



ΧΡΥΣΟΥΝ ΜΕΤΑΛΛΙΟΝ
ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ

ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΚΕΙΜΕΝΟ
ΑΚΑΔΗΜΙΩΝ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ

ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ

ΤΟΜΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟΣ

ΑΡΙΣΤΕΙΔΗ Γ. ΒΛΑΧΟΥ

β' έκδοση

ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ: Σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος σε εμπορικά πλοία

1.1	Εισαγωγή.....	1
1.2	Κατηγορίες ηλεκτρικών εγκαταστάσεων εμπορικών πλοίων.	1
1.3	Χαρακτηριστικά των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων πλοίων.	3
1.4	Συστήματα τάσεων, ρευμάτων και συχνотήτων των ηλεκτρικών δικτύων πλοίων.	3
1.5	Διόρθωση του συντελεστή ισχύος.	7
1.6	Τάσεις και συχνότητες ηλεκτρικών εγκαταστάσεων πλοίων.	11
1.7	Συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος σε εμπορικά πλοία.	12
1.8	Εξηλεκτρισμένο εμπορικό πλοίο	13
1.9	Ερωτήσεις	23
1.10	Θέματα εργασίας.....	24

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ: Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με εναλλασσόμενο ρεύμα

2.1	Εισαγωγή.....	25
2.2	Ηλεκτρικός ισολογισμός.....	25
2.3	Λεπτομερής ηλεκτρικός ισολογισμός ισχύος.	27
2.4	Ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη και ηλεκτροστάσια.....	32
2.5	Στροβιλογεννήτριες.....	33
2.6	Ο κινητήρας ντίζελ των ηλεκτροπαραγωγών ζευγών.	34
2.7	Αεριοστρόβιλος.....	35
2.8	Ερωτήσεις	40
2.9	Παράλληλη λειτουργία γεννητριών εναλλασσόμενου ρεύματος.	40
2.10	Ερωτήσεις	63
2.11	Προτεινόμενες ασκήσεις.	63

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ: Διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας με εναλλασσόμενο ρεύμα

3.1	Εισαγωγή.....	65
3.2	Σύστημα πρωτεύουσας και δευτερεύουσας διανομής.	65
3.3	Μονογραμμικά διαγράμματα των ηλεκτρικών δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας σε εμπορικά πλοία.	67
3.4	Κύριοι ηλεκτρικοί πίνακες μιας ηλεκτρικής εγκατάστασης πλοίου.	70
3.5	Δίκτυο διανομής έκτακτης ανάγκης.....	72
3.6	Ηλεκτροδότηση ελλιμενισμένων πλοίων.	73
3.7	Όργανα ένδειξης και ελέγχου των κύριων ηλεκτρικών πινάκων	74
3.8	Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των ηλεκτρικών πινάκων και βαθμοί προστασίας για το περίβλημα ενός ηλεκτρικού πίνακα Χ.Τ..	74
3.9	Χρήση των μετασχηματιστών στις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις πλοίων.	77
3.10	Ερωτήσεις	78

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ: Καταναλώσεις κίνησης με εναλλασσόμενο ρεύμα

4.1	Εισαγωγή.....	79
4.2	Δομή του ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα.....	79
4.3	Γενικές αρχές λειτουργίας του ασύγχρονου κινητήρα.....	81
4.4	Ισοδύναμο κύκλωμα τριφασικού ασύγχρονου κινητήρα στη λειτουργία με φορτίο.....	87
4.5	Επίδραση της μεταβολής των παραμέτρων του ασύγχρονου κινητήρα στη λειτουργία του.....	92
4.6	Πειραματικός προσδιορισμός των παραμέτρων του ισοδύναμου κυκλώματος του ασύγχρονου κινητήρα.....	97
4.7	Εκκίνηση των τριφασικών ασύγχρονων κινητήρων.....	99
4.8	Ασύγχρονοι κινητήρες διπλού κλωβού.....	104
4.9	Κυκλικό διάγραμμα του ασύγχρονου κινητήρα.....	106
4.10	Ρύθμιση στροφών των ασύγχρονων κινητήρων.....	111
4.11	Προστασία ασύγχρονων κινητήρων.....	115
4.12	Σύγχρονοι κινητήρες.....	119
4.13	Προτεινόμενες ασκήσεις.....	136
4.14	Ερωτήσεις.....	138

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ: Υπολογισμοί βραχυκυκλωμάτων

5.1	Εισαγωγή.....	139
5.2	Μεγέθη ανά μονάδα (p.u.).....	139
5.3	Παρουσίαση συστήματος ηλεκτρικής ισχύος ενός εμπορικού πλοίου.....	140
5.4	Υπολογισμός ρευμάτων βραχυκύκλωσης σε σύστημα ηλεκτρικής ισχύος.....	144
5.5	Μέτρα προστασίας για βραχυκυκλώματα.....	154
5.6	Συνεργασία ασφαλιστικών διατάξεων και οργάνων διακοπής ρευμάτων βραχυκύκλωσης.....	170
5.7	Ερωτήσεις.....	172
5.8	Προτεινόμενες ασκήσεις.....	172

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ: Δίκτυα Μέσης Τάσης

6.1	Εισαγωγή.....	173
6.2	Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της χρήσης δικτύων Μέσης Τάσης.....	173
6.3	Τυπικά δίκτυα Μέσης Τάσης.....	173
6.4	Δομή ηλεκτρικών δικτύων Μ.Τ.....	174
6.5	Ασφάλειες, διακόπτες, ηλεκτρικά καλώδια και πίνακες σε εγκαταστάσεις Μ.Τ. ενός πλοίου.....	176
6.6	Κίνδυνοι στη Μ.Τ.....	184
6.7	Ερωτήσεις.....	184

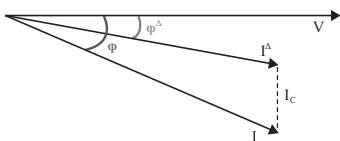
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΒΔΟΜΟ: Ηλεκτροπρόωση

7.1	Εισαγωγή.....	185
7.2	Τύποι ηλεκτρικών κινητήρων στην ηλεκτρική πρόωση.....	186
7.3	Ηλεκτρική πρόωση με συνεχές ρεύμα.....	187
7.4	Ηλεκτρική πρόωση με εναλλασσόμενο ρεύμα.....	192
7.5	Μετατροπείς.....	194

7.6	Τυπικά συστήματα ηλεκτρικής πρόωσης με εναλλασσόμενο ρεύμα	197
7.7	Φαινόμενα ποιότητας ισχύος.....	200
7.8	Ερωτήσεις.....	200

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΟΓΔΩΟ: Συσσωρευτές

8.1	Εισαγωγή.....	201
8.2	Κύρια χαρακτηριστικά των συσσωρευτών.....	201
8.3	Συσσωρευτές μολύβδου (Pb).....	202
8.4	Συσσωρευτές σιδηρονικελίου (Fe-Ni).....	204
8.5	Συσσωρευτές καδμιονικελίου (Cd-Ni).....	204
8.6	Αλκαλικοί συσσωρευτές τύπου Ni-MH.....	204
8.7	Συσσωρευτές έκτακτης ανάγκης.....	205
8.8	Συστήματα φόρτισης συσσωρευτών.....	205
8.9	Ερωτήσεις.....	206
	Πίνακας συμβόλων.....	207
	Ευρετήριο	208



ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΣΕ ΕΜΠΟΡΙΚΑ ΠΛΟΙΑ

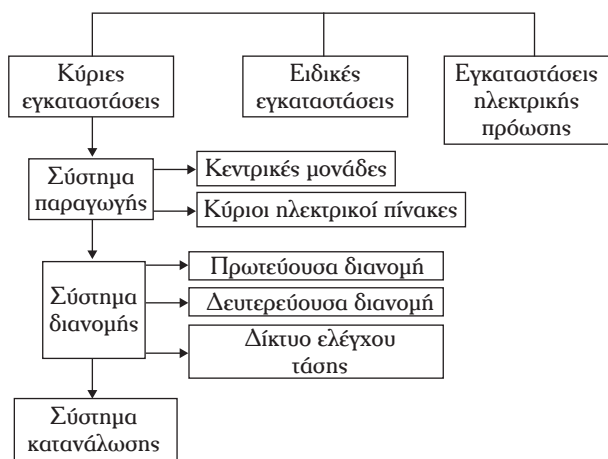
1.1 Εισαγωγή

Το ηλεκτρικό σύστημα ενός εμπορικού πλοίου είναι αυτόνομο και ανεξάρτητο. Η συνολική ηλεκτρική ισχύς διανέμεται σε πλήθος φορτίων διαφορετικού τύπου, όπως φορτία φωτισμού, ψυγεία, διάφορες αντλίες, κινητήρες, τα οποία ενεργοποιούν διάφορα μηχανικά φορτία. Η ηλεκτρική ισχύς παράγεται από τις σύγχρονες γεννήτριες, οι οποίες τοποθετούνται σε χώρο του μηχανοστασίου που ονομάζεται **ηλεκτροστάσιο**.

Η ενεργοποίηση των γεννητριών εμπορικών πλοίων πραγματοποιείται από διάφορους τύπους κινητήριων μηχανών (κινητήρες ντίζελ, στρόβιλοι κ.λπ.), ανάλογα με τον τύπο και την αποστολή του πλοίου.

1.2 Κατηγορίες ηλεκτρικών εγκαταστάσεων εμπορικών πλοίων

Ως ηλεκτρική εγκατάσταση χαρακτηρίζεται το σύνολο των γεννητριών παραγωγής τάσεων, των ηλεκτρικών πινάκων και των ηλεκτρικών δικτύων που εξυπηρετούν τις ανάγκες ενός συστήματος καταναλωτών. Διακρίνουμε τις ακόλουθες κατηγορίες ηλεκτρικών εγκαταστάσεων (σχ. 1.1):



Σχ. 1.1

Κατηγορίες ηλεκτρικών εγκαταστάσεων πλοίων

1) Τις **κύριες εγκαταστάσεις** στις οποίες ανήκουν:

α) Το **σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος** (σύγχρονες γεννήτριες) και οι κύριοι ηλεκτρικοί πίνακες.

β) Το **σύστημα διανομής ηλεκτρικής ισχύος** το οποίο αποτελείται:

- Από την πρωτεύουσα διανομή, δηλαδή το ηλεκτρικό δίκτυο το οποίο συνδέει τους πινάκες των κεντρικών μονάδων με τους υποσταθμούς και τους διαφόρους υποπίνακες. Διανέμει ηλεκτρική ισχύ σε ζωτικής σημασίας συστήματα.
- Από τη δευτερεύουσα διανομή που είναι το ηλεκτρικό δίκτυο μέσω του οποίου διανέμεται ηλεκτρική ισχύς στα συστήματα κίνησης και φωτισμού και
- από το ηλεκτρικό δίκτυο έλεγχου της τάσης.

γ) Τις **σύστημα καταναλώσεων** στο οποίο ανήκουν όλες οι καταναλωτικές συσκευές και διατάξεις.

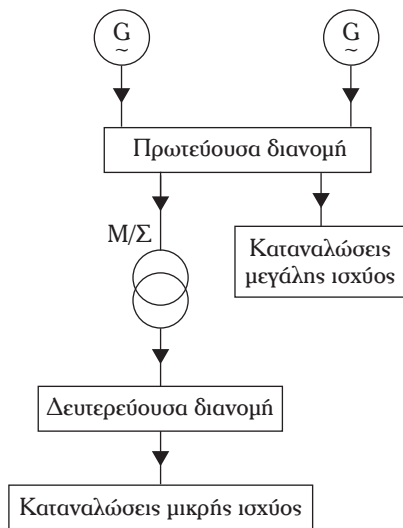
2) Τις **ειδικές εγκαταστάσεις** στις οποίες ανήκουν οι καταναλώσεις που τροφοδοτούνται με ηλεκτρικό ρεύμα διαφορετικού τύπου από εκείνο το οποίο παράγεται από τις γεννήτριες πλοίων (γυροπυξίδες, ραντάρ και διάφοροι τύποι ηλεκτρονικών διατάξεων και συσκευών).

3) Τις **εγκαταστάσεις ηλεκτρικής πρόωσης** στις οποίες ανήκουν όλα τα συστήματα ηλεκτροκίνησης, μέσω των οποίων ενεργοποιούνται οι ελικοφόροι άξονες. Συνήθως, είναι κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος (ΕΡ) ή σπανιότερα κινητήρες συνεχούς (ΣΡ), με τις αντίστοιχες διατάξεις χειρισμών.

Στη συνέχεια δίδονται οι διαγραμματικές παραστάσεις διαφόρων τύπων ηλεκτρικών εγκαταστάσεων εμπορικών πλοίων, ενώ δίδεται έμφαση στην κατανόηση της πρωτεύουσας και δευτερεύουσας διανομής των ηλεκτρικών δικτύων διανομής.

Πρωτεύουσα διανομή ονομάζεται το ηλεκτρικό δίκτυο (σχ. 1.2) που τροφοδοτεί μέσω του **κέντρου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας** (ηλεκτρογεννήτριες) τον υποσταθμό μετασχηματισμού τάσης και

τις καταναλώσεις μεγάλης ισχύος. Το κέντρο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αποτελείται από το **σύστημα των ηλεκτρογεννητριών**, τον **κύριο πίνακα**



Σχ. 1.2

Σχηματική παρουσίαση της πρωτεύουσας και δευτερεύουσας διανομής ηλεκτρικής ενέργειας σε τύπο εμπορικού πλοίου. Όπου G = γεννήτρια.

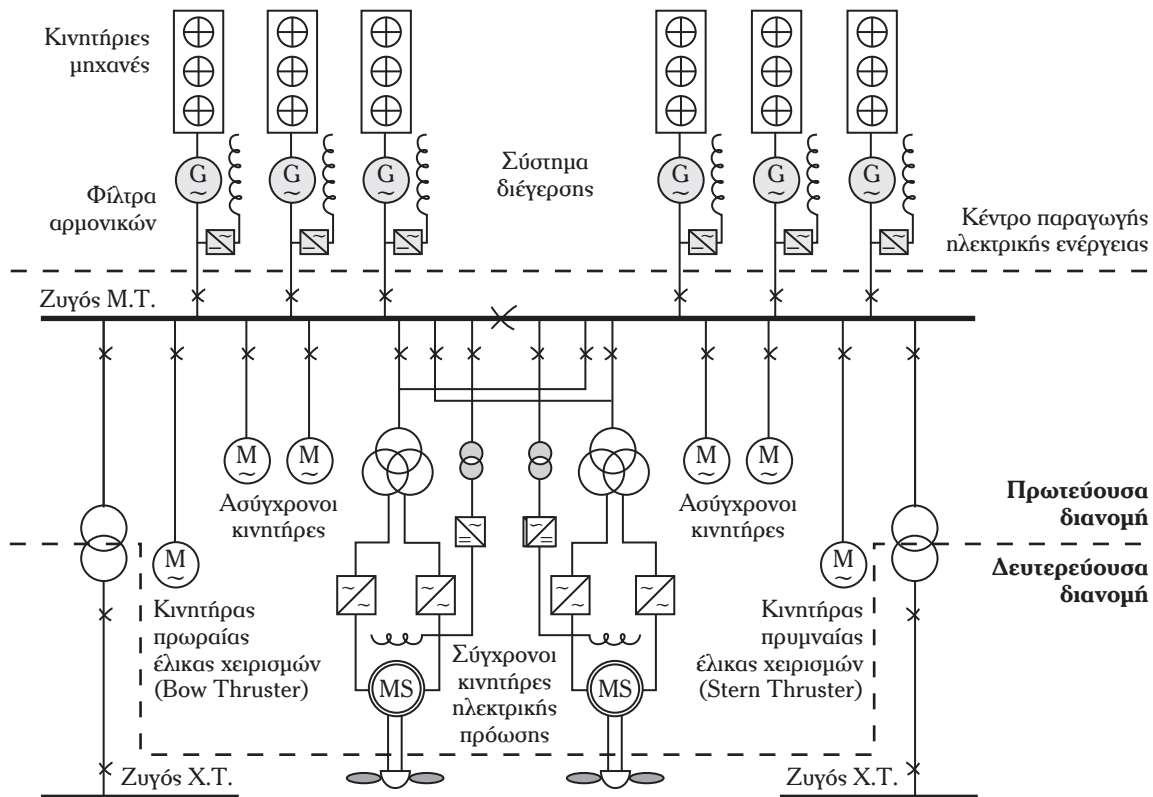
και από τις **συσκευές έλεγχου**.

Δευτερεύουσα διανομή ονομάζεται το ηλεκτρικό δίκτυο (σχ. 1.2), το οποίο τροφοδοτεί μέσω του υποσταθμού τις καταναλώσεις μικρής ισχύος. Το ηλεκτρικό δίκτυο δευτερεύουσας διανομής τροφοδοτείται από τους μετασχηματιστές (Μ/Σ) οι οποίοι τροφοδοτούνται από το ηλεκτρικό δίκτυο της πρωτεύουσας διανομής.

Στο σχήμα 1.3 δίνεται αναλυτικά το ηλεκτρικό δίκτυο πρωτεύουσας και δευτερεύουσας διανομής, μιας ηλεκτρικής εγκατάστασης πλοίου Μέσης Τάσης (Μ.Τ.) (δηλ. ηλεκτρικό δίκτυο πάνω από 1.000 V).

Η μεγάλη αύξηση των ηλεκτρικών καταναλώσεων στα σύγχρονα εμπορικά πλοία απαιτεί η τιμή της τάσης της δευτερεύουσας διανομής (τριφασική ηλεκτρική γραμμή) να είναι 440 V, 690 V και σε σπάνιες περιπτώσεις 1.000 V. Όταν αυξάνεται το επίπεδο της τάσης προκύπτουν τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

- 1) Μείωση της διατομής των καλωδίων και του αντίστοιχου βάρους και όγκου.
- 2) Μείωση των πτώσεων τάσης στα καλώδια και μείωση των αντίστοιχων απωλειών.



Σχ. 1.3

Μονογραμμική παράσταση μιας ηλεκτρικής εγκατάστασης Μέσης Τάσης (Μ.Τ.), ενός εμπορικού πλοίου. Όπου MS = σύγχρονος κινητήρας.

καταστάσεις έκτακτης ανάγκης. Σε μερικές περιπτώσεις υπάρχουν ντιζελογεννήτριες για τη λειτουργία της ηλεκτρικής εγκατάστασης του πλοίου στο λιμάνι, οι οποίες χρησιμοποιούνται, καμιά φορά, για την κάλυψη φορτίων αιχμής. Στην πρόωση με ντίζελ υπάρχουν ομάδες ντιζελογεννητριών για κάθε είδος λειτουργίας της εγκατάστασης.

Ηλεκτροστάσιο ονομάζεται ο χώρος στον οποίο τοποθετούνται τα ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη, οι πίνακες διανομής και το σύστημα των διατάξεων για τους χειρισμούς και τον έλεγχο της παραγωγής και της διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας.

Τα ηλεκτροστάσια τοποθετούνται στον μηχανοστάσιο για λειτουργικούς λόγους και για λόγους οικονομίας χώρου. Πράγματι, το προσωπικό βάρδιας επιτρέπει συγχρόνως τον μηχανολογικό εξοπλισμό και το ηλεκτροστάσιο της εγκατάστασης.

Ο αριθμός και ο τύπος των ηλεκτροστασίων εξαρτάται από τον τύπο του εμπορικού πλοίου.

Στα στροβιλοκίνητα κρουαζιερόπλοια τα οποία διαθέτουν δύο ξεχωριστά μηχανοστάσια, υπάρχουν, αντίστοιχα, δύο ηλεκτροστάσια με στροβιλογεννήτριες, αντίστοιχα για κάθε μηχανοστάσιο (σχ. 2.1). Σε κάποιες περιπτώσεις υπάρχει ένα τρίτο ηλεκτροστάσιο με ντιζελογεννήτριες, σε ξεχωριστό χώρο για τη λειτουργία του πλοίου στο λιμάνι (σχ. 2.2). Στο σχήμα 2.3 απεικονίζεται το ηλεκτροστάσιο ενός κρουαζιερόπλοιου με ένα μηχανοστάσιο.

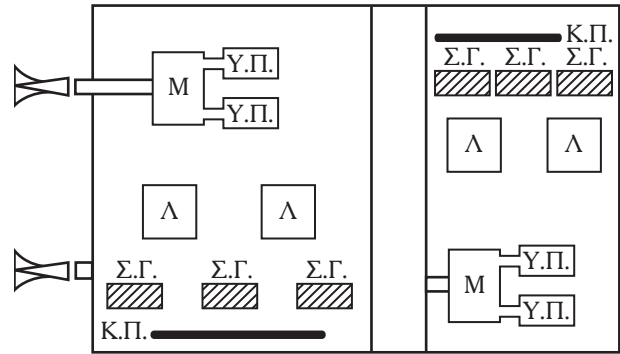
Τα φορτηγά πλοία και τα Δ/Ξ έχουν ένα ηλεκτροστάσιο το οποίο τοποθετείται στον χώρο του μηχανοστασίου (σχ. 2.4).

Για όλα τα εμπορικά πλοία, εκτός από τα μικρά και εκείνα τα οποία δρομολογούνται σε κοντινά ταξίδια, οι κανονισμοί προβλέπουν και ένα ανεξάρτητο ηλεκτροστάσιο, το οποίο ονομάζεται **ηλεκτροστάσιο έκτακτης ανάγκης**.

Το ηλεκτροστάσιο έκτακτης ανάγκης τροφοδοτεί για ένα ορισμένο χρονικό διάστημα τους καταναλωτές ζωτικής σημασίας όταν οι ηλεκτρογεννήτριες κανονικής πορείας είναι εκτός λειτουργίας.

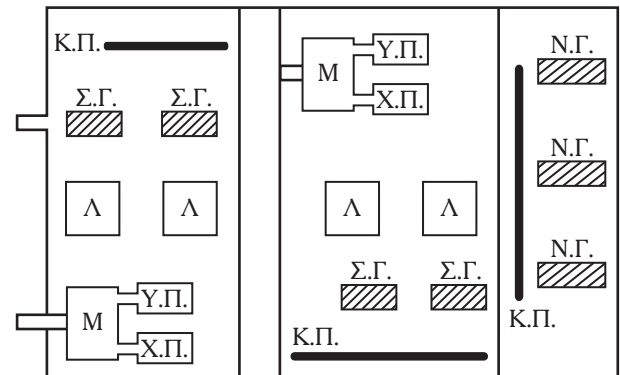
2.5 Στροβιλογεννήτριες

Ο ατμοστρόβιλος είναι ο πιο κατάλληλος κινητήρας για την ενεργοποίηση μιας ηλεκτρικής γεννήτριας. Τα πλεονεκτήματα του ατμοστρόβιλου είναι η σταθερή κινητήρια ροπή και οι ευκολίες ρύθμισης στροφών. Ο ατμοστρόβιλος σε σύγκριση με τις ΜΕΚ παρουσιάζει και άλλα πλεονεκτήματα, όπως μικρότερο όγκο και βά-



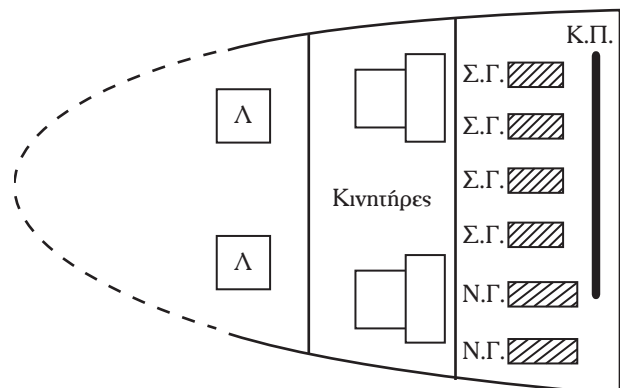
Σχ. 2.1

Ηλεκτροστάσια για στροβιλοκίνητα κρουαζιερόπλοια.
(Λ: λέβητες, Μ: μειωτήρας, Υ.Π.: στροβίλος υψηλής πίεσης, Χ.Π.: στροβίλος χαμηλής πίεσης,
Σ.Γ.: στροβιλογεννήτρια, Κ.Π.: κύριος πίνακας)



Σχ. 2.2

Μεγάλο στροβιλοκίνητο πλοίο με δύο ηλεκτροστάσια για την κανονική του πορεία και ένα ηλεκτροστάσιο με ντιζελογεννήτριες για τη λειτουργία του στο λιμάνι (Ν.Γ.: Ντιζελογεννήτρια)



Σχ. 2.3

Κρουαζιερόπλοιο με ένα μηχανοστάσιο και ηλεκτροστάσιο σε ξεχωριστό χώρο

Πίνακας 2.6

Συσκευές	HP	Αριθμός συσκευών συνδεδεμένου φορτίου				Μέγιστο φορ- τίο εν πλω		Μέγιστο φορ- τίο απόπλου		24 ωρών φορτίο εν πλω	
		Ολικό	Σε χρήση	Ολικό (HP)	Ολικό εισόδου (kW)	Συντελ.	kW	Συντελ.	kW	Συντελ.	kW
Βαρούλκο αγκυρών	15			15	11,25	0,50	5,62	0,50	5,62	0,50	5,62
Βαρούλκο καταπέλτη	15			15	11,25	0,50	5,62	0,50	5,62	0,50	5,62
Αντλίες											
Γενικής χρήσης No 1	15,5			15,5	11,40	0,15	1,71	0,15	1,71	0,15	1,71
Γενικής χρήσης No 2	15,5			15,5	11,40	0,15	1,71	0,15	1,71	0,15	1,71
Ποσίμου	6,50			6,50	4,80	0,40	1,92	0,40	1,92	0,40	1,92
Υγιεινής	6,50			6,50	4,80	0,73	3,50	0,73	3,50	0,73	3,50
Καυσίμου	1,50			1,50	1,10	0,80	0,88	0,80	0,88	0,80	0,88
Ανεμιστήρες μηχανοστασίου	1,50			1,50	1,10	0,85	0,93	0,85	0,93	0,85	0,93
Εξαερισμός μηχανοστασίου	1,50			1,50	1,10	0,85	0,93	0,85	0,93	0,85	0,93
Ανεμιστήρες ενδιαίτησης No 1	0,80			0,80	0,60	0,90	0,54	0,90	0,54	0,90	0,54
Ανεμιστήρες ενδιαίτησης No 2	0,80			0,80	0,60	0,90	0,54	0,90	0,54	0,90	0,54
Εξαεριστικό ενδιαίτησης	1,0			1,0	0,73	0,90	0,65	0,90	0,65	0,90	0,65
Θέρμανση					20,00	0,60	12,00	0,60	12,00	0,60	12,00
Φωτισμός μηχανοστασίου (π1)					1,80	0,90	1,62	0,90	1,62	0,90	1,62
Πίνακας σαλονιού (π2)					11,68	0,90	10,51	0,90	10,51	0,90	10,51
Πίνακας γέφυρας (π3)					11,52	0,90	10,42	0,90	10,42	0,90	10,42
Συντελεστής σύγχρονης λει- τουργίας	:	0,90					59,19		59,19		59,19
							53,27		53,27		53,27
Μέγιστο Φορτίο = 53,27 kW ή 67 kVA											
Στο σκάφος θα τοποθετηθούν δύο γεννήτριες 80 kVA η κάθε μία.											

2.8 Ερωτήσεις

- 1) Με ποιον πρακτικό κανόνα γίνεται η επιλογή του αριθμού των γεννητριών σε ένα πλοίο;
- 2) Ποιοι είναι οι τρόποι με βάση τους οποίους πραγματοποιείται ο ηλεκτρικός ισολογισμός σε ένα πλοίο;
- 3) Από τι εξαρτάται ο τύπος του ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους ενός πλοίου;
- 4) Τι εννοούμε με τον όρο «ηλεκτροστάσιο»;
- 5) Από τι εξαρτάται ο τύπος και ο αριθμός των ηλεκτροστασίων σε ένα πλοίο;
- 6) Ποια είναι τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του αμιοστροβίλου σε μια ηλεκτρική εγκατάσταση πλοίου;
- 7) Ποια είναι τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτή-

ματα των κινητήρων νίζελ σε μια ηλεκτρική εγκατάσταση πλοίου;

8) Τι είναι ο βαθμός ανομοιομορφίας και τι εκφράζει;

9) Ποιος είναι ο ρόλος του σφονδύλου;

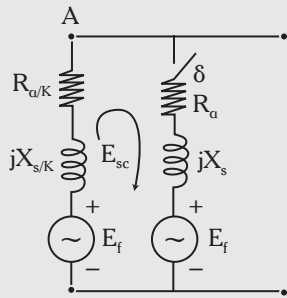
10) Ποια είναι τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των αεριοστροβίλων;

2.9 Παράλληλη λειτουργία γεννητριών εναλ- λασσόμενου ρεύματος

2.9.1 Γενικά

Με τον ισολογισμό ενέργειας για μια ηλεκτρική εγκατάσταση πλοίου ορίζεται ο αριθμός των γεννητρι-

Έστω ότι παραλληλίζουμε την γεννήτρια ΚΛ όταν η διαφορά φάσεων των τάσεων είναι 180° . Εφαρμόζοντας το Θεώρημα Millman για τις Κ γεννήτριες έχουμε το ακόλουθο ισοδύναμο κύκλωμα (σχ. 2.33):



Σχ. 2.33

Όταν κλείσουμε τον διακόπτη δ , τότε θα κυκλοφορήσει ισχυρό ρεύμα βραχυκύκλωσης I_{sc} στο ηλεκτρικό σύστημα:

$$\dot{I}_{sc} = \frac{\dot{E}_f + \dot{E}_f}{R_a \left(1 + \frac{1}{K}\right) + jX_s \left(1 + \frac{1}{K}\right)}$$

και

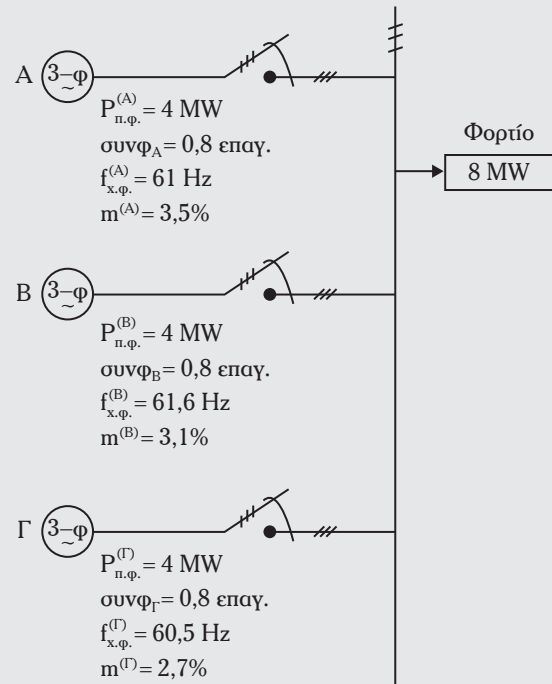
$$|\dot{I}_{sc}| = \frac{2|\dot{E}_f|}{\left(1 + \frac{1}{K}\right) \sqrt{R_a^2 + X_s^2}}$$

Ο λόγος $\frac{|\dot{E}_f|}{\sqrt{R_a^2 + X_s^2}}$ είναι το ρεύμα βραχυκύ-

κλωσης που διαρρέει το τύλιγμα κάθε φάσης, σε ένα τριφασικό βραχυκύκλωμα, των γεννητριών.

Άσκηση 14

Τρεις όμοιες γεννήτριες Α, Β, Γ (σχ. 2.34) λειτουργούν παράλληλα. Στη λειτουργία πλήρους φορτίου κάθε γεννήτρια τροφοδοτεί φορτίο με συντελεστή ισχύος 0,8 επαγ. με ισχύ 4 MW. Η συχνότητα στη λειτουργία χωρίς φορτίο της Α γεννήτριας είναι 61 Hz, ενώ η πώση ταχύτητας 3,5%. Η συχνότητα στη λειτουργία χωρίς φορτίο της Β γεννήτριας είναι 61,6 Hz, ενώ η πώση ταχύτητας είναι 3,1%. Η συχνότητα στη λειτουργία χωρίς φορτίο της Γ γεννήτριας είναι 60,5 Hz ενώ η πώση ταχύτητας είναι 2,7%. Αν αυτό το σύστημα ισχύος τροφοδοτεί φορτίο ισχύος 8 MW, να υπολογίσετε τη



Σχ. 2.34

συχνότητα του συστήματος και την ισχύ την οποία παρέχει κάθε γεννήτρια στο φορτίο.

Λύση

Η πώση ταχύτητας (SD) ορίζεται ως εξής:

$$SD = \frac{n_{x.φ.} - n_{n.φ.}}{n_{n.φ.}} \times 100\% = \frac{f_{x.φ.} - f_{n.φ.}}{f_{n.φ.}} \times 100\%$$

οπότε:

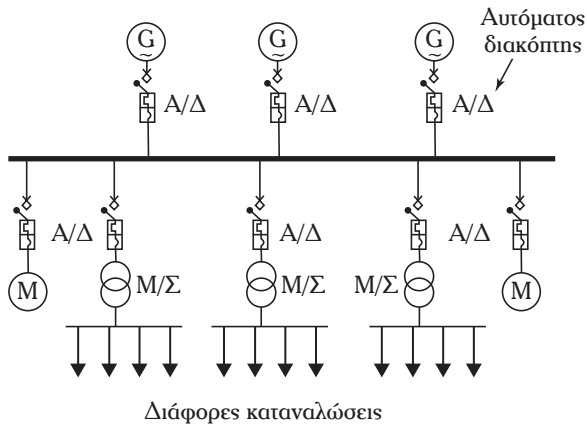
$$f_{n.φ.} = \frac{f_{x.φ.}}{\frac{SD}{100} + 1}$$

Οι συχνότητες πλήρους φορτίου των γεννητριών Α, Β και Γ είναι:

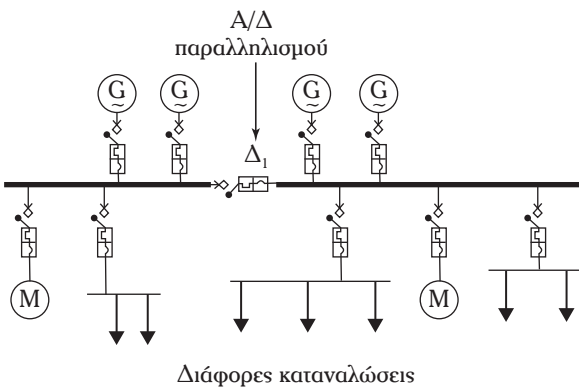
$$f_{n.φ.}^{(A)} = \frac{f_{x.φ.}^{(A)}}{\frac{SD_A}{100} + 1} = \frac{61 \text{ Hz}}{\frac{3,5}{100} + 1} = 58.937 \text{ Hz}$$

$$f_{n.φ.}^{(B)} = \frac{f_{x.φ.}^{(B)}}{\frac{SD_B}{100} + 1} = \frac{61,6}{\frac{3,1}{100} + 1} = 59.747 \text{ Hz}$$

$$f_{n.φ.}^{(\Gamma)} = \frac{f_{x.φ.}^{(\Gamma)}}{\frac{SD_\Gamma}{100} + 1} = \frac{60,5}{\frac{2,7}{100} + 1} = 58.909 \text{ Hz} .$$

**Σχ. 3.12**

Μονογραμμικό διάγραμμα ενός κύριου ηλεκτρικού πίνακα με ένα μοναδικό σύστημα ζυγών

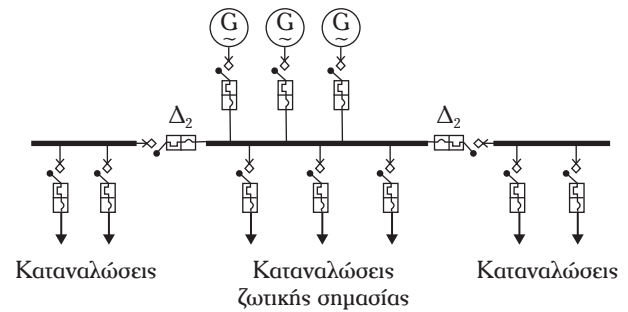
**Σχ. 3.13**

Μονογραμμικό διάγραμμα ενός κύριου πίνακα με δύο συστήματα ζυγών

Στο σχήμα αυτό οι γεννήτριες είναι συνδεδεμένες στο σύστημα των κυρίων ζυγών, από το οποίο αναχωρούν οι γραμμές τροφοδοσίας των καταναλώσεων ζωτικής σημασίας. Από το βοηθητικό σύστημα ζυγών αναχωρούν οι γραμμές τροφοδοσίας των διάφορων καταναλωτών.

4) Μονογραμμικό διάγραμμα ενός κύριου πίνακα ο οποίος αποτελείται από δύο συστήματα κυρίων ζυγών και ένα σύστημα βοηθητικών ζυγών (σχ. 3.15).

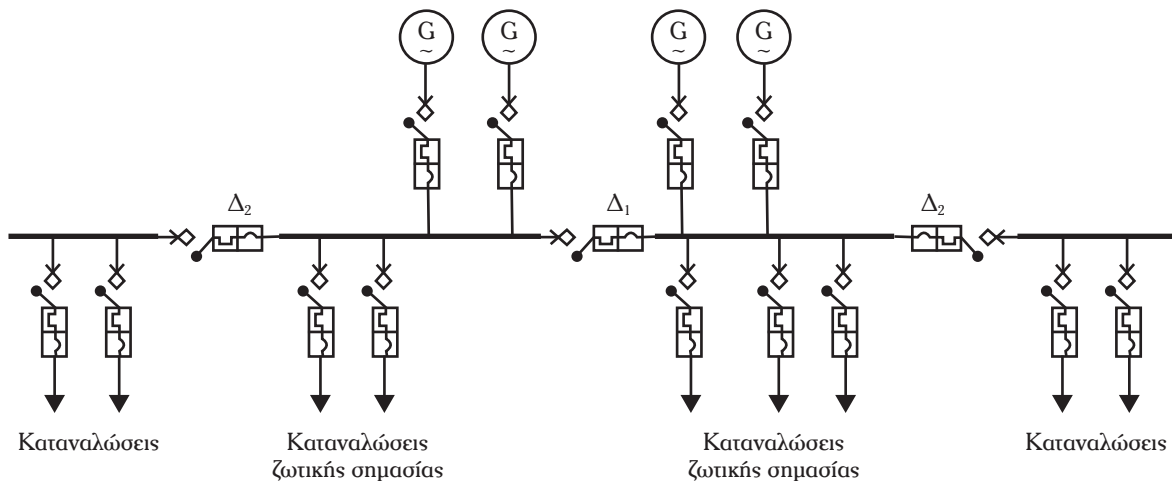
Ο κύριος πίνακας του σχήματος 3.15, είναι σύνθεση των κυρίων πινάκων των σχημάτων 3.13 και 3.14 αντίστοιχα. Ο κύριος πίνακας του σχήματος 3.15, εγγυάται το μέγιστο βαθμό της συνέχειας λειτουργίας και τον εύκολο τρόπο συντήρησης, γιατί αποτελείται από περισσότερα ανεξάρτητα τμήματα.



Οι A/Δ Δ_2 προκαλούν την αυτόματη αποσύνδεση στην περίπτωση υπερφόρτισης του κύριου πίνακα.

Σχ. 3.14

Μονογραμμικό διάγραμμα ενός κύριου πίνακα με ένα σύστημα κυρίων ζυγών και ένα αντίστοιχο σύστημα βοηθητικών ζυγών

**Σχ. 3.15**

Μονογραμμικό διάγραμμα ενός κύριου πίνακα, ο οποίος αποτελείται από δύο συστήματα κυρίων ζυγών και ένα σύστημα βοηθητικών ζυγών

Ο υποσταθμός, ο οποίος θα περιλαμβάνει και τον μετατροπέα συχνότητας μπορεί να είναι σε απόσταση μέχρι και 10 km από το λιμάνι, ενώ στην προβλήτα θα βρίσκεται ένα κοντέινερ, το οποίο θα περιέχει τον μετασχηματιστή απομόνωσης και τις διασυνδέσεις με το πλοίο, το διακοπικό υλικό Χ.Τ./Μ.Τ. με αυτόματο γειωτή και τον εξοπλισμό ελέγχου και προστασίας για τους χρήστες.

Η πρώτη ηλεκτρική σύνδεση πλοίου-ξηράς έχει εγκατασταθεί με μεγάλη επιτυχία στο Guthenberg στη Σουηδία, από το 2000.

Στο σχήμα 3.19 δίνεται μια πρόταση για την ηλεκτροδότηση ελλιμενισμένων πλοίων. Πάνω στο πλοίο τοποθετείται ένα πλήρες σύστημα ισχύος το οποίο συνδέεται με την ξηρά και ενσωματώνεται απόλυτα στο ηλεκτρικό σύστημα και στο σύστημα αυτοματισμού του πλοίου.

3.7 Όργανα ένδειξης και ελέγχου των κύριων ηλεκτρικών πινάκων

Οι κύριοι ηλεκτρικοί πίνακες περιλαμβάνουν τα όργανα που είναι απαραίτητα για τον έλεγχο και τη μέτρηση των παραμέτρων της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία διανέμεται στους διάφορους καταναλωτές. Γενικά, για κάθε σύγχρονη γεννήτρια (σχ. 3.20), η οποία σε μια ηλεκτρική εγκατάσταση πλοίου παράγει την απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια προβλέπονται τα ακόλουθα όργανα μέτρησης και ελέγχου:

- 1) Ένα βολτόμετρο (V) με μεταγωγικό διακόπτη.
- 2) Τρία αμπερόμετρα (A), ένα για κάθε φάση για

τον έλεγχο και την ισορροπία των ρευμάτων.

3) Ένα συχνόμετρο για έλεγχο της ταχύτητας (H_z).

4) Ένα συνημιτόμετρο ($\cos\phi$) για την μέτρηση του συντελεστή ισχύος.

5) Ένα διπλό βατόμετρο (W) σε συνδεσμολογία Αρον για τον έλεγχο της πραγματικής ισχύος.

6) Ένα βολτόμετρο (V_e) και ένα αμπερόμετρο (A_e) για τον έλεγχο της διέγερσης.

Ένας κύριος ηλεκτρικός πίνακας μπορεί να περιλαμβάνει και άλλα βοηθητικά όργανα, όπως όργανα σήμανσης ή προστασίας των τροφοδοτικών γραμμών της γεννήτριας (π.χ. συγχρονισκόπιο και λυχνίες συγχρονισμού).

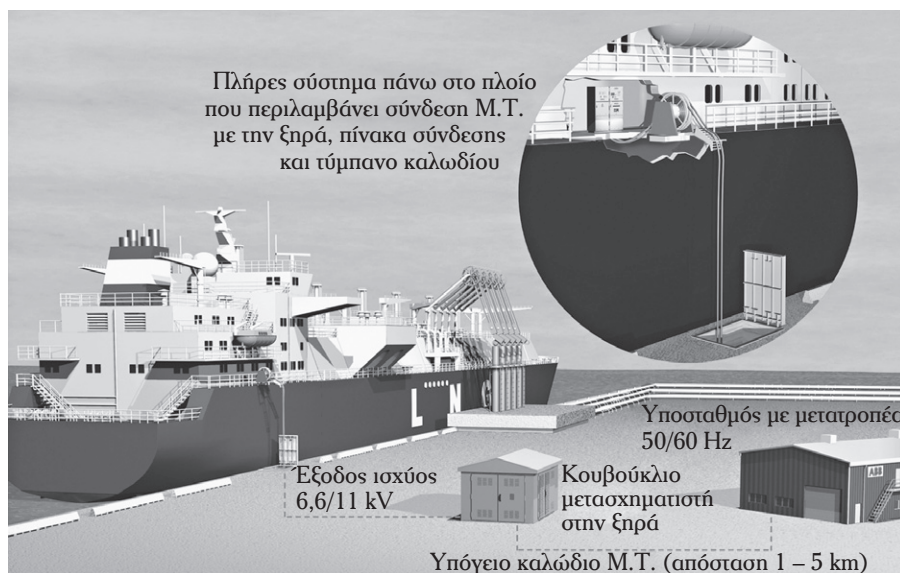
Στο σχήμα 3.21 δίδεται ένας κύριος ηλεκτρικός πίνακας, ο οποίος αποτελείται από ένα σύστημα ζυγών και τρεις μονάδες ηλεκτροπαραγωγών ζευγών με τα αντίστοιχα όργανα ελέγχου και μέτρησης.

Στον κύριο πίνακα διακρίνουμε τα εξής όργανα: V: βολτόμετρο διπλής διέγερσης, H_z : συχνόμετρο ζυγών, $H_z^{(ev)}$: συχνόμετρο εναλλακτήρα, V_e : βολτόμετρο διέγερσης, A_e : αμπερόμετρο διέγερσης, V_z : βολτόμετρο ζυγών, Δf: διακόπτης διέγερσης, PT: ρυθμιστής τάσης, W: βατόμετρο και $\cos\phi$: συνημιτόμετρο.

3.8 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των ηλεκτρικών πινάκων και βαθμοί προστασίας για το περιβλημα ενός ηλεκτρικού πίνακα Χ.Τ.

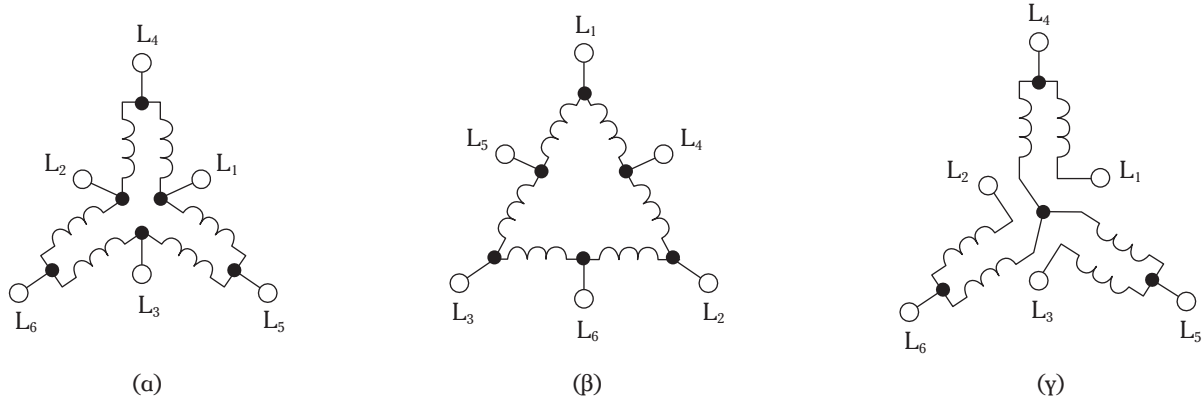
Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά ενός ηλεκτρικού πίνακα είναι τα ακόλουθα:

- 1) Η **ονομαστική τάση** (V_n), που είναι η μεγάλυ-

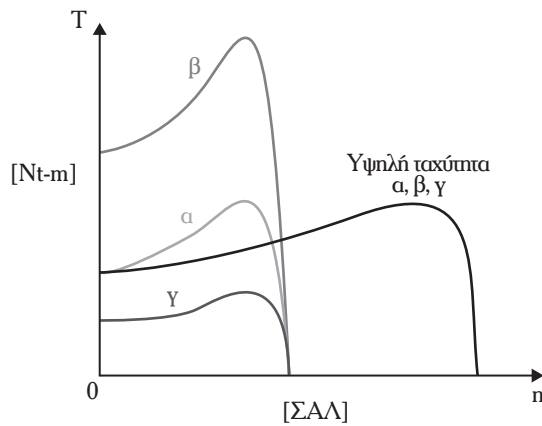


Σχ. 3.19

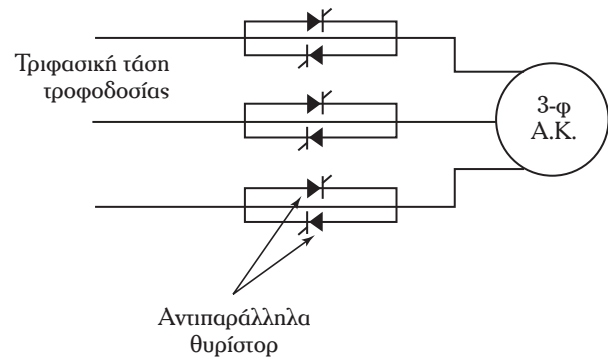
Ηλεκτροδότηση ελλιμενισμένων πλοίων

**Σχ. 4.42**

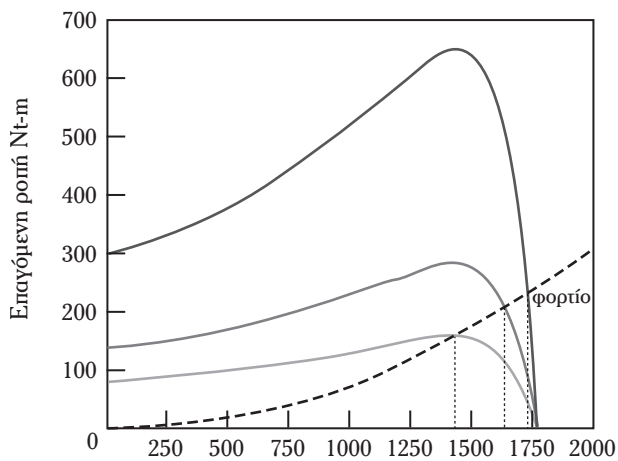
Συνδέσεις πηνίων του σιάτη, τριών ασύγχρονων κινητήρων με ίδιες χαρακτηριστικές ροπής-ταχύτητας

**Σχ. 4.43**

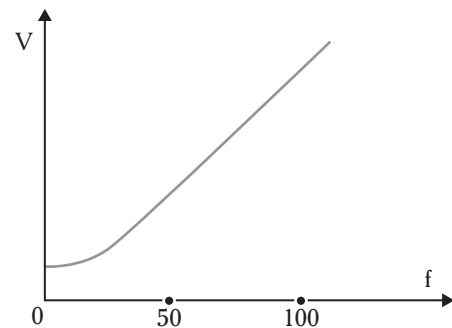
Χαρακτηριστικές ροπής-ταχύτητας των τριών ασύγχρονων κινητήρων για διάφορες συνδεσμολογίες των πηνίων των φάσεων του σιάτη

**Σχ. 4.45**

Μετατροπές με αντιπαράλληλα θυρίστορ για τη ρύθμιση της τάσης

**Σχ. 4.44**

Χαρακτηριστικές T-n για διαφορετικές τιμές της τάσης του σιάτη

**Σχ. 4.46**

Απαιτούμενη μεταβολή στην τάση αλλαγόνιας τη συχνότητα, ώστε να διατηρείται σταθερό το μαγνητικό πεδίο στο διάκενο

4.12.2 Τρόποι εκκίνησης του σύγχρονου κινητήρα

Έστω ότι τροφοδοτούμε τον σύγχρονο κινητήρα με τριφασικό σύστημα τάσεων και ρευμάτων, ενώ το κύκλωμα διέγερσής του διαρρέεται με ΣΡ, χωρίς να περιστρέφεται ο δρομέας. Τότε στην μισή περίοδο του ρεύματος αναπτύσσεται ροπή στρέψης ίση και αντίθετη από τη ροπή της άλλης μισής περιόδου. Λόγω της αδράνειας ο δρομέας δεν θα περιστραφεί.

Ο σύγχρονος κινητήρας δεν μπορεί να ξεκινήσει μόνος του, οπότε ακολουθούνται οι εξής εναλλακτικοί τρόποι εκκίνησης:

1) Με βοηθητικό κινητήρα

Χρησιμοποιείται συνήθως ένας μικρός ασύγχρονος κινητήρας, ο οποίος συνδέεται με συμπλέκτη στον άξονα του σύγχρονου κινητήρα με σκοπό να τον φέρει στην σύγχρονη ταχύτητα.

Η εκκίνηση του βοηθητικού κινητήρα γίνεται χωρίς φορτίο στον άξονα του σύγχρονου κινητήρα και η σύνδεση του συστήματος διέγερσης γίνεται όταν αποκτήσει την σύγχρονη ταχύτητα.

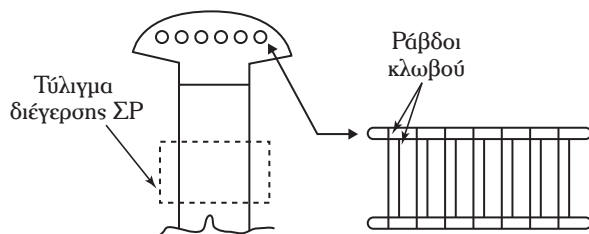
Τελικά, ο σύγχρονος κινητήρας με την βοήθεια του ασύγχρονου κινητήρα εκκινείται σαν σύγχρονη γεννήτρια, η οποία συνδέεται κατάλληλα στο δίκτυο όταν ικανοποιούνται οι συνθήκες παραλληλισμού.

Στην συνέχεια αποσυνπλέκουμε την σύνδεση του βοηθητικού κινητήρα και η μηχανή λειτουργεί σαν σύγχρονος κινητήρας.

Άλλος τρόπος εκκίνησης είναι να χρησιμοποιούμε σαν βοηθητικό κινητήρα έναν κινητήρα ΣΡ όταν υπάρχει διαθέσιμο δίκτυο συνεχούς ρεύματος.

2) Εκκίνηση σύγχρονου κινητήρα σαν ασύγχρονο κινητήρα

Αν στα αυλάκια των πελμάτων των μαγνητικών πόλων του σύγχρονου κινητήρα τοποθετηθούν τυλίγματα κλωβού (σχ. 4.60), τότε ο σύγχρονος κινητήρας ξεκινά σαν ασύγχρονος κινητήρας.



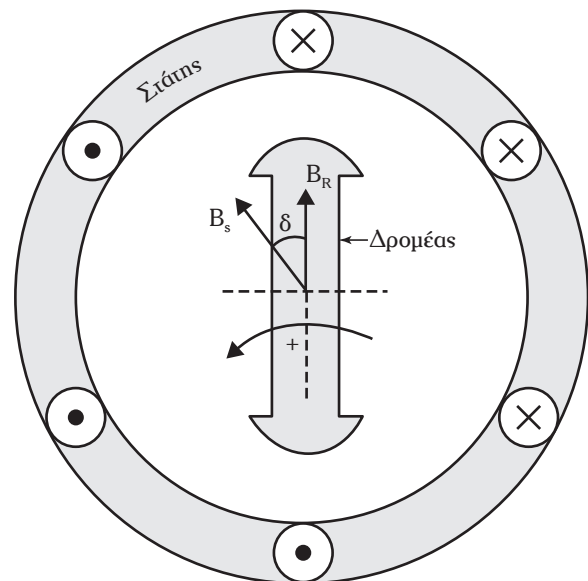
Σχ. 4.60

Τύλιγμα κλωβού στα πέλωμα των μαγνητικών πόλων του σύγχρονου κινητήρα

Ο σύγχρονος κινητήρας με την βοήθεια των τυλιγμάτων κλωβού ξεκινά σαν ασύγχρονος κινητήρας με βραχυκυκλωμένο δρομέα και όταν αποκτήσει ταχύτητα λίγο μικρότερη της αντίστοιχης σύγχρονης, τότε συνδέεται η διέγερση συνεχούς ρεύματος, με την οποία επιτυγχάνεται επιτάχυνση στην σύγχρονη ταχύτητα με μικρές ή μεγάλες ταλαντώσεις (αυτοσυσχρονισμός).

4.12.3 Αρχή λειτουργίας του σύγχρονου κινητήρα

Στο σχήμα 4.61 δίνεται ένας διπολικός σύγχρονος κινητήρας. Το ρεύμα διέγερσης δημιουργεί το μαγνητικό πεδίο του δρομέα B_R . Ο στάτης τροφοδοτείται από ένα τριφασικό σύστημα τάσεων και ρευμάτων οπότε παράγεται, στο εσωτερικό του κινητήρα ένα στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο B_S .



Σχ. 4.61

Διπολικός σύγχρονος κινητήρας

Τα μαγνητικά πεδία B_R και B_S τείνουν να ευθυγραμμιστούν. Η ευθυγράμμιση όμως δεν γίνεται γιατί ο στάτης συντηρεί την γωνία ισχύος δ , η οποία όσο μεγαλύτερη είναι τόσο μεγαλύτερη ροπή εφαρμόζεται στον δρομέα. Αυτό εξηγεί την αρχή λειτουργίας του σύγχρονου κινητήρα.

4.12.4 Λειτουργικές καταστάσεις των σύγχρονων κινητήρων

Ο σύγχρονος κινητήρας έχει την ίδια κατασκευαστική δομή με τη σύγχρονη γεννήτρια. Για να μελετηθεί η συμπεριφορά των συγχρόνων κινητήρων

κό ρεύμα και συντελεστή ισχύος 0,8 χωρ.

Λύση

Η πολική τάση (τάση γραμμής) είναι 2.300 V.

Το ρεύμα γραμμής είναι 47 A.

Ο συντελεστής ισχύος είναι $\cos\varphi = 0,8$ χωρ.

Η ισχύς εισόδου του κινητήρα είναι:

$$P_{in} = \sqrt{3} V_{\pi} I_a \cos\varphi = \\ = \sqrt{3} \cdot 2.300 \cdot 47 \cdot 0,8 = 149,78 \text{ kW}.$$

Οι απώλειες χαλκού του κινητήρα είναι:

$$P_{\text{cust}} = 3I_a^2 R_a = 3 \cdot (47)^2 \cdot 1,5 = 9,94 \text{ kW}$$

όπου: I_a είναι το ανά φάση ρεύμα τυμπάνου και R_a η ανά φάση ωμική αντίσταση τυμπάνου, αντίστοιχα, του σύγχρονου κινητήρα.

Η εσωτερική αναπτυσσόμενη ηλεκτρομαγνητική ισχύς P_d είναι:

$$P_d = P_{in} - P_{\text{cust}} = 149,78 - 9,94 = 139,84 \text{ kW}.$$

Άσκηση 2

Δίνεται μονοφασικός, σύγχρονος κινητήρας 500 V, με ισχύ εξόδου 7,46 kW και συντελεστή ισχύος 0,9 επαγ. Η ωμική αντίσταση της φάσης είναι 0,8 Ω. Οι απώλειες λόγω τριβών και ανεμισμού είναι 500 W. Να υπολογίσετε το ρεύμα τυμπάνου και την απόδοση του κινητήρα.

Λύση

Έστω I_a το ρεύμα, το οποίο απορροφά ο κινητήρας από το δίκτυο.

Η ισχύς εισόδου P_{in} του κινητήρα, είναι:

$$P_{in} = V_t I_a \cos\varphi = 500 \cdot I_a \cdot 0,9 = 450 \cdot I_a \text{ W}.$$

Η ισχύς εξόδου P_{out} είναι $P_{out} = P_{in} - P_{\ell}$

$$\text{ή } 7.460 = 450 I_a - 500 - 0,8 I_a^2 - 450 I_a + 7.960 = 0$$

$$\text{ή } \frac{450 \pm \sqrt{(450)^2 - 4 \times 0,8 \times 7.960}}{2 \times 0,8} = 18,3 \text{ A}$$

όπου: $P_{\ell} = 500 \text{ W}$ είναι οι απώλειες λόγω τριβών.

Η ισχύς εισόδου του κινητήρα είναι:

$$P_{in} = 500 \times 18,3 \times 0,9 = 8,235 \text{ W}.$$

Η απόδοση του κινητήρα είναι:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 = \frac{7.460}{8.235} \times 100 = 90,58\%.$$

Άσκηση 3

Δίνεται τριφασικός κινητήρας, 6.000 V, με σύνδεση φάσεων σε αστέρα, ο οποίος απορροφά ονομαστικό ρεύμα 65 A με συντελεστή ισχύος 0,8 χωρ.. Να υπολογίσετε την πολική αντι-ΗΕΔ, την απόδοση και την ισχύ εξόδου της μηχανής, αν οι απώλειες λόγω τριβών και ανεμισμού είναι 30 kW.

Δίδεται: $R_a = 2 \Omega/\text{φάση}$ και $X_s = 20 \Omega/\text{φάση}$.

Λύση

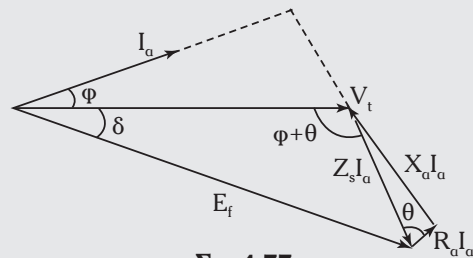
Η τάση τροφοδοσίας ανά φάση, του κινητήρα είναι:

$$V_t = \frac{6.000}{\sqrt{3}} \approx 3.468 \text{ V}.$$

Το ρεύμα τυμπάνου είναι $I_a = 65 \text{ A}$.

Ο συντελεστής ισχύος είναι 0,8 χωρ., οπότε: $\varphi = 36,87^\circ$.

Το διάγραμμα τάσεων και ρευμάτων του κινητήρα είναι αυτό που φαίνεται στο σχήμα 4.77.



Σχ. 4.77

Ισχύει:

$$I_a Z_s = I_a \sqrt{R_a^2 + X_s^2} = 65 \sqrt{2^2 + (20)^2} = 977 \text{ V}.$$

Η γωνία θ είναι:

$$\theta = \tan^{-1} \frac{X_s}{R_a} = \tan^{-1} \frac{20}{2} = 84,29^\circ.$$

Η αντι-ΗΕΔ είναι:

$$(E_f)^2 = V_t^2 + (I_a Z_s)^2 - 2 V_t (I_a Z_s) \cos(\varphi + \theta) = \\ = (3.468)^2 + (977)^2 - 2 \cdot 3.468 \cdot 977 \cdot \cos(121,16^\circ)$$

$$\text{ή } E_f = 4.060,52 \text{ V}.$$

Η πολική αντι-ΗΕΔ είναι:

$$\sqrt{3} \cdot 4.060,52 = 7.033,02 \text{ V}.$$

Το διάγραμμα ροής ισχύος του σύγχρονου κινητήρα δίνεται στο σχήμα 4.78.

Η ισχύς εισόδου του κινητήρα είναι:

$$P_{in} = 3 V_t I_a \cos\varphi = 3 \cdot 3.468 \cdot 65 \cdot 0,80 = 541.008 \text{ W}.$$

5.5.2 Διακόπτες

Οι διακόπτες έχουν την δυνατότητα να συνδέουν και να αποσυνδέουν τμήμα ή τμήματα ενός ηλεκτρικού δικτύου όταν δέχονται μια μηχανική ή μια ηλεκτρική εντολή. Διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, στους **διακόπτες κυκλωμάτων ενέργειας** και στους **διακόπτες βοηθητικών κυκλωμάτων**.

1) Οι **διακόπτες κυκλωμάτων ενέργειας** συνίστανται στους:

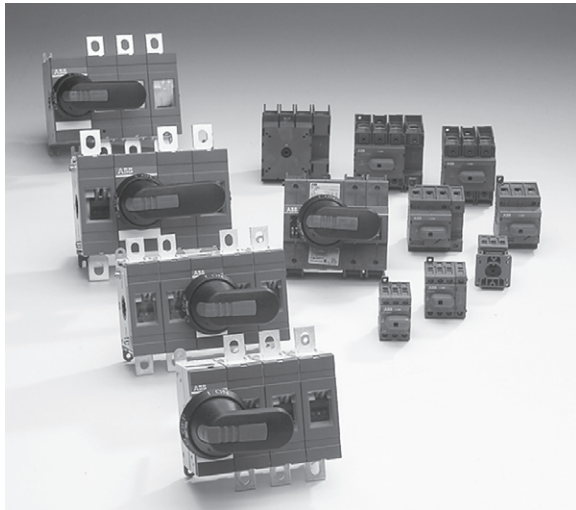
α) **Αποζεύκτες**, οι οποίοι ενεργοποιούν ή απενεργοποιούν κυκλώματα χωρίς φορτίο (σχ. 5.30).

β) **Διακόπτες ισχύος** (ή **αυτόματοι διακόπτες**), οι οποίοι ενεργοποιούν ή απενεργοποιούν κυκλώματα σε συνθήκες σφαλμάτων (βραχυκυκλώματα) (σχ. 5.31).

γ) **Διακόπτες φορτίου**, οι οποίοι ενεργοποιούν ή απενεργοποιούν κυκλώματα με μηχανική ή ηλεκτρική εντολή σε συνθήκες λειτουργίας με ονομαστικά φορτία (σχ. 5.32).

δ) **Διακόπτες εκκινητές κινητήρων**, οι οποίοι είναι διακόπτες φορτίου κατασκευασμένοι να λειτουργούν σε ιδιαίτερες συνθήκες λειτουργίας των κινητήρων (εκκίνηση, αλλαγή φοράς περιστροφής), όπου το ρεύμα είναι πολλαπλάσιο από το ονομαστικό (σχ. 5.33).

2) **Διακόπτες βοηθητικών κυκλωμάτων** οι οποίοι διαθέτουν πολλά ζευγάρια επαφών (ενεργοποιούνται ή απενεργοποιούνται με μηχανική ή ηλεκτρική εντολή) και χρησιμοποιούνται κυρίως σε αυτοματισμούς (σχ. 5.34).



Σχ. 5.30
Οικογένεια αποζευκτών



Σχ. 5.31
Διακόπτης ισχύος



Σχ. 5.32
Διακόπτες φορτίου



Σχ. 5.33
Διακόπτες ομαλής εκκίνησης κινητήρων



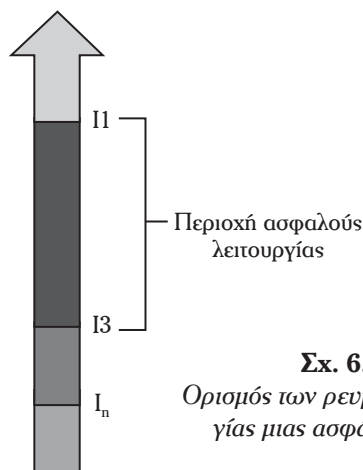
Σχ. 5.34
Διακόπτης βοηθητικών κυκλωμάτων

Για τον λόγο αυτό πρέπει να αποφεύγεται η λειτουργία της ασφάλειας μεταξύ I_n και I_3 (σχ. 6.10).

1) Χαρακτηριστικές καμπύλες χρόνου τήξης-ρεύματος των ασφαλειών HRC

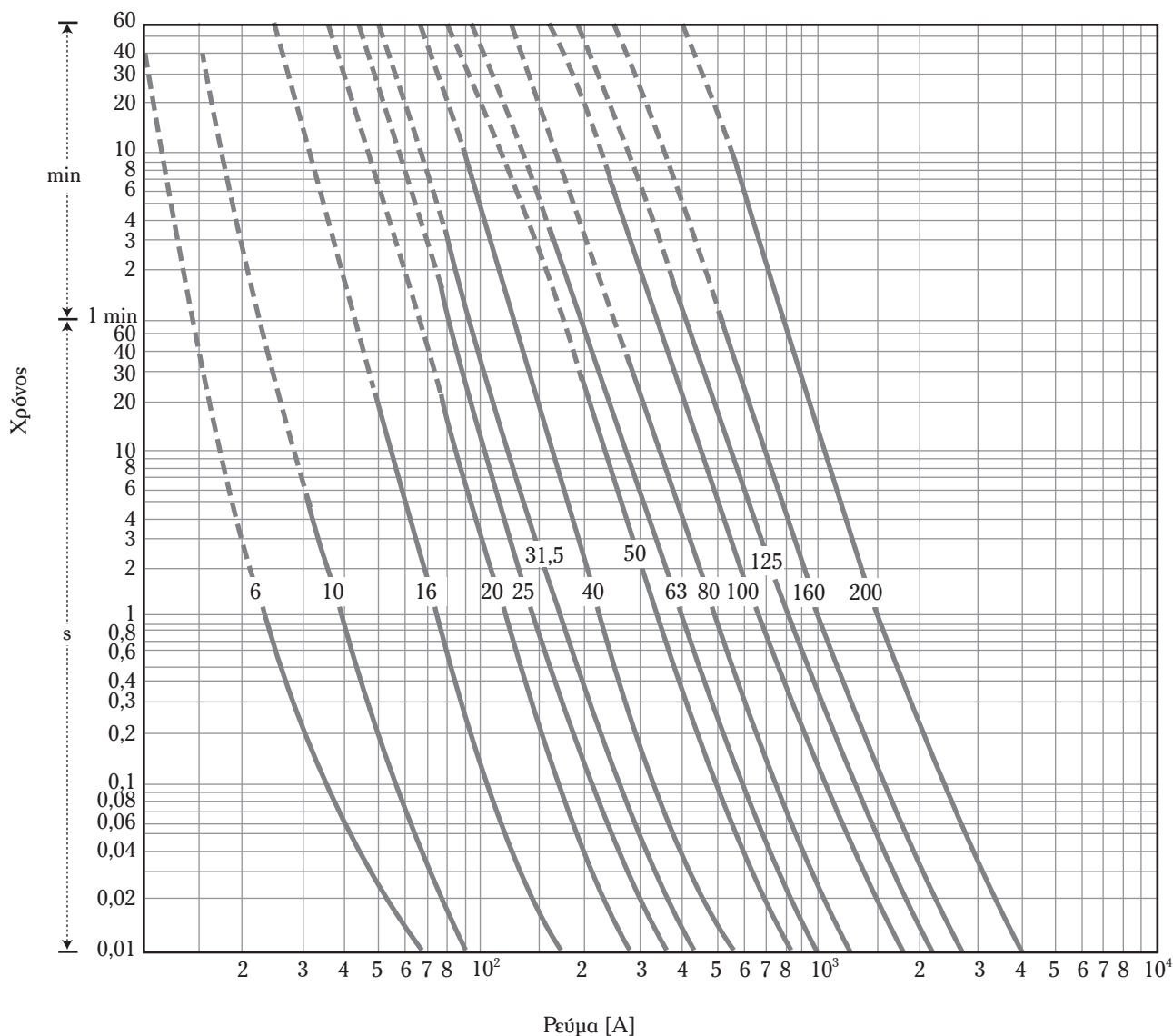
Προκειμένου να γίνει σωστή επιλογή της ασφάλειας, που θα χρησιμοποιηθεί σε δίκτυα Μ.Τ., είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε τον χρόνο τον οποίο χρειάζεται η ασφάλεια για να διακόψει το ρεύμα βραχυκύκλωσης. Στο σχήμα 6.11, δίνονται οι βασικές καμπύλες οι οποίες δίδουν τον χρόνο τήξης σε συνάρτηση με το ρεύμα.

Οι δύο άξονες χρόνος και ρεύμα είναι βαθμονομημένοι λογαριθμικά για να περιοριστεί η έκταση του διαγράμματος. Το αριστερό τμήμα κάθε χαρακτηριστικής καμπύλης



Σχ. 6.10

Ορισμός των ρευμάτων λειτουργίας μιας ασφάλειας HRC



Σχ. 6.11

Χαρακτηριστικές καμπύλες χρόνου τήξεως σε συνάρτηση με το ρεύμα σε ασφάλεια σκόνης

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ

A

αδιάλλειπτο σύστημα παροχής τάσης σε
 συστήματα συσσωρευτών 205
άεργος ισχύς 7
αεριοστρόβιλος 35
αζιμουθιακό προωστήριο σύστημα (POD) 199
αλκαλικοί συσσωρευτές τύπου Ni-MH 204
ανάλυση ισοδύναμου κυκλώματος 87
ανοιχτά δακτυλιοειδή εφεδρικά δίκτυα 70
αντιπαράλληλα θυρίστορ 113
αντιστροφεία ΕΡ σε ΣΡ 195
αξιοπιστία 3
αξονική γεννήτρια 12, 13
απλή διάταξη πρόωσης με ΣΡ 188
αποζεύκτες 155
ασύγχρονος κινητήρας βαθέων αυλακιών 106
ασύγχρονος κινητήρας διπλού κλωβού 104
ασύγχρονος κινητήρας με δακτυλίδια 81
ασύγχρονος τριφασικός κινητήρας 79
ασφάλειες 176
αυτόματοι διακόπτες 155
αυτόματος ρυθμιστής στροφών 44

B

βαθμοί προστασίας για το περίβλημα ενός
 ηλεκτρικού πίνακα Χ.Τ. 76
βλάβες των συσσωρευτών μολύβδου 202
βολτόμετρο του κυκλώματος διέγερσης 75
βύθιση τάσης 99

Γ

γενικές αρχές λειτουργίας του ασύγχρονου
 κινητήρα 81
γεννήτριες με κινητήριες μηχανές στροβίλου 12

Δ

δευτερεύουσα διανομή 2, 65
δεύτερη μέθοδος: υπολογισμός ρεύματος

 βραχυκύκλωσης ανά φάση 148
διαδικασία χάραξης του κυκλικού
 διαγράμματος 108
διακόπτες 155
διακόπτες βοηθητικών κυκλωμάτων 155
διακόπτες εκκινητές κινητήρων 155
διακόπτες Μ.Τ. 180
διακόπτες φορτίου 155
διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας με
 εναλλασσόμενο ρεύμα (ΕΡ) 65
διατάξεις προστασίας του κινητήρα από
 βραχυκυκλώματα 118
διατάξεις προστασίας του κινητήρα από
 υπερφορτίσεις 117
δίκτυο διανομής έκτακτης ανάγκης 72
δοκιμή με ακινητοποιημένο δρομέα 98
δοκιμή χωρίς φορτίο 97
δομή ηλεκτρικών δικτύων Μ.Τ. 174
δομή ηλεκτρομαγνητικών ηλεκτρονόμων 157
δομή και λειτουργία των θερμικών διατάξεων 162
δομή του ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα 79
δρομέας 80

Ε

εκκίνηση ασύγχρονων κινητήρων με δακτυλίδια 103
εκκίνηση με αντιστάσεις στον στάτη 99
εκκίνηση με αυτομετασχηματιστή 100
εκκίνηση με διακόπτη αστέρα – τρίγωνο (Υ/Δ) 102
εκκίνηση του ασύγχρονου κινητήρα και
 προστασία από υπερφόρτιση 116
εκκίνηση των τριφασικών ασύγχρονων
 κινητήρων 99
έλεγχος – συντήρηση – βλάβες κινητήρων ΕΡ 134
έλεγχος ταχύτητας του σύγχρονου κινητήρα 124
εξήγηση του λειτουργικού κυκλώματος της
 συνδεσμολογίας του κινητήρα 161
εξηλεκτρισμένο εμπορικό πλοίο 13
εξοικονόμηση χώρου και πόρων 3
επαγόμενες τάσεις 84

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΜΒΟΛΩΝ

Αγγλικά σύμβολα

A:	Ampere – μονάδα μέτρησης έντασης ηλεκτρικού ρεύματος, εμβαδόν διατομής αγωγού, αρχή πηνίου φάσης, αρχικό σύμβολο ασύγχρονου κινητήρα, ακροδέκτης πηνίου αυτόματου διακόπτη, αποζεύκτης – διακόπτης, διακόπτης σε πίνακα Μ.Τ.
A':	Πέρας πηνίου φάσης.
B:	Πλάτος θαλαμηγού, γεννήτρια, μαγνητικό πεδίο, ακροδέκτης δικτύου.
aM:	Ασφάλειες οι οποίες προστατεύουν κινητήρες.
C:	Ακροδέκτης δικτύου, μανομετρικό του ανεμιστήρα προσαγωγής αέρα στον λέβητα, χωρητικότητα πυκνωτή.
E:	Ηλεκτρεγερτική δύναμη.
E_f :	Τάση διέγερσης, αντι-ΗΕΔ.
E_o :	Μέγιστη τιμή ηλεκτρεγερτικής δύναμης.
F:	Μαγνητεγερτική δύναμη.
f:	Συχνότητα.
G:	Γεννήτρια.
I:	Ένταση ρεύματος.
I_o :	Μέγιστη τιμή έντασης ηλεκτρικού ρεύματος, ρεύμα εισόδου του κινητήρα στη λειτουργία χωρίς φορτίο.
I_A :	Ρεύμα το οποίο παρέχει ένας ΑΜ/Σ σε ασύγχρονο κινητήρα, ρεύμα φάσης Α.
I_B :	Ρεύμα εκκίνησης ασύγχρονου κινητήρα, ρεύμα φάσης Β.
I_{sc} :	Ρεύμα βραχυκύκλωσης.
$\dot{I}$:	Διάνυσμα ρεύματος.
i:	Στιγμιαία τιμή ρεύματος.
J:	Βαθμός ανομοιομορφίας.
K:	Λόγος μετασχηματισμού.
K_1 :	Συντελεστής τυλίγματος του στάτη ασύγχρονου κινητήρα.

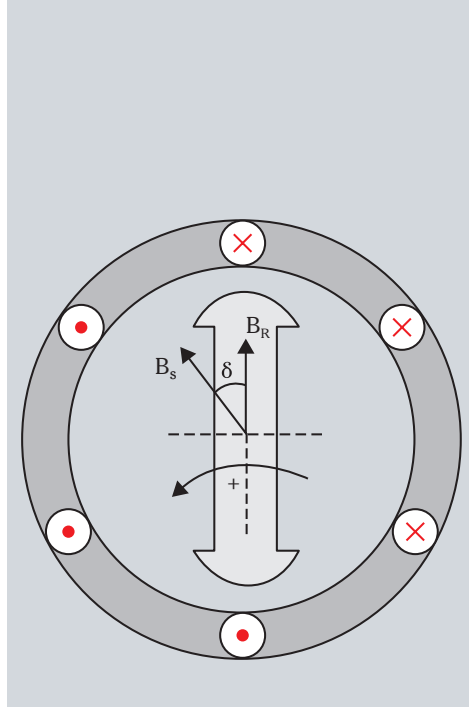
K_2 :	Συντελεστής Kapp.
L:	Αυτεπαγωγή, φάση ηλεκτρικού δικτύου.
m:	Κλίση χαρακτηριστικής f-P
N:	Βόρειος πόλος.
n:	Αριθμός σπειρών, ταχύτητα περιστροφής δρομέα ηλεκτρικής περιστρεφόμενης μηχανής.
n_s :	Σύγχρονη ταχύτητα.
P:	Αριθμός μαγνητικών πόλων, ισχύς εισόδου, ισχύς εξόδου, ισχύς απωλειών.
R:	Ωμική αντίσταση.
S:	Νότιος πόλος, φαινομένη ισχύς, ακροδέκτης φάσεως δικτύου.
s:	Ολίσθηση ασύγχρονου κινητήρα.
T:	Περίοδος χρόνου, Ροπή.
V:	Τάση σε Volt, αρχή τυλίγματος στάτη ασύγχρονου κινητήρα.
$\dot{V}$:	Διάνυσμα τάσης.
v:	Ταχύτητα περιστροφής, πέρας τυλίγματος τάσης ασύγχρονου κινητήρα.
W:	Αρχή τυλίγματος στάτη ασύγχρονου κινητήρα, αρχικά μονάδας μέτρησης πραγματικής ισχύος, απώλειες ηλεκτρικής γραμμής.
w:	Πέρας φάσης τυλίγματος ασύγχρονου κινητήρα με δακτυλίδια.
X:	Αντίδραση σκέδασης, πέρας φάσης τυλίγματος στάτη ασύγχρονου κινητήρα, αρχή φάσης τυλίγματος ασύγχρονου κινητήρα με δακτυλίδια.
X_m :	Αντίδραση μαγνήτισης.
Y:	Σύνδεση φάσεων σε αστέρα, πέρας φάσης τυλίγματος στάτη ασύγχρονου κινητήρα, αρχή φάσης τυλίγματος δρομέα ασύγχρονου κινητήρα με δακτυλίδια.
Z:	Σύνθετη αντίσταση, πέρας φάσης τυλίγματος στάτη, αρχή φάσης τυλίγματος δρομέα ασύγχρονου κινητήρα με δακτυλίδια.

Ελληνικά σύμβολα

A:	Γεννήτρια, καμπύλη, ακροδέκτης πηνίου.
α :	Καμπύλη ροπής-στροφών, συντελεστής, λόγος $I_{εκκ}/I_{πφ}$.
B:	Γεννήτρια, καμπύλη, ακροδέκτης πηνίου.
β :	Συντελεστής ο οποίος παίρνει τιμές από 0,75 μέχρι και 0,90.
Γ :	Γεννήτρια, καμπύλη.
γ :	Καμπύλη ροπής-στροφών.
Δ :	Διαφορά.

δ :	Γωνία ισχύος.
HN:	Ηλεκτρονόμος.
η :	Απόδοση.
λ :	Σταθερά.
μ :	Συντελεστής.
π :	3,14.
Σ :	Άθροισμα.
σ :	Συντελεστής σκέδασης, συντελεστής $\Sigma I_b/\Sigma I_a$.
Φ :	Μαγνητική ροή.
ω :	Γωνιακή ταχύτητα περιστροφής σε rad/s.

Ο δεύτερος τόμος των Ηλεκτρικών Μηχανών περιλαμβάνει τις βασικές ηλεκτρικές διατάξεις και συσκευές των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων των πλοίων, τα συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και την υλοποίηση ηλεκτρικών ισολογισμών διαφόρων ηλεκτρικών εγκαταστάσεων των πλοίων, το είδος των ηλεκτρικών δικτύων των πλοίων με τους αντίστοιχους υπολογισμούς βραχυκυκλωμάτων, καθώς και βασικά στοιχεία για την ηλεκτροπρόωση.



ISBN (SET) 978-960-337-180-9

ISBN 978-960-337-195-3