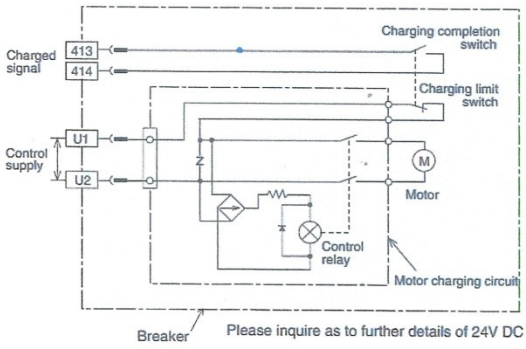
Option

1



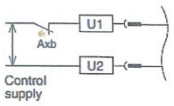
The closing spring is charged by an electric motor. When the breaker is closed, the spring is charged automatically (ON-charge method.) The closing coil (CC) is required to remotely close, and the shunt trip device is required to remotely open the breaker.

- Manual charging operation is also possible.
- Pumping prevention is assured both electrically and mechanically.
- As the charging completion contact is separate from the electrical charging circuit, its function in the control scheme can be arranged as desired.



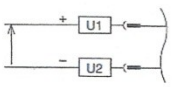
Please inquire as to further details of 24V DC and 48V DC.

OFF charging method



OFF charging method is also available. The closing spring is charged automatically when the breaker is opened. This is available only by externally connecting b contact (AXb) of the auxiliary switch to the motor charging circuit in series.
In case of DC power supply, please use high capacity auxiliary switch (HAX).

Polarity of DC circuit use

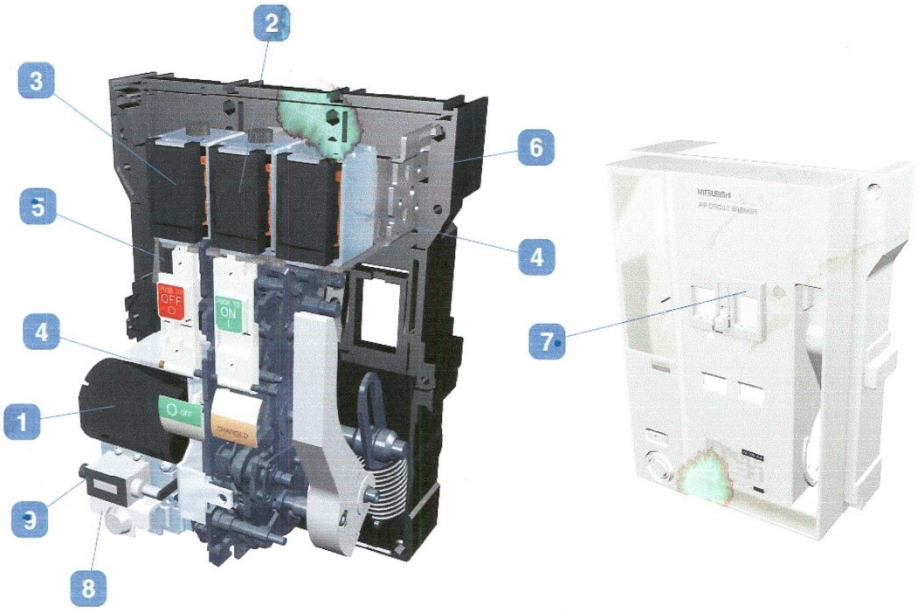


Motor charging rating

Rated voltage (V)	Applicable voltage range (V)	Applied voltage (V)	Inrush current(Peak value) (A)	Steady current (A)	Charging time (s)	Criterion for power requirement (VA)
DC24	18 ~ 26.4	24	22	6	≤ 5	500
DC48	36 ~ 52.8	48	14	3		
AC/DC 100-125	85 ~ 137.5	100	10(10)	3(4)		700
		125	12(12)	3(4)		1000
AC/DC 200-250	170 ~ 275	200	5(7)	1(2)		700
		250	6(8)	1(2)		1000

Values in parentheses show values for AE4000-SWA 4 pole and AE4000-SW ~ AE6300-SW.
We cannot manufacture AE4000-SWA 4 pole and AE4000-SW ~ AE6300-SW in DC 24V and DC 48V rating.

Accessories (for breaker unit)



Closing coil (CC)

Option

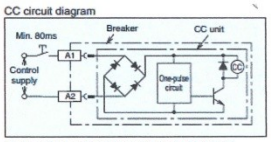
2

The closing coil is a device to close the breaker by remote control.

- An interlock to prevent pumping is provided electrically.

Rated voltage (Applicable voltage range)	Operating voltage • Operating inrush current (VA)		Closing time (Note1)
	AC	DC	
DC24-48V (18–52.8)	–	DC24V 3.0A (100W)	0.08 s or less
	–	DC48V 6.0A (200W)	
AC・DC common 100-250V (75-275)	AC100V 0.7A (100VA)	DC100V 0.8A (100W)	
	AC250V 1.7A (200VA)	DC250V 1.8A (250W)	

CC circuit diagram



Diode rectifier is not used for control source 24–48V DC.

Note 1) In case of double rating of rated voltage, it is the value for the lower rating.
(Example) In case of DC24 to 48, it is operating time for DC24V.

- Closing time means time from the initial energization of the closing coil up to the complete closing of the main contacts.
- As CC is one-pulse driven, it is not necessary to insert AXb for burning prevention purposes. Inserting AXb will cause anti-pumping function to be ineffective.

Shunt trip device (SHT)

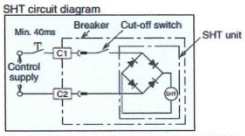
Option

3

The shunt trip device is a device to open the breaker by remote control. A cut-off switch is included.

Rated voltage (Applicable voltage range)	Operating voltage • Operating inrush current (VA)		Operating time (Note1)
	AC	DC	
DC24-48V (16.8–52.8)	–	DC24V 2.5A (100W)	0.04 s or less
	–	DC48V 6.0A (200W)	
AC・DC common 100-250V(70-275)	AC100V 0.4A (100VA)	DC100V 0.6A (100W)	
	AC250V 1.4A (150VA)	DC250V 1.6A (200W)	
AC380–500V (266–550)	AC380V 0.5A (250VA) AC500V 0.7A (300VA)	-	

SHT circuit diagram



Diode rectifier is not used for control source 24–48V DC.

Note 1) In case of double rating of rated voltage, it is the value for the lower rating.
(Example) In case of DC24 to 48V, it is operating time for DC24V.
Note 2) Operating time for AE4000-SW–AE6300-SW is 0.05s or less.

Under voltage trip device (UVT)

Option

4

This is the device that automatically trips the breaker when the circuit voltage drops below the nominal voltage, and comprises UVT coil and UVT controller. There are 3 kinds of tripping time, INST, 0.5s and 3.0s.

Rated voltage	Frequency	operating time (time delay)	Pick-up voltage	Drop-out voltage	Trip function	Power consumption
AC100-120V	50/60Hz		65-85V	45-70V	With open circuit of DT1,DT2 terminals.	26VA
AC200-240V			130-170V	90-140V		
AC380-460V		☐ Inst(0.2s)	247-323V	171-266V		
DC24V	-	☐ 0.5s(Min.)	15.6-20.4V	10.8-16.8V		
DC48V		☐ 3.0s(Min.)	31.2-40.8V	21.6-33.6V		
DC100-110V			65-85V	45-70V		
DC120-125V			78-102V	54-84V		

Note1) In case of 380-460V AC, the external unit is attached additionally.

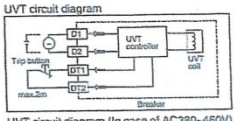
Note2) The operating time is a guarantee value when it drops from 85% or more of rated voltage.

Note3) Time delay should be allowed for 1.5s between applying the voltage to the UVT and closing the breaker.

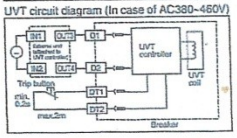
Note4) If a remote trip function is required, remove the shorting bar (DT1 DT2) and connect a normally closed switch, rated 0.5A at 150VDC across them.

Note5) Usage ambient temperature should be in the range from max. 40°C to min. -5°C.

UVT circuit diagram



UVT circuit diagram (In case of AC380~460V)



OCR alarm (AL) [Automatic reset type Short-time operation (30ms)]

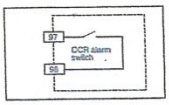
Option (ETR Equipped)

5

OCR alarm (AL) is provided as standard if ETR is equipped. OCR alarm (AL) is the contact (1a) of short-time operation (30ms), being output when the breaker is tripped by the electronic trip relay. Two types of automatic reset type (standard) and manual reset type (optional) are available. When ordering, specify either automatic reset or Manual reset.

Switch rating

Voltage (V)		Current (A)	
		Resistive load	Inductive load
AC	240	3	2
	125	5	3
DC	240	0.2	0.2
	125	0.4	0.4
	30	4	3



Note1) Though the control power supply is unnecessary to activate OCR alarm (AL), the self-holding circuit is necessary since the contact output is activated for the short time (30ms).

Note2) This works when tripping occurs in LTD, STD, INST, GFR or ER.

Note3) If any continuous output of OCR alarm (AL) is necessary, use the trip indicator (TI) output contact of the electronic trip relay.

OCR alarm (AL) [MRE : Manual reset type]

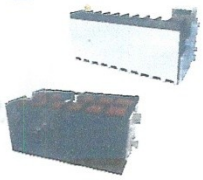
Option

On the manual reset type (optional), the gray manual reset button on the front side of the breaker will stick out to continuously output OCR alarm (AL) if the breaker is tripped by the electronic trip relay. After tripping, the breaker can not be turned on unless the manual reset button is pressed for resetting.

Auxiliary switch
Standard (AX) • High capacity type (HAX)

Option

6



This is the contact that remotely indicates the ON or OFF status of the breaker.

Switch rating

Voltage (V)		Current (A)			
		Standard (AX)		High capacity type (HAX)	
		Resistive load	Inductive load	Resistive load	Inductive load
AC	460	5	2	5	2.5
	250	10	10	10	10
	125	10	10	10	10
DC	250	0.3	0.3	3	1.5
	125	0.6	0.6	10	6
	30	10	6	10	10
Maximum contacts		5a5b		5a5b	

Change-over sequence	Breaker state	a-contact (NO)	b-contact (NC)
	ON	ON	OFF
	OFF	OFF	ON

- The a and b conects may turn simultaneously to ON instantaneously at the time of changing the contact. Pay attention to the contact state when designing circuits.
- The chattering time at the time of contact ON-OFF is below 0.025 s.
- For special environment specification, the contact capacity gets deteriorated. Make inquiries for more details.

4.3.5. Ηλεκτρονικό ρελέ προστασίας για γενική χρήση (W.S)

A. Ένδειξη κλεισίματος LED

B. Ένδειξη κινδύνου LED

C. Ένδειξη κινδύνου θερμοκρασίας LED

D. Ένδειξη φορτίου LED

E. Ένδειξη λειτουργίας LED

F. Ένδειξη σφάλματος LED

G. Ρύθμιση ρεύματος

H. Ρύθμιση μη διακοπτόμενου ρεύματος

I. LTD ρύθμιση χρόνου υπερφορτίσεως

J. STD ρύθμιση σημάτων ρεύματος βραχυκυκλώματος

K. STD ρύθμιση χρόνου ρεύματος βραχυκύκλωσης

L. INST/MCR ρύθμιση ακαριαίων ρευμάτων βραχυκύκλωσης

M. Προαιρετικό ρελέ προστασίας σφάλματος ως προς γη (GFP) ή προαιρετικά ρελέ προστασίας από διαρροή ως προς γη (ER)

N. Ρελέ ρεύματος συναγερμού

O. Διακόπτης επανασύνδεσης (Reset)

P. Έλεγχος

4.3.6 Ηλεκτρονικό ρελέ προστασίας γεννητριών (W.M)

A. Ένδειξη διακοπής LED

B. Ένδειξη συναγερμών LED

C. Ένδειξη θερμοκρασίας LED

D. Ένδειξη φορτίου LED

E. Ένδειξη λειτουργίας LED

F. Ένδειξη σφάλματος LED

G. Στιγμιαίο ρεύμα υπερφορτίσεως LTD

H. Χρόνος υπερφορτίσεως LTD

I. Στιγμιαίο ρεύμα βραχυκύκλωσης STD

J. Χρόνος βραχυκυκλώματος STD

K. INST/MCR ακαριαίο ρεύμα βραχυκύκλωσης

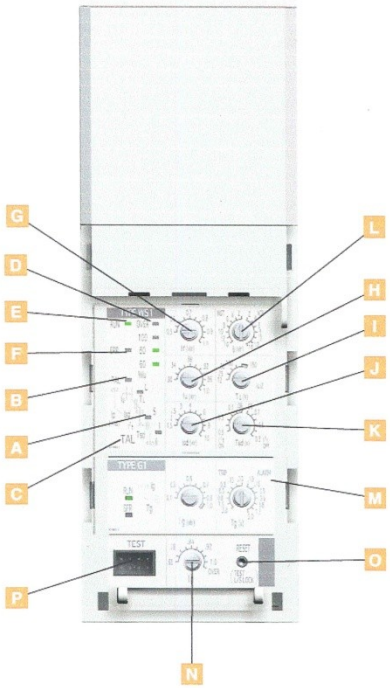
L. Προαιρετικά ρελέ προστασίας από σφάλμα ως προς γη (GFP) και από διαρροή ως προς γη (ER)

M. Ρεύμα συναγερμού

N. Διακόπτης επανασύνδεσης (Reset)

O. Έλεγχος

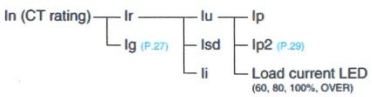
Electronic trip relay (for general use : WS)



- A Trip indicator LED
- B Pre-alarm LED
- C Temperature alarm LED
- D Load current LED
- E RUN LED
- F ERR. LED
- G Current setting dial
- H Uninterrupted current setting dial
- I LTD time setting dial
- J STD pick-up setting dial
- K STD time setting dial
- L INST/MCR pick-up current setting dial
- M Optional setting module (P.27~29)
- N Pre-alarm current setting dial
- O RESET button (TEST L/S LOCK button)
- P TEST terminal

Note: The figure shown WS type with G1 plug.
G1 is option.

Relation of setting dial

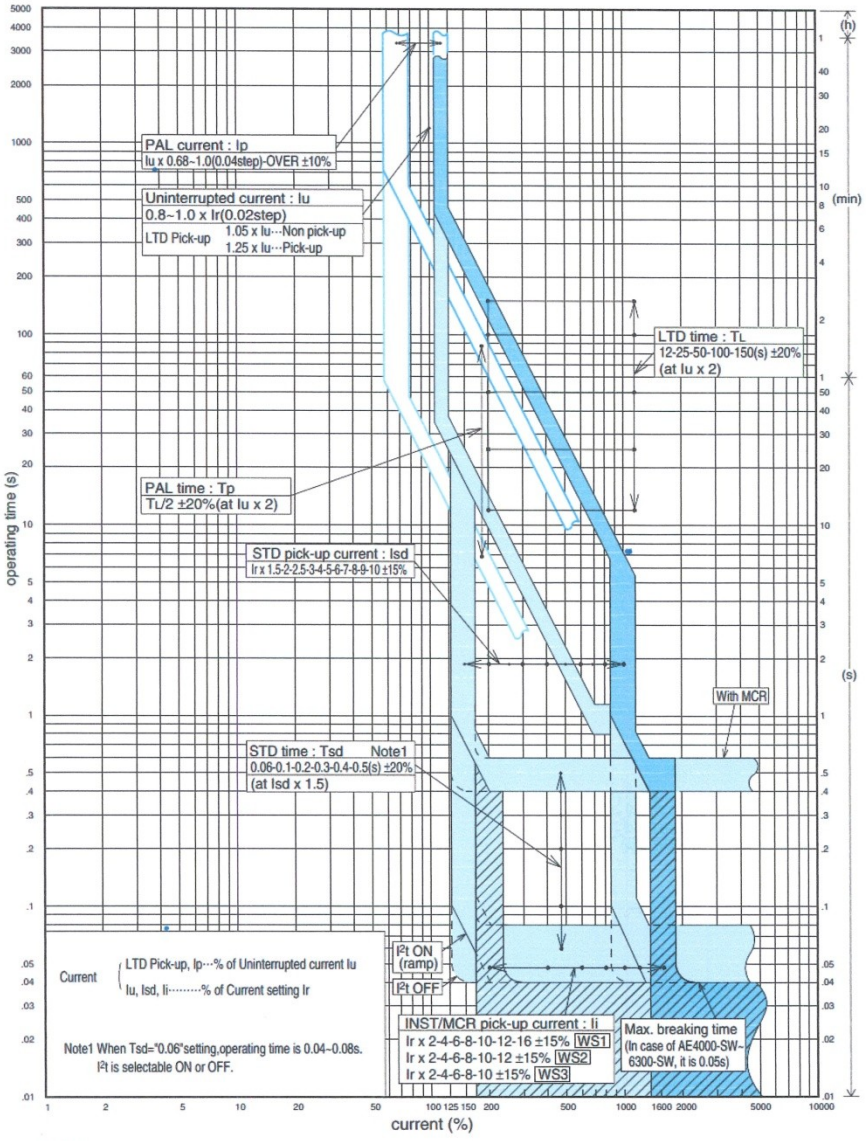


Adjustable setting range

No.	Setting item	Mark	Adjustable setting range	Accuracy	Factory default value
G	Current setting	Ir	0.5 ~ 1.0 (0.05step) x In (CT rating)	—	1.0
H	Uninterrupted current	Iu	0.8 ~ 1.0 x Ir (0.02step), Pick-up current : 1.15 x Iu	1.05 x Iu···Non Pick-up 1.25 x Iu···Pick-up	1.0
I	LTD time	TL	12–25–50–100–150s at Iu x 2	± 20%	150
J	STD pick-up current	Isd	1.5–2–2.5–3–4–5–6–7–8–9–10 x Ir	± 15%	10
K	STD time	Tsd	0.5–0.4–0.3–0.2–0.1–0.06 (I²t ON) – 0.06–0.1–0.2–0.3–0.4–0.5s (I²t OFF) at Isd x 1.5	± 20% It operates in the range between 0.04 and 0.08s when the time set at 0.06s.	0.5 (I²t ON)
L	INST/MCR pick-up current	Ii	AE630-SW~AE1600-SW AE2000-SW~AE3200-SW AE4000-SW 16-12-10-8-6-4-2-2-4-6-8-10-12-16 (INST)(MCR) x Ir WS1	± 15%	WS1···16 (INST)
			AE2000-SWA, AE4000-SWA AE5000-SW 12-10-8-6-4-2-2-4-6-8-10-12 (INST)(MCR) x Ir WS2		WS2···12 (INST)
			AE6300-SW 10-8-6-4-2-2-4-6-8-10 (INST)(MCR) x Ir WS3		WS3···10 (INST)
N	Pre-alarm current	Ip	Iu x 0.68 ~ 1.0 (0.04step) –OVER	± 10%	OVER
—	Pre-alarm time	Tp	1/2 TL at Iu x 2 (after 1/2 TL, PAL contact output turns on.)	± 20%	—

Upper figure and table denote the case optional MCR function is included.

■Operating characteristic curve (for general use : WS)



Note :
The slope of LTD curve can be changed easily in case a relay for protective coordination (WF relay) is used instead of WS relay.
As for the details about WF relay, please make inquiries.

4.4 Παράδειγμα

Σ' αυτή την ενότητα θα παρουσιάσουμε ένα παράδειγμα των διαφορών που υπάρχουν μεταξύ των δύο ηλεκτρονικών ρελέ και θα αξιολογήσουμε αυτές τις διαφορές.
Έστω ότι έχουμε μια γεννήτρια με ονομαστικό ρεύμα Io=1283A που λειτουργεί στα 440 volt σε 60 Hz με συνφ=0.8 σ' αυτή την περίπτωση έχουμε ισχύ P= ¯ U Io συνφ= ¯

.

Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ένα διακόπτη αέρος για προστασία της γεννήτριας AE-1600. Με τι ηλεκτρονικό όμως;

a) WS: ηλεκτρονικό γενικής χρήσεως ή
b) WM: ηλεκτρονικό προστασίας γεννητριών και γιατί;

4.4.1 Ηλεκτρονικό ρελέ προστασίας γενικής χρήσεως (W.S) (παραδείγματος)

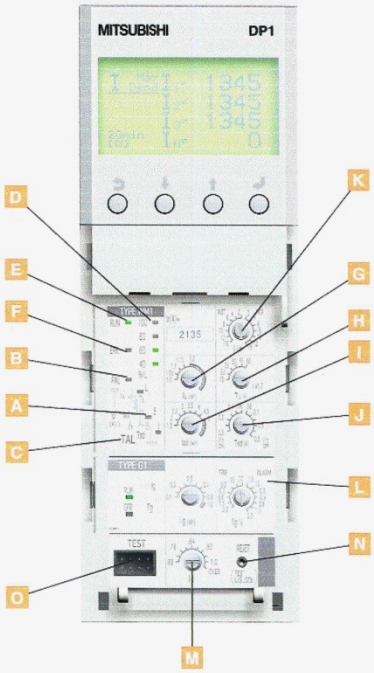
Ρύθμιση θερμικού μεταξύ [0,5-1] με (0,05 βήματα). Για το διακόπτη AE-1600 σημαίνει ln=1600A θερμικό ρεύμα lr=0,8 πολύ κοντά στο 1283A. Το ρεύμα Iu έστω ότι Iu=Ir=1280*A*. Το ρεύμα υπερφορτίσεως είναι = 1,15 (έστω επιλέγουμε ρύθμιση 1,15).
Ο χρόνος υπερφορτίσεως κυμαίνεται μεταξύ [12s και 150s] σε Αυτό σημαίνει ότι όταν υπερφορτιστεί η γεννήτρια κοντά στα 2560A τότε ο διακόπτης έχει τη δυνατότητα να κόψει μέσα σ' ένα διαβαθμισμένο χρόνο [12 – 25 – 50 – 100 – 150s] ανάλογα που εμείς έχουμε επιλέξει.

4.4.2 Ηλεκτρονικό Ρελέ Προστασίας Γεννητριών (W M) (παραδείγματος).

Ρύθμιση θερμικού μεταξύ [0,63 – 1] ρυθμίζεται από το εργοστάσιο ίσο με το ονομαστικό ρεύμα γεννήτριας, που είναι στο παράδειγμα μας $Ir = 1283\ A$.
Το ρεύμα υπερφορτίσεως μπορεί να ρυθμιστεί από (1 έως 1,2) του ($Ir = 1283\ A$), πιο συγκεκριμένα μεταξύ (1 – 1,05 – 1,1 – 1,15 – 1,2) συνήθως τοποθετείται στο 1,15, άρα θα έχουμε : $I_L = 1,15$.
Ο χρόνος υπερφορτίσεως LTD κυμαίνεται μεταξύ (15 *sec.* και 60 *sec.*), όταν το ρεύμα γίνεται I_L 1,2 = 1475,45 με τη δυνατότητα της

παρακάτω διαβάθμισης, (15 – 20 – 25 – 30 – 40 – 60 *sec*). Αυτό σημαίνει ότι, όταν υπερφορτιστεί η γεννήτρια κοντά στα 1770,6 *A* μπορεί να κόψει ο διακόπτης μέσα στο διαβαθμισμένο χρόνο [15 – 20 – 25 – 30 – 60], συνήθως προτείνεται η ρύθμιση των 20 *sec.*

Electronic trip relay(for generator protection use:WM)



- A Trip indicator LED
- B Pre-alarm LED
- C Temperature alarm LED
- D Load current LED
- E RUN LED
- F ERR. LED
- G LTD pick-up current
- H LTD time setting dial
- I STD pick-up setting dial
- J STD time setting dial
- K INST/MCR pick-up current setting dial
- L Optional setting module (P.27~29)
- M Pre-alarm current setting dial
- N RESET button (TEST L/S LOCK button)
- O TEST terminal

Note: The figure shown WM1 type with G1 plug and Display (DP1). G1 and DP1 are options.

Relation of setting dial

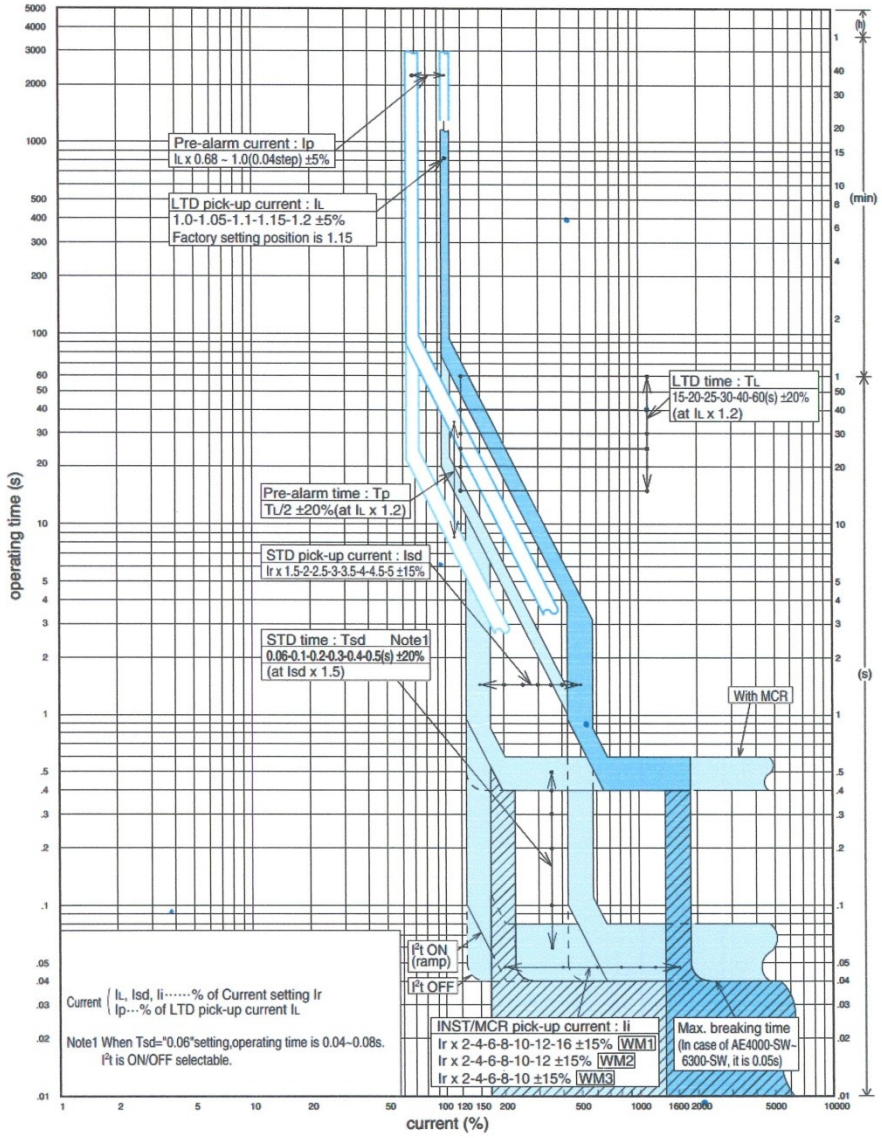
In (CT rating) — Ir (Fixed) — IL — Ip
Ir (Fixed) — Ig (P.27)
IL — Isd — Ip2 (P.29)
Isd — Ii — Load current LED (40, 60, 80, 100%)

Adjustable setting range

No.	Setting item	Mark	Adjustable setting range	Accuracy	Factory default value
—	Current setting	Ir	0.63 ~ 1.0 x In (Adjust by factory : Fixed)	—	Comply with ordering sheet
G	LTD pick-up current	IL	1.0–1.05–1.1–1.15–1.2 x Ir	± 5%	1.15
H	LTD time	TL	15–20–25–30–40–60s at IL x 1.2	± 20%	20
I	STD pick-up current	Isd	1.5–2–2.5–3–3.5–4–4.5–5 x Ir	± 15%	5
J	STD time	Tsd	0.5–0.4–0.3–0.2–0.1–0.06 (I²t ON) / 0.06–0.1–0.2–0.3–0.4–0.5s (I²t OFF) at Isd x 1.5	± 20% It operates in the range between 0.04 and 0.08s when the time set at 0.06s.	0.5 (I²t ON)
K	INST/MCR pick-up current	Ii	AE630-SW~AE1600-SW / AE2000-SW~AE3200-SW / AE4000-SW: 16-12-10-8-6-4-2-2-4-6-8-10-12-16 (INST / MCR) x Ir WM1	± 15%	WM1···16 (INST)
			AE2000-SWA, AE4000-SWA / AE5000-SW: 12-10-8-6-4-2-2-4-6-8-10-12 (INST / MCR) x Ir WM2		WM2···12 (INST)
			AE6300-SW: 10-8-6-4-2-2-4-6-8-10 (INST / MCR) x Ir WM3		WM3···10 (INST)
M	Pre-alarm current	Ip	IL x 0.68 ~ 1.0 (0.04step) –OVER	± 5%	OVER
—	Pre-alarm time	Tp	1/2 TL at IL x 1.2 (after 1/2 TL, PAL contact output turns on.)	± 20%	—

Upper figure and table denote the case optional MCR function is included.
Pre-alarm current "OVER" setting is equal to 1.0.

■Operating characteristic curve (for generator protection use : WM)



4.4.3 Αξιολόγηση των Διαφορών των δύο Ηλεκτρονικών Ρελέ.

α). Στο ρελέ γενικής χρήσεως (*WS*) το ρεύμα υπερφόρτισης είναι → 1472 *A*. Όταν το ρεύμα στη γεννήτρια φτάσει στα 2560 *A*, τότε μπορεί να κόψει ο διακόπτης μέσα στο διαβαθμισμένο χρόνο [12 – 25 – 50 – 100 – 150 *sec.*].

β). Στο ρελέ προστασίας γεννητριών (*WM*) το ρεύμα υπερφόρτισης είναι 1475,45 *A*. Όταν το ρεύμα φθάσει στη γεννήτρια 1770,6 *A*, τότε θα μπορεί να κόψει ο Διακόπτης μέσα σε διαβάθμιση χρόνου [15 – 20 – 25 – 30 – 40 – 60 *sec.*].

γ). Παρατηρήσεις.

Παρατηρούμε ότι, με το (*WM*) ηλεκτρονικό ρελέ προστασίας γεννητριών προστατεύουμε σημαντικά καλύτερα τη γεννήτρια, επειδή σε χαμηλότερες τιμές ρεύματος υπερφόρτισης ο διακόπτης μπορεί να επέμβει γρηγορότερα από ότι αν χρησιμοποιούσαμε ρελέ γενικής χρήσεως (*WS*).

Αυτή η ικανότητα του (*WM*) ρελέ είναι πολύ σημαντική σε ναυτικές εγκαταστάσεις, γιατί μας παρέχει μία αξιόπιστη προστασία πάνω στις υπερφορτίσεις, που είναι πιθανό να παρουσιαστούν στις γεννήτριες πλοίων. Σε αντίθεση με το (*WS*) ρελέ γενικής χρήσεως που η συμπεριφορά του είναι λιγότερο αποτελεσματική από το (*WM*) ρελέ.

Γεννάτε το εύλογο ερώτημα αν αυτή η διαφορά που εμφανίζετε πάνω στα δύο ρελέ είναι καθοριστική πάνω στις υπερφορτίσεις των γεννητριών και ακόμα αν αξίζει να υποστούμε το κόστος, που δεν είναι μεγάλο, της τοποθέτησης ενός διακόπτη με ηλεκτρονικό ρελέ (*WM*).

Η απάντηση για ναυτικές ενεργειακές εγκαταστάσεις είναι ανεπιφύλακτα ναι, γιατί η διαφορά των δύο προστασιών στο παράδειγμα μας είναι :

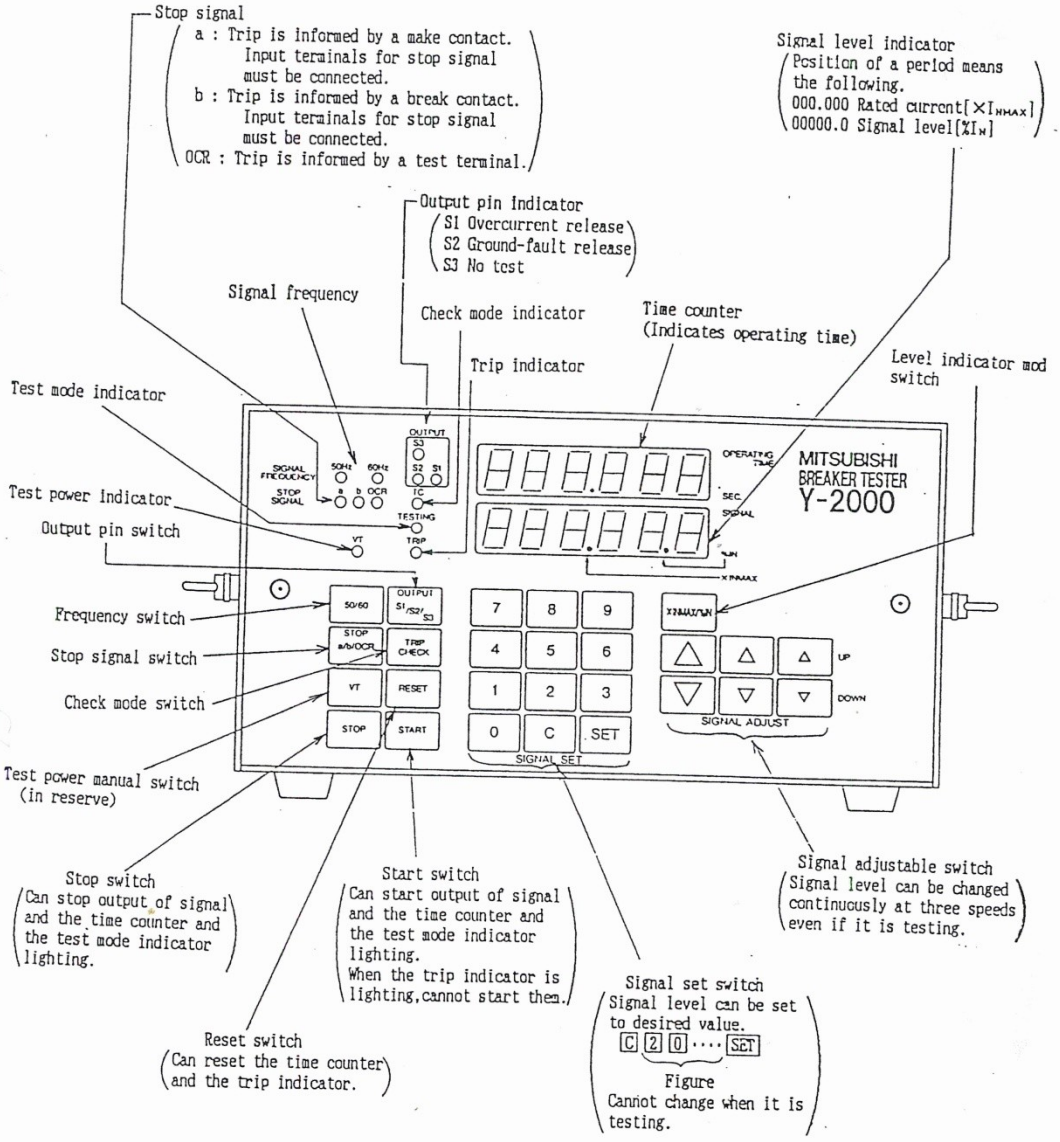
[*WS relay* – *WM relay*]

(2560*A* 1770,6*A*) = 789,4 *A* μια καθοριστική διαφορά που για κάποιο χρόνο λειτουργίας, υπό αυτές τις συνθήκες μπορεί να υπερθερμάνει τη γεννήτρια η ακόμα να προκαλέσει την καταστροφή της με απρόβλεπτες συνέπειες για το ηλεκτροενεργειακό σύστημα του πλοίου και να θέσει σε κίνδυνο εμπορεύματα και ανθρώπους.

Για αυτό το λόγο όλοι οι οργανισμοί κατάταξης προτείνουν αβίαστα, στους διακόπτες που προστατεύουν τις γεννήτριες στις ναυτικές εγκαταστάσεις, να χρησιμοποιούν ηλεκτρονικά ρελέ προστασίας γεννητριών.

2. Description of the outside

Front panel



4.5 Ρύθμιση Ηλεκτρονικού Ρελέ (*W M*).

Όπως αναφέραμε προηγουμένως στο ηλεκτρονικό ρελέ προστασίας γεννητριών (*W M*), το ονομαστικό ρεύμα της γεννήτριας μπορεί επακριβώς να ρυθμιστεί πάνω στο θερμικό του διακόπτη, δηλαδή αν έστω, ότι έχουμε μία γεννήτρια, όπως στο παράδειγμα με ονομαστικό ρεύμα $I_O = 1283\ A$, τότε αυτή τη συγκριμένη τιμή μπορούμε να την αποτυπώσουμε πάνω στο θερμικό του διακόπτη, ακλουθώντας την παρακάτω διαδικασία.

4.5.1 Παράδειγμα (Ρύθμισης).

Έστω, ότι έχουμε μία γεννήτρια με ονομαστικό ρεύμα $I_O = 1283\ A$, τότε χρησιμοποιώντας την συσκευή *Y – 2000* (*tester*) θα ρυθμίσουμε το θερμικό του διακόπτη στην ίδια τιμή με το ονομαστικό ρεύμα της γεννήτριας I_O.
Η συσκευή αυτή χρησιμοποιείται για όλα τα ηλεκτρονικά θερμικά που χρησιμοποιούνται στις σειρές [*AE – SS* (παλαιότερη σειρά) και στη (νεότερη σειρά) *AE – SW*] διακόπτη αέρος της *Mitsubishi Electric*.

Βήμα 1.

α). Θέτουμε τη συχνότητα που επιθυμούμε (*50 Hz ή 60 Hz*).

β). Τοποθετούμε το σήμα διακοπής της συσκευής στην επαφή (*OCR*).

γ). Σαν έξοδο χρησιμοποιούμε τον ακροδέκτη S_1.

Βήμα 2.

Εφόσον η ζητούμενη τιμή ρύθμισης είναι $I_O = 1283\ A$, χρησιμοποιούμε το διακόπτη *AE – 1600 SW* ή *AE – 1600 SS*. Έστω του παλαιότερου τύπου *AE – 1600 SS*, τότε έχουμε :

$I_n = \frac{\quad}{\quad} = 0{,}802$ και γράφουμε αυτή την τιμή πάνω στο *Tester* με τη μορφή *H 0,802*.

Τοποθετούμε τη μέγιστη υπερφόρτιση *LTD*, που έχει ζητήσει ο πελάτης. Συνήθως προτείνετε από το εργοστάσιο $I_L = 1{,}15$, αλλά αυτό εξαρτάται από το μελετητή, ηλεκτρολόγο μηχανικό, που θέλει να είναι η υπερφόρτιση της γεννήτριας. Το ηλεκτρονικό ρελέ προστασίας γεννητριών (*W M*), του δίνει ένα διαβαθμισμένο διάστημα από [*1 – 1,05 – 1,1 – 1,15 – 1,2*]. Αυτή η ρύθμιση τοποθετείτε στο

Tester : $I_L = 1,15 = 115\%$ με τη μορφή *01150*.

Βήμα 3.

Θέτουμε πάνω στο ηλεκτρονικό ρελέ της ρύθμισης :

STD P.U I_S : ρεύμα βραχυκύκλωσης.

INST P.U I_I : ακαριαίο ρεύμα βραχυκύκλωσης στις μέγιστες τιμές.

Βήμα 4.

Πιέζουμε το διακόπτη *START* πάνω στο *Tester Y – 2000*.

Βήμα 5.

Γυρνάμε αριστερά το διακόπτη ρύθμισης του I_O και σταματάμε όταν η ένδειξη του *LED* δείξει *100%.*

Βήμα 6.

Γυρνάμε αριστερά τη μεταβλητή αντίσταση I_O του ηλεκτρονικού και σταματάμε, όταν η ένδειξη του *LED* δείξει *100%.*

Βήμα 7.

Πατάμε το κουμπί *STOP* στο *Tester*, έτσι έχουμε τοποθετήσει ρύθμιση θερμικού *1283 A* στο ηλεκτρονικό ρελέ προστασίας (*W M*) του οίκου *MITSUBISHI ELECTRIC.*

MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION

TECHNICAL REPORT	ISSUED	Feb. 14,'92 K.Oshii	CHANGE				
	APPROVED	T.I.	A				

ADJUSTING MANUAL OF M-RELAY BY USING Y-2000

1. Handling of Y-2000
   Please refer to the instruction manual of Y-2000 (LBN916219).

2. Adjusting of rated current I_N
   (1) Set the test mode of Y-2000.
   - Signal frequency "50Hz" or "60Hz"
   - Stop signal "OCR"
   - Output pin "S1"

   (2) Setting of nominal current I_N of Y-2000
   At first please set the nominal current I_N to the target rated current of the Electronic trip relay, because the signal level is represented in % of nominal current I_N.
   When the power is turned on, I_N is $1 \times I_{NMAX}$.
   Set on the mode H ○○○○ by the level indicator mode switch [$XI_{NMAX}/\%I_N$], adjust the nominal current I_N to 0.5~1 of max. rated current I_{NMAX} by the signal adjustable switch or the signal set switch.

   Example AE1600-SS, I_{NMAX} = 1600A, I_N = 1283A

   $$\text{Nominal current } I_N = \frac{1283A}{1600A} \times I_{NMAX} = 0.802 \times I_{NMAX}$$

   [H 0.802]

   (3) Adjust the dial of LTD pick-up current of ETR to customer's request.
   (For example I_L=1.15)
   Set the ground fault alarm switch of ETR on ALARM mode, if ETR has the GFR function.

   (4) Setting of the output signal level
   Set on the mode [○○○○○.○] by the level indicator mode switch [$XI_{NMAX}/\%I_N$].
   Adjust the signal level to I_L of ETR in % of nominal current I_N by the signal adjustable switch or the signal set switch.

   Example LTD pick-up current $I_L = 1.15 = 115\%$

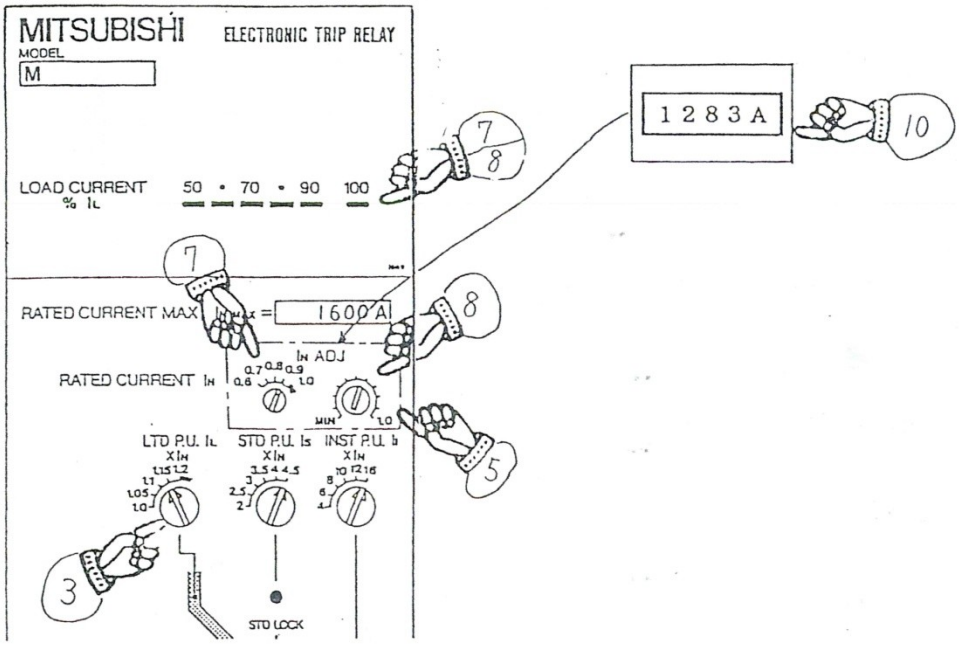
   [0115.0]

TITLE	No. LBN926010	PAGE 1/3

MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION

TECHNICAL REPORT	ISSUED		CHANGE				
	APPROVED		A				

(5) Set the I_N adjustments of ETR on the maximum points.
(6) Push the start switch of Y-2000.
(7) Turn left the switch of I_N adjustment of ETR, and stop before lighting of "100% LED".
(8) Turn left the variable resistor of I_N adjustment of ETR, and stop just at lighting of "100% LED".
(9) Push the stop switch of Y-2000.
(10) Stamp the rated current on the rating label, and stick the rating label on the I_N adjustment



3. Check of adjusted characteristic
After adjusting, please check the characteristic of ETR.

4.5.2 Παρατηρήσεις.

Δηλαδή, στην ουσία το *Tester Y – 2000* είναι ένα μηχάνημα που μετράει χρόνο και ρεύμα κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες. Τι χρόνο και ρεύμα μετράει το *Tester Y – 2000* και είναι απαραίτητες αυτές οι μετρήσεις ;

Τι μετράει ; Μετράει χρόνους και ρεύματα διακοπής.

Μετράει το *LTD* : χρόνο υπερφόρτισης.

Μετράει το *STD* : χρόνο βραχυκύκλωσης.

LTD pick up current : Ρεύμα υπερφορτίσεως.

STD pick up current : Ρεύμα βραχυκύκλωσης.

INST pick up current : Ακαριαίο ρεύμα βραχυκύκλωσης.

Pre – alarm current : Ρεύμα συναγερμού.

Pre – alarm time : Χρόνος ρεύματος συναγερμού.

Πως γίνετε αυτό ;

Αυτό γίνετε δίνοντας τιμές εμείς στο *Tester* και το ηλεκτρονικό *Tester* ακολουθώντας για κάθε περίπτωση διαφορετική διαδικασία (σχετικά απλή) μας δίνει τους χρόνους ή τα ρεύματα λειτουργίας, ανάλογα σε κάθε περίπτωση. Παίρνοντας εμείς τα αποτελέσματα λειτουργίας, ελέγχουμε αν τα αποτελέσματα έχουν ικανοποιητικές τιμές σε σχέση με τις τιμές, που έχουμε ρυθμίσει πάνω στο ηλεκτρονικό ρελέ.

Η ακρίβεια αυτή των μετρήσεων κυμαίνεται μεταξύ (0 – 20 %) ανάλογα την περίπτωση, σε γενικές γραμμές είναι ένα αξιόπιστο μέσο ελέγχου του ηλεκτρονικού ρελέ προστασίας του αυτόματου διακόπτη. Το συγκεκριμένο *Tester* χρησιμοποιείται σε όλα τα ηλεκτρονικά ρελέ που μπορεί να εφοδιαστεί ο διακόπτης (π.χ. προστασίας γενικής χρήσεως, προστασίας γεννητριών και άλλα).

Είναι απαραίτητες αυτές οι μετρήσεις ;

Στις ναυτικές ενεργοηλεκτρικές εγκαταστάσεις λόγο του περιβάλλοντος, του φορτίου, ανθρώπινου προσωπικού, κατά τη γνώμη μου πρέπει σε εύλογα χρονικά διαστήματα να ελέγχονται οι χρόνοι και τα ρεύματα διακοπής των διακοπτών προστασίας γεννητριών που λειτουργούν στο ηλεκτρικού σύστημα του πλοίου έτσι ώστε να προλαβαίνουμε πιθανές δυσάρεστες καταστάσεις.

Αυτό για τους διακόπτες της *MITSUBISHI ELECTRIC* πετυχαίνεται με το *Tester Y – 2000*.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ :

1. – **“** Ενεργοηλεκτρικά Συστήματα Πλοίων “.
Χρήστου Θ. Κουρτέση (Ηλεκτρολόγου Μηχανικού Πειραιάς 1998).

2. – DC Maritime Technologies Inc
Electrical System
All You Wanted To Know About
Short – Circuit But Were Afraid To Ask !
Vancouver BC Canada Date 27 – Nov – 2000.

3. – Mitsubishi Electric
Low Voltage Air Circuit Breakers
World Super AE 630AF – 6300AF
Tokyo Japan – June – 2007.

4. – Mitsubishi Electric
Instruction Manual For Type Y – 2000
Breaker Tester
Fukuyama Japan – Date 8 – Nov – 1991.

5. – Mitsubishi Electric
Adjusting Manual Of M – Relay
By Using Y – 2000
Fukuyama Japan – Date 14 – Feb – 1992.