

**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**ΤΟΜΕΑΣ ΝΑΥΤΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ**



**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Ολοκληρωμένη μελέτη λειτουργίας ηλεκτρογεννήτριας σε  
ειδικού τύπου πλοία.**

**ΑΘΑΝΑΣΟΠΟΥΛΟΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΡΑΦΑΗΛ  
08116303**

**Επιβλέπων καθηγητής:**

**Δρ. Ιωάννης  
Προυσαλίδης  
Καθηγητής**

**Νοέμβριος  
2022**



## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Ιωάννη Προυσαλίδη, καθώς η μεθοδική καθοδήγησή του με τις συμβουλές, τις παρατηρήσεις και τις εξειδικευμένες επιστημονικές του γνώσεις συνέβαλαν καθοριστικά στην εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Ευχαριστώ, επίσης, τους συναδέλφους μου οι οποίοι καθ' όλη τη διάρκεια της καριέρας μου στο Πολεμικό Ναυτικό με βοήθησαν με πλήθος τεχνικών πληροφοριών των ηλεκτρογεννητριών πλοίων του Πολεμικού Ναυτικού, που πραγματεύεται η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στην σύζυγό μου και τη μητέρα μου για την έμπρακτη ηθική και υλική τους υποστήριξη καθ' όλη τη διάρκεια των προπτυχιακών μου (και όχι μόνο) σπουδών.

Αθανασόπουλος Παναγιώτης Ραφαήλ  
Νοέμβριος 2022

## Περίληψη

Σκοπός της ακόλουθης διπλωματικής εργασίας είναι να γίνει μια πλήρης περιγραφή των ηλεκτρικών μηχανών σε ειδικού τύπου πλοία καθώς επίσης και μια περιγραφή των παρελκόμενων βοηθητικών συστημάτων.

Πιο συγκεκριμένα έχει γίνει λόγος για τα κριτήρια επιλογής ηλεκτρικής γεννήτριας, η οποία θα επιλεγθεί για χρήση σε ένα πλοίο. Αναλύονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της ύπαρξης πλήρους εξηλεκτρισμένου πλοίου. Περαιτέρω, γίνεται μία σύντομη παρουσίαση στον ηλεκτρολογικό εξοπλισμό. Ακολουθείται μια αναλυτική περιγραφή τόσο της κινητήριας μηχανής, η οποία μπορεί να λειτουργήσει μαζί με την ηλεκτρική γεννήτρια, όσο και της ίδιας της γεννήτριας. Επιπροσθέτως, περιγράφονται αναλυτικά τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα σε κάθε περίπτωση τόσο των κινητήριων μηχανών όσο και των τύπων των ηλεκτρικών γεννητριών.

Εν συνεχεία, παρατίθενται αναλυτικά όλα τα δίκτυα μίας ηλεκτρικής μηχανής, όπως:

- σύστημα πετρελαίου,
- σύστημα γλυκού ύδατος,
- σύστημα θαλασσινού ύδατος,
- σύστημα ελαίου
- σύστημα αέρα.

Τέλος, έχει γίνει μία προσομοίωση της μονάδας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε πλοίο του Πολεμικού Ναυτικού στη μόνιμη κατάσταση ως προς τα όρια λειτουργίας της ενεργού και άεργου ισχύος.

**Λέξεις κλειδιά:** Ηλεκτρική γεννήτρια, Πολεμικό πλοίο, μόνιμη κατάσταση λειτουργίας παραγωγής ηλεκτροκινητήρων.

## Abstract

The purpose of this thesis is to describe the electric generators for navy vessels, as well as to describe the respective auxiliary systems.

More specifically, the selection / dimensioning criteria of electric generators for a ship are analyzed. Special attention is given for the advantages and disadvantages of all-electric ship, while an introduction for the supplementary electrical equipment is presented.

Then the electric power unit's sub-systems are mentioned:

- Fuel circuit.
- Treated water circuit.
- Sea water cooling circuit.
- Lubricating oil circuit.
- Compressed air circuit.

Finally, a MATLAB simulation tool is developed for the calculation of the steady-state limitations of active and reactive power for a typical diesel-electric power unit of Hellenic Navy vessels.

**Keywords:** diesel-electric generator, war-ship, steady-state operation of thermal power unit

## Περιεχόμενα

Εισαγωγή.....	1
Κεφάλαιο1 Εισαγωγή στα Συστήματα πλοίων .....	2
1.1 Συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου .....	2
1.2 Το σύστημα πρόωσης .....	3
1.3 Το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας... ..	7
1.3.1 Γενικά .....	7
1.3.2 Κύρια κινητήρια μηχανή γεννήτριας.....	8
1.3.3 Γεννήτρια.....	8
1.3.4 Δίκτυο διανομής... ..	9
1.3.5 Συστήματα με γείωση ή χωρίς.....	10
1.3.6 Τριών ή τεσσάρων αγωγών .....	11
1.3.7 Δομή πινάκων διανομής και μετατροπής... ..	11
1.3.8 Οι απαίτηση ηλεκτρικής ισχύος .....	12
1.4 Βασικές δομές συστημάτων πρόωσης-ηλεκτρικής ενέργειας... ..	15
1.4.1 Γενικά περί μετατροπείς ενέργειας... ..	15
1.4.1.1 Μετατροπή ενέργειας.....	15
1.4.1.2 Τύποι ενέργειας... ..	15
1.4.1.3 Ηλεκτρική ενέργεια.....	16
1.4.1.4 Υδραυλική ενέργεια .....	17
1.4.1.5 Θερμική ενέργεια .....	17
1.4.1.6 Χημική ενέργεια.....	17
1.4.1.7 Μετατροπή κύριας ενέργειας σε μηχανική .....	17
1.4.1.8 Από μηχανική σε ηλεκτρική ενέργεια.....	18
1.4.1.9Μετατροπή ηλεκτρικής ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια άλλων χαρακτηριστικών.....	18
1.4.1.10 Διάγραμμα μεταφοράς ενέργειας... ..	18
1.4.1.11 Διασύνδεσης συστημάτων ηλεκτρικής τροφοδοσίας και πρόωσης.....	19
1.4.1.12 Απόδοση του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας.....	19
1.4.1.13 Διάφορες διατάξεις σχετικά με την πρόωση ενός πλοίου 19	
1.4.1.14 Ήλικας... ..	22
1.4.1.15 Απαιτήσεις και κανονισμοί... ..	22
1.4.1.16 Μόνωση και θερμοκρασία ηλεκτρικών μηχανών... ..	23
1.4.2 Συστήματα μηχανικής πρόωσης-κλασική σχεδίαση.....	23
1.4.3 Σύστημα μηχανικής πρόωσης-διασύνδεση με ηλεκτρικό σύστημα .....	25
1.4.3.1 Κινητήρες... ..	25
1.4.3.2 Γεννήτριες... ..	27
1.4.3.3 Μετατροπείς.....	27
1.4.4 Πλήρως εξηλεκτρισμένο πλοίο .....	28
1.5 Ηλεκτρονικά ισχύος... ..	31

1.5.1 Γενικά.....	31
1.5.2 Εφαρμογές των ηλεκτρονικών ισχύος... ..	32
1.5.3 Μετατροπείς ενέργειας... ..	33
1.5.4 Ημιαγωγικοί διακόπτες ισχύος.....	35
1.5.5 Κατάσταση λειτουργίας ημιαγωγικών διακοπών ισχύος.....	35
1.6 Φορτία... ..	37
1.6.1 Γενικά .....	37
1.6.2 Βοηθητικά συστήματα.....	37
1.6.3 Φορτία σχετικά με τη ναυσιπλοία και τις τηλεπικοινωνίες... ..	40
1.6.4 Φορτία για το φωτισμό .....	41
1.7 Συμπεράσματα .....	41
Κεφάλαιο 2 Μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.....	42
2.1 Μέρη συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας... ..	42
2.1.1 Αρχή λειτουργίας περιστρεφόμενης μηχανής.....	42
2.1.2 Διατάξεις ασφαλείας... ..	43
2.2 Κινητήριος μηχανή... ..	44
2.2.1 Μηχανή Ντίζελ .....	44
2.2.1.1 Βασικά μέρη μηχανής ντίζελ.....	44
2.2.1.2 Αρχή λειτουργίας... ..	48
2.2.1.3 Κύκλος ιδανικού αέριου .....	49
2.2.2 Αεριοστροβίλος .....	51
2.2.2.1 Γενικά .....	51
2.2.2.2 Αρχή λειτουργίας... ..	55
2.2.2.3 Τύποι αεριοστροβίλου .....	57
2.2.3 Ατμοστροβίλος .....	57
2.2.3.1 Γενικά.....	57
2.2.3.2 Αρχή λειτουργίας... ..	59
2.2.4 Ειδικές περιπτώσεις... ..	60
2.2.4.1 Ατμοστροβίλος σε πυρηνικό αντιδραστήρα.....	60
2.2.4.2 Κυψέλες καυσίμου .....	61
2.2.4.3 Κινητήρας Stirling.....	62
2.3 Γεννήτρια .....	64
2.3.1 Σύγχρονη γεννήτρια εναλλασσόμενου ρεύματος.....	66
2.3.2 Παράλληλη λειτουργία σύγχρονων γεννητριών .....	73
2.3.4 Γεννήτρια συνεχούς ρεύματος... ..	77
2.3.4.1 Παραγωγή τάσης.....	80
2.5 Μετασχηματιστές.....	82
2.5.1 Γενικά .....	82
2.5.2 Μονοφασικοί μετασχηματιστές.....	84
2.5.3 Τριφασικοί μετασχηματιστές... ..	84
2.5.4 Αυτομετασχηματιστές... ..	86
2.5.5 Μετασχηματιστές οργάνων... ..	87
2.5.6 Απόδοση μετασχηματιστή .....	87
2.6 Προσδιορισμός σύγχρονων μηχανών... ..	88
2.6.1 Διάγραμμα λειτουργίας της σύγχρονης γεννήτριας... ..	90

2.7 Στατική ευστάθεια .....	93
2.8 Συμπέρασμα.....	95
Κεφάλαιο 3 Μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας πολεμικών πλοίων του πολεμικού ναυτικού .....	96
3.1 Γενική περιγραφή μονάδων.....	96
3.2 Δίκτυα ηλεκτρογεννήτριας.....	98
3.2.1 Δίκτυο πετρελαίου .....	98
3.2.2 Δίκτυο γλυκού νερού.....	99
3.2.3 Δίκτυο θαλασσινού νερού .....	101
3.2.4 Δίκτυο λαδιού.....	102
3.2.5 Δίκτυο αέρα εκκινήσεως.....	104
3.2.6 Λοιπά υποσυστήματα .....	106
3.3 Συμπεράσματα.....	107
Κεφάλαιο 4 Προσομοίωση μονάδας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας πολεμικού πλοίου Π.Ν.....	108
4.1 Γενικά.....	108
4.2 Όριο ρεύματος στάτη .....	108
4.3 Όριο ρεύματος πεδίου .....	108
4.4 Όριο κινητήριας μηχανής.....	110
4.5 Όριο στατικής ευστάθειας.....	111
4.6 Προσομοίωση.....	111
4.7 Συμπεράσματα .....	115
5.1 Κεφάλαιο 5 Συμπεράσματα .....	116
5.2 Περιοχές για περαιτέρω έρευνα .....	116
Παράρτημα 1 Ανάπτυξη λογισμικού .....	118
Βιβλιογραφία .....	121



## Εισαγωγή

Στα σύγχρονα πλοία και ειδικά στα ειδικού τύπου πλοία (π.χ. πολεμικά) το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας έχει κεντρικό ρόλο, καθώς από αυτό εξαρτάται τόσο η πρόωση (τροφοδοσία συστημάτων αυτόματου ελέγχου, κίνηση βοηθητικών μηχανημάτων κα.), όσο και η εκτέλεση της αποστολής τους (διατήρηση υψηλού επιπέδου άνετης διαβίωσης σε κρουαζιερόπλοια, διατήρηση συνθηκών συντήρησης τροφίμων σε φορτηγά πλοία, λειτουργία οπλικών συστημάτων και αεροναυτιλίας σε πολεμικά πλοία). Καρδιά του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας είναι το σύστημα παραγωγής που συνήθως απαρτίζεται από ηλεκτρογεννήτριες κινούμενες από ντιζελομηχανές.

Η εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας έχει ως σκοπό τη μελέτη λειτουργίας μιας τυπικής ηλεκτρογεννήτριας ειδικού τύπου πλοίων στη μόνιμη κατάσταση και τον καθορισμό των ορίων λειτουργίας ενεργού και άεργου ισχύος.

Στόχοι αυτής της εργασίας είναι:

1. Να συγκριθούν οι διατάξεις πρόωσης.
2. Να προσδιορισθούν οι βασικές αρχές διαστασιολόγησης των ηλεκτρογεννητριών πλοίων προς κάλυψη του ηλεκτρικού φορτίου.
3. Να περιγραφούν οι κινητήριες μηχανές ηλεκτρογεννητριών.
4. Να περιγραφούν οι ηλεκτρογεννήτριες.
5. Να επισημανθούν τα τυπικά υποσυστήματα ηλεκτρογεννήτριας, όπως δίκτυα πετρελαίου, γλυκού νερού, θαλασσινού νερού, λαδιού, συμπιεσμένου αέρα, μετασχηματιστές κα,
6. Να αναπτυχτεί λογισμικό προς προσδιορισμό των ορίων ενεργού και άεργου ισχύος για την ασφαλή λειτουργία της σύγχρονης γεννήτριας υπό ονομαστική τάση και συχνότητα.

Οι στόχοι 1 ως 4 επιτεύχθηκαν μέσω βιβλιογραφικής έρευνας και θεωρητικής ανάλυσης, ενώ ο στόχος 5 μέσω έρευνας πεδίου. Ο στόχος 6 έγινε με τη μέθοδο ανάπτυξης λογισμικού.

### Εισαγωγή στα συστήματα πλοίων

#### 1.1 Συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου

Για την ασφάλεια του πληρώματος και τη λειτουργία του πλοίου η ηλεκτρική ενέργεια παίζει πλέον σημαντικό ρόλο. Μια εγκατάσταση σε ένα πολεμικό πλοίο είναι ένα ολοκληρωμένο σύστημα παραγωγής, διανομής και κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό το ολοκληρωμένο σύστημα πρέπει να χαρακτηρίζεται από αυτάρκεια και αξιοπιστία. Αυτή η εγκατάσταση υποδιαιρείται σε τρία υποσυστήματα: 1) Ισχύος, 2) Φωτισμού, 3) Επικοινωνίας-ναυσιπλοΐας.

Η ηλεκτρολογική εγκατάσταση ενός πλοίου πρέπει να ικανοποιεί τις προδιαγραφές του Νηογώμουνα, των Εθνικών Κανονισμών και του κανονισμού SOLAS (Convention on Safety of Life at Sea).

Ένα πλοίο πρέπει εκτός από τις γεννήτριες πρέπει να λαμβάνει και ρεύμα ξηράς όταν αυτό είναι στον λιμένα, όπου η λήψη αυτού να γίνεται από το κύριο κατάστρωμα. Στην περίπτωση του εν πλω ένα πλοίο πρέπει να έχει τουλάχιστον 2 κύριες ηλεκτρογεννήτριες, οι οποίες πρέπει να καλύπτουν όλα τα φορτία των συστημάτων στις δυσμενέστερες περιπτώσεις τους. Επιπλέον, πρέπει να υπάρχει και μια ηλεκτρογεννήτρια ανάγκης έτσι, ώστε εάν μία από τις κύριες ηλεκτρογεννήτριες πάθει κάποια βλάβη, να μπορεί το πλοίο να βρίσκεται σε επιχειρησιακή λειτουργική κατάσταση. Οι κύριες ηλεκτρογεννήτριες είναι εγκατεστημένες στο ηλεκτροστάσιο σε αντίθεση με την ηλεκτρογεννήτρια ανάγκης, η οποία βρίσκεται εκτός ηλεκτροστασίου. Επίσης πρέπει να αναφερθεί ότι η γεννήτρια ανάγκης έχει δικό της κινητήρα DIESEL. Μόνο σε μικρά πλοία η ηλεκτρογεννήτρια ανάγκης μπορεί να είναι συσσωρευτές.

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, δύο είναι οι απαιτήσεις για την επιλογή και εγκατάσταση των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων, που είναι η αξιοπιστία και η ασφάλεια. Η αξιοπιστία αφορά ιδιαίτερα τα στοιχεία που έχουν ζωτική σημασία για την επιχειρησιακή του ικανότητα π.χ. πρόωση, φωτισμός, ναυσιπλοΐα, πηδάλιο, οπλικά συστήματα. Ενώ για την ασφάλεια του πληρώματος επιλέγονται υλικά άκαυστα, βραδύκαυστα προς αποφυγή σπινθήρων κλπ. Επίσης για την ασφάλεια του πλοίου πρέπει να διαθέτει επαρκές πλήθος ανταλλακτικών έτσι, ώστε εάν σε μια εν πλω βάρδια συμβεί μία βλάβη να μπορέσει το πλήρωμα να την αποκαταστήσει μέχρι το πλοίο να ολοκληρώσει την αποστολή του και φτάσει σε ένα λιμένα.

Μία άλλη απαίτηση είναι οι ηλεκτρικές μηχανές να μπορούν να λειτουργήσουν σε δυσμενείς συνθήκες. Κάθε τέτοια μηχανή πρέπει να μπορεί να λειτουργήσει σε κλίση ως 15° αριστερά και δεξιά, με διατοιχισμό ως 22,5°, με διαμήκη κλίση 5° και προνευστασμό 7,5°. Επίσης πρέπει να λειτουργούν σε θερμοκρασία μέχρι 85°C, όταν είναι εκτός μηχανοστασίου και 90-95°C όταν βρίσκονται εντός. Η θερμοκρασία του περιβάλλοντος επηρεάζει την θερμοκρασία του μηχανήματος κατά τη λειτουργία του. Εκτός από τη θερμοκρασία του μηχανήματος επηρεάζει και την απόδοση του, καθώς και την διάρκεια ζωής του. Όταν η θερμοκρασία μιας ηλεκτρικής μηχανής αυξηθεί, τότε η τάση της γεννήτριας πέφτει, ενώ η ταχύτητα ενός κινητήρα συνεχούς ρεύματος αυξάνει. Έτσι είναι απαραίτητος ο αερισμός των μηχανών ή εάν αυτό δεν είναι εφικτό, τότε πρέπει να υπάρχει σύστημα ψύξης έτσι, ώστε να διατηρηθεί η θερμοκρασία των μηχανών σε φυσιολογικές τιμές.

Τέλος απαιτήσεις υπάρχουν ακόμα και στην τοποθέτηση του άξονα. Ο άξονας της μηχανής πρέπει να είναι τοποθετημένος παράλληλα ή κατακόρυφα με την τρόπιδα του πλοίου. Εάν αυτό δεν είναι εφικτό, τότε πρέπει να παρθούν κάποια άλλα μέτρα, όπως η τοποθέτηση εδράνων όπου να μην υπάρχουν κτυπήματα στον άξονα ή προβλήματα στη λίπανση των εδράνων κατά τους διατοιχισμούς του πλοίου.

## 1.2 Το σύστημα πρόωσης

Ένα σύστημα πρόωσης μπορεί να αποτελείται από μια κινητήρια μηχανή ή και περισσότερες, από ένα κιβώτιο ταχυτήτων και από έναν ή και περισσότερους έλικες. Οι κινητήριες μηχανές μπορεί να είναι ατμοστρόβιλοι κλασικού καυσίμου ή πυρηνικών αντιδραστήρων αεριοστρόβιλοι ή ντιζελομηχανές. Η πρώτη ιστορική αναδρομή για τη πρόωση πλοίου μέσω ατμοστρόβιλου ήταν το 1894 από τον Βρετανό Sir Charles Parsons όπου το πλοίο που έβαλε τον ατμοστρόβιλο ήταν το Turbinia. Ο Parson ήταν ο εφευρέτης αυτής της μηχανής όπου πρωτοεμφανίστηκε το 1884. Η εταιρία BBC το 1901 άρχισε να κατασκευάζει μαζικά ατμοστρόβιλους.

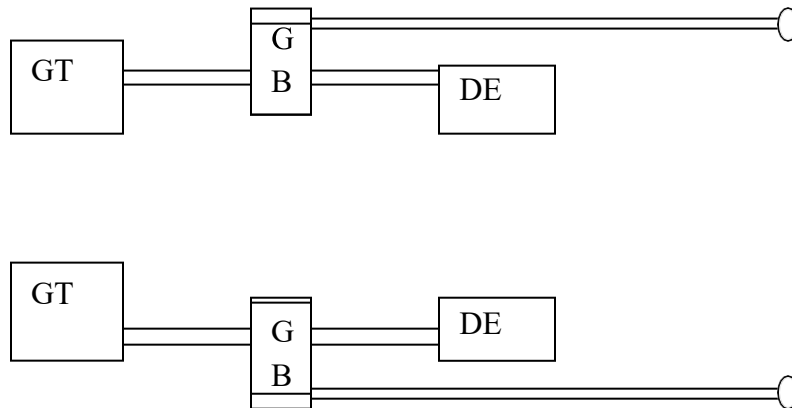
Η πρώτη εμφάνιση των αεριοστρόβιλων, όσο και αν φαίνεται παράξενο, ξεκινάει από το 1791 όπου κατοχυρώθηκε η πρώτη πατέντα από τον επιστήμονα John Barber, όμως δεν είναι γνωστό εάν κατάφερε να λειτουργήσει. Αυτό οφείλεται κυρίως στην μη επαρκή τεχνολογία αυτής της εποχής. Το 1872, ο Stolze θεωρητικά κατασκεύασε έναν αεριοστρόβιλο όπου τον υλοποίησε το 1900 με αποθαρρυντικά αποτελέσματα. Για την πρόωση πλοίων ο πρώτος αεριοστρόβιλος που μπήκε σε πλοίο ήταν το 1947 από το Αγγλικό Ναυτικό με τον αεριοστρόβιλο Gatric ισχύος 1,86MW όπου εφαρμόστηκε στην κανονιοφόρο MGB2009.

Οι μηχανές Diesel ξεκίνησαν στην Ολλανδία το 1673 από τον επιστήμονα Cristian Huygens όπου εφεύρε έναν πρόωρο κύλινδρο ( συγκεκριμένα ήταν ένας κύλινδρος κανονιού όπου η αρχή λειτουργίας είναι παρόμοια με αυτή των Diesel). Το 1805 στην Ελβετία ο Isaaq de Rivaz εφεύρε την ανάφλεξη μέσα στον κύλινδρο, τη μετακίνηση του εμβόλου και κατά συνέπεια την ωφέλιμη ισχύ όπου και έβαλε αυτόν το τρόπο κίνησης στα αυτοκίνητα. Το 1903 στη Ρωσία δημιουργήθηκε το πρώτο tanker 'Vandel' με ντιζελομηχανές από την εταιρία Branobel.

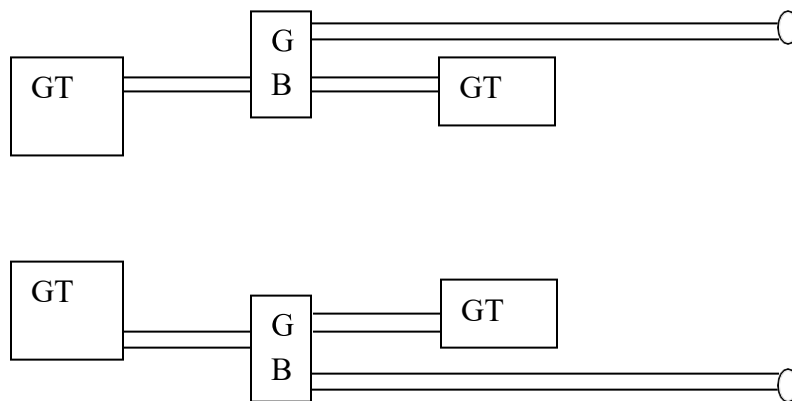
Η πυρηνική πρόωση είναι η πιο πρόσφατη όπου εμφανίστηκε το 1952 στο υποβρύχιο Nautilus από τις ΗΠΑ. Υπάρχει και η ηλεκτροπρόωση όπου είναι ένα είδος πρόωσης εξολοκλήρου από ηλεκτρισμό όπου υπάρχει η συμμετοχή ντιζελομηχανής, ατμοστρόβιλων και αεριοστρόβιλων. Αντί οι μηχανές να κινούνται απευθείας τον άξονα κινούν, γεννήτριες και οι γεννήτριες κινούν τον έλικα μέσω ηλεκτρικών κινητήρων. Ιστορικά η ηλεκτροπρόωση άρχισε πριν από 100 χρόνια (σε ορισμένες περιπτώσεις όπως τα παγοθραυστικά) όπου είναι του τύπου Σ.Ρ/Σ.Ρ. Το εναλλασσόμενο ρεύμα άρχισε να εμφανίζεται το 1950, αλλά και πάλι οι κινητήρες Σ.Ρ. εξακολουθούν να κυριαρχούν. Τα τελευταία 20 χρόνια η ηλεκτροπρόωση έχει αρχίσει να κυριαρχεί στα μυαλά των επιστημόνων με την ανάπτυξη των ηλεκτρονικών ισχύων.

Η πρόωση ενός πολεμικού πλοίου μπορεί να γίνει με συνδυασμό αυτών των μηχανών. Η περιγραφή αυτή διεθνώς γίνεται με τη χρήση 5-7 γραμμάτων. Αρχικά τοποθετούνται τα γράμματα CO όπου βγαίνει από τη λέξη combined που σημαίνει συνδυασμός. Στη συνέχεια ακολουθεί ένα γράμμα το οποίο δηλώνει με ποια μηχανή το πλοίο έχει την οικονομική ταχύτητα πλεύσης. Τα γράμματα αυτά μπορεί να είναι το D που είναι ντιζελομηχανή, το G που είναι ο αεριοστρόβιλος, το N που είναι πυρηνικός αντιδραστήρας και το S που είναι ατμοστρόβιλος. Εάν στο πλοίο υπάρχει συνεργασία ντιζελομηχανής και ηλεκτρογεννητριών για την παραγωγή ηλεκτρικού

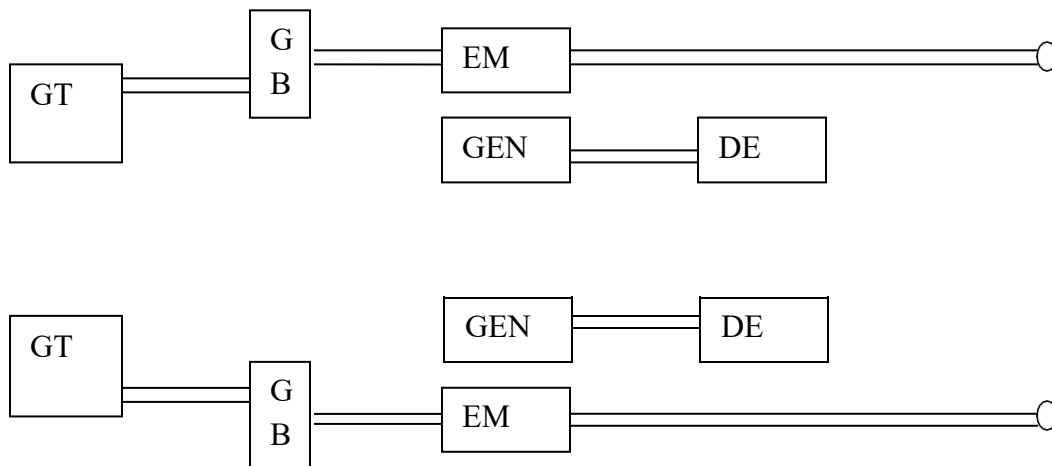
ρεύματος, το οποίο πάει σε ηλεκτροκινητήρες για την κίνηση του έλικα ( ηλεκτροπρόωση) στην οικονομική ταχύτητα, τότε τοποθετείται το γράμμα L. Το τέταρτο γράμμα δηλώνει εάν οι μηχανές σε υψηλές ταχύτητες και χαμηλές λειτουργούν ταυτόχρονα, οπότε χρησιμοποιείται το γράμμα A που είναι το λογικό ΚΑΙ που σημαίνει ταυτόχρονη λειτουργία ή Ο που είναι το λογικό Η που σημαίνει ή η μια μηχανή ή η άλλη. Το πέμπτο γράμμα δηλώνει το είδος του συστήματος πρόωσης σε υψηλές ταχύτητες όπου χρησιμοποιείται ένα από τα γράμματα του τρίτου πεδίου. Τέλος, εάν υπάρχει διαγώνια σύνδεση των συστημάτων πρόωσης με τους απέναντι άξονες ( cross-connected ) τοποθετείται το γράμμα X.



Σχήμα 1.1: Συνδυασμός DIESEL AND/OR με αεριοστρόβιλο (CODAG/CODOG)



Σχήμα 1.2: Συνδυασμός αεριοστρόβιλου AND/OR με αεριοστρόβιλο (COGAG/COGOG)



Σχήμα 1.3: Συνδυασμός DIESEL-ELECTRIC με αεριοστρόβιλο (CODLAG)

GT	Αεριοστρόβιλος
GB	Μειωτήρας
DE	Diesel
EM	Ηλεκτρικός κινητήρας
GEN	Γεννήτρια

Σχήμα 1.4: Υπόμνημα

Τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα κάθε είδους πρόωσης παίζουν σημαντικό ρόλο στην επιλογή της μηχανής πρόωσης. Τα πλεονεκτήματα των ατμοστροβίλων είναι η χρήση χαμηλής ποιότητας καυσαερίων, η χαμηλή κατανάλωση καυσίμου σε μικρά φορτία, καθώς και ότι έχουν μεγάλο χρόνο μεταξύ γενικών επισκευών, οι οποίες είναι και οικονομικότερες σε σχέση με τους αεροστροβίλους. Τα μειονεκτήματα των ατμοστροβίλων είναι ότι είναι πολύ βαρύτερη και ογκώδης η κατασκευή σε σχέση με τους αεροστροβίλους, είναι πιο ακριβή από τους αεροστροβίλους, ενώ και η διαθεσιμότητα τους είναι λιγότερη από τις άλλες μηχανές. Ο χρόνος εκκίνησης ενός ατμοστροβίλου είναι μεγαλύτερος σε σχέση με τις άλλες μηχανές, αφού πρώτα πρέπει να προθερμανθεί ο λέβητας και ο ατμοστρόβιλος. Επιπλέον το πλήρωμα είναι πολύ περισσότερο και ειδικευμένο από τις άλλες μηχανές, αφού χρειάζεται περισσότερες ειδικότητες.

Το βασικό πλεονέκτημα των αεροστροβίλων είναι οι μικρές διαστάσεις τους ανά μονάδα ισχύος. Ένα άλλο πλεονέκτημά τους είναι ο μικρός χρόνος εκκίνησης σε σύγκριση με τις αργόστροφες μηχανές, καθώς και ο χρόνος που πρέπει να φτάσει στο πλήρες φορτίο. Επιπλέον ο αεροστρόβιλος έχει χαμηλή εκπομπή NOx, καθώς και ηχορύπανση. Η λειτουργία τους έχει χαμηλούς κραδασμούς, όπου συνεπάγεται και μικρότερη ανάγκη για έδρανα και η λειτουργία τους είναι αθόρυβη. Οι αεριοστροβίλοι διαθέτουν μεγάλη διαθέσιμη ροπή από χαμηλές στροφές. Τέλος η μειωμένη ανάγκη συντήρησης, καθώς το μειωμένο κόστος αρχικού κεφαλαίου

αγοράς του αεροστροβίλου και η ευκολία αντικατάστασης του είναι ένα βασικό πλεονέκτημα.

Τα μειονεκτήματα τώρα των αεριοστροβίλων είναι ο γενικά χαμηλός βαθμός απόδοσης κυρίως στα χαμηλά φορτία και η αδυναμία καύσης πετρελαίου χαμηλής ποιότητας. Η ανάγκη χρήσης ελίκων μεταβλητού βήματος ή η χρήση μειωτήρα με αναστροφή είναι αναγκαία, αφού οι αεροστροβίλοι δεν είναι αναστρέψιμης λειτουργίας. Η ταχύτητα περιστροφής του άξονα είναι πολύ μεγάλη, έτσι η χρήση μειωτήρα είναι απαραίτητη. Ο μεγάλος όγκος των οχετών καυσαερίου πιάνει μεγάλο χώρο στο πλοίο. Τέλος υπάρχει μικρός χρόνος μεταξύ γενικών επισκευών.

Το βασικό πλεονέκτημα της πυρηνικής πρόωσης είναι ότι με έναν ανεφοδιασμό το πλοίο μπορεί να ταξιδέψει 2,5 χρόνια. Επίσης με τη χρήση της πυρηνικής πρόωσης υπάρχει μηδενική απαγωγή καυσαερίων στην ατμόσφαιρα. Επιπλέον η μεγάλη συγκέντρωση ισχύος ανά μονάδα καυσίμου είναι ένα υπέρ της πυρηνικής πρόωσης με χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι ότι 1 κιλό πυρηνικής ενέργεια παράγει 7.000.000kWh. Η επάρκεια των πυρηνικών καυσίμων είναι αρκετά μεγαλύτερη των κλασικών ορυκτών στοιχείων.

Τα μειονεκτήματα αυτής της πρόωσης είναι ίδια με του αεροστροβίλου. Ειδικότερα ο χρόνος εκκίνησης ενός πυρηνικού αντιδραστήρα είναι περισσότερος με σχέση τις άλλες μηχανές. Πρέπει να υπάρχει προθερμαντήρας έτσι, ώστε να προθερμανθεί ο στροβίλος. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα αυτής της διάταξης είναι η μεγάλη επικινδυνότητα. Επειδή υπάρχει μεγάλη συγκέντρωση ισχύος σε μικρές ποσότητες, μία βλάβη μπορεί να προκαλέσει ολόκληρη πυρηνική έκρηξη, με αποτέλεσμα την καταστροφή τόσο του πλοίου, όσο και του οικολογικού συστήματος λόγω της ραδιενέργειας που θα εκλυθεί.

Τα πλεονεκτήματα των ντιζελομηχανών είναι ο μεγάλος βαθμός απόδοσης λόγω υψηλής συμπίεσης. Επίσης οι μεγάλες ροπές σε χαμηλές και μεσαίες στροφές καθιστά αυτές τις μηχανές κατάλληλες για τοποθέτηση σε πολλά πολεμικά πλοία. Επιπλέον οι ντιζελομηχανές έχουν λιγότερα κόστη συντήρησης και η ζωή του κινητήρα είναι πολύ μεγαλύτερη.

Τα μειονεκτήματα είναι η μεγάλη παροχή καυσίμου που χρειάζεται η μηχανή. Ο χρόνος για να μεταβεί από μεσαίες σε υψηλές στροφές είναι γενικά μεγάλος, δηλαδή αυτές οι μηχανές δεν είναι ευμετάβλητες. Επιπλέον οι μηχανές ντιζελομηχανές έχουν χαμηλή ιπποδύναμη. Επίσης είναι βαριές και ογκώδεις, σε σχέση με τους αεριοστροβίλους.

Τέλος τα πλεονεκτήματα της ηλεκτρικής πρόωσης είναι η γρήγορη απόκριση στους χειρισμούς, η συνεχής μεταβολή της ταχύτητας περιστροφής του έλικα και της ταχύτητας του πλοίου από 0 μέχρι και 100%. Υπάρχει χαμηλή στάθμη θορύβου και κραδασμών. Η οικονομία του καυσίμου μπορεί να επιτευχθεί, αφού όπως προαναφέρθηκε, η ηλεκτρική πρόωση μπορεί να γίνει με συνδυασμούς μηχανών με αποτέλεσμα η κάθε μηχανή να μπορεί να λειτουργήσει στο βέλτιστο σημείο της. Η ασφάλεια αυτής της πρόωσης είναι μέγιστη, διότι όλα τα συστήματα είναι συνδεδεμένα παράλληλα και υπάρχει ευκολία αυτοματισμού. Υπάρχει η δυνατότητα πλήρους εκμετάλλευσης της στρεπτικής ροπής σε όλο το πεδίο λειτουργίας. Τέλος υπάρχει μειωμένη εκπομπή ρύπων, καθώς η κατανάλωση καυσίμου είναι ελάχιστη.

Τα μειονεκτήματα είναι ότι υπάρχουν πολλές απώλειες στο σύστημα μετάδοσης της κίνησης σε σύγκριση με τις άλλες μηχανές. Η ποιότητα της ηλεκτρικής ενέργειας έχει πρόβλημα λόγω των αρμονικών. Τέλος υπάρχει υψηλό κόστος επένδυσης.

## 1.3 Το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας

### 1.3.1 Γενικά

Όταν ένα πλοίο είναι εν πλω, τότε δεν μπορεί να χρησιμοποιήσει μια εξωτερική πηγή ενέργειας έτσι ώστε να χρησιμοποιήσει τους διάφορους κύριους και δευτερεύοντες καταναλωτές. Έτσι κάθε πλοίο έχει κάποια αυτόνομη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία με διάφορα συστήματα μπορεί να διανεμηθεί στο πλοίο.

Αυτή η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται κυρίως από ορυκτά καύσιμα. Γενικά είναι μια διαδικασία που αποτελείται από τρία στάδια μετατροπής της ενέργειας, τα οποία είναι:

1. Η μετατροπή της χημικής ενέργειας σε μηχανική ενέργεια μέσω της κινητήριας μηχανής.
2. Η μετατροπή της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική μέσω ηλεκτρογεννήτριας (πρωτεύον δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας).
3. Η μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια με διαφορετική τάση και συχνότητα χάρη στα μέσα διανομής και μετατροπής (δευτερεύον δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας)

Η ηλεκτρική ενέργεια του πρωτεύοντος δικτύου χρησιμοποιείται από μεγάλους ηλεκτρικούς καταναλωτές. Εδώ γίνεται μια διάκριση μεταξύ δύο εναλλακτικών τρόπων ηλεκτρισμού:

- Των τριών εναλλασσόμενων φάσεων.
- Και του συνεχές ρεύματος.

Κυρίως χρησιμοποιείται ηλεκτρική ενέργεια μέσω τριών φάσεων εναλλασσόμενου ρεύματος με συχνότητα 60Hz και τάση 440-450V ή 50Hz με τάση 380-400V. Σε περίπτωση όπου χρειάζεται να καταναλωθεί μεγαλύτερη ηλεκτρική ενέργεια, τότε το κεντρικό σύστημα ηλεκτρικής ισχύος πρέπει να παρέχει υψηλότερες τάσεις της τάξης των 3,3kV, 6kV, 6.6kV, 11kV ή ακόμα και 15kV. Στους μικρότερους καταναλωτές η τάση παρέχεται μέσω μετασχηματιστών με χαρακτηριστικά εξόδου 50Hz/380V ή 60Hz/440V. Το συνεχές ρεύμα δε χρησιμοποιείται πολύ σήμερα εκτός από κάποιες εφαρμογές, όπως στα υποβρύχια.

Τα πλεονεκτήματα της χρήσης υψηλής τάσης είναι ότι απαιτείται μικρότερο ρεύμα από το δίκτυο. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη χρήση μικρότερων και λιγότερων ισχυρών ασφαλειοδιακόπτων, καλωδίων, γεννητριών, κινητήρων κτλ. Είναι λογικό ότι αυτά τα συστήματα απαιτούν καλύτερη μόνωση του εξοπλισμού. Τα συστήματα υψηλής τάσης συναντιούνται όταν η ζητούμενη ηλεκτρική ισχύς είναι πάνω από 8,5MW. Τα μικρότερα ηλεκτρικά φορτία εφοδιάζονται από το δευτερεύον σύστημα ηλεκτρικής ισχύος. Η μια φάση του εναλλασσόμενου ρεύματος αντιστοιχεί σε συχνότητα 50 ή 60Hz και τάση 230V και 115V αντίστοιχα. Το σύστημα συνεχούς ρεύματος αντιστοιχεί συνήθως σε τάση 24V και χρησιμοποιείται κυρίως για συστήματα ελέγχου και παρακολούθησης. Αυτά τα δύο συστήματα τροφοδοτούνται από το πρωτεύον δίκτυο μέσω μετασχηματιστών, ανορθωτών, μετασχηματιστών κτλ.

Εκτός από το κύριο και δευτερεύον σύστημα τροφοδοσίας ηλεκτρικής ισχύος ένα πλοίο πρέπει να έχει ένα σύστημα έκτακτης ανάγκης τροφοδοσίας ηλεκτρικής ισχύος (emergency). Συνήθως αυτό το σύστημα αποτελείται από μια ξεχωριστή γεννήτρια, η οποία είναι ντιζελοκίνητη. Αυτή η ηλεκτρομηχανή και ο εξοπλισμός της τοποθετείται πιο ψηλά από το κύριο κατάστρωμα και συνήθως είναι από τα πάνω καταστρώματα. Αυτό γίνεται έτσι ώστε εάν συμβεί κάποια πυρκαγιά ή διαρροή στα διαμερίσματα που

βρίσκονται οι άλλες κύριες πηγές να μπορεί να λειτουργήσει ανεξάρτητα το σύστημα έκτακτης ανάγκης. Αυτό το σύστημα είναι ανεξάρτητο από τα άλλα συστήματα και πρέπει να τροφοδοτεί με ηλεκτρική ισχύ τον εξοπλισμό που είναι απαραίτητος για την ασφάλεια του πληρώματος. Αυτός ο εξοπλισμός περιλαμβάνει σύμφωνα με τη Διεθνή Σύμβαση για την Ασφάλεια της Ζωής στη Θάλασσα (SOLAS):

- Πηδάλιο.
- Υδατοστεγανές πόρτες.
- Πυρασφάλειας.
- Σύστημα ανίχνευσης πυρκαγιάς.

### 1.3.2 Κύρια κινητήρια μηχανή γεννήτριας

Κατά την εκκίνηση μιας εγκατάστασης ηλεκτρικής ισχύος αρχίζει να λειτουργεί η γεννήτρια, η οποία με τη σειρά της στρέφει μια μηχανή. Συνήθως στο πλοίο μια ντιζελομηχανή κινεί την κάθε γεννήτρια. Χρησιμοποιείται ντιζελομηχανή για την κίνηση της γεννήτριας λόγω των προηγμένων τεχνικών χαρακτηριστικών της και της χαμηλής κατανάλωσης καυσίμου. Αν η κύρια τροφοδοσία έχει συχνότητα 50Hz, τότε η κύρια κινητήρια μηχανή χρειάζεται να έχει ταχύτητα περιστροφής 750, 1000 ή 1500 στροφές το λεπτό, ενώ, στην περίπτωση συχνότητας 60Hz η ταχύτητα περιστροφής είναι 900, 1200, 1800 στροφές ανά λεπτό αντίστοιχα. Για υψηλές ταχύτητες περιστροφής οι ντιζελομηχανές απαιτούν υψηλή ποιότητα καυσίμου άρα και ακριβό καύσιμο. Στις στροφές των 750 μέχρι 1000 στροφών ανά λεπτό μια ντιζελομηχανή απαιτεί χαμηλότερη ποιότητα καυσίμου άρα και χαμηλότερο κόστος καυσίμου.

Αντί για τη χρήση ντιζελομηχανής για την στρέψη της γεννήτριας μπορεί να χρησιμοποιηθεί αεριοστρόβιλος. Συγκρίνοντας τις δύο μηχανές ο αεριοστρόβιλος πλεονεκτεί λόγω του μικρού μεγέθους του, ενώ, μειονεκτεί λόγω της χαμηλής απόδοσής του και της απαίτησης του για υψηλή ποιότητα καυσίμου. Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ατμοστρόβιλος αλλά σήμερα δεν χρησιμοποιείται συχνά. Κυρίως αυτή η μέθοδος πλεονεκτεί όταν και η πρόωση του πλοίου γίνεται με ατμοστρόβιλους, π.χ. με τη χρήση πυρηνικών αντιδραστήρων.

### 1.3.3 Γεννήτρια

Ο κύριος σκοπός μίας γεννήτριας είναι να μετατρέψει τη μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική ενέργεια. Συνήθως οι κατασκευαστές συνδυάζουν τη γεννήτρια την κινητήρια μηχανή της και τα βοηθητικά συστήματα της, όπως το σύστημα λίπανσης, το σύστημα ψύξης κτλ..

Τα χαρακτηριστικά μιας γεννήτριας (συχνότητα, τάση, ισχύς) ο αριθμός γεννητριών που απαιτείται σε ένα πλοίο καθορίζεται από τις απαιτήσεις του φορτίου και άλλους κανόνες που προβλέπονται από τις κανονιστικές αρχές. Για ισχύ ως 2500kW, συνήθως συνδέονται οι εναλλασσόμενες γεννήτριες απευθείας στο δίκτυο με συχνότητα και τάση 50Hz/400V και 60Hz/440V(τριών φάσεων). Για μεγαλύτερες ισχύες οι τάσεις είναι των τάξεων των 3,3kV ή 6,6kV και παρέχονται κατευθείαν από τις κύριες γεννήτριες. Συχνά μια γεννήτρια δεν δίνει μόνο την πραγματική ισχύ (kW), αλλά δίνει και τη φαινόμενη (kVA) ισχύ. Μέσω της φαινόμενης ισχύος προσδιορίζονται οι απαιτήσεις στις μονώσεις των αγωγών των τυλιγμάτων της γεννήτριας λόγω της θέρμανσης.

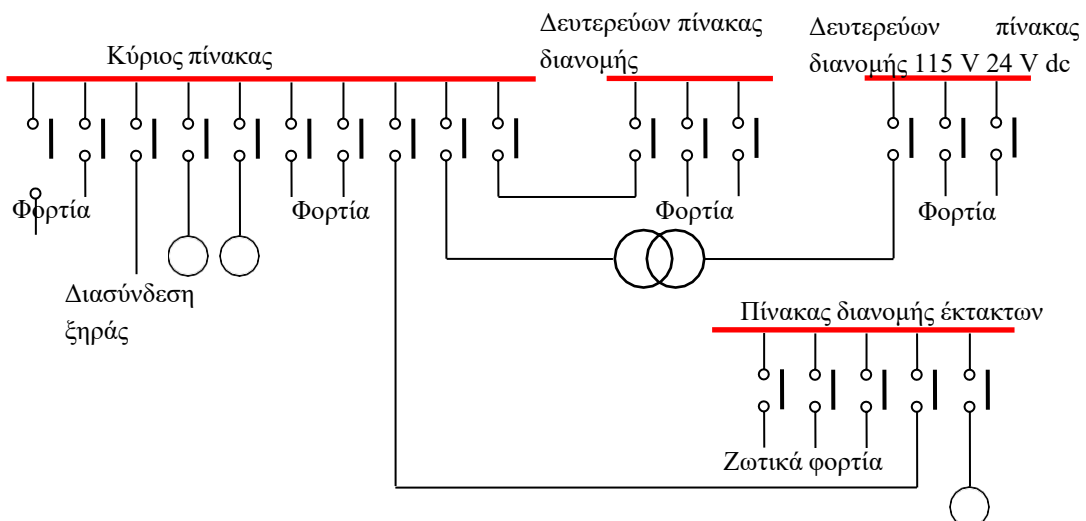


### 1.3.4 Δίκτυο διανομής

Το δίκτυο διανομής είναι τα καλώδια, οι αγωγοί και οι ηλεκτρολογικοί πίνακες με τις διατάξεις προστασίας και χειρισμών μέσω των οποίων κατανέμεται η ισχύς από τις γεννήτριες στα κύρια και βοηθητικά συστήματα. Αυτό ισχύει τόσο όταν ένα πλοίο είναι εν πλω, δηλαδή λαμβάνει ισχύ μέσω των γεννητριών της, είτε όταν είναι στο λιμάνι δεμένο και λαμβάνεται ρεύμα ξηράς. Στο λιμάνι ο κύριος πίνακας πρέπει να έχει ίδια τάση με τον πίνακα διανομής. Εάν ο κύριος πίνακας έχει μεγαλύτερη τάση από τον πίνακα διανομής, τότε πρέπει ανάμεσα τους πρέπει να μπει ένας μετασχηματιστής.

Για λόγους αξιοπιστίας όταν μια γεννήτρια αποτυγχάνει να ενεργοποιηθεί, τότε ενεργοποιείται μια άλλη έτσι, ώστε να υπάρχει κάλυψη τάσης του φορτίου. Επιπλέον ανάλογα με τις ώρες λειτουργίας της κάθε γεννήτριας ενεργοποιείται αυτή που έχει τις λιγότερες ώρες έτσι ώστε να υπάρχει μια ισορροπία ωρών λειτουργίας. Κάθε πλοίο συνήθως έχει δύο κύριους πίνακες. Κάθε κύριος πίνακας έχει δύο ηλεκτρογεννήτριες, καθώς υπάρχει και η μεταξύ τους διασύνδεση, η οποία δίνει τη δυνατότητα από τον πίνακα 1 που έχει δύο ηλεκτρογεννήτριες να τροφοδοτήσει τη μία γεννήτρια στον πίνακα 2. Για τα εφεδρικά συστήματα το ένα πρέπει να είναι συνδεδεμένο στον κύριο πίνακα 1 και το άλλο στον εφεδρικό πίνακα 2. Υπάρχουν δύο αντλίες λαδιού, όπου όταν η μία είναι για επισκευή, τότε η άλλη είναι ενεργοποιημένη. Συνδυάζοντας τους διάφορους πίνακες, τότε υπάρχει μεγαλύτερη αξιοπιστία. Ο πίνακας διανομής φορτίου έκτακτης ανάγκης πρέπει να είναι συνδεδεμένος και με τους δύο κύριους πίνακες, διότι είναι συνδεδεμένος με τις περισσότερες ζωτικές χρήσεις.

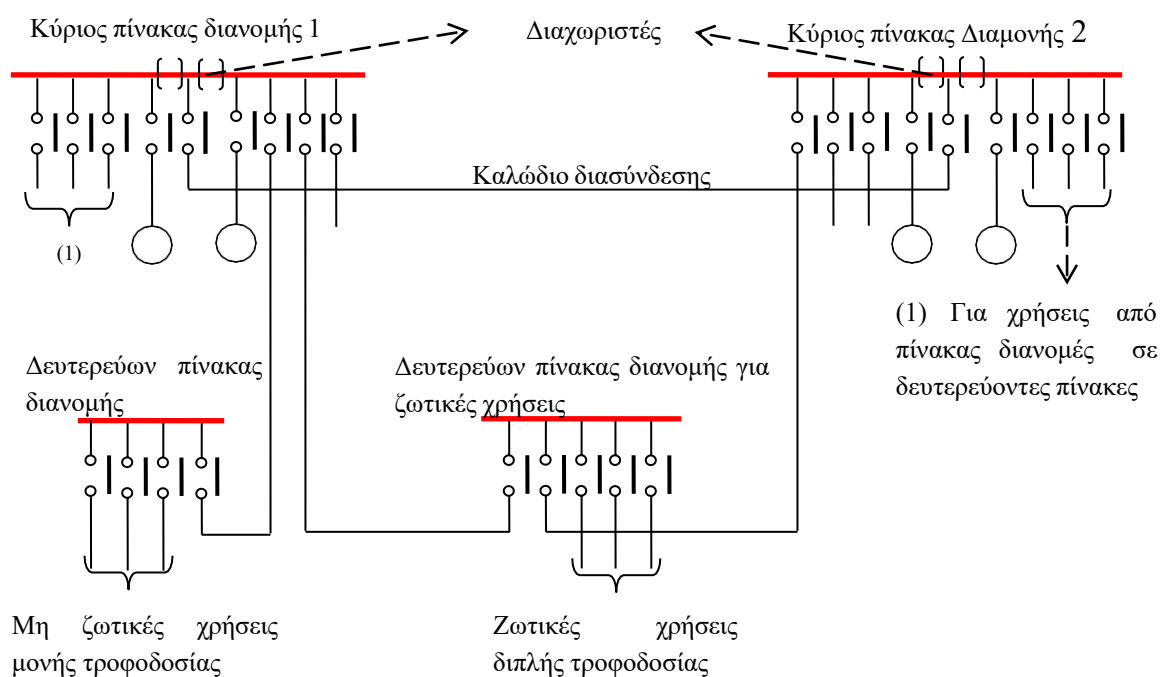
Στα σχήματα 1.5 και 1.6 παρουσιάζονται κάποια παραδείγματα από σχεδιαγράμματα δικτύων διανομής ηλεκτρικής ενέργειας που έχουν πρωτογενείς, δευτερογενείς παροχές ισχύος, και παροχές ισχύος έκτακτης ανάγκης, καθώς και ένα ή δύο κύριους πίνακες. Η διάταξη μίας ηλεκτρικής εγκατάστασης συνήθως απεικονίζεται με τη μορφή των πιο κάτω διαγραμμάτων, όπου μία γραμμή περιλαμβάνει 3 ή 4 αγωγούς.



Σχήμα 1.5: Διάγραμμα γραμμών μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας με κύρια τροφοδοσία, δευτερεύουσα και τροφοδοσία έκτακτης ανάγκης.

Στο σχήμα 1.5 υπάρχουν 2 κύριες γεννήτριες και μία ανάγκης, οι οποίες μπορούν να λειτουργήσουν παράλληλα. Υπάρχει ένας κύριος πίνακας όπου συνδέονται οι δύο γεννήτριες και ένας πίνακας έκτακτης ανάγκης, ο οποίος συνδέεται με τη γεννήτρια έκτακτης ανάγκης. Σε αυτό το σχεδιάγραμμα υπάρχει επιπλέον ένας δευτερεύον πίνακας διανομής, ένας μετασχηματιστής που τροφοδοτεί έναν άλλο δευτερεύοντα πίνακα χαμηλής τάσης 115V ή και συνεχούς τάσης 24V. Το σχήμα αυτό αποτελεί μια πλήρη αναπαράσταση της ηλεκτρικής εγκατάστασης.

Στο σχήμα 1.6 υπάρχουν 4 γεννήτριες, όπου είναι χωρισμένες στα δύο και κάθε ζευγάρι είναι συνδεδεμένο με ένα κύριο πίνακα. Υπάρχουν δύο πίνακες διανομής, ένας για τις ζωτικές χρήσεις και ένας για τις μη ζωτικές. Σε αυτήν τη διάταξη παρουσιάζεται ένα απλοποιημένο σχήμα δικτύου διανομής, το οποίο χρησιμοποιείται σε πλοία με μεγάλο φορτίο. Το σχήμα 1.6 είναι απλοποιημένο, καθώς η γεννήτρια ανάγκης, οι πολυάριθμοι δευτερεύοντες πίνακες και οι μετασχηματιστές έχουν μείνει εκτός του σχήματος.



Σχήμα 1.6: Σχεδιάγραμμα γραμμής μεταφοράς με δύο κύριους πίνακες

### 1.3.5 Συστήματα με γείωση ή χωρίς

Ένα τριφασικό σύστημα εναλλασσόμενου ρεύματος μπορεί να είναι είτε γειωμένο, είτε αγειώτο. Σε ένα σύστημα αστέρα ο ουδέτερος κόμβος των γεννητριών ή του τυλίγματος αστέρα των μετασχηματιστών είναι συνδεδεμένος με τη γάστρα του πλοίου, ενώ σε ένα σύστημα χωρίς γείωση δεν υπάρχει σημείο το οποίο να συνδέεται με τη γη.

Και τα δύο συστήματα έχουν κάποια πλεονεκτήματα και κάποια μειονεκτήματα. Σε ένα πλοίο χωρίς γείωση μία φάση μπορεί να έρθει σε επαφή με τη γάστρα του πλοίου λόγω κακής μόνωσης του καλωδίου (ρωγμές στη μόνωση και υγρασία) χωρίς τη δημιουργία βραχυκυκλώματος. Αντίθετα το σύστημα με τη γείωση εάν μία φάση έρθει σε επαφή με τη γάστρα του πλοίου, τότε θα δημιουργηθεί βραχυκύκλωμα. Έτσι πιο ασφαλές για το προσωπικό είναι το σύστημα χωρίς γείωση, διότι εάν κάποιος απότο προσωπικό έρθει σε επαφή με το πρώτο σύστημα, δεν θα τραυματιστεί. Αντίθετα

εάν κάποιο άλλο άτομο από το προσωπικό έρθει σε επαφή με μία άλλη φάση, θα κλείσει κύκλωμα και θα τραυματιστεί. Αυτό συμβαίνει, διότι το άτομο μέσω αυτού έχει φέρει σε επαφή δύο φάσεις.

Για την αποφυγή μιας φάσης να έρθει σε επαφή με τη γάστρα στο σύστημα χωρίς γείωση, οι ρυθμιστικές αρχές απαιτούν την εγκατάσταση ενός συστήματος παρακολούθησης μόνωσης. Με αυτόν τον τρόπο όταν η αντίσταση μόνωσης είναι πολύ χαμηλή θα δίνεται κατάλληλος συναγερμός.

Επίσης ένα άλλο μειονέκτημα είναι στο αγείωτο σύστημα δεν είναι δυνατή η μέτρηση διαφοράς δυναμικού μεταξύ μιας φάσης και της γάστρας, καθώς δεν είναι γειωμένο κάποιο σημείο λειτουργίας του δικτύου, όπως ο ουδέτερος. Αντίθετα στο γειωμένο σύστημα είναι πλήρως καθορισμένη η διάφορα δυναμικού ανάμεσα στη γάστρα και στις φάσεις. Αυτά όλα είναι σε θεωρητικό επίπεδο. Στην πράξη όλα αλλάζουν, διότι στο αγείωτο σύστημα ανάμεσα στα καλώδια και τη γάστρα περνούν ρεύματα εναλλασσόμενου ρεύματος μικρών τιμών, δηλαδή υπάρχει κάποιο δυναμικό, οπότε μπορεί να μετρηθεί η αντίσταση μόνωσης των καλωδίων. Επιπλέον τα φίλτρα αρμονικών σε συνδυασμό με τα ηλεκτρονικά ισχύος μειώνουν τις αρμονικές. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη σύνδεση των φάσεων με τη γάστρα.

Λαμβάνοντας υπόψη τα πλεονεκτήματα είναι λογικό να βγει το συμπέρασμα ότι μία πλωτή κατασκευή πρέπει να έχει αγείωτο σύστημα με χαμηλές τάσεις (400V/50Hz, 440V/60Hz). Σε ένα σύστημα υψηλής τάσης άνω των 1kV είναι λογικό στην πράξη να είναι γειωμένο. Στην περίπτωση που η μόνωση του καλωδίου είναι κρίσιμη, τότε η αντίστοιχη αντίσταση μπορεί να καθοριστεί επακριβώς. Η αντίσταση ανάμεσα στη φάση και στη γάστρα πρέπει να είναι υψηλή έτσι, ώστε να διασφαλιστεί ότι σε μια βλάβη να μην υπάρξει μεγάλο ρεύμα βραχυκύκλωσης.

### 1.3.6 Τριών ή τεσσάρων αγωγών

Ένα τριφασικό σύστημα τροφοδοσίας μπορεί να χρησιμοποιεί τρία ή τέσσερα καλώδια. Με τη χρήση τριών αγωγών τότε και οι τρεις αγωγοί είναι συνδεδεμένοι με τον πίνακα. Αντίστοιχα με τη χρήση τεσσάρων αγωγών και οι τέσσερις αγωγοί είναι συνδεδεμένοι στον πίνακα. Το πλεονέκτημα των τεσσάρων αγωγών είναι ότι δεν χρειάζεται μετασχηματιστής στις χαμηλές τάσεις των δευτερευόντων συστημάτων. Αυτό γίνεται πολλές φορές στα συστήματα των 50Hz με τάση 400V. Η διαφορά τάσης ανάμεσα στη φάση και στον ουδέτερο αγωγό είναι 230V. Αυτό δίνει τη δυνατότητα να δημιουργηθεί μια τάση 400V τριφασικού εναλλασσόμενου κύριας τροφοδοσίας σε συνδυασμό με μια μονοφασική τάση 230V εναλλασσόμενης δευτερεύουσας τροφοδοσίας χωρίς μετασχηματιστές.

Στα συστήματα των 60Hz αναπτύσσονται 440V εναλλασσόμενης κύριας τροφοδοσίας σε συνδυασμό με 115V μονοφασικής εναλλασσόμενης δευτερεύουσας τροφοδοσίας. Στην περίπτωση αυτή ένα σύστημα τεσσάρων αγωγών, δεν έχει νόημα, διότι η τάση ανάμεσα στη φάση και το ουδέτερο αγωγό θα ήταν  $254V \left( \frac{440V}{\sqrt{2}} \right)$  η οποία δεν ταιριάζει με την τάση δευτερεύοντος. Έτσι σε αυτά τα συστήματα αναγκαστικά θα χρησιμοποιούνται μετασχηματιστές στη δευτερεύουσα τροφοδοσία, οπότε δεν έχει νόημα η χρήση τέταρτου αγωγού (ουδέτερος)

### 1.3.7 Δομή πινάκων διανομής και μετατροπής

Η ηλεκτρική ισχύς διανέμεται πρώτα στους κύριους πίνακες (όπου μπορεί να είναι 2 ή 3) και μετά στους δευτερεύοντες πίνακες. Η λήψη της ηλεκτρικής ενέργειας

γίνεται απευθείας από τις κύριες γεννήτριες, έτσι ώστε να μην υπάρχουν απροστάτευτα καλώδια για την αποφυγή βραχυκυκλώματος μεταξύ γεννήτριας και διακόπτη γεννήτριας έτσι, ώστε να υπάρχει άμεση σύνδεση. Ο πίνακας λαμβάνει ηλεκτρική ενέργεια και από ξηρά και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να μην είναι εντός οι γεννήτριες του πλοίου σε αυτήν την περίπτωση.

Ο κύριος πίνακας διανομής διανέμει ηλεκτρική ενέργεια στην κοντινή περιοχή του, καθώς επίσης και σε κάποιους πίνακες έτσι, ώστε να διανεμηθεί ηλεκτρική ενέργεια και στις πιο απομακρυσμένες περιοχές. Τα μεγάλα φορτία διανέμονται κατευθείαν από τις γεννήτριες, ενώ τα μικρά φορτία διανέμονται από τους πίνακες.

Ένας κύριος πίνακας διανέμει ενέργεια και σε άλλους πίνακες που λέγονται υποπίνακες και ενδέχεται να χρειάζεται μετατροπή από την κύρια στη δευτερεύουσα. Αυτή η μετατροπή γίνεται :

Για τη μετατροπή των 440V σε 115V εγκαθίστανται ένας μετασχηματιστής στο δευτερεύοντα πίνακα.

Ένας ανορθωτής μετατρέπει το εναλλασσόμενο σε συνεχές. Όπως τα 24V που αποθηκεύονται σε μπαταρίες.

Οι μετατροπείς μεταβάλλουν τη συχνότητα της ηλεκτρικής ενέργειας με δύο τρόπους α) εκ περιστροφής μέσω συνδυασμού κινητήριας μηχανής και γεννήτριας, β) στατικών εναλλάκτων-ηλεκτρονικών ισχύος

Εάν ένας από τους δευτερεύοντες πίνακες πάθει κάποια βλάβη, τότε η τροφοδοσία κρίσιμων φορτίων συνεχίζεται μέσω συσσωρευτών έτσι, ώστε να συνεχίσουν τα μηχανήματα να λειτουργούν. Αν αυτή η διαδικασία γίνεται αυτόματα, τότε το σύστημα καλείται αδιάλειπτης τροφοδοσίας ή UPS.

Υπό κανονικές συνθήκες οι κύριοι πίνακες διανομής τροφοδοτούν με μία γραμμή και το πίνακα φορτίων ανάγκης. Κατά τη βλάβη κινείται η γεννήτρια έκτακτης ανάγκης η οποία τροφοδοτεί τον πίνακα φορτίων ανάγκης. Η γεννήτρια ανάγκης ενεργοποιείται αυτόματα ή χειροκίνητα.

### 1.3.8 Οι απαιτήσεις ηλεκτρικής ισχύος

Προκειμένου να προσδιοριστούν οι ανάγκες παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος και η διαμόρφωση του δικτύου (γεννήτριες, μετασχηματιστές για τη δευτερεύουσα τροφοδοσία κλπ) είναι αναγκαίο να αποκτηθεί γνώση της ηλεκτρικής ζήτησης του πλοίου υπό διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας. Αυτές οι συνθήκες προσδιορίζονται ανάλογα με την αποστολή λειτουργίας του πλοίου. Για πολλούς τύπους πλοίων οι ακόλουθες συνθήκες λειτουργίας εξετάζονται:

- Στη θάλασσα.
- Στους ελιγμούς.
- Κατά τη διαδικασία φόρτωσης και εκφόρτωσης.
- Στην αγκυροβολία.

Πλοία με ειδικές αποστολές, όπως τα πολεμικά πλοία, επίσης έχουν και κάποιες ακόμα ειδικές συνθήκες λειτουργίας, οι οποίες πρέπει να ληφθούν υπόψη. Για ορισμένες περιπτώσεις πλοίων πρέπει να ληφθούν υπόψη και οι καιρικές συνθήκες μεταξύ θερινών και χειμερινών περιόδων (εγκαταστάσεις κλιματισμού, ψυγεία κ.α.), ενώ για τα πολεμικά πλοία οι απαιτήσεις είναι ανάλογα με τις απειλές που έχουν να αντιμετωπίσουν. Οπότε μπορεί να υπάρξουν τρεις ως δέκα λειτουργικές καταστάσεις. Υπάρχουν τρεις τρόποι για να προσδιοριστεί η ηλεκτρική ισχύς που απαιτείται:

- Εμπειρικές σχέσεις.
- Ανάλυση ηλεκτρικών φορτίων.

- Προσημείωση ηλεκτρικού δικτύου.

Οι εμπειρικές σχέσεις δίνουν μια πρώτη εικόνα της απαιτούμενης ισχύος στα πρωταρχικά στάδια σχεδιασμού. Μια σχέση είναι η (1.1), η οποία δείχνει την ισχύ που χρειάζονται για φορτία ψυκτικού συστήματος, αλιευτικών εργαλείων, έλικα-πηδαλιού. Η σχέση είναι η ακόλουθη:

$$P_{el} = 100 + 0.55 * P^{0,7} \quad (1.1)$$

Ένας πρακτικός κανόνας είναι ότι το ηλεκτρικό φορτίο κατά τους ελιγμούς καταναλώνει το 13% του ηλεκτρικού φορτίου στη θάλασσα, ενώ το φορτίο στο λιμάνι είναι το 30%-40%. Υπάρχουν πολλοί εμπειρικοί τύποι και αυτό που πρέπει να προσεχθεί είναι να λαμβάνεται ο σωστός τύπος ανάλογα με το μέγεθος και την αποστολή του πλοίου. Επιπλέον πρέπει να είναι γνωστές οι διαφορές μεταξύ των πλοίων κατά την κατασκευή και τη σχεδίαση τους.

Η πιο γνωστή μέθοδος για τον προσδιορισμό της ηλεκτρικής ισχύος είναι η ανάλυση του ηλεκτρικού φορτίου με ισολογισμό φορτίου. Στο σχήμα 1.7 παρουσιάζεται ένας πίνακας, όπου αναφέρονται όλες οι ηλεκτρικές καταναλώσεις στην πρώτη στήλη, ενώ στις άλλες στήλες παρουσιάζονται οι ιδιότητες των ηλεκτρικών καταναλωτών, όπως το:

- Όνομα.
- Αριθμός εγκατεστημένων όμοιων μονάδων.
- Ισχύς σε ονομαστικό φορτίο.
- Ονομαστική ισχύς που απορροφάται από το ηλεκτρικό δίκτυο.
- Εγκατεστημένη ηλεκτρικής ισχύς.

Το δεύτερο μέρος του πίνακα περιγράφει τις διάφορες επιχειρησιακές συνθήκες προκειμένου να προσδιοριστούν τα πραγματικά ηλεκτρικά φορτία για κάθε κατάσταση. Σε κάθε κατάσταση πρέπει να είναι γνωστά κάποια στοιχεία για κάθε καταναλωτή που είναι:

- Πλήθος σε λειτουργία.
- Συντελεστής ισχύος.
- Συντελεστής ταυτοχρονισμού.
- Μέση απορροφούμενη ισχύς.

Αναλυτικά το πλήθος σε λειτουργία δηλώνει πόσες συσκευές δουλεύουν ταυτόχρονα σε μια χρονική περίοδο. Ο συντελεστής ισχύος  $\cos \varphi$  είναι ένας συντελεστής ο οποίος όσο μεγαλύτερος είναι τόσο λιγότερες είναι οι απώλειες από την αρχική πηγή. Ο τύπος του συντελεστή ισχύος είναι το πηλίκο της πραγματικής ισχύος δια τη φαινόμενη ισχύ.

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \quad (1.2)$$

Ο συντελεστής ταυτοχρονισμού  $f_s$  είναι ένας συντελεστής, ο οποίος δείχνει πόσο τοις εκατό ισχύς απορροφά μία συσκευή από το δίκτυο κατά τη διάρκεια της αιχμής. Κάθε συσκευή και κάθε πίνακας έχει δικό του συντελεστή ταυτοχρονισμού. Ουσιαστικά η αντίστοιχη σχέση είναι:

$$4s = \frac{P}{P_{\text{ον,αοοφ}}} \quad (1.3)$$

Όπου P: είναι η μέση ισχύς  
 $P_{\text{ον,αοοφ}}$  : η απορροφημένη ισχύς

Καταναλωτής	η	Εγκατεστημένη ισχύς					Ισχύς κανονικής πορείας			Ισχύς χειρισμών			Ισχύς εν "όρμω"		
		$P_{\text{ον.αοδ.}}$		$P_{\text{ον.αο.}}$	$P_{\text{εγαρ.}}$	$N'$	$f_s$	$P_{\text{εlr}}$	$N'$	$f_s$	$P_{\text{εlr}}$	$N'$	$f_s$	$P_{\text{εlr}}$	
		PS	kW	kW	kW										kW
1	2	4	5	6	7	9	10	1	12	13	4	15	16		
Βοηθ. Πρόωσης															
Καθαριστής ελ λίπανσης	0,85	7.45		6.45	13		0.35	2,3		0,35	2,3		-	-	
...															
Μερικό άθροισμα															
Βοηθ.χώρων διανομής	-	-	-	-	10		0,45	4,5		0,45	4,5		0,45	4,5	
...															
Βοηθ, σκάφους															
Ηλεκτρικά όργανα															
...															
ΣΥΝΟΛΟ															

Σχήμα 1.7: λεπτομερής ηλεκτρικός ισολογισμός

Η ονομαστική ισχύς που απορροφάται από το ηλεκτρικό δίκτυο συμβολίζεται  $P_{ov.απορροφ}$  και είναι ο λόγος της ονομαστικής ισχύος προς το βαθμό απόδοσης μιας συσκευής

$$P_{ov.απορροφ.} [kW] = P_{ov.αποδ.} [kW] / \eta \quad (1.4)$$

Η εγκατεστημένη ισχύς είναι η συνολική θεωρητική ισχύς του δικτύου.

Η ισχύς σε ονομαστικό φορτίο είναι η ισχύς που καταναλώνει το κάθε φορτίο σύμφωνα με τον κατασκευαστή.

## 1.4 Βασικές δομές συστημάτων πρόωσης-ηλεκτρικής ενέργειας

### 1.4.1 Γενικά περί μετατροπείς ενέργειας

#### 1.4.1.1 Μετατροπή της ενέργειας

Ένα πλοίο μπορεί να παράγει την καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια, έτσι, ώστε να είναι ένα αυτόνομο σύστημα. Είναι προφανές ότι πρέπει να σχεδιαστεί κατάλληλα έτσι, ώστε η αποθήκευση και η μετάδοση της ηλεκτρικής ενέργειας να γίνεται αποτελεσματικά για να λειτουργεί κανονικά το σκάφος.

#### 1.4.1.2 Τύποι ενέργειας

Υπάρχουν διάφοροι τύποι ενέργειας πάνω σε ένα πλοίο. Στην πραγματικότητα, για την κίνηση του πλοίου χρειάζεται μηχανική ενέργεια, για το φωτισμό του πλοίου ηλεκτρική ενέργεια, ενώ για την πηδαλιούχηση υδραυλική ενέργεια. Η μηχανική ενέργεια (M) επιτρέπει να δουλέψουν οι έλικες, οι αντλίες, οι συμπιεστές, καθώς επίσης και αν υπάρχουν και πλάγια πηδάλια, σταθεροποιητές και γενικά ο εξοπλισμός του καταστρώματος. Οι μηχανές, όπως οι αεριοστρόβιλοι και οι κινητήρες ντίζελ, είναι υπεύθυνες για την πρωτογενή παραγωγή της μηχανικής ενεργείας, δηλαδή τη μετατροπή της χημικής ενέργειας του καύσιμου σε μηχανική ενέργεια. Για τη δευτερεύουσα μηχανική ενεργεία υπεύθυνος είναι ένας ηλεκτρικός κινητήρας, δηλαδή η μετατροπή της ηλεκτρικής ενεργείας σε μηχανική ενεργεία.

Η μηχανική ενέργεια μπορεί να υπάρχει είτε με τη μορφή της περιστροφικής κίνησης, είτε με τη μορφή της μεταφορικής κίνησης. Η μηχανική ισχύς  $P_{M,ROT}$  σχετίζεται με την είσοδο και την έξοδο του άξονα περιστροφής με γωνιακή ταχύτητα  $\omega$ [rad/sec] ασκώντας μια ροπή στρέψης  $M$ [Nm]:

$$P_{M,ROT} = M\omega \quad (1.5)$$

Για τη μεταφορική μηχανική κίνηση είναι το γινόμενο της δύναμης  $F$ [N] επί την ταχύτητα  $v$ [m/s]:

$$P_{M,Trans} = Fv \quad (1.6)$$

Η αποθήκευση της μηχανικής ενέργειας είναι εφικτή, αλλά δεν είναι απλή διαδικασία. Η μηχανική ενέργεια μπορεί να αποθηκευτεί σε μορφή δυναμικής ενέργειας, για παράδειγμα μέσω ενός ελατήριου.

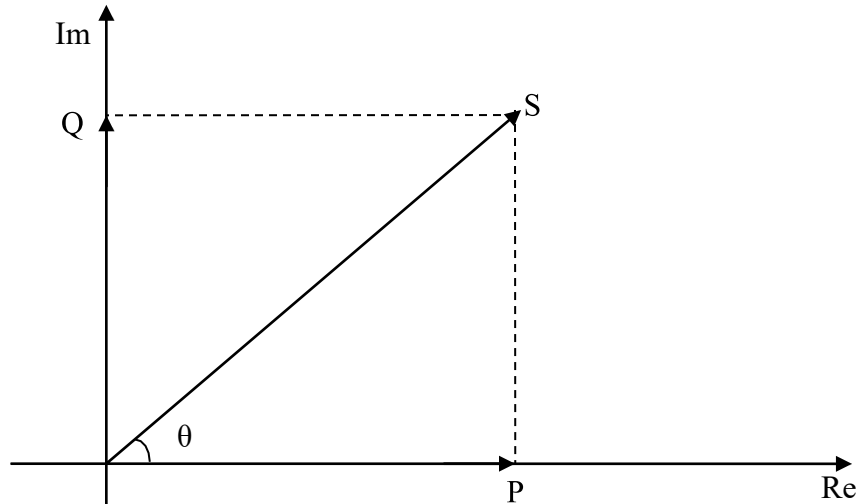
### 1.4.1.3 Ηλεκτρική ενέργεια

Η ηλεκτρική ενέργεια απαιτείται σε πολλά συστήματα. Η γεννήτρια μπορεί να μετατρέψει τη μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική. Η ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να παραχθεί απευθείας από τη χημική ενέργεια μέσω κυψελών καυσίμου.

Η ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να πάρει δύο μορφές : συνεχές ρεύμα (DC) και εναλλασσόμενο ρεύμα (AC). Η μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται μέσω χάλκινων αγωγών. Η DC ενέργεια μπορεί να αποθηκευτεί σε μπαταρίες και πυκνωτές. Η στιγμιαία ηλεκτρική ισχύς είναι το γινόμενο του ρεύματος επί τη διαφορά δυναμικού  $U$ :

$$P_{el} = Ut * It \quad (1.7)$$

Η ενέργεια που φαίνεται ότι "καταναλώνει" μέσω βολτομέτρου-αμπερομέτρου μια συσκευή ονομάζεται φαινόμενη ισχύς ( $S$ ) και μετριέται σε κιλοβολταμπέρ. Η φαινόμενη ισχύς χωρίζεται σε δύο μέρη τα οποία είναι η ενεργός και η άεργος ισχύς.



Σχήμα 1.8 : Διανυσματικό διάγραμμα ισχύος

Η φαινόμενη ισχύ ( $S$ ) είναι το γινόμενο της τάσης ( $V$ ) και του ρεύματος ( $I$ ).

Η ενεργός ισχύς συμβολίζεται με  $P$  και είναι η ηλεκτρική ενέργεια ανά δευτερόλεπτο που παράγει πραγματικό έργο. Μετριέται σε κιλοβάτ (kW)

Η άεργος ισχύς ( $Q$ ) είναι η ισχύς η οποία δεν μετατρέπεται σε έργο, αλλά μέσω βατομέτρου εκφράζει την ηλεκτρική ενέργεια που αποθηκεύεται και αποδίδεται από τα ηλεκτρικά στοιχεία του ιδανικού πηνίου και πυκνωτή. Οι συσκευές η οποίες δημιουργούν άεργο ισχύ είναι κυρίως αυτές με επαγωγική συμπεριφορά, δηλαδή αυτές που ενσωματώνουν πηνία.

Ισχύει η σχέση:

$$S = \bar{P} + j\bar{Q} \quad (1.8)$$



#### 1.4.1.4 Υδραυλική ενέργεια

Η ενέργεια αυτή μπορεί να μεταφερθεί από υγρά (λάδι ή νερό) στα υδραυλικά συστήματα. Αυτή η μορφή ενέργειας ονομάζεται υδραυλική ενέργεια (H). Παράγεται από υδραυλικές αντλίες, όπου μεταφέρονται μέσω συστημάτων σωληνώσεων και μπορεί να αποθηκευτεί σε υδραυλικούς συσσωρευτές (πιεστικά δοχεία). Η αντίστοιχη υδραυλική ισχύς P ισούται με τη διαφορά πίεσης  $\Delta p$ [Pa] επί τον όγκο  $V$ [ $m^3/sec$ ].

$$P_H = \Delta p V \quad (1.9)$$

#### 1.4.1.5 Θερμική ενέργεια

Η θέρμανση των χώρων φορτίου και των ενδιαιτήσεων και η ψύξη του αέρα γίνεται μέσω μεταφοράς θερμικής ενέργειας. Αυτού του είδους η ενέργεια παράγεται μέσω θερμαντήρων και αντλιών. Μεταφέρεται μέσω σωληνώσεων με χρήση διάφορων υγρών όπως ατμού, θερμού αέρα και θερμικού λαδιού. Η αποθήκευση αυτής της ενέργειας δεν είναι τόσο απλή, διότι χάνεται εύκολα μέσω ακτινοβολίας η αγωγής. Άρα η καλή μόνωση είναι απαραίτητη.

Στην πραγματικότητα, η θερμότητα Q που παράγεται είναι το γινόμενο της παροχής μάζας m επί την ειδική ενθαλπία  $\Delta h$ .

$$Q = m \Delta h \quad (1.10)$$

#### 1.4.1.6 Χημική ενεργεία

Η χημική ενέργεια εμπεριέχεται στα ορυκτά καύσιμα. Η ροή καυσίμου πολλαπλασιασζόμενη με την κατώτερη θερμογόνο δύναμη ( $H_u$ ) αντιπροσωπεύει τη χημική ροή ενέργειας που απελευθερώνεται όταν καίγεται. Η αποθήκευση αυτής της ενέργειας γίνεται σε δέξαμενες καυσίμου είτε αυτή είναι υπό τη μορφή υγρού, είτε στερεού

$$ECH = H_u m \quad (1.11)$$

Η ίδια φιλοσοφία ακολουθείται και στην πυρηνική ενέργεια που αποθηκεύεται υπό τη μορφή ράβδων.

#### 1.4.1.7 Μετατροπή κύριας ενέργειας σε μηχανική

Μια μέθοδος δημιουργίας μηχανικής ενέργειας είναι η μετατροπή της χημικής ενέργειας μέσω της καύσης ορυκτών καυσίμων. Στην πραγματικότητα, αποτελείται από δύο βήματα μετατροπής, πρώτα η χημική ενέργεια μετατρέπεται σε θερμική και μετά η θερμική σε μηχανικό έργο. Για τα υγρά ορυκτά καύσιμα ένα χιλιόγραμμο απελευθερώνει περίπου 43MJ κατά τη διάρκεια της καύσης. Αυτή η ενέργεια μπορεί να μετατρέπεται σε μηχανική ενέργεια, αλλά δεν μπορεί να μετατραπεί εξ ολοκλήρου. Όπως αναφέρεται και στο δεύτερο θερμοδυναμικό αξίωμα μόνο ένα μέρος της θερμότητας μπορεί να γίνει έργο.

$$N_{Carnot} = 1 - \frac{T_L}{T_h} \quad (1.12)$$

Όπου  $T_L$  είναι η ελάχιστη θερμοκρασία περιβάλλοντος περίπου 300K και  $T_h$  είναι η μέγιστη θερμοκρασία των θερμικών μηχανών, που συνήθως φτάνει στους 1500K/2000K.

#### 1.4.1.8 Από μηχανική σε ηλεκτρική ενέργεια

Η μετατροπή της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική γίνεται από μία ηλεκτρική γεννήτρια που συνήθως είναι εναλλασσόμενου ρεύματος. Η απόδοση αυτής της μηχανής εξαρτάται από το μέγεθος της μηχανής, αλλά κυμαίνεται στην τάξη του 92%-98%. Η χαμένη ενέργεια μετατρέπεται σε θερμότητα. Εκτός από τη γεννήτρια υπάρχει και ο ηλεκτρικός κινητήρας, που μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια σε μηχανική.

#### 1.4.1.9 Μετατροπή ηλεκτρικής ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια άλλων χαρακτηριστικών

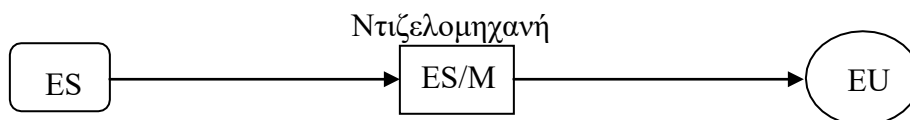
Η ηλεκτρική ενέργεια μετατρέπεται από τον ένα τύπο στον άλλο από AC σε AC μετατροπή, από AC σε DC ή από DC σε AC. Η τάση έχει τη δυνατότητα να μετατραπεί σε τάση άλλου επιπέδου μέσω ενός μετασχηματιστή. Αυτό είναι ένα ηλεκτρικό ισοδύναμο ενός κιβώτιου ταχυτήτων. Η απόδοση αυτής της μηχανής είναι της τάξης του 99%.

Η μετατροπή από AC σε DC και η μετατροπή της συχνότητας γίνεται μέσω του συνδυασμού ενός κινητήρα και μιας γεννήτριας που ονομάζεται και περιστρεφόμενος μετατροπέας. Η απόδοση αυτής της μετατροπής είναι της τάξεως του 85% με 90%.

Η μετατροπή από AC σε DC ή από DC σε AC μπορεί να γίνει με τη χρήση κάποιων ημιαγωγικών υλικών, όπως τα θυρίστορ, οι δίοδοι κ.α. Όμως η χρήση αυτών για το συγκεκριμένο σκοπό απαιτεί μεγάλο χώρο. Η απόδοση τους είναι της τάξης του 98%-99%.

#### 1.4.1.10 Διάγραμμα μεταφοράς ενέργειας

Τα διαγράμματα μεταφοράς ενέργειας δείχνουν πως μεταφέρεται η ενέργεια και πως μετατρέπεται η ενέργεια από τη μια μορφή σε άλλη. Η είσοδος θα είναι μια πηγή, η οποία συνήθως θα έχει χημική ενέργεια, αφού μελετάται ένα πλοίο. Ένα απλοποιημένο παράδειγμα βρίσκεται στο σχήμα 1.9 που παρουσιάζεται η προωστήρια ισχύ όπου η χημική ενέργεια ES μέσω μίας ντιζελομηχανής μετατρέπεται σε μηχανική (ES/M) και αποδίδεται στην προπέλα EU.



Σχήμα 1.9: μετατροπή ενέργειας για την προωστήρια ισχύ.

#### 1.4.1.11 Διασύνδεση συστημάτων ηλεκτρικής τροφοδοσίας και πρόωσης

Το σύστημα της πρόωσης και της ηλεκτρικής τροφοδοσίας πολλές φορές φαίνεται να είναι δύο διαφορετικές έννοιες. Πολλές φορές όμως συνδέονται πολύ στενά αν αναλογιστεί κανείς ότι για να εκτελεστεί η εκάστοτε αποστολή ενός πλοίου πρέπει να λειτουργούν και τα δύο συστήματα ομαλά. Υπάρχουν όμως περιπτώσεις που συνδέονται μεταξύ τους άμεσα σχηματίζοντας την ηλεκτροπρόωση, όπου απαρτίζονται τόσο από μηχανικά υποσυστήματα, όσο και από ηλεκτρικά.

Στα μηχανικά στοιχεία ανήκει η κινητήρια μηχανή και η μετάδοση της κίνησης της προπέλας, μέσω του μηχανικού κιβωτίου ταχυτήτων, καθώς και άλλες άμεσες καταναλώσεις μηχανικής ενέργειας.

Τα ηλεκτρικά στοιχεία καθορίζονται από τον ηλεκτρικό κινητήρα και είτε από ξεχωριστή γεννήτρια που τροφοδοτεί απευθείας τον κινητήρα, είτε από το δίκτυο όπου υπάρχουν περισσότερες από μια γεννήτριες.

#### 1.4.1.12 Απόδοση του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας

Για να επιτευχθεί η βέλτιστη απόδοση σ' ένα σκάφος πρέπει να υπάρχει πλήρης εικόνα της απαιτούμενης ηλεκτρικής ισχύος στο σύνολο εγκαταστάσεων ισχύος, του συστήματος πρόωσης, καθώς και των συστημάτων ελέγχου. Στο πλήρες εξηλεκτρισμένο σκάφος οι μηχανές για το σύστημα πρόωσης ποικίλουν, ενώ το φορτίο του και οι στροφές του μπορεί να λάβουν διάφορες τιμές για να επιτευχθεί το βέλτιστο σημείο λειτουργίας τους προσαρμόζοντας κατάλληλα τη λειτουργία των ηλεκτρικών κινητήρων. Αν οι κινητήριες μηχανές των ηλεκτρογεννητριών χρησιμοποιούν ένα σχετικά καθαρό καύσιμο, μειώνονται οι εκπομπές καυσαερίου, και επιτυγχάνεται μικρό κόστος συντήρησης. Επιπλέον η απαιτούμενη ροπή ελέγχεται από ένα μετατροπέα συχνότητας και από ένα μετασχηματιστή τροφοδοσίας. Για να επιτευχθεί η μικρότερη κατανάλωση καύσιμου, η μηχανή με τη γεννήτρια είναι συνδεδεμένες απευθείας με τον πίνακα διανομής ηλεκτρική ισχύος έτσι ώστε ανάλογα με την απαιτούμενη ηλεκτρική ισχύ να μπορεί να προσαρμοστείτο καύσιμο που θα απαιτηθεί έτσι, ώστε να παράγει την κατάλληλη ροπή αυτόματα.

#### 1.4.1.13 Διάφορες διατάξεις σχετικά με την πρόωση ενός πλοίου

Ανάλογα με το πως είναι η διάταξη σχετικά με την κύρια μηχανή και άλλα συστήματα διαχωρίζονται σε τέσσερις κύριες διατάξεις για την πρόωση μεγάλων σκάφων σχετικά με τις μηχανές που παράγουν κίνηση στην πρόωση. Στην πρώτη διαμόρφωση γίνεται η χρήση διαφορετικών μηχανών σχετικά με την κίνηση του πλοίου και την παραγωγή ισχύος. Στη δεύτερη περίπτωση γίνεται χρήση της ίδιας μηχανής για την κίνηση και την παραγωγή ισχύος στο πλοίο. Στην τρίτη περίπτωση γίνεται χρήση δύο συνεργαζόμενων ελίκων όπου ο μεν πρώτος έλικας λειτουργεί από την κινητήρια μηχανή, ενώ ο δεύτερος αντικριστός έλικας λειτουργεί ηλεκτρικά. Η τέταρτη περίπτωση είναι που όλοι οι έλικες οδηγούνται από ηλεκτροκινητήρες.

Στην πρώτη διάταξη υπάρχει η ξεχωριστή κίνηση του έλικα από τις κύριες μηχανές και ξεχωριστή παραγωγή ενέργειας από άλλες μηχανές.

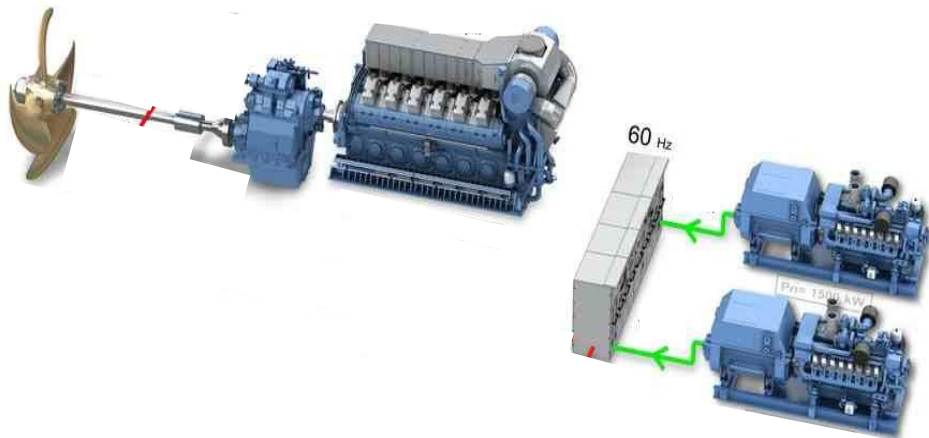
Τα πλεονεκτήματα αυτού του συστήματος είναι:

- Η αξιόπιστη τεχνολογία του.
- Η αποτελεσματική απόδοση κινητήρα στην ονομαστική ταχύτητα.

- Έντονος εμπορικός ανταγωνισμός.
- Οι βοηθητικές εγκαταστάσεις είναι ανοιχτές για όλες τις ενεργειακές πηγές και μορφές αποθήκευσης σε μικρή κλίμακα.

Ενώ τα μειονεκτήματα αυτού του συστήματος είναι:

- Ο κινητήρας περιστρέφεται συνεχώς.
- Ο κινητήρας καθορίζει τη μορφή της γάστρας.
- Υψηλό επίπεδο κραδασμών.
- Πρέπει να υπάρχει ξεχωριστό σύστημα διεύθυνσης.
- Πρέπει να υπάρχει ένας κινητήρας χαμηλής απόδοσης για να μεταβληθεί η ταχύτητα.
- Υπάρχουν μεγάλοι άξονες.
- Νέες πηγές ενέργειας δεν είναι συμβατές.
- Τα υδροδυναμικά προβλήματα του έλικα κατά την κίνησή του (σπηλαίωση)



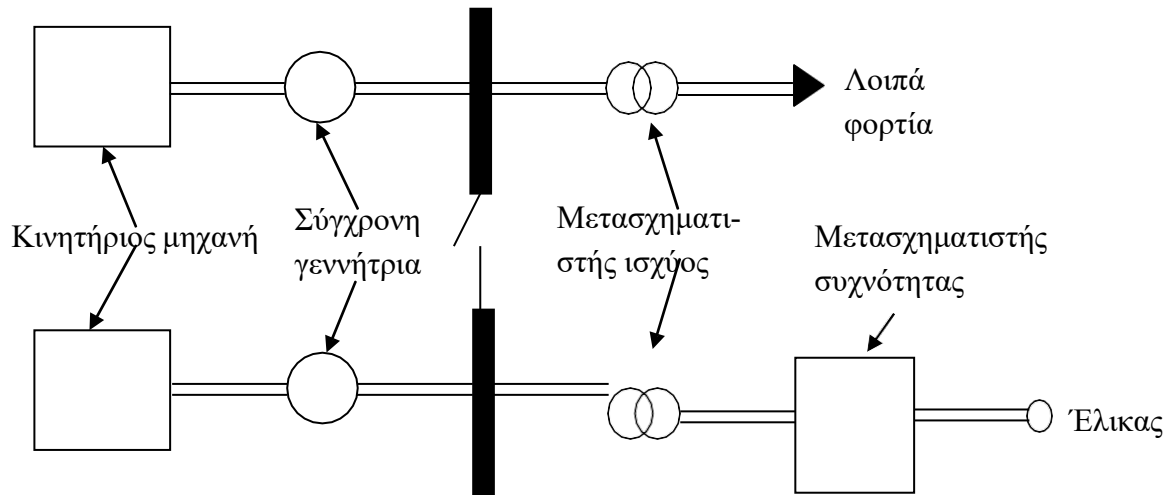
Σχήμα 1.10: Ξεχωριστή κινητήρια μηχανή για την πρόωση και για την ηλεκτρική ενέργεια.

Στη δεύτερη διάταξη είναι η παραγωγή κίνησης και ηλεκτρισμού από μία μηχανή. Αυτή είναι η περίπτωση της αξονικής γεννήτριας, που διαθέτει ο <<Προμηθέας>>. Αυτό το σύστημα αποτελεί την κυρία ιδέα για ένα πλοίο πλήρως εξηλεκτρισμένο. Τα πλεονεκτήματα αυτού του τύπου παρατίθενται παρακάτω:

- Υπάρχουν έτοιμες προδιαγραφές έτσι, ώστε να καθοριστεί εύκολα το προωστήριο σύστημα και η ηλεκτρική παραγωγή.
- Είναι αξιόπιστη τεχνολογία.
- Χρήση έλικας μεταβλητού βήματος και μη.
- Λιγότερη εγκατεστημένη ισχύς.
- Χαμηλή τάση της τάξης των 660V όπου μπορούν να χρησιμοποιηθούν 2-4 μηχανές ως 18 MW.
- Μπορούν να χρησιμοποιηθούν όλες οι πηγές ενέργειας και μορφές αποθήκευσης.

Ενώ τα μειονεκτήματα αυτού του συστήματος είναι :

- Πρέπει να υπάρχει ένα σύστημα διεύθυνσης πλοίου.
- Τα υδροδυναμικά προβλήματα του έλικα κατά την κίνησή του (σπηλαίωση).



Σχήμα 1.11: Διάγραμμα όπου η κινητήρια μηχανή είναι και για την πρόωση και για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος

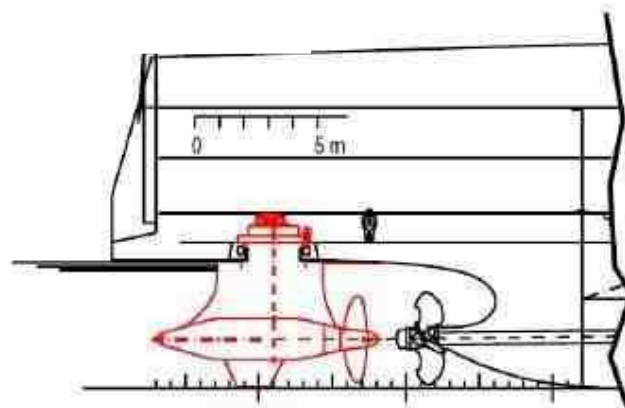
Στην τρίτη διάταξη σύστημα συναντάται ένα υβριδικό σύστημα, όπου ο κύριος έλικας παίρνει κίνηση είτε από μια κινητήρια μηχανή, είτε από έναν ηλεκτροκινητήρα, ενώ παράλληλα έχει τοποθετηθεί ένας άλλος έλικας, ο οποίος παίρνει κίνηση από ηλεκτρογεννήτριες.

Τα πλεονεκτήματα αυτής της διάταξης είναι:

- Η υψηλή εξοικονόμηση ενέργειας.
- Υψηλή απόδοση σε μερικό φορτίο, αφού λειτουργεί από ένα ηλεκτρικό κινητήρα.
- Λιγότερη εγκαταστημένη ισχύς.
- Μπορεί να χρησιμοποιήσει όλες της μορφές ενέργειας, καθώς και όλες τις μορφές αποθηκευμένης ενέργειας.
- Ο κύριος άξονας μπορεί να κινείται είτε από ένα ηλεκτρικό κινητήρα, είτε από ένα μηχανικό κινητήρα.

Ενώ τα μειονεκτήματα του είναι:

- Δεν μπορεί να κινηθεί σε χαμηλές στροφές.
- Απαιτείται πλάγιο πηδάλιο.



Σχήμα 1.12: Αξιμουθιακό σύστημα CPR

Τέλος η τέταρτη διάταξη είναι με χρήση ενός έλικα από έναν ηλεκτρικό κινητήρα.

Τα πλεονεκτήματα αυτής της κατασκευής είναι :

- Είναι εύκολο στην κατασκευή και στην τοποθέτηση.
- Δυνατότητα εξοικονόμησης ενέργειας.
- Λιγότερη εγκαταστημένη ισχύς.
- Είναι υδρόψυκτη.
- Είναι ευέλικτη.
- Πιάνει λιγότερο χώρο.
- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί από όλες τις ενεργειακές πηγές και μορφές αποθήκευσης.
- Η τάση της είναι 660V μπορεί να χρησιμοποιήσει 2-4 κινητήρες των 18MW.

Το μειονέκτημα αυτού του συστήματος είναι

- Ο περιορισμός της ταχύτητας στους 21 κόμβους



Σχήμα 1.13: Αζιμουθιακό σύστημα C

#### 1.4.1.14 Έλικας

Ο έλικας μπορεί να είναι είτε σταθερού βήματος (FP), είτε μεταβλητού βήματος (CP). Ο έλικας σταθερού βήματος είναι πιο οικονομική λύση. Χρησιμοποιείται για κινητήρες με χαμηλή ταχύτητα, όπου είναι δυνατό η αντιστροφή της κίνησης του, ρυθμίζοντας την ταχύτητα περιστροφής της μηχανής και τη φορά. Επομένως η ταχύτητα του πλοίου είναι ελεγχόμενη. Ο έλικας μεταβλητού βήματος είναι πιο πολύπλοκη και πιο ακριβή κατασκευή. Αυτός ο έλικας έχει τη δυνατότητα να μεταβάλλει την ταχύτητα του ανάλογα με τη μεταβολή των πτερυγίων του

#### 1.4.1.15 Απαιτήσεις και κανονισμοί

Κάθε πλοίο που ταξιδεύει πρέπει να τηρεί τις προδιαγραφές των κανονισμών του εθνικού νηογνώμονα, και του SOLAS. Πρέπει να έχει τουλάχιστον 2 ηλεκτρογεννήτριες και μια έκτακτης ανάγκης, η οποία είναι εκτός ηλεκτροστασίου. Οι ηλεκτρομηχανές είναι συνήθως ντιζελοκίνητες. Σε μικρά πλοία η γεννήτρια έκτακτης ανάγκης είναι συσσωρευτής. Επιπλέον απαιτείται μια λήψη ξηράς από το πάνω κατάστρωμα.

Δύο είναι οι απαιτήσεις για την επιλογή και εγκατάσταση του ηλεκτρολογικού υλικού:

1. Εξαιρετική αξιοπιστία
2. Ασφάλεια από πυρκαγιά

Η πρώτη απαίτηση αφορά την κάλυψη ζωτικών λειτουργιών του σκάφους, όπως ο φωτισμός, οι τηλεπικοινωνίες κα. Η δεύτερη απαίτηση είναι η αποφυγή φωτιάς. Αυτό γίνεται με τη χρήση άκαυστων υλικών ή βραδύκαυστων.

Η θερμοκρασία παίζει καταλυτικό ρόλο για τη ζωή του μηχανήματος, αλλά και για την αποδοτικότητα του. Γίνεται αντιληπτό ότι ένα σύστημα αερισμού ή ένασύστημα ψύξης είναι απαραίτητο σε τέτοια μηχανήματα, αφού όσο αυξάνεται ηθερμοκρασία, τόσο η απόδοση τους πέφτει.

#### 1.4.1.16 Μόνωση και θερμοκρασία ηλεκτρικών μηχανών

Η μέγιστη θερμοκρασία μιας ηλεκτρικής μηχανής στην οποία μπορεί να λειτουργεί συνεχώς εξαρτάται από τη μόνωση των τυλιγμάτων. Έτσι τα μονωτικά υλικά έχουν καταταχθεί σε κατηγορίες που είναι:

- Κλάση A: Αποτελείται από βαμβάκι, μετάξι και χαρτί, τα οποία είναι εμποτισμένα σε διηλεκτρικό υλικό.
- Κλάση B: Η μόνωση είναι από υλικό, όπως μίκα, ίνες γυαλιού, άσβεστο, τα οποία είναι εμποτισμένα με κατάλληλες ουσίες
- Κλάση E: Τα υλικά αυτής της κατηγορίας μπορούν να λειτουργήσουν κατά 15°C περισσότερους από τα υλικά τις κλάσης A.

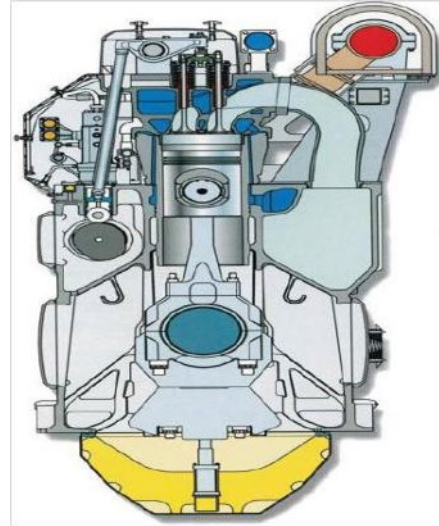
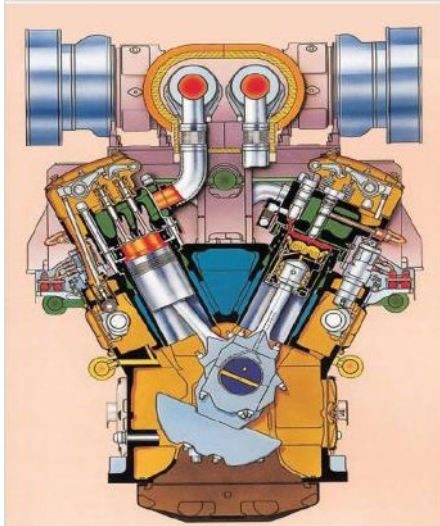
#### 1.4.2 Συστήματα μηχανικής πρόωσης- κλασική σχεδίαση

Οι κινητήρες που μετατρέπουν τη χημική ενέργεια σε μηχανική ενέργεια είναι ο αεριοστρόβιλος, η ντιζελομηχανή και ο ατμοστρόβιλος. Οι δυο πρώτοι κινητήρες είναι κινητήρες εσωτερικής καύσης, δηλαδή η καύση γίνεται μέσα στο σώμα του κινητήρα. Σε αντίθεση με τους ατμοστρόβιλους τους οποίους η καύση γίνεται ξεχωριστά από το σώμα της μηχανής.

Πιο συγκεκριμένα οι ντιζελομηχανές είναι μηχανές εσωτερικής καύσης με παλινδρομικά έμβολα. Αυτές τις μηχανές χρησιμοποιούνται τόσο για την πρόωση του πλοίου, όσο και για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Είναι κινητήρες για μεγάλες ταχύτητες όπου κυμαίνονται στην περιοχή ισχύος από 1MW μέχρι 80MW.

Διακρίνονται σε δύο είδη κινητήρων ανάλογα με τη διάταξη των εμβόλων. Στις ντιζελομηχανές στις οποίες η διάταξη των εμβόλων είναι σε μία σειρά. Αυτού του είδους οι μηχανές είναι ογκώδεις. Η άλλη κατηγορία είναι οι μηχανές οι οποίες χωρίζουν τα έμβολα σε δύο ομάδες δεξιά και αριστερά και συνήθως είναι υπό κάποια κλίση. Αυτή η κατηγορία λέγεται ντιζελομηχανές σε διάταξη V.

Η καύση γίνεται μέσα στους κυλίνδρους και μέσω του διωστήρα μεταφέρουν την κίνηση του εμβόλου στον άξονα. Η μετατροπή της ενέργειας από χημική σε μηχανική γίνεται σε 4 φάσεις: είσοδος αέρα, συμπίεση, καύση, έξοδος καυσαερίων. Ο αέρας εισέρχεται κατά την πρώτη φάση μέσα στον κύλινδρο και το έμβολο βρίσκεται στο κάτω νεκρό σημείο. Το έμβολο αρχίζει και ανεβαίνει προς το άνω νεκρό σημείο (2<sup>η</sup> φάση). Γίνεται η έγχυση του καυσαερίου και πραγματοποιείται η αυτανάφλεξη (3<sup>η</sup> φάση) το έμβολο μετά την αυτανάφλεξη πάει στο κάτω νεκρό σημείο και γίνεται η εξαγωγή καυσαερίων (4<sup>η</sup> φάση). Επιπλέον υπάρχει και η υπερτροφοδοσία, η οποία στέλνει ήδη συμπιεσμένο αέρα στον κύλινδρο με αποτέλεσμα με λιγότερο όγκο αέρα να παράγει περισσότερη ισχύ.

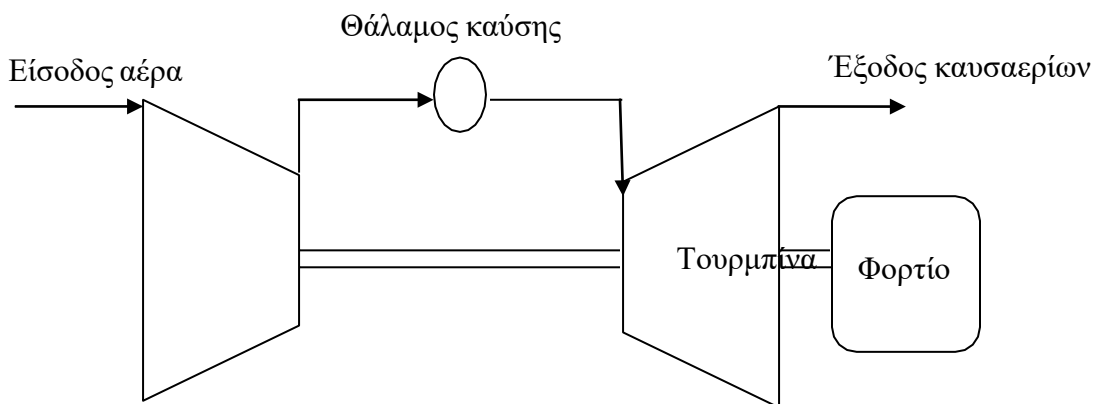


α)

β)

Σχήμα 1.14: α) Ντιζελομηχανή σε διάταξη V και β) ντιζελομηχανή σε σειρά.

Ο αεριοστρόβιλος από την άλλη είναι και αυτή μια μηχανή εσωτερικής καύσης, η οποία είναι περιστρεφόμενη. Η ισχύς της κυμαίνεται από 4MW μέχρι και τα 30MW. Κυρίως αυτές οι μηχανές χρησιμεύουν στην πρόωση του πλοίου. Αυτή η μηχανή αποτελείται από έναν αγωγό, ένα συμπιεστή, το θάλαμο καύσης, την τουρμπίνα και την εξαγωγή καυσαερίων. Η μετατροπή της χημικής ενέργειας σε μηχανική σε έναν αεριοστρόβιλο μονής ατράκτου έχει τα ακόλουθα βήματα: εισαγωγή αέρα, συμπίεση, καύση, εκτόνωση, εξαγωγή καυσαερίων. Εισάγεται ο αέρας στον οχετό εισόδου, συμπιέζεται ο αέρας, γίνεται η καύση στο θάλαμο καύσης και μέσω των θερμών καυσαερίων περιστρέφεται η τουρμπίνα, η οποία αποτελείται από ένα σύνολο φτερωτών και παράγει το έργο. Η ταχύτητα του άξονα μετά τη μηχανή είναι γύρω στις 3000 με 7000 στροφές ανά λεπτό. Επειδή τα καυσαέρια μπορούν να φτάσουν μέχρι και τους 1500°C ένα τμήμα από την εισαγωγή αέρα χρησιμοποιείται για τη ψύξη της τουρμπίνας.

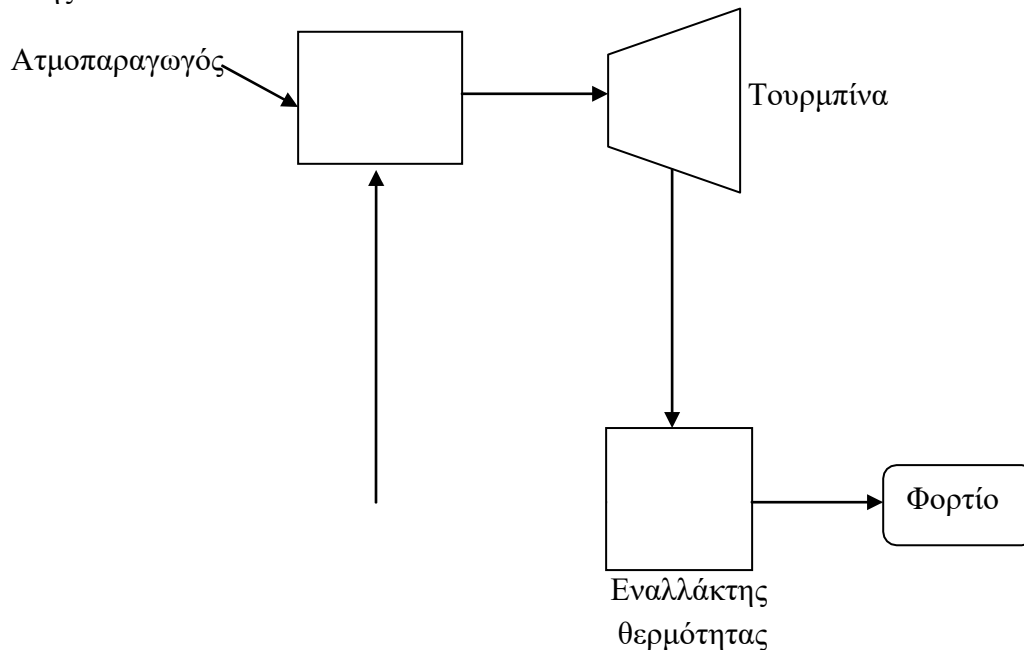


Συμπιεστής

Σχήμα 1.15: Διάταξη ενός αεριοστρόβιλου μονής ατράκτου



Για να βελτιωθεί η απόδοση μίας τέτοιας μηχανής, υπάρχει η δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν τα καυσαέρια έτσι, ώστε να θερμανθεί ο αέρας εισόδου. Αυτό γίνεται με τη χρήση εναλλάκτη πριν το θάλαμο καύσης. Επίσης πρέπει να σημειωθεί ότι αυτό το είδος μηχανής έχει συνεχή ροή αέρα, έτσι δεν χρειάζονται σπινθήρες στο θάλαμο καύσης.



Σχήμα 1.16: Διάταξη ατμοστρόβιλου

Τέλος οι ατμοστρόβιλοι, οι οποίοι δεν είναι σήμερα σε ευρεία χρήση, είναι μηχανές εξωτερικής καύσης. Σε μια τέτοια θερμική μηχανή η τουρμπίνα είναι η κινητήρια μηχανή που χρησιμοποιεί ατμό υψηλής πίεσης για την παραγωγή κινητικής ενέργειας. Αποτελείται από το ρότορα, ο οποίος είναι ένα περιστρεφόμενο τύμπανο εφοδιασμένο με περιφερειακά πτερύγια. Ο ατμός παράγεται στον ατμοπαραγωγό (boiler) και διοχετεύεται στα πτερύγια. Μέσω της ενέργειας του ατμού προκαλείται η περιστροφή του ρότορα. Η ταχύτητα των πτερύγιων είναι περιορισμένη από τους κατασκευαστές έτσι πρέπει να σημειωθεί ότι και η ταχύτητα του ατμού πρέπει να είναι μέσα σε κάποια όρια έτσι, ώστε να είναι ικανοποιητικός ο βαθμός απόδοσης. Η πίεση του αέρα φτάνει κυρίως στα 250 bar έτσι για την εκτόνωση της πρέπει να υπάρχουν πολλές βαθμίδες. Υπάρχουν τρία τμήματα βαθμίδων: ο στρόβιλος υψηλής, μέσης και χαμηλής πίεσης. Αυτό γίνεται, διότι η πίεση των 250 bar είναι πολύμεγάλη, έτσι θα πρέπει να υπάρχουν μεγάλα έδρανα στήριξης για την εκτόνωση, τους εάν εκτονωθεί με βαθμίδες ή σύστημα πτερυγίων κτλ.

### 1.4.3 Σύστημα μηχανικής πρόωσης-διασύνδεση με ηλεκτρικό σύστημα

#### 1.4.3.1 Κινητήρες

Ο ηλεκτρικός κινητήρας μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια του δικτύου σε μηχανική. Ο πιο συχνός τύπος ηλεκτρικού κινητήρα είναι ο AC. Αυτός ο τύπος

τροφοδοτείται με εναλλασσόμενο ρεύμα. Για ισχύς άνω των 500W χρησιμοποιείται τριφασικός εναλλασσόμενος κινητήρας.

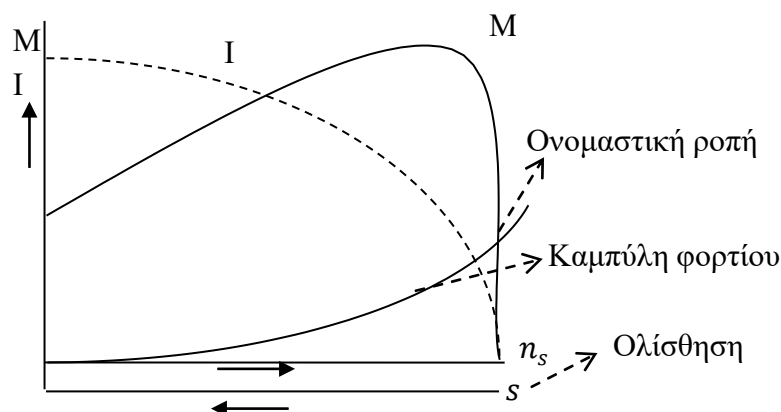
Ο ασύγχρονος ηλεκτροκινητήρας (ή αλλιώς ο κινητήρας επαγωγής) χρησιμοποιείται συνήθως στην πρόωση πλοίων. Ο όρος ασύγχρονος οφείλεται στο γεγονός ότι η ταχύτητα περιστροφής του ασύγχρονου κινητήρα είναι κάπως χαμηλότερη από τη σύγχρονη ταχύτητα. Η μηχανική σύγχρονη γωνιακή ταχύτητα  $\omega_s$  δίνεται μέσω της συχνότητας του ηλεκτρικού δικτύου  $f$  και του αριθμού ζευγών των πόλων  $p$  ως εξής:

$$\omega_s = \frac{4\pi}{p} [\text{rad/sec}] = 60f \frac{[\text{σαλ}]}{p} \quad (1.13)$$

Με τον όρο κινητήρας επαγωγής δηλώνεται ότι το ρεύμα που ρέει στο δρομέα προκαλείται από το περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο του στάτη. Ο πιο χρησιμοποιημένος και απλός κινητήρας επαγωγής είναι ο κινητήρας κλωβού. Αυτή η κατασκευή είναι πολύ απλή αξιόπιστη και δεν απαιτεί συντήρηση.

Τα πλεονεκτήματα αυτού του τύπου είναι:

- Η ροπή είναι μέγιστη όταν οι στρόφες πλησιάζουν το μέγιστο τους.
- Το ρεύμα για μέγιστη ροπή είναι σε χαμηλά επίπεδα .
- Η ολίσθηση είναι χαμηλή για μέγιστη ροπή.



Σχήμα 1.17: Διάγραμμα που δείχνει τα πλεονεκτήματα του επαγωγικού κινητήρα

Ο σύγχρονος εναλλασσόμενος κινητήρας έχει υψηλή απόδοση σε σχέση με τον ασύγχρονο και χρησιμοποιείται συνήθως για ηλεκτρική πρόωση. Το μειονέκτημά του είναι ότι χρησιμοποιεί τροφοδοσία συνεχούς ρεύματος στο δρομέα. Στο σύγχρονο κινητήρα η ταχύτητα περιστροφής ταυτίζεται με τη σύγχρονη μηχανική ταχύτητα  $\omega_s$ . Στην περίπτωση που η ροπή υπερβεί τη μέγιστη επιτρεπόμενη ροπή, τότε ο κινητήρας πέφτει σε αστάθεια και σταματά τελικά.

Ο ηλεκτροκινητήρας συνεχούς ρεύματος τροφοδοτείται με συνεχές ρεύμα. Απαιτείται ένας μετατροπέας ηλεκτρικού ρεύματος, ενώ υποχρεωτικά χρησιμοποιούνται ψήκτρες με τις οποίες συνήθως γίνεται η μεταβίβαση του συνεχούς ρεύματος στο δρομέα. Όμως αυτό περιορίζει την ισχύ εξόδου του. Επιπλέον η συντήρηση πρέπει να γίνεται σε πιο τακτά χρονικά διαστήματα από ότι στον

εναλλασσόμενο κινητήρα. Στα πλεονεκτήματά του είναι η αποτελεσματική ελεγχόμενη ταχύτητα στην έξοδό του. Η χρήση των κινητήρων αυτών περιορίζεται κυρίως στα υποβρύχια.

### 1.4.3.2 Γεννήτριες

Οι γεννήτριες είναι συνήθως σύγχρονες τριφασικές μηχανές εναλλασσόμενου ρεύματος. Βασίζονται στην αρχή του Φαραντέυ. Η κάθε γεννήτρια χρησιμοποιεί ένα περιστρεφόμενο πεδίο που σχηματίζεται από το τυλίγμα συνεχούς ρεύματος του δρομέα που οδηγεί στο μετασχηματισμό της μηχανικής ενέργειας που λαμβάνει ηλεκτρική υπό τη μορφή τριφασικής εναλλασσόμενης τάσης στο στάτη.

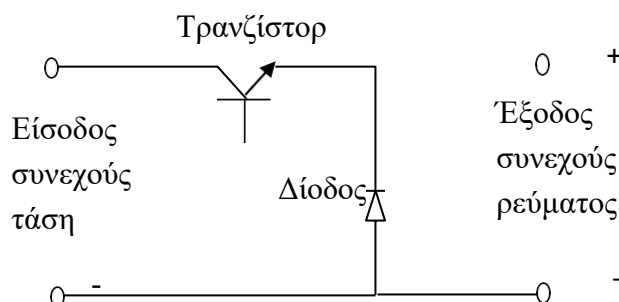
Η στροβιλογεννήτρια με υπερτροφοδοσία μπορεί να λειτουργεί στις 3000 ή 3600 στροφές ανά λεπτό με δύο πόλους ανάλογα με τη συχνότητα της τροφοδοσίας που είναι αντίστοιχα στα 50 ή 60Hz. Με τη χρήση ντιζελομηχανής ο αριθμός των πόλων αλλάζει και ισούται ανάμεσα στους 4 με 10, οπότε η ταχύτητα είναι ίση με 1800 στροφές ανά λεπτό για συχνότητα 60Hz με τετραπολική μηχανή.

Η ισχύς της γεννήτριας εκφράζεται τόσο ως ενεργός ισχύς (kW), όσο και ως φαινόμενη ισχύς (kVA). Η ενεργός ισχύς καθορίζεται από την εισερχόμενη ονομαστική ισχύς της κινητήριας μηχανής, ενώ η φαινόμενη καθορίζεται κυρίως από την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος των τυλιγμάτων του στάτη που καθορίζουν την εκπεμπόμενη θερμότητα τους λόγω των εσωτερικών ωμικών τους αντιστάσεων.

### 1.4.3.3 Μετατροπείς

Υπάρχουν διάφορα είδη μετατροπέων, όπως είναι:

- Κατομητής (chopper): Χρησιμοποιείται για την τροφοδοσία των κύριων οπλισμών των κινητήριων συνεχούς ρεύματος. Έχει τοποθετηθεί κινητήρας συνεχούς ρεύματος του οποίου ρυθμίζεται καλύτερα η ταχύτητα του. Για να επιτευχθεί αυτό χρησιμοποιείται ένα τρανζίστορ ή θυρίστορ GTO, ο οποίος μέσω του 'χρόνου ενεργοποίησης' του ελέγχει το χρόνο παροχής τάσης, τον ηλεκτρικό κινητήρα και κατά συνέπεια την ταχύτητα του κινητήρα.



Σχήμα 1.18: Διάταξη Chopper

- Συγρονομετατροπέας: Χρησιμοποιείται κυρίως για την τροφοδοσία και τον έλεγχο της ταχύτητας των σύγχρονων κινητήρων. Αυτός ο μετατροπέας έχει μια διπλή διαδικασία μετατροπής. Πρώτα μετατρέπει

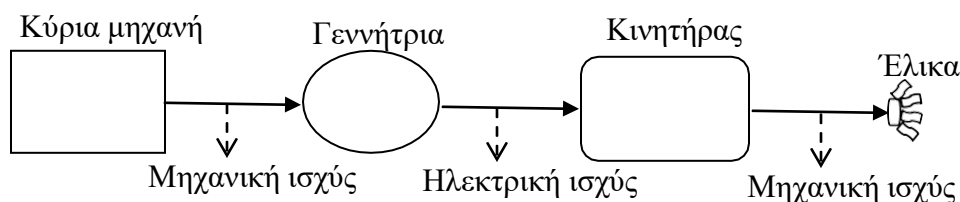
την τριφασική εναλλασσόμενη τάση τροφοδοσίας σταθερή ενεργού τιμής τάσης και συχνότητας σε μεταβαλλόμενη τάση συνεχούς ρεύματος και στη συνέχεια ξανά σε τριφασική εναλλασσόμενη τάση μεταβαλλόμενης ενεργού τιμής τάσης και συχνότητας που κυμαίνεται, ανάλογα με τις απαιτήσεις σε ταχύτητα του σύγχρονου κινητήρα. Αυτός ο μετατροπέας κατασκευάζεται από κοινά θυρίστορ.

Ως τεχνική έλεγχου εφαρμόζεται συνήθως η τεχνική διαμόρφωσης εύρους παλμού (PWM), η οποία μέσω αζομείωσης του εύρους των παλμών έναυσης των ημιαγωγικών στοιχείων εξόδου ελέγχονται τα χαρακτηριστικά της τάσης εξόδου.

- Κυκλομετατροπέας χρησιμοποιείται για την τροφοδοσία και τον έλεγχο της ταχύτητας των σύγχρονων κινητήρων. Ένας κυκλομετατροπέας είναι μία ενιαία μονάδα απευθείας μετατροπής εναλλασσόμενης τάσης σε εναλλασσόμενη τάση χωρίς τη μεσολάβηση συνεχούς τάσης. Μεταβάλλει τη συχνότητα με σταθερό όμως πλάτος και για την υλοποίησή του χρησιμοποιεί συνήθως θυρίστορ.

#### 1.4.4 Πλήρως εξηλεκτρισμένο πλοίο

Η ηλεκτρική πρόωση γίνεται με τη χρήση μίας κύριας μηχανής (αεριοστρόβιλος, ατμοστρόβιλος, ντιζελομηχανή), η οποία συνδέεται και κινεί μια ηλεκτρογεννήτρια, η οποία τροφοδοτεί με ρεύμα έναν ηλεκτροκινητήρα. Αυτό με τη σειρά του κινεί τον έλικα είτε απευθείας, είτε μέσω μειωτήρα.



Σχήμα 1.19: Γενική διάταξη συστήματος ηλεκτρικής πρόωσης

Υπάρχουν δύο τρόποι ηλεκτρικής πρόωσης μία με συνεχές ρεύμα και μία με εναλλασσόμενο ρεύμα. Η ηλεκτρική πρόωση με συνεχές ρεύμα γίνεται με ξένη διέγερση τόσο στη γεννήτρια, όσο και στον κινητήρα. Η τάση λειτουργίας αυτών των μηχανών είναι γύρω στα 500V και το ρεύμα διέγερσης προέρχεται από γεννήτριες συνεχούς ρεύματος, οι οποίες κινούνται από το δίκτυο του πλοίου. Το δίκτυο μπορεί να είναι είτε εναλλασσόμενου ρεύματος, είτε συνεχούς. Επιπλέον στον ίδιο άξονα βρίσκεται και μία άλλη γεννήτρια, η οποία έχει τάση 120V και σκοπό έχει να τροφοδοτεί τους ρυθμιστές ταχύτητας.

Υπάρχουν πολλοί τρόποι έτσι, ώστε να ρυθμίζει κανείς την ταχύτητα του έλικα και αυτό γίνεται με τους εξής τρόπους:

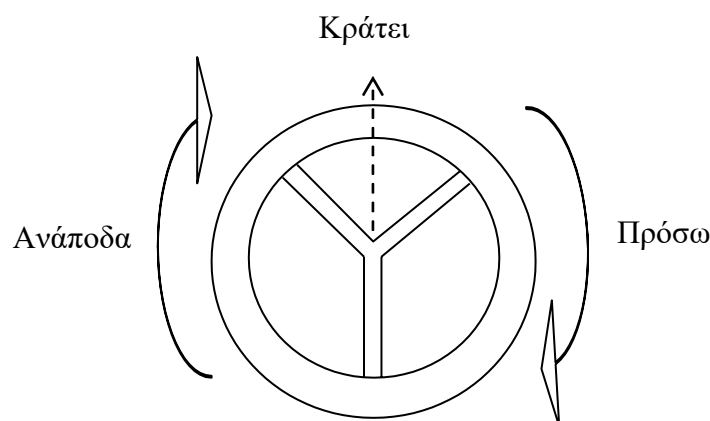
- Ρύθμιση των στροφών της κύριας μηχανής.
- Ρύθμιση του ρεύματος διέγερσης του κινητήρα.
- Ρύθμιση του ρεύματος διέγερσης της γεννήτριας.

Πιο συγκεκριμένα με τον πρώτο τρόπο εάν αυξηθούν οι στροφές της κύριας μηχανής, αυξάνονται και οι στροφές της γεννήτριας και κατά συνέπεια η τάση. Αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι η αύξηση των στροφών του κινητήρα. Με το δεύτερο τρόπο εάν αυξηθεί το ρεύμα διέγερσης του κινητήρα, έχει σαν

αποτέλεσμα την πτώση των στροφών. Τέλος με τον τρίτο τρόπο εάν αυξηθεί το ρεύμα διέγερσης της γεννήτριας, τότε υπάρχει αύξηση της τάσης με την οποία τροφοδοτείται ο κινητήρας με αποτέλεσμα την αύξηση των στροφών του κινητήρα.

Η προπέλα στρέφει ανάποδα όταν το ρεύμα της διεγέρτριας αντιστραφεί, με αποτέλεσμα την αντιστροφή της τάσης και κατά συνέπεια και την αντιστροφή του έλικα.

Υπάρχουν δύο χειριστήρια τα οποία ρυθμίζουν τη διέγερση και την ταχύτητα. Ο ρυθμιστής ταχύτητας είναι σαν μία βάνα, η οποία στο μέσο της σταματά τον έλικα <<κράτει>>. Με το να τοποθετηθεί το χειριστήριο στη μεσαία θέση, τότε η γεννήτρια δεν έχει ρεύμα διέγερσης και κατά συνέπεια δεν παράγει τάση, επομένως ο ηλεκτροκινητήρας δεν στρέφει. Με τη στροφή του χειριστηρίου κατά τη δεξιά μεριά προκαλεί μια κίνηση πρόωσης (προς τα εμπρός). Ενώ με τη στροφή κατά την αριστερή μεριά ο έλικας κινείται ανάποδα ως προς την κανονική κίνηση (προς τα πίσω). Οποιαδήποτε κίνηση που κάνει ο χειριστής αυξάνει το ρεύμα διέγερσης της γεννήτριας, και υπάρχει μια αύξηση της τάσης στη γεννήτρια και στις στροφές του έλικα. Όταν το ρεύμα φτάσει στο μέγιστο του, τότε μένει σταθερό σε αυτήν την τιμή και ο ρυθμιστής αυξάνει την ταχύτητα της κύριας μηχανής με αποτέλεσμα την αύξηση της ταχύτητας του έλικα .



Σχήμα 1.20: Χειριστήριο ταχύτητας.

Ο δεύτερος τρόπος είναι με εναλλασσόμενο ρεύμα με το οποίο συνήθως χρησιμοποιούνται σύγχρονοι τριφασικοί κινητήρες με τάση από 3000-6000V. Σε αυτό το σύστημα δεν χρησιμοποιείται μειωτήρας, αλλά επιτυγχάνεται η μείωση στροφών με τη χρήση διαφορετικών αριθμών πόλων μεταξύ γεννήτριας και κινητήρα. Η σχέση που ισχύει είναι:

$$f_k = \frac{p_k n_k}{60} = f_r = \frac{p_r n_r}{60} \quad (1.14)$$

Όπου κ: Κινητήρας

Γ: Γεννήτρια

$p_k$ : Ζεύγη πόλων κινητήρα.

$p_r$ : Ζεύγη πόλων γεννήτριας

Από τον πιο πάνω τύπο προκύπτει ο λόγος μείωσης:

$$\frac{n_{\kappa}}{n_{\Gamma}} = \frac{p_{\Gamma}}{p_{\kappa}} \quad (1.15)$$

Η ταχύτητα του έλικα ρυθμίζεται διαφορετικά όταν το πλοίο κάνει πρόσω και διαφορετικά όταν το πλοίο κάνει ανάποδα. Πιο συγκεκριμένα όταν το πλοίο κάνει πρόσω μεταβάλλοντας τη συχνότητα της εναλλασσόμενης τροφοδοσίας μεταβάλλεται και η ταχύτητα του έλικα. Ενώ για να κάνει το πλοίο ανάποδα πρέπει να γίνει εναλλαγή μεταξύ δυο φάσεων εκ των τριών. Για τη ρύθμιση αυτή υπάρχουν τρία χειριστήρια για τα οποία ισχύουν: Το πρώτο έχει τρεις θέσεις, η πάνω θέση είναι για το <<πρόσω>>, η δεύτερη για το <<κράτει>> και η τρίτη για το <<ανάποδα>> προς τα κάτω. Το δεύτερο χειριστήριο έχει 4 θέσεις οι οποίες είναι ξεκινώντας από πάνω προς τα κάτω, το κρατεί, η θέση 1, η θέση 2 και η θέση <<λειτουργίας>>. Το τελευταίο χειριστήριο είναι κυλιόμενο και εάν πάει από πάνω προς τα κάτω αυξάνει την ταχύτητα του έλικα.

Για να κάνει <<κρατεί>> το πλοίο πρέπει και τα τρία χειριστήρια να βρίσκονται στη θέση <<κράτει>> όλες οι επαφές να είναι ανοιχτές και η γεννήτρια σε αυτήν την κατάσταση δεν παράγει κανένα ρεύμα.

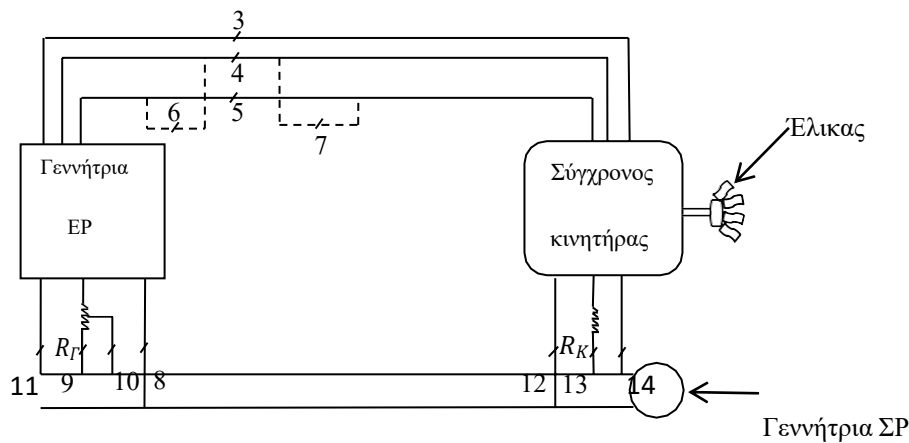
Για την κίνηση από <<κράτει>> σε <<πρόσω>> πρέπει το πρώτο χειριστήριο να μεταφερθεί στη θέση <<πρόσω>> για να κλείσουν οι επαφές 3, 4, 5. Με αυτήν την κίνηση η γεννήτρια εξακολουθεί να μην παράγει ρεύμα, διότι οι επαφές 8, 9, 10, 11 είναι ανοιχτές. Έτσι τοποθετείται και το χειριστήριο δυο στη θέση 1 έτσι, ώστε να βραχυκυκλωθεί η αντίσταση  $R_{\Gamma}$  και να παράγει η γεννήτρια υψηλό ρεύμα και υψηλή τάση. Έτσι ο κινητήρας αρχίζει να περιστρέφεται ως κινητήρας βραχυκυκλωμένου δρομέα. Το δεύτερο χειριστήριο πάει στη θέση 2 και ανοίγει η επαφή 11, ενώ κλείνουν οι επαφές 12, 13, 14. Με το κλείσιμο αυτών των επαφών ο κινητήρας αρχίζει να δουλεύει σαν ένας σύγχρονος κινητήρας σε υπερδιέγερση, διότι πάει ισχυρό ρεύμα στον κινητήρα λόγω και της αντίστασης  $R_{\kappa}$  που βραχυκυκλώνεται από τη μεριά του κινητήρα. Στη συνέχεια τοποθετείται το χειριστήριο στη θέση <<λειτουργίας>> και ανοίγουν οι επαφές 10, 14, οι αντιστάσεις που βραχυκυκλώθηκαν μπαίνουν στο κύκλωμα και οι τιμές διέγερσης έρχονται στις κανονικές τους τιμές. Το τρίτο χειριστήριο μεταβάλλει την ταχύτητα της κύριας μηχανής έτσι, ώστε να υπάρχουν οι επιθυμητές στροφές στον έλικα.

Για την κίνηση από <<πρόσω>> σε <<κράτει>> το τρίτο χειριστήριο τοποθετείται στη θέση ελαχίστων στροφών και το δεύτερο χειριστήριο πάει από τη θέση <<λειτουργίας>> στη θέση <<κράτει>>. Τέλος το πρώτο χειριστήριο πάει από τη θέση πρόσω στη θέση <<κράτει>>.

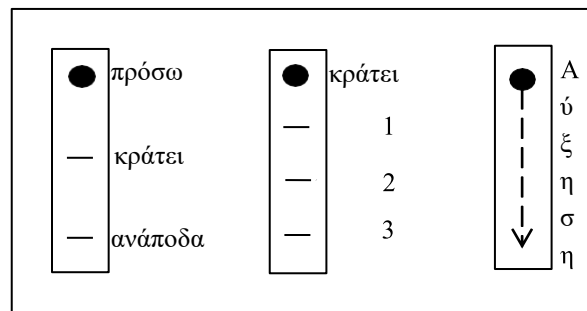
Κίνηση από <<κράτει>> σε <<ανάποδα>> γίνεται ως εξής: Το πρώτο χειριστήριο τοποθετείται στη θέση <<ανάποδα>> και οι επόμενες κινήσεις γίνονται, όπως και στην κίνηση <<πρόσω>>.

Για την κίνηση από <<πρόσω>> σε <<ανάποδα>> ή αντίστροφα πρέπει γίνει, αφού πρώτα κάνει <<κράτει>>.

Πρέπει να τονιστεί ότι τα χειριστήρια αυτά έχουν ένα ειδικό μηχανισμό, (μανδάλωση) ο οποίος δεν επιτρέπει τη μετακίνηση των μοχλών εάν δεν πάρουν τις πιο πάνω θέσεις.



Σχήμα 1.21: Βασικό ηλεκτρικό κύκλωμα πρόωσης εναλλασσόμενου ρεύματος



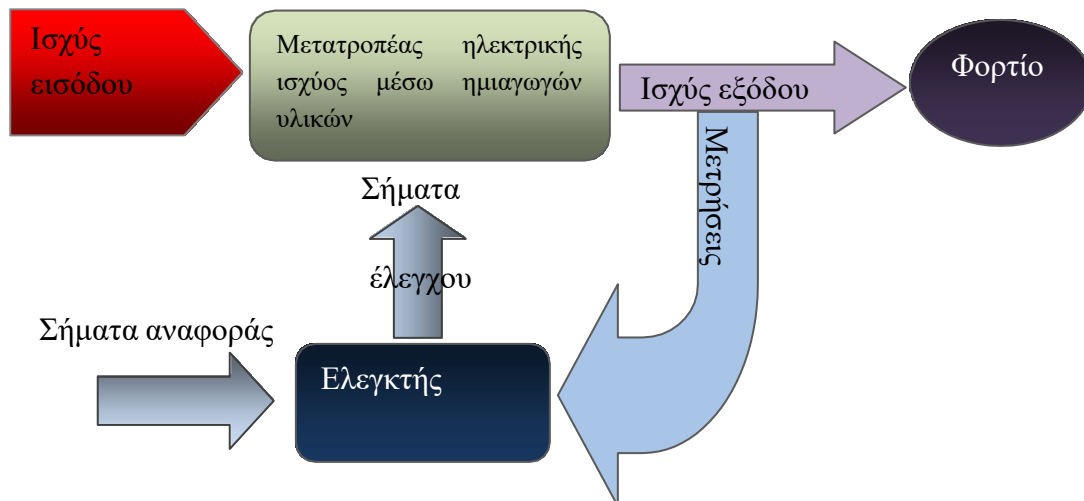
Σχήμα 1.22: Τηλεχειριστήρια εναλλασσόμενου ρεύματος

## 1.5 Ηλεκτρονικά ισχύος

### 1.5.1 Γενικά

Με τον όρο ηλεκτρονικά εννοούνται τα δομικά στοιχεία και οι συσκευές που χρησιμοποιούν τις ιδιότητες των ημιαγωγών. Οι ημιαγωγοί βρίσκονται ανάμεσα στα μέταλλα και τους μονωτές σχετικά με τη δημιουργία ηλεκτρικού ρεύματος. Η διαφορά των ημιαγωγών από τα μέταλλα είναι ότι έχουν μικρότερη αγωγιμότητα και ότι στους ημιαγωγούς υπάρχουν και θετικά και αρνητικά φορτία. Με αυτήν την ιδιαιτερότητα οι ημιαγωγοί μπορούν να έχουν μηδενικό ρεύμα ή να έχουν ένα εύρος τιμών από μηδενικό ρεύμα μέχρι μέγιστο.

Τα ηλεκτρονικά μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες: στα ηλεκτρονικά για την επεξεργασία πληροφοριών με απαίτηση να μην υπάρχει απώλεια πληροφορίας και τα ηλεκτρονικά ισχύος που έχουν σκοπό τη μεταφορά και τη μετατροπή της ηλεκτρικής ισχύος με απαίτηση το μεγάλο βαθμό απόδοσης και τη μείωση των απωλειών.



Σχήμα 1.23: Διάγραμμα μετατροπής ηλεκτρικής ενέργειας

Η διάταξη των ηλεκτρονικών ισχύος είναι ένα στοιχείο μετατροπής της ηλεκτρικής ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια άλλων χαρακτηριστικών. Αυτό γίνεται διότι το δίκτυο δίνει σταθερά χαρακτηριστικά από την πηγή και το κάθε φορτίο, απαιτεί διαφορετικά στοιχεία. Έτσι τα ηλεκτρονικά ισχύος έχουν σαν σκοπό την επεξεργασία και τον έλεγχο της ηλεκτρικής ισχύος έτσι ώστε να ικανοποιούνται η απαιτήσεις του φορτίου. Στο σχήμα 1.23 παρουσιάζεται ένα γενικό διάγραμμα, το οποίο μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια σύμφωνα με τις απαιτήσεις του φορτίου.

Αυτές οι μετατροπές είναι είτε από AC σε DC, είτε από DC σε AC, είτε από AC σε AC, είτε από DC σε DC μεταβάλλοντας ταυτόχρονα τη συχνότητα και την ενεργό τιμή. Σκοπός αυτής της μετατροπής είναι να είναι γνωστή η ποσότητα ισχύος που στέλνονται στα εκάστοτε φορτία. Επιπλέον ζητείται να υπάρχει αξιοπιστία και μεγάλος βαθμός απόδοσης. Σε κάθε μετατροπή πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι πρέπει να υπάρχουν οι μικρότερες απώλειες έτσι, ώστε να μην χάνεται ισχύς. Ο συντελεστής ισχύος βελτιώνεται αν αυξηθεί η διακοπτική συχνότητα λειτουργίας, διότι μειώνονται οι αρμονικές του ρεύματος οι οποίες αρμονικές του ρεύματος ταξιδεύουν στο δίκτυο. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να υπάρχει ένα όφελος το οποίο κερδίζει το συνολικό ενεργειακό σύστημα.

Όλες αυτές οι απαιτήσεις δεν μπορούν να υλοποιηθούν μόνο με αναλογικά ηλεκτρικά κυκλώματα, τα οποία λειτουργούν στις γραμμικές περιοχές όπου ανάμεσα σε αυτά τα δίκτυα παρεμβάλλεται ένας μετασχηματιστής αρκετά ογκώδης όπου δημιουργεί ηλεκτρική απομόνωση.

Τα συστήματα με διατάξεις ηλεκτρονικών ισχύος κυμαίνονται από ισχύ κάποιων mW μέχρι κάποια MW. Το 30 με 40% της ενέργειας που παράγει μια ηλεκτρομηχανή υφίσταται μετατροπή.

### 1.5.2 Εφαρμογές των ηλεκτρονικών ισχύων

Εξοικονόμηση ενέργειας: Μέσω του περιορισμού της κατανάλωσης ενέργειας προστατεύεται το περιβάλλον, αφού μειώνεται η κατανάλωση του ορυκτού καυσίμου και θα υπάρχουν μικρότερες εκπεμπόμενες ποσότητες καυσαερίων. Αυτό θα επιτευχθεί με διάφορους μετατροπείς πάνω σε κάθε ηλεκτρομηχανή με σκοπό να ελέγχονται κάποια χαρακτηριστικά, όπως η ταχύτητα περιστροφής και η ροπή. Με



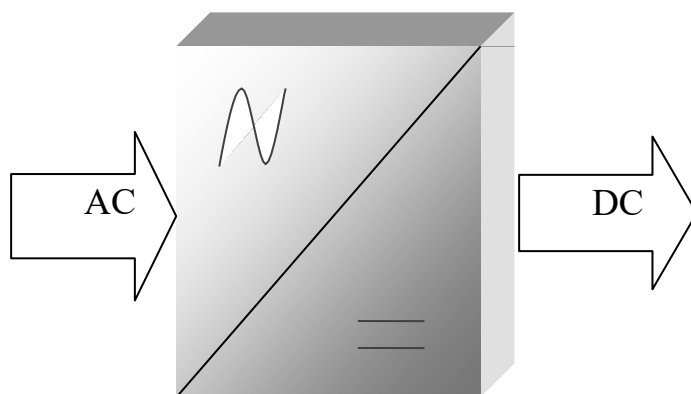
τον έλεγχο της ταχύτητας του κινητήρα μπορεί να επιτευχθεί εξοικονόμηση ενέργειας. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτής της λειτουργίας είναι η διάταξη αντλία-κινητήρα. Αν η παροχή της αντλίας είναι μικρότερη της ονομαστικής υπάρχει μεγάλη απώλεια ισχύος. Ο κινητήρας της αντλίας λαμβάνει ισχύ από το δίκτυο και η ταχύτητα περιστροφής του είναι σταθερή, ενώ η παροχή ρυθμίζεται με τις βάνες. Για την εξοικονόμηση της ενέργειας αντί τη ρύθμιση των βανών χρειάζεται να ρυθμιστεί ταχύτητα του κινητήρα μέσω ενός μετατροπέα ισχύος. Ο κινητήρας εξακολουθεί και παίρνει την ίδια ισχύ από το δίκτυο. Η όλη εξοικονόμηση γίνεται με τη ρύθμιση της ταχύτητας περιστροφής ρυθμίζοντας την παροχή χωρίς να ανοιγοκλείνουν οι βάνες.

Τροφοδοτικά αδιάλειπτης λειτουργίας (UPS): Αυτό το τροφοδοτικό είναι ένα σημαντικό σύστημα για την παροχή ηλεκτρικής ισχύος στις αντίστοιχες συσκευές χωρίς διακοπές. Σκοπός αυτής της συσκευής είναι να παρέχει προστασία στη συσκευή και να την τροφοδοτεί όταν έχει κοπεί το ρεύμα. Κατά το μπλακ άουτ παρουσιάζονται μεγάλες αυξομειώσεις τάσης στις τροφοδοτούμενες συσκευές και αυτό μπορεί να τις καταστρέψει

Σύστημα παραγωγής, μεταφοράς και διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας: Μία τέτοια εφαρμογή συναντάται στις γραμμές μεταφοράς και στην εκμετάλλευση της υψηλής συνεχούς τάσης. Έτσι στις γραμμές μεταφοράς αρχικά μετατρέπεται η τάση από AC σε DC, μεταφέρεται και όταν φτάσει στις καταναλώσεις μετατρέπεται ξανά από DC σε AC.

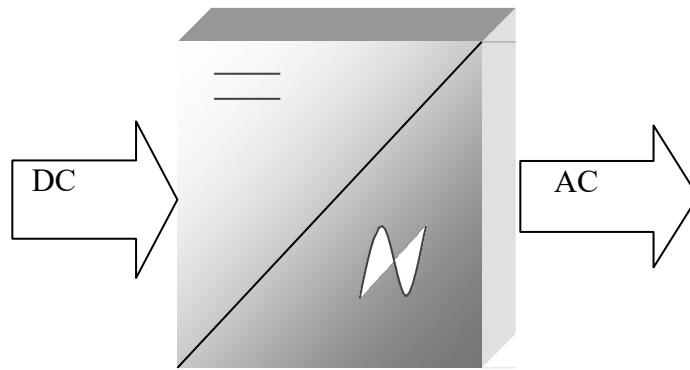
### 1.5.3 Μετατροπές ενέργειας

Η μετατροπή από AC σε DC γίνεται με τη χρήση ενός ανορθωτή. Υπάρχουν δύο τύποι ανορθωτών: οι μονοφασικοί και οι πολυφασικοί και χρησιμοποιούνται ανάλογα με το είδος εισόδου της εναλλασσόμενης τάσης. Επίσης υπάρχει και άλλη μια διαφοροποίηση τους σχετικά με το αν είναι ελεγχόμενη ή μη ελεγχόμενη και αυτό καθορίζεται από το αν η τάση εξόδου είναι σταθερή ή μεταβαλλόμενη. Στο σχήμα 1.24 παρουσιάζεται το αντίστοιχο υποσύστημα.



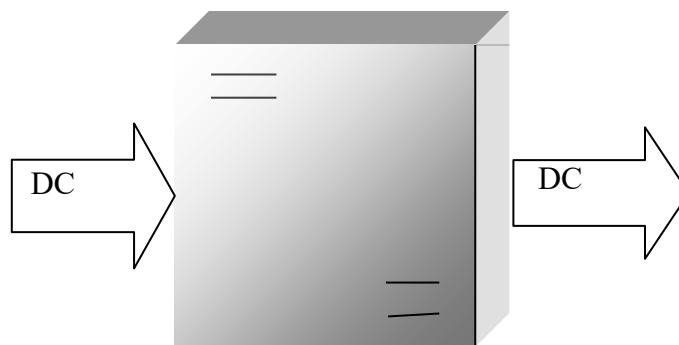
Σχήμα 1.24: Ανορθωτής

Η μετατροπή από DC σε AC γίνεται μέσω ενός αντιστροφέα, ο οποίος μετατρέπει είτε την τάση, είτε το ρεύμα συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο. Η έξοδος αυτού του συστήματος είναι είτε μονοφασική, είτε πολυφασική. Επιπλέον το πλάτος της τάσης και του ρεύματος, καθώς και η συχνότητα είναι ελεγχόμενα μεγέθη. Στο σχήμα 1.25 παρουσιάζεται το αντίστοιχο υποσύστημα.



Σχήμα 1.25: Αντιστροφέας

Επίσης υπάρχει και η μετατροπή συνεχούς ρεύματος σε συνεχές ρεύμα, όπου μετατρέπεται το πλάτος και η πολικότητα. Αυτοί οι μετατροπείς διακρίνονται σε μετατροπείς υποβιβασμού (step-down) και μετατροπείς ανύψωσης (step-up) της τάσης και αυτό είναι ανάλογο με το αν η τάση εξόδου είναι πιο χαμηλή από την τάση εισόδου ή μεγαλύτερη. Επιπλέον διακρίνονται σε μετατροπείς με απομόνωση ή χωρίζτης τάσης εξόδου. Στο σχήμα 1.26 παρουσιάζεται ο αντίστοιχος μετατροπέας.

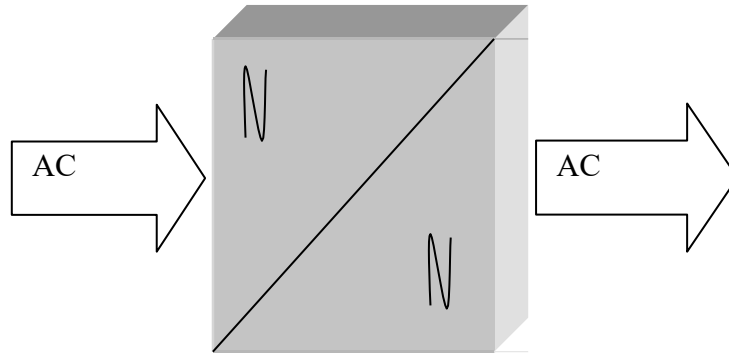


Σχήμα 1.26: Μετατροπέας συνεχούς ρεύματος

Ένας κυκλομετατροπέας μετατρέπει την εναλλασσόμενη τάση σε εναλλασσόμενη έτσι, ώστε να αλλάζει η τάση και συχνότητα. Ο κυκλομετατροπέας χωρίζεται είτε σε υποβιβασμού συχνότητας (step down), είτε σε ανύψωση συχνότητας (step up) ανάλογα εάν η συχνότητα εξόδου αυξάνεται ή μειώνεται από τη συχνότητα εισόδου. Επιπλέον μπορούν να μεταβάλλουν την τάση εξόδου, ενώ η συχνότητα μπορεί να παραμείνει σταθερή και ίση με τη συχνότητα της πηγής. Οι κυκλομετατροπείς συνήθως χρησιμοποιούνται σε υψηλές τάσεις. Στο σχήμα 1.27 παρουσιάζεται το γενικό σχήμα του κυκλομετατροπέα.

Πρέπει να σημειωθεί ότι ένα μετατροπέας ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί συνήθως συνδυάζει τους πιο πάνω διάφορους μετατροπείς.

Τέλος υπάρχουν τρεις κατηγορίες μετατροπέων με βάση τον τρόπο ελέγχου των ημιαγωγών.



Σχήμα 1.27 Κυκλομετατροπέας

Μετατροπείς με φυσικό έλεγχο. Οι διακόπτες των μετατροπέων με φυσικό έλεγχο κλείνουν και ανοίγουν ανάλογα με την εναλλασσόμενη τάση του δικτύου ή των συνθηκών που τους επιβάλλει το φορτίο. Αυτή η μετατροπή είναι ξεπερασμένη, αφού η τάση εξόδου δεν είναι συνεχής, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται αρμονικές.

Μετατροπείς με εξαναγκασμένη μετάβαση. Οι διακόπτες της εξαναγκασμένης μετάβασης λειτουργούν υπό υψηλή συχνότητα και μπορούν να θεωρηθούν ως διακόπτικοι ενισχυτές ισχύος με υψηλό κέρδος. Η κατάσταση αυτών ορίζεται μόνο από τη μονάδα έλεγχου της διάταξης εξόδου

Μετατροπείς συντονισμού. Η ενεργοποίηση και η απενεργοποίηση αυτών των διακοπών γίνεται όταν στα άκρα τους η τάση ή το ρεύμα πάρει την τιμή μηδέν. Το πλεονέκτημα αυτών των μετατροπέων σε σχέση με τους προηγούμενους είναι ότι μειώνονται σημαντικά οι απώλειες ισχύος στους διακόπτες και η ηλεκτρομαγνητική παρεμβολή.

#### 1.5.4 Ημιαγωγικοί διακόπτες ισχύος

Μέσω των ημιαγωγικών στοιχείων υλοποιούνται οι μετατροπείς ηλεκτρικής ισχύος οι οποίοι λειτουργούν σαν διακόπτες, αφού βελτιώνεται ο βαθμός απόδοσης. Υψηλός βαθμός απόδοσης σημαίνει και μειωμένες απώλειες. Όσο περισσότερο μειώνονται οι απώλειες (όπου απώλειες σημαίνει και αύξηση της θερμοκρασίας), τόσο λιγότερες θα είναι και οι απαιτήσεις για ψύξη του μετατροπέα. Έτσι το αποτέλεσμα θα είναι να έχει μικρότερο κόστος και περισσότερος εκμεταλλεύσιμος χώρος, αφού δεν θα υπάρχουν ψυκτικές κατασκευές.

Η θερμοκρασία του ημιαγωγού πρέπει να είναι μικρότερη από μια μέγιστη για να λειτουργεί σωστά. Όσο μεγαλύτερη είναι η ισχύς της εγκατάστασης, τόσο μεγαλύτερος πρέπει να είναι ο βαθμός απόδοσης του ημιαγωγού. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι, όταν ένας μετατροπέας ελέγχει 100MW με βαθμό απόδοσης 99%, υπάρχουν απώλειες 1MW, το οποίο για να απομακρυνθεί από το μετατροπέα απαιτείται μια αρκετά δαπανηρή κατασκευή. Οι κυριότεροι ημιαγωγικοί διακόπτες είναι η δίοδος, τα transistor, ο SCR και το GTO.

#### 1.5.5 Κατάσταση λειτουργίας ημιαγωγικών διακοπών ισχύος

Οι ημιαγωγικοί διακόπτες έχουν δύο καταστάσεις λειτουργίας: την περιοχή αποκοπής και την περιοχή αγωγιμότητας. Στην περίπτωση αποκοπής ο διακόπτης είναι απενεργοποιημένος και δεν επιτρέπει να περάσει ρεύμα, ενώ στα άκρα η τάση

του διακόπτη είναι ίση με την τάση της πηγής. Όμως η τάση στο άκρο του φορτίου είναι μηδέν. Στην περιοχή αποκοπής σε έναν όχι ιδανικό διακόπτη υπάρχει και ένα ρεύμα διαρροής, το οποίο είναι πολύ μικρό. Η τάση διάσπασης είναι η ανάστροφη τάση που εφαρμόζεται σε ένα ημιαγωγικό στοιχείο και πρέπει να είναι μικρότερη από μια τιμή, διαφορετικά καταστρέφεται το στοιχείο.

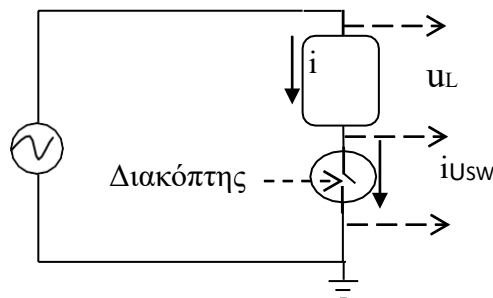
Στην περιοχή αγωγιμότητας, δηλαδή όταν ο διακόπτης ενεργοποιείται, τότε επιτρέπεται η διέλευση του ρεύματος. Το ρεύμα αυτό υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$I_{sw} = I_L = \frac{V_s}{Z_L} \quad (1.16)$$

Η τιμή του ρεύματος αυτού με την τάση διάσπασης αποτελούν τα κύρια χαρακτηριστικά μεγέθη κάθε διακόπτη ισχύος. Στους ιδανικούς διακόπτες η τάση του διακόπτη είναι μηδενική, ενώ του φορτίου είναι ίση με την τάση της πηγής. Στους μη ιδανικούς διακόπτες υπάρχει μια πτώση τάσης στους διακόπτες, η οποία και ονομάζεται και τάση αγωγιμότητας.

Για να κατανοηθούν πιο εύκολα αυτές οι δύο παρατηρεί κανείς το σχήμα 1.28.

Η μετάβαση από τη μία περιοχή στην άλλη στους ιδανικούς διακόπτες απαιτεί μηδενικό χρόνο, ενώ στους πραγματικούς διακόπτες ο χρόνος αποτελεί μία σημαντική παράμετρο. Κατά τη μετάβαση αυτή υπάρχουν μεγάλες απώλειες, αφού κατά αυτήν τη μετάβαση αναπτύσσονται μεγάλες τάσεις. Βεβαία ο χρόνος αυτός είναι μικρότερος από την παραμονή του στοιχείου σε μία από τις περιοχές.



Σχήμα 1.28: Λειτουργία ημιαγωγικού διακόπτη ισχύος: Όταν ο διακόπτης είναι στον κλάδο της γείωσης, τότε βρίσκεται στην περιοχή αγωγιμότητας, ενώ, εάν δεν είναι, τότε βρίσκεται στην περιοχή αποκοπής

Μια άλλη παράμετρος είναι αυτή της μεταβολής της τάσης και του ρεύματος έτσι, ώστε να δημιουργεί υπερτάσεις και υψηλά ρεύματα.

Αυτή η μετάβαση γίνεται ανάλογα με το διακόπτη. Πρέπει εδώ να αναφερθούν οι όροι έναυσης και σβέσης. Έναυση είναι η διαδικασία κατά την οποία ένας διακόπτης περνάει από την περιοχή αποκοπής στην περιοχή αγωγιμότητας, ενώ σβέση είναι η αντίστροφη διαδικασία, δηλαδή η μετάβαση από την περιοχή αγωγιμότητας στην περιοχή σβέσης. Η πιο δύσκολη κατάσταση είναι της σβέσης. Οι κατηγορίες των διακοπτών είναι :

- Μη ελεγχόμενοι διακόπτες: Σε αυτούς τους ακροδέκτες δεν υπάρχει ακροδέκτης ελέγχου, επομένως όλη η διαδικασία γίνεται από το κύκλωμα ισχύος. Ο πιο συνηθισμένος διακόπτης είναι η δίοδος.
- Πλήρως ελεγχόμενοι διακόπτες: Στον ακροδέκτη ελέγχου επιβάλλεται ένας παλμός, ο οποίος μεταβάλλει το διακόπτη από τη μία περιοχή στην άλλη. Ο πιο συνηθισμένος διακόπτης είναι το τρανζίστορ.

- Μερικώς ελεγχόμενοι ή ημιελεγχόμενοι διακόπτες: Στους διακόπτες αυτούς ισχύει το ίδιο και στους προηγούμενους, αλλά μέσω του παλμού ελέγχεται μόνο η έναυση. Η σβέση του διακόπτη γίνεται μέσω της τάσης ή του ρεύματος του κυκλώματος ισχύος. Ο πιο συνηθισμένος διακόπτης είναι το θυρίστορ.

## 1.6 Φορτία

### 1.6.1 Γενικά

Η ηλεκτρική ισχύς παράγεται από ηλεκτρομηχανές, οι οποίες στις περισσότερες περιπτώσεις είναι ντιζελοκίνητες. Η ηλεκτρική ισχύς που παράγεται πρέπει να αποδίδεται σε όλα τα φορτία στη δυσμενέστερη κατάσταση. Έτσι υπάρχει ένα ολοκληρωμένο σύστημα παραγωγής, διανομής και κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Η ηλεκτρική ενέργεια αποτελείται κυρίως από τρεις υποκατηγορίες:

- 1) Ισχύος
- 2) Φωτισμού
- 3) Επικοινωνιών ναυσιπλοΐας

Το πλοίο πρέπει να έχει τουλάχιστον 3 ηλεκτρογεννήτριες εκ των οποίων η μία είναι έκτακτης ανάγκης. Σ' αυτήν την περίπτωση πρέπει να ισχύει ότι με μια ηλεκτρογεννήτρια πρέπει να μπορεί να τροφοδοτήσει με ηλεκτρική ενέργεια όλα τα μηχανήματα έτσι ώστε να μπορεί το πλοίο να ταξιδέψει με ασφάλεια.

Επιπλέον μέσα στην ηλεκτρική εγκατάσταση υπάρχουν και οι πίνακες οι οποίοι είναι :

- 1) Ο κύριος πίνακας διανομής.
- 2) Οι πίνακες γεννητριών.
- 3) Οι βοηθητικοί πίνακες.
- 4) Οι πίνακες έλεγχου.

Για να συνδυαστούν όλα τα μηχανήματα και να μεταφερθεί η ισχύς, πρέπει να υπάρχουν οι απαραίτητες καλωδιώσεις.

### 1.6.2 Βοηθητικά συστήματα

Τα βοηθητικά συστήματα είναι όλα τα εγκατεστημένα ή τα φορητά μηχανήματα, τα οποία είναι απαραίτητα για την πρόωση και τις λοιπές λειτουργίες του σκάφους. Έτσι χωρίζονται σε κάποιες κατηγορίες που είναι:

- μηχανήματα πρόωσης,
- μηχανήματα χειρισμών,
- μηχανήματα ασφαλείας,
- μηχανήματα βοηθητικών χρήσεων,
- μηχανήματα φορτίου.

Τα μηχανήματα πρόωσης αποτελούνται από διάφορες αντλίες, φυγοκεντρικούς διαχωριστήρες και συμπιεστές. Πιο συγκεκριμένα η αντλία είναι μία διάταξη η οποία μετατρέπει τη μηχανική ενέργεια σε δυναμική και μετά μετατρέπει τη δυναμική ενέργεια σε μηχανική ενέργεια του ρευστού. Σκοπό έχει να μετακινεί υγρά. Υπάρχουν διάφοροι τύποι αντλιών, αλλά κυρίως χρησιμοποιούνται φυγοκεντρικές αντλίες στα πλοία. Χρησιμοποιείται αυτό το είδος, διότι :

- Είναι συμπαγής κατασκευή.
- Η κατασκευή της είναι απλή.

- Καταλαμβάνει μικρό όγκο και βάρος.
- Είναι οικονομική.
- Παρουσιάζει ομαλή λειτουργία.
- Είναι εύστροφη.
- Έχει υψηλή και συνεχή παροχή.

Οι βασικότερες αντλίες εντός του πλοίου είναι:

➤ Υπάρχει η αντλία παροχής ή τροφοδότησης πετρελαίου. Απορροφά πετρέλαιο από τη δεξαμενή χρήσεως και το καταθλίβει στο δίκτυο αναρρόφησης των αντλιών μηχανικής έγχυσης του πετρελαίου της κύριας μηχανής.

➤ Η αντλία λαδιού λιπάνσεως. Είναι μία ηλεκτροκίνητη αντλία, η οποία χρησιμεύει έτσι ώστε να λιπώνει τα κύρια μέρη της κύριας μηχανής. Αυτή η δουλειά γίνεται μέσω υποπίεσης.

➤ Η αντλία ψύξεως κυλίνδρων και πωμάτων. Αναρροφά αποσταγμένο νερό και το στέλνει περιμετρικά των κυλίνδρων και των πωμάτων. Μέσω αυτού του δικτύου ψύχονται και οι καυστήρες πετρελαίου και οι βαλβίδες εξαγωγής των καυσαερίων.

➤ Η αντλία ψύξεως εμβόλων κύριας μηχανής. Είναι μια αντλία, η οποία κυκλοφορεί αποσταγμένο νερό ή λάδι στους χώρους ψύξεως των εμβόλων της κύριας μηχανής έτσι, ώστε να προστατευτούν από την υπερθέρμανση και πιθανή καταστροφή κατά τη λειτουργία τους.

➤ Η αντλία κυκλοφορίας θαλασσινού νερού. Είναι ηλεκτροκίνητη και παρέχει θαλασσινό νερό από την ίσαλο στα ψυγεία λαδιού και νερού.

➤ Ο φυγοκεντρικός διαχωριστήρας. Έχει σκοπό να φιλτράρει το υγρό που έχει μέσα διάφορες βρωμιές μέσω της περιστροφικής δύναμης. Υπάρχει ο φυγοκεντρικός διαχωριστήρας πετρελαίου, ο οποίος αποτελείται από μια αντλία προθέρμανσης, από φίλτρα και ρυθμιστές. Με αυτήν τη διάταξη επεξεργάζεται το πετρέλαιο έτσι, ώστε να είναι καθαρό με σκοπό να γίνει τέλεια καύση μέσα στον κύλινδρο. Επιπλέον υπάρχει και ο φυγοκεντρικός διαχωριστήρας ελαίου ο οποίος αποτελείται από αντλίες, φίλτρα και προθερμαντήρες λαδιού και έχει ως σκοπό να παρέχει καθαρό λάδι λιπάνσεως κατά τον πλου.

➤ Ο αεροσυμπιεστής. Είναι είτε ηλεκτροκίνητος, είτε ατμοκίνητος. Σκοπό έχει την παραγωγή αέρα υπό μεγάλη πίεση για την προκίνηση και το χειρισμό της κύριας μηχανής. Υπάρχει και ο βοηθητικός ηλεκτροκίνητος αεροσυμπιεστής, ο οποίος εκκινεί και σταματά αυτόματα και τροφοδοτεί με πεπιεσμένο αέρα όλους τους αυτόματους ρυθμιστικούς μηχανισμούς.

Άλλοι κινητήρες που σχετίζονται με την πρόωση είναι:

- Μηχανήματα χειρισμών. Δεν εξαρτώνται από την πρόωση του πλοίου. Η πηδαλιούχηση είναι ένα από αυτά τα συστήματα, το οποίο αποτελείται από ένα σύνολο μηχανημάτων και μηχανισμών έτσι, ώστε να εκτελείται ο μηχανισμός του πηδαλίου.
- Ο προωραίος έλικας χειρισμού. Είναι ένας έλικας μεταβλητού βήματος, ο οποίος βρίσκεται μέσα σε οριζόντιο οχετό που διαπερνά το σκάφος εγκάρσια στο προωραίο κάτω από την ίσαλο. Λαμβάνει κίνηση από μια μηχανή, η οποία βρίσκεται πλώρα της δεξαμενής ζυγοστάθμισης. Σκοπό έχει να διευκολύνει την κίνηση της πλώρης δεξιά και αριστερά .
- Ο σταθεροποιητής. Έχει ως σκοπό να μειώσει το διατοίχιση του πλοίου. Στα πλάγια του σκάφους εξέχουν δύο πτερύγια, τα οποία έχουν σκοπό να μη δημιουργούν ώθηση τα κύματα της θάλασσας.

- Εργάτες και βαρούλκα πρόσδεσης. Χρησιμοποιούνται για το αγκυροβόλιο, την πλαγιοδέτηση κα. Αυτά τα μηχανήματα μπορεί να είναι είτε ηλεκτροκίνητα, είτε υδραυλικά.

Για τα μηχανήματα ασφαλείας πρέπει να αναφερθεί ότι βρίσκονται διασκορπισμένα σε όλο το πλοίο και μπορεί κάποια από αυτά να εξυπηρετούν την προωστήρια εγκατάσταση. Ένα από αυτά είναι η αντλία πυρκαγιάς. Η αντλία αυτή εξυπηρετεί πολλούς σκοπούς. Βρίσκεται κυρίως σε καίρια σημεία. Ο βασικός σκοπός τους είναι να προμηθεύουν τις μάνικες νερού για την κατάσβεση πυρκαγιών. Επιπλέον εξυπηρετούν και την παραγωγή και εκτόξευση αφρού (FOAM). Επίσης συνδέεται και με τα δίκτυα νερού ψύξης, πλύσης και εξάντλησης κυτών.

Η αντλία εκτοξευτήρων νερού και κατάσβεσης πυρκαγιάς είναι μια αντλία κυρίως για επιβατηγά πλοία και εξυπηρετεί τα δωμάτια ενδιαιτήσεων του πληρώματος και των επιβατών. Σκοπό έχει να παρέχει νερό μέσω μικρών εκτοξευτήρων νερού (sprinklers) σε περίπτωση φωτιάς σε αυτά τα δωμάτια.

Η αντλία κύτους είναι μία αντλία, η οποία αναρροφά ακάθαρτα νερά από το κύτος του μηχανοστασίου, ηλεκτροστασίου και λεβητοστασίου και τα καταθλίβει έξω από το πλοίο.

Η αντλία κινδύνου αντλήσεως κυτών είναι μία αντλία η οποία είναι ειδικής κατασκευής. Το προτέρημά της είναι ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί και όταν αυτή είναι βυθισμένη σε νερό. Όπως λέει και το όνομα της είναι για καταστάσεις κινδύνου έτσι ώστε να αντληθούν τα απόβλητα νερά εκτός πλοίου.

Τέλος είναι τα μηχανήματα χειρισμού θυρών στεγανών φρακτών. Σε κάθε φρακτή υπάρχει και ένας μηχανισμός, ο οποίος σφραγίζει στεγανά τη φρακτή έτσι, ώστε να μην υπάρχει εισροή νερού ή καπνού και στα αλλά διαμερίσματα σε περίπτωση πυρκαγιάς ή διαρροής. Αυτό το κλείσιμο γίνεται είτε επιτόπια, είτε εξ αποστάσεως μέσω ηλεκτροκινήτων ή μέσω υδραυλικών κινητήρων. Επιπλέον υπάρχουν και αισθητήρες οι οποίοι προειδοποιούν το κέντρο έλεγχου (MCR) τότε μια θύρα ή φρακτή είναι κλειστή και τότε είναι ανοιχτή.

Τα μηχανήματα βοηθητικών χρήσεως είναι ανεξάρτητα από το σύστημα πρόωσης αν και βέβαια κάποια από αυτά εξυπηρετούν και την προωστήρια εγκατάσταση. Η αντλία γενικής χρήσεως είναι μια αντλία, η οποία παρέχει θαλασσινό νερό στα ψυγεία ελαίου των ηλεκτρομηχανών, των στροβιλαντλιών φορτίου, στη ψυκτική εγκατάσταση και στην πλύση του κύριου καταστρώματος, της αλυσίδας της άγκυρας κλπ. Το δίκτυο καταθλίψεως συνδέεται με εκείνο της κύριας αντλίας κυκλοφορίας και με το δίκτυο πυρκαγιάς. Η αναρρόφησή συνδέεται και με το δίκτυο εξάντλησης κυτών.

Άλλα μηχανήματα είναι τα ακόλουθα:

- ✓ Η αντλία υγιεινής είναι ηλεκτροκίνητη και παρέχει νερό στα αφοδευτήρια του πλοίου, καθώς επίσης και βοηθά σε ανάγκη τα βοηθητικά συστήματα ψύξεως.
- ✓ Η αντλία ποσίμου νερού είναι μία αντλία ηλεκτροκίνητη η οποία παρέχει πόσιμο νερό στο αντίστοιχο δίκτυο του πλοίου. Πρέπει να είναι συνεχώς υπό πίεση και αυτό επιτυγχάνεται μέσω πνεύμονα. Επίσης πρέπει να ενεργοποιείται και να απενεργοποιείται αυτόματα.
- ✓ Οι αντλίες έρματος έχουν σκοπό να μεταφέρουν την άντληση και την πλήρωση του έρματος από τη μία δεξαμενή στην άλλη.
- ✓ Η αντλία μεταγγίσεως πετρελαίου έχει σκοπό τη μετάγγιση του πετρελαίου από τη μια δεξαμενή στην άλλη, δηλαδή από τις δεξαμενές κατακαθίσεις στις δεξαμενές χρήσεως. Επιπλέον χρησιμεύουν και στη μεταφορά πετρελαίου από ένα πλοίο στο άλλο.

- ✓ Η ψυκτική εγκατάσταση είναι ένα σύνολο από μηχανήματα, τα οποία έχουν σαν στόχο τη διατήρηση μιας θερμοκρασίας στους θαλάμους αποθήκευσης των τροφίμων.
- ✓ Αφαλατωτές. Κύριο σκοπό έχουν μέσω κατάλληλης επεξεργασίας θαλασσινού νερού να μπορεί το πλήρωμα να χρησιμοποιήσει το επεξεργασμένο νερό
- ✓ Εγκατάσταση κλιματισμού. Η εγκατάσταση αυτή είναι ένα σύνολο από μηχανήματα, τα οποία έχουν σαν σκοπό να μεταφέρουν θερμό ή ψυχρό αέρα στους χώρους ενδιαιτήσεων.
- ✓ Εγκατάσταση αερισμού. Παρέχει ατμοσφαιρικό αέρα στους χώρους ενδιαιτήσεων μέσω δικτύου αγωγών. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω μίας ή και περισσοτέρων ηλεκτροκίνητων ανεμιστήρων. Κυρίως στους χώρους όπου είναι το μηχανοστάσιο, το ηλεκτροστάσιο, το λεβητοστάσιο και το αντλιοστάσιο υπάρχουν ανεμιστήρες όχι μόνο για την κατάθλιψη του ατμοσφαιρικού αέρα, αλλά και για την αναρρόφηση αυτού, διότι μέσα σε αυτά τα διαμερίσματα μπορεί να υπάρχουν και καυσαέρια.
- ✓ Μηχανήματα καθαρισμού νερού στα κύτη. Είναι διάφορα μηχανήματα, τα οποία έχουν σαν σκοπό να καθαρίσουν τα κύτη από λάδια και πετρέλαια έτσι ώστε να αποφευχθεί η ρύπανση του περιβάλλοντος.
- ✓ Μηχανήματα φορτίου. Αυτά τα μηχανήματα έχουν σαν στόχο την παραλαβή, αποθήκευση, μετακίνηση και εκφόρτωση του φορτίου ή του έρματος.
- ✓ Μέσα φορτοεκφόρτωσης. Είναι κάποια μηχανήματα είτε ηλεκτρικά, είτε υδραυλικά τα οποία χρησιμοποιούνται για να μεταφέρουν πράγματα στο πλοίο ή αντίστοιχα στο λιμένα.
- ✓ Μηχανήματα χειρισμού καλυμμάτων στομίων κυτών. Τα πώματα αυτά ποικίλουν, αλλά μπορούν να κλείσουν είτε χειροκίνητα, είτε και εξ αποστάσεως λεκτικά μέσω του αντίστοιχου πίνακα.
- ✓ Αντλίες υγρών φορτίων. Είναι αντλίες εμβολοφόρες ή φυγοκεντρικές οι οποίες χρησιμεύουν για την εκφόρτωση υγρών φορτίων, καθώς επίσης και για τον ερματισμό και τερματισμό.
- ✓ Αντλίες αποστραγγίσεως. Είναι αντλίες οι οποίες έχουν σαν στόχο να αδειάζουν τις δεξαμενές όταν οι φυγοκεντρικές αντλίες δεν μπορούν. Συνήθως οι φυγοκεντρικές αντλίες αφήνουν ελάχιστο υγρό μέσα στις δεξαμενές και αυτές οι αντλίες αδειάζουν τελείως τη δεξαμενή.

### 1.6.3 Φορτία σχετικά με τη ναυσιπλοΐα και τις τηλεπικοινωνίες

Τα ραντάρ ναυσιπλοΐας ανιχνεύουν πλοία στην επιφάνεια της θάλασσας, αλλά και αεροσκάφη στον αέρα. Επομένως είναι απαραίτητα τόσο στα εμπορικά πλοία κυρίως η ανίχνευση πλοίων, αλλά είναι απαραίτητα και στα πολεμικά πλοία. Κυρίως ανιχνεύουν πλοία ή αντικείμενα, τα οποία έχουν μεγαλύτερη θερμοκρασία από ότι το περιβάλλον (πύραυλοι). Τα ραντάρ αυτά ανιχνεύουν την απόσταση αυτών των αντικειμένων ακόμα και αν δεν είναι καθαρή η ατμόσφαιρα. Σκοπό έχουν την πλήρη εικόνα της θάλασσας σε μία ακτίνα καθορισμένη για τον ασφαλή πλου. Άλλα σχετικά μηχανήματα είναι τα εξής:

- ✓ Γυροσκοπική πυξίδα. Ίσως το πιο σημαντικό και απαραίτητο ναυτιλιακό όργανο. Αυτή η πυξίδα βοηθά έτσι ώστε να βρουν την πορεία του πλοίου, όσο και βοηθά και στις διοπτύσεις. Επιπλέον δείχνει τον αληθινό Βορρά. Αυτή η πυξίδα διακρίνεται στη γυροσκοπική πυξίδα, η οποία βασίζεται στην



ταχεία μεταβολή του ελεύθερου γυροσκοπίου με μηδενικό σφάλμα και στην μαγνητική πυξίδα, η οποία βασίζεται στη λειτουργία της μαγνητικής βελόνας. Η μαγνητική πυξίδα είναι και πιο διαδεδομένη.

- ✓ Ηλεκτρονικό σύστημα απεικόνισης χαρτών και πληροφοριών. Είναι ένα μηχανήμα το οποίο ενσωματώνει πολλά βοηθήματα. Μέσω μιας οθόνης μπορεί κανείς να δει την πορεία του πλοίου πάνω σε ηλεκτρονικούς χάρτες και άλλες διαφορές πληροφορίες, όπως πορείες των άλλων πλοίων, προορισμούς του κα
- ✓ Συσκευές εντοπισμού στίγματος GPS. Σκοπός αυτής της συσκευής είναι η παροχή ακριβούς θέσης του πλοίου με τη χρήση δορυφόρων. Είναι ένα παγκόσμιο δίκτυο, το οποίο αποτελείται από 24 δορυφόρους, όπου εντοπίζουν την ακριβή θέση, το υψόμετρο, την ταχύτητα και την κατεύθυνση της κίνησης.
- ✓ Δορυφορικές επικοινωνίες. Το σύστημα αυτό ιδρύθηκε το 1979 στο Λονδίνο και έχει σκοπό την παροχή τηλεπικοινωνιών στη ναυτιλία. Παρέχουν αυτή τη δυνατότητα σε 86 κράτη μελή μεταξύ αυτών και η Ελλάδα.

#### 1.6.4 Φορτία για το φωτισμό

Ο φωτισμός είναι ζωτικής σημασίας στο πλοίο. Συνήθως έχει τάση 110 Volt, τριών φάσεων, 60Hz ή 220Volts τριών φάσεων 50Hz. Το κάθε φωτιστικό σώμα έχει δύο φάσεις. Τα φωτιστικά στοιχεία είναι συνήθως λαμπτήρες φθορισμού.

Ο φωτισμός ανάγκης είναι συνήθως λαμπτήρες φθορισμού, οι οποίες έχουν τάση 12V DC. Σε κατάσταση ανάγκης μπλακ άουτ, τότε η κάθε συστοιχία τροφοδοτείται από ισχύ μέσω αλκαλικών μπαταριών μέχρι να ξαναρχίσει η πρωτεύουσα τροφοδοσία. Στα φώτα ανάγκης είναι επίσης και τα έξυπνα φώτα:

- επιχειρησιακού φωτισμού,
- φώτα καταστρωμάτων και ιστών,
- προβολής σημάτων,
- φωτισμός προσανατολισμού,
- φωτισμός ανάγκης.

### 1.7 Συμπεράσματα

Στο κεφάλαιο αυτό έγινε μια περιγραφή σχετικά με τα συστήματα πρόωσης των ηλεκτρολογικών εξοπλισμών που είναι εγκατεστημένα στο πλοίο. Επιπλέον παρουσιάζονται τα διάφορα φορτία που καταναλώνει το πλοίο. Επίσης έχει γίνει μια εκτενής περιγραφή για το εξηλεκτρισμένο πλοίο. Στο δεύτερο κεφάλαιο θα γίνει μια αναλυτική περιγραφή σχετικά με τις κινητήριες μηχανές και τους τύπους γεννητριών που υπάρχουν.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

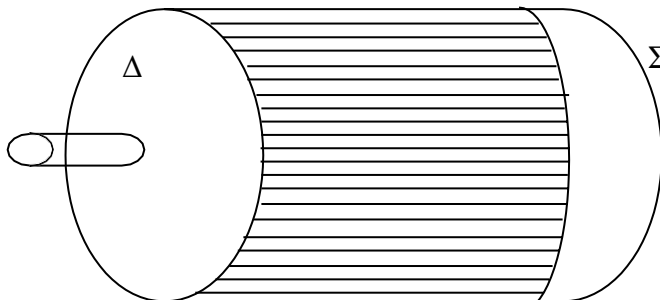
### Μονάδες Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας

#### 2.1 Μέρη συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

##### 2.1.1 Αρχή λειτουργίας περιστρεφόμενης μηχανής

Μια μηχανή χωρίζεται από δύο μέρη, το δρομέα (κινούμενο μέρος) ο οποίος συμβολίζεται από το γράμμα Δ και το στάτη (το σταθερό μέρος), ο οποίος συμβολίζεται από το γράμμα Σ. Η φορά περιστροφής είναι είτε δεξιόστροφη, είτε αριστερόστροφη και δηλώνεται με ένα βελάκι στο κινητήριο μέρος.

Η περιστροφή του άξονα σε μια τριφασική γεννήτρια εναλλασσόμενου ρεύματος έχει σαν αποτέλεσμα την παραγωγή ρεύματος (I) και τάσης (V) που τροφοδοτούν το δίκτυο. Αυτή η λειτουργία ισχύει όταν η φορά περιστροφής είναι είτε αριστερόστροφη, είτε δεξιόστροφη.



Σχήμα 2.1: Περιστρεφόμενη μηχανή

Για τις σύγχρονες μηχανές η ταχύτητα περιστροφής τους ορίζεται από την σχέση 1.13 δηλαδή  $\omega$  [σα]  $= \frac{p}{s} \cdot f$  όπου  $f$  είναι η συχνότητα και  $p$  ο αριθμός των ζευγών των πόλων. Οι σύγχρονες μηχανές μπορούν να λειτουργήσουν είτε ως γεννήτρια, είτε ως κινητήρας. Ως κινητήρας η μέγιστη ροπή εξαρτάται από τις διαστάσεις της μηχανής, την τάση δικτύου (U) και τη διέγερση (E).

Η μέγιστη θερμοκρασία του κινητήρα είναι το γινόμενο μιας σταθεράς (K) πολλαπλασιασμένη επί την τάση του δικτύου (U) και τη διέγερση (E).

$$T_{max} = K * U * E \quad (2.1)$$

Αυτή η θερμοκρασία αντιπροσωπεύει τη θερμοκρασία όταν το μηχάνημα λειτουργεί στη μέγιστη ροπή του. Εάν το φορτίο της μηχανής αυξάνεται πολύ ή αν η ροπή της μηχανής μειωθεί από τη μείωση της τάσης ή από το ρεύμα διέγερσης, τότε η σύγχρονη ταχύτητά του θα είναι διαφορετική από την ταχύτητα του δικτύου.

Η βασική κινητήρια δύναμη (για παράδειγμα από μια ντιζελομηχανή) επιταχύνει τη γεννήτρια έτσι ώστε να φτάσει στη σύγχρονη ταχύτητα. Στη συνέχεια η γεννήτρια διεγείρεται και συγχρονίζεται με το δίκτυο. Η εκκίνηση της γεννήτριας γίνεται αυτόματα από το σύστημα διέγερσης του ρεύματος. Στο δρομέα το τύλιγμα διέγερσης τροφοδοτείται με συνεχή τάση. Παλαιότερα αυτό γινόταν μέσω κατάλληλου μηχανικού συστήματος ψηκτρών και δικτύου συνεχούς τάσης. Σήμερα χρησιμοποιείται σύστημα αυτοδιέγερσης χωρίς ψήκτρες, στο οποίο ουσιαστικά στο δρομέα υπάρχει μια βοηθητική γεννήτρια εναλλασσόμενου ρεύματος, η οποία έχει συνδεθεί με μια γέφυρα διόδων για να ανορθώσει την τάση όπου καταλήγει στο κύριο τύλιγμα διέγερσης του δρομέα. Το τύλιγμα διέγερσης συνεχούς ρεύματος της βοηθητικής γεννήτριας είναι στο στάτη, οπότε δεν χρειάζεται η χρήση ψηκτρών.

Οι γεννήτριες είναι συνήθως συνδεδεμένες με ένα ρυθμιστή διέγερσης, ο οποίος διατηρεί την τάση σταθερή χωρίς να μεταβάλλεται με τις μεταβολές του φορτίου, τις μεταβολές της θερμοκρασίας και τις μεταβολές της συχνότητας. Επιπλέον αυτός ο ρυθμιστής ρυθμίζει και την άεργο ισχύ και το συντελεστή ισχύος.

### 2.1.2 Διατάξεις ασφαλείας

Κάθε πλοίο πρέπει να έχει κάποιο σύστημα έτσι, ώστε να μπορεί να έχει μια πλήρη εικόνα των μηχανημάτων κατά τη διάρκεια λειτουργίας τους. Στα εκσυγχρονισμένα πλοία υπάρχει η δυνατότητα της επίβλεψης των μηχανημάτων είτε κατευθείαν από τα μηχανήματα, είτε μέσω του κέντρου ελέγχου (MCR). Πιο συγκεκριμένα κατευθείαν επίβλεψη γίνεται όταν ένα άτομο πάει σε κάθε μηχανήμα και ελέγχει την πίεση, θερμοκρασία, καθώς και τις στάθμες λαδιού, πετρελαίου, νερού μέσω κάποιων μανομέτρων και θερμομέτρων. Επιπλέον βλέπει εάν υπάρχει κάποια διαρροή σε κάποιο μηχανήμα ή κάποια εστία φωτιάς στο χώρο. Συνήθως αυτότο άτομο του πληρώματος κατεβαίνει κάθε μια ώρα. Συγκεντρώνει όλες τις μετρήσεις και τις παραδίδει στο κέντρο έλεγχου, όπου τις βλέπει ο υπεύθυνος. Για τον έλεγχο από το Κέντρο Ελέγχου έχουν τοποθετηθεί αισθητήρες στα μηχανήματα, οι οποίοι μετράνε την πίεση, τη θερμοκρασία, καθώς επίσης και στάθμες πετρελαίου, νερού και λαδιού. Στο Κέντρο Έλεγχου υπάρχει μία οθόνη, η οποία ψηφιακά δείχνει αυτές τις μετρήσεις. Εάν κάποια τιμή ξεπεράσει την προβλεπόμενη, τότε δίνεται σχετικός συναγερμός (ένδειξη ALARM), ενώ σε κάποιες περιπτώσεις σταματάει και το αντίστοιχο μηχανήμα. Συνήθως ο πιο σωστός τρόπος είναι ο συνδυασμός των δύο αυτών μεθόδων παρακολούθησης μηχανημάτων, διότι με αυτό τον τρόπο ελέγχεται εάν υπάρχει κάποιο πρόβλημα είτε στα όργανα μέτρησης, είτε στο σύστημα. Σκοπός όλου αυτού είναι η πρόληψη ή η έγκαιρη αντιμετώπιση των. Ένα τέτοιο σύστημα είναι το σύστημα Ampere στα αρματαγωγά του Π.Ν.

Οι πίνακες είναι τοποθετημένοι στα διάφορα διαμερίσματα του πλοίου ανάλογα με τα συστήματα που τροφοδοτούνται. Για παράδειγμα ο πίνακας των ραντάρ είναι κοντά στην κύρια γέφυρα, ενώ ο πίνακας για το σύστημα κλιματισμού του πλοίου βρίσκεται κοντά στο μηχανήμα παράγωγης ψυχρού αέρα. Όλα τα βοηθητικά συστήματα, όπως ρελέ και μετασηματιστές, είναι τοποθετημένα ανάλογα με της ανάγκες σχεδιασμού. Κάθε κύριος πίνακας στο εσωτερικό του είναι εφοδιασμένος με θερμοαντικές αντιστάσεις για να απομάκρυνση της υγρασίας. Επιπλέον για την πρόσβαση στο εσωτερικό του πρέπει να υπάρχει το κατάλληλο κλειδί. Για μεγαλύτερη ασφάλεια πρέπει να επιθεωρούνται οι καλωδιώσεις στο εξωτερικό μέρος του πίνακα για τυχούσες φθορές.

## 2.2 Κινητήριος μηχανή

### 2.2.1 Μηχανή Ντίζελ

Οι ντιζελομηχανές είναι μηχανές εσωτερικής καύσης, οι οποίες είναι εμβολοφόρες, παλινδρομικές. Αυτές οι μηχανές χρησιμοποιούνται σε αυτοκίνητα, τρένα, στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά και σε πλοία. Στις θαλάσσιες εφαρμογές, αυτή η μηχανή έχει εύρος από 1MW μέχρι και 80MW. Έχουν επικρατήσει στις θαλάσσιες εφαρμογές, διότι:

- Έχουν υψηλή αξιοπιστία.
- Μπορούν να χρησιμοποιηθούν και με καύσιμο χαμηλής ποιότητας.
- Έχουν μεγάλο βαθμό απόδοσης.
- Το κόστος τόσο στη λειτουργία τους, όσο και στην αρχική εγκατάσταση είναι μικρό.
- Η τεχνολογία τους είναι απλή.

Τα μειονεκτήματα αυτής της μηχανής είναι:

- Η μεγάλη εκπομπή καυσαερίων
- Η χαμηλή πυκνότητα ισχύος σε σχέση με τους αεριοστροβίλους.

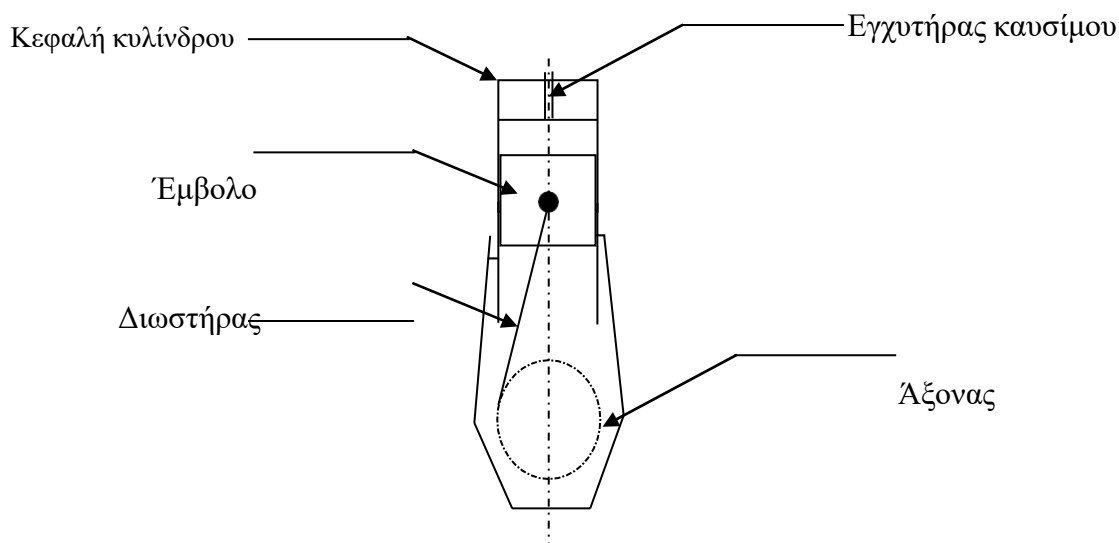
Από πλευρά κατασκευής, όπως έχει προαναφερθεί, χωρίζονται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με τον τρόπο σχεδίασης των κυλίνδρων, όπου είναι εν σειρά εάν οι κύλινδροι είναι σε μία νοητή ευθεία και σε διάταξη V, όπου οι κύλινδροι είναι σε δύο ομάδες ίσες και έχουν γωνία μεταξύ τους. Γενικά η μετατροπή της χημικής ενέργειας σε μηχανική γίνεται μέσα στον κύλινδρο. Η μηχανική ενέργεια μέσα στον κύλινδρο είναι παλινδρομική και μέσω του διωστήρα γίνεται περιστροφική. Ο διωστήρας στο ένα άκρο συνδέεται με το έμβολο του κυλίνδρου και το άλλο άκρο του με τον άξονα. Η κύρια διαφορά μεταξύ αυτών των δύο διατάξεων είναι το ότι η διάταξη σε σχήμα V έχει μικρότερο όγκο από την εν σειρά με ίδιο αριθμό κυλίνδρων.

#### 2.2.1.1 Βασικά μέρη μηχανής ντίζελ

Στο σχήμα 2.2 απεικονίζεται μια τομή μιας μηχανής ντίζελ. Το σώμα του κυλίνδρου είναι ένα στοιχείο της μηχανής, το οποίο στο εσωτερικό του υπάρχει το χιτώνιο. Είναι μια πολύπλοκη κατασκευή, αφού εμπεριέχει εκτός από τους κυλίνδρους και τους θαλάμους κυκλοφορίας του νερού ψύξεως και τμήμα των αγωγών κυκλοφορίας του λαδιού.

Ο εγχυτήρας είναι τοποθετημένος στην κεφαλή του κυλίνδρου και σκοπό έχει να ψεκάσει με τέτοιο τρόπο το θάλαμο καύσης έτσι, ώστε να διασκορπίζεται ομοιόμορφα το πετρέλαιο στο θερμό χώρο. Είναι τοποθετημένος σε τέτοιο σημείο όπου δέχεται μεγάλες πιέσεις και μεγάλες μεταβολές της θερμοκρασίας στο θάλαμο καύσης των κυλίνδρων

Το χιτώνιο είναι ένα τμήμα της μηχανής, το οποίο έχει σχήμα κυλινδρικό. Μέσα στο χιτώνιο βρίσκεται το έμβολο και με την παλινδρόμησή του γίνεται η καύση του καυσίμου. Έτσι τα χιτώνια κατασκευάζονται από ειδικά κράματα, ώστε να αντέχουν στις πιέσεις, τις υψηλές θερμοκρασίες και τις τριβές από το έμβολο. Η κατασκευή τους μπορεί να είναι είτε ενιαία, είτε τμηματική, ώστε να υπάρχει η δυνατότητα να αλλαχτούν τα τμήματα που καταπονούνται περισσότερο, όπως είναι η περιοχή του ANΣ (Ανω Νεκρό Σημείο).



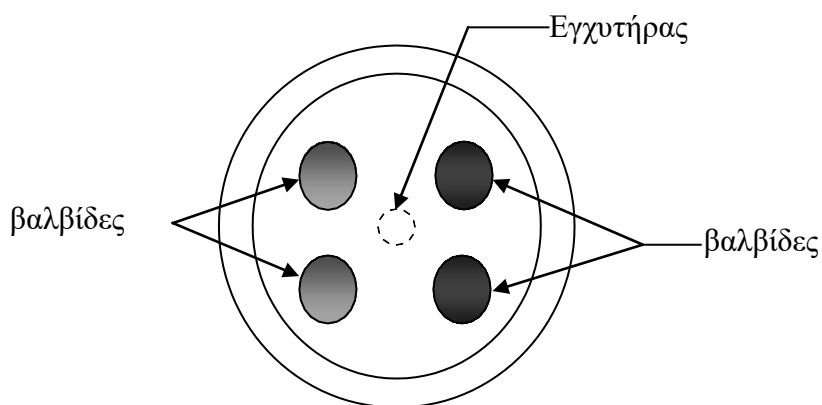
Σχήμα 2.2 Κύρια μέρη μηχανής ντίζελ

Υπάρχουν δύο τύποι χιτώνιου

- τα υγρά χιτώνια,
- τα ξηρά χιτώνια.

Τα υγρά χιτώνια έρχονται είτε σε άμεση επαφή με το ψυκτικό υγρό ψεκάζοντας το χιτώνιο, είτε περνάνε εξωτερικά κάποιοι αγωγοί. Στα ξηρά χιτώνια το χιτώνιο δεν έρχεται σε επαφή με το ψυκτικό υγρό και η ψύξη επιτυγχάνεται με αγωγή θερμότητας προς το ψυχρό μέρος.

Η κεφαλή του κυλίνδρου βιδώνει πάνω στο χιτώνιο και δημιουργείται το πάνω μέρος του εμβόλου. Κάθε κύλινδρος έχει τη δική του κεφαλή. Επιπλέον στην κεφαλή βρίσκονται οι βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής, ο εγχυτήρας καυσίμου, η ασφαλιστική βαλβίδα προς αποφυγή υπερπίεσης, καθώς και ο δυναμωτικός κρουνός για τη λήψη διαγραμμάτων για τον έλεγχο καύσης. Η ψύξη της κεφαλής γίνεται με κατάλληλους εσωτερικούς αγωγούς, που επικοινωνούν με τους αγωγούς του κυλίνδρου.



Σχήμα 2.3: Πάνω όψη κεφαλής κυλίνδρου

Οι βαλβίδες είναι ρυθμισμένες έτσι ώστε με το άνοιγμα και το κλείσιμο τους στις κατάλληλες χρονικές στιγμές να εισάγεται ο κατάλληλος αέρας και καύσιμο για τη ζητούμενη απόδοση της μηχανής. Η κίνησή τους γίνεται μέσω του εκκεντροφόρου άξονα.

Σε κάθε κύλινδρο τετράχρονης μηχανής υπάρχουν τουλάχιστον δύο βαλβίδες μία για την εισαγωγή αέρα και μία για την εξαγωγή των καυσαερίων. Υπάρχει όμως και η δυνατότητα να υπάρχουν και περισσότερες βαλβίδες, όπου πάντα οι βαλβίδες εισαγωγής είναι περισσότερες από τις βαλβίδες εξαγωγής. Αυτό γίνεται έτσι, ώστε να καθαρίζονται οι κύλινδροι από τα καυσαέρια και να γίνεται η καλύτερη πλήρωση με ατμοσφαιρικό αέρα.

Κάθε βαλβίδα αποτελείται από την κεφαλή, το στέλεχος και την ουρά. Η κεφαλή έχει σχήμα μανιταριού. Αυτό το τμήμα, όταν η βαλβίδα είναι κλειστή, εφάπτεται στην αντίστοιχη έδρα της κεφαλής του κυλίνδρου. Το στέλεχος έχει σχήμα κυλινδρικό και μεταφέρει την κίνηση στην κεφαλή. Η ουρά είναι το ανώτερο τμήμα της βαλβίδας, όπου έχει εγκοπές και είναι για την επαναφορά του ελατηρίου.

Η κατασκευή των βαλβίδων γίνεται από χρωμονικελιούχο χάλυβα, κράματα νικελίου ή κράματα κοβαλτίου, επειδή αυτά τα υλικά έχουν υψηλή θερμοκρασιακή αντοχή. Για την καλύτερη στεγανοποίηση του κυλίνδρου από τις βαλβίδες γίνεται ειδική κατεργασία στις βαλβίδες.

Το έμβολο είναι ένα εργαλείο το οποίο παράγει το ωφέλιμο έργο και αυτό το οποίο εκτονώνει τα καυσαέρια. Παλινδρομεί μεταξύ του ΑΝΣ (Άνω Νεκρού Σημείου) και του ΚΝΣ (Κάτω Νεκρού Σημείου) εντός του κυλίνδρου. Σε συνεργασία με το διωστήρα και το στροφαλοφόρο άξονα αποτελούν το μηχανισμό μεταφοράς και μετατροπής της κίνησης.

Οι λειτουργίες που κάνει το έμβολο είναι:

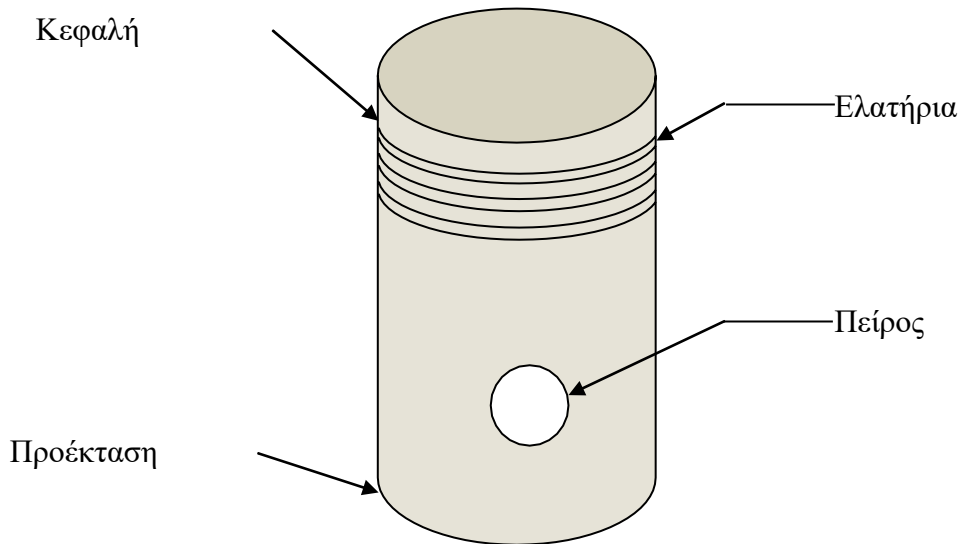
- Παραλαμβάνει την πίεση των καυσαερίων και τη μετατρέπει σε δύναμη στο διωστήρα μέσω του πείρου.
- Στεγανοποιεί το θάλαμο καύσης από το στροφαλοθάλαμο με τη βοήθεια των ελατηρίων συμπίεσης.

Το έμβολο χωρίζεται σε δύο κύρια μέρη που είναι η κεφαλή και η προέκταση. Η κεφαλή είναι το ανώτερο μέρος του εμβόλου, το οποίο καταπονείται περισσότερο. Κατασκευάζεται από χάλυβα, ενώ εσωτερικά είναι ειδικά διαμορφωμένη ενισχύοντας το σχηματισμό αυλακιών έτσι ώστε να περνά το λάδι ή το νερό ψύξεως και να ψύχει την κεφαλή.

Η προέκταση ή αλλιώς ποδιά κατασκευάζεται από χυτοσίδηρο με σφαιροειδή γραφίτη για τη μείωση των τριβών. Πάνω του έχει εγκοπές έτσι, ώστε να τοποθετηθούν τα ελατήρια λίπανσης και αποξέσεως του λαδιού.

Η σύνδεση με το διωστήρα πραγματοποιείται μέσω ενός πείρου, ο οποίος βρίσκεται στο εσωτερικό του εμβόλου όπου ονομάζεται ομφαλός και επιτρέπει την ελεύθερη κίνηση της κεφαλής του διωστήρα.

Τα ελατήρια του εμβόλου εξασφαλίζουν την απαραίτητη στεγανοποίηση του χώρου καύσης έτσι, ώστε να υπάρχει η μεγαλύτερη συμπίεση του αέρα, να αποφεύγεται η παραμονή των καυσαερίων στο θάλαμο καύσης και να αποτρέπεται η εισροή του λαδιού λιπάνσεως.



Σχήμα 2.4: Έμβολο

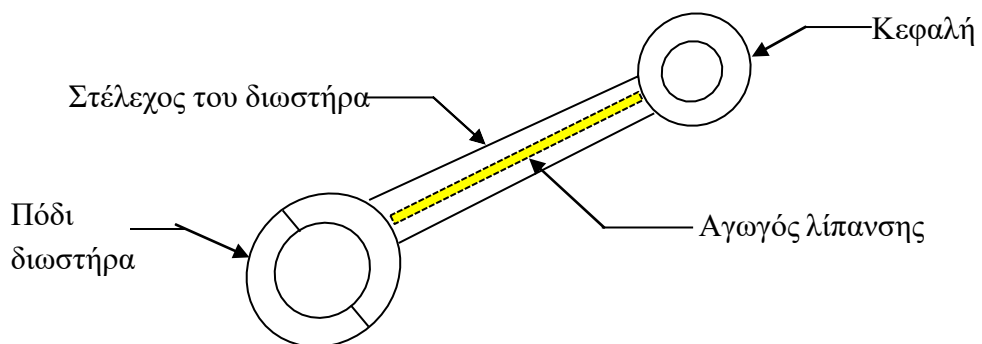
Υπάρχουν δύο είδη ελατηρίων :

- Ελατήρια συμπίεσης για τη στεγανοποίηση του θαλάμου καύσης.
- Ελατήρια λαδιού, τα οποία βοηθούν στην ομοιόμορφη διανομή του λαδιού λιπάνσεως και εμποδίζουν το λάδι να εισέρχεται στο θάλαμο καύσης.

Ο διωστήρας έχει σκοπό να μεταφέρει την ευθύγραμμη κίνηση του εμβόλου σε περιστροφική στο στροφαλοφόρο άξονα. Η κατασκευή του είναι από σφυρήλατο χάλυβα. Στα άκρα του έχει δύο οπές έτσι, ώστε να συνδέεται με τον πείρο και με το κομβίο του στροφαλοφόρου. Εσωτερικά του διωστήρα υπάρχει ένας αγωγός για τη μεταφορά του λιπαντικού υγρού.

Ο διωστήρας χωρίζεται σε τρία μέρη:

1. Την κεφαλή του διωστήρα: Είναι το ανώτερο μέρος του διωστήρα, το οποίο συνδέεται με το έμβολο μέσω του πείρου.
2. Το στέλεχος του διωστήρα: Είναι το μέσο το οποίο συνδέει τα δύο δακτυλίδια. Η μορφή του είναι διπλού ταν (H).
3. Το πόδι του διωστήρα: Είναι το άκρο του διωστήρα, το οποίο συνδέεται με το στροφαλοφόρο άξονα. Αποτελείται από δύο μέρη, τα οποία έχουν σχήμα ημικελύφους. Το ένα ημικέλυφος είναι συνδεδεμένο με το κάτω άκρο του στελέχους, ενώ το δεύτερο αγκαλιάζει το κόμβιο του στροφάλου.



Σχήμα 2.5: Διωστήρας

Ο στροφαλοφόρος άξονας μετατρέπει μέσω του διωστήρα την ευθύγραμμη κίνηση σε περιστροφική. Ο στροφαλοφόρος άξονας μεταδίδει την κίνηση στην προπέλα. Η κατασκευή του είναι σε πολλά διαιρετά τμήματα. Ο στροφαλοφόρος άξονας είναι το τμήμα της μηχανής το οποίο είναι το βαρύτερο και ακριβότερο τμήμα. Κατασκευάζεται από σφυρήλατο χάλυβα (χρωμονικελιούχο ανοξείδωτο χάλυβα) άριστης ποιότητας και υψηλής αντοχής.

Ο εκκεντροφόρος άξονας δέχεται κίνηση από το στροφαλοφόρο άξονα μέσω αλυσίδας (καδένα). Ο σκοπός του είναι να ανοιγοκλείνει τις βαλβίδες και να δίνει κίνηση και σε άλλα βοηθητικά μηχανήματα. Ο άξονας αυτός έχει έκκεντρα στοιχεία τα οποία με τη σωστή γωνία και θέση καθορίζουν την ταχύτητα των βαλβίδων του κυλίνδρου.

### 2.2.1.2 Αρχή λειτουργίας

Οι τετράχρονες μηχανές ντίζελ αποτελούνται από τέσσερις φάσεις και ολοκληρώνονται σε τέσσερις χρόνους (διαδρομές εμβόλου από το ΑΝΣ στο ΚΝΣ). Ένας πλήρης κύκλος είναι δύο στροφές του στροφαλοφόρου (720°). Για την ανάλυση του κύκλου γίνεται η έξης παραδοχή: η μηχανή έχει ένα κύλινδρο και δύο βαλβίδες μια εξαγωγής και μια εισαγωγής.

Οι τέσσερις φάσεις είναι οι εξής:

1. εισαγωγή,
2. συμπίεση,
3. καύση-εκτόνωση,
4. εξαγωγή καυσαερίων.

Η εισαγωγή αποτελεί την πρώτη φάση λειτουργίας της μηχανής. Το έμβολο βρίσκεται στο ΑΝΣ, ανοίγει η βαλβίδα εισαγωγής, ενώ η βαλβίδα εξαγωγής είναι κλειστή. Το έμβολο κινείται από το ΑΝΣ στο ΚΝΣ, αυξάνεται ο όγκος στον κύλινδρο και μειώνεται ταυτόχρονα η πίεση. Ο ατμοσφαιρικός αέρας εισέρχεται από τη βαλβίδα εισαγωγής και καταλαμβάνει τον όγκο του κυλίνδρου. Η κίνηση του εμβόλου γίνεται από το στροφαλοφόρο άξονα.

Όταν το έμβολο φθάσει στο ΚΝΣ, ολοκληρώνεται η φάση της εισαγωγής και κλείνει η βαλβίδα εισαγωγής. Όλος ο όγκος του κυλίνδρου είναι γεμάτος με ατμοσφαιρικό αέρα.

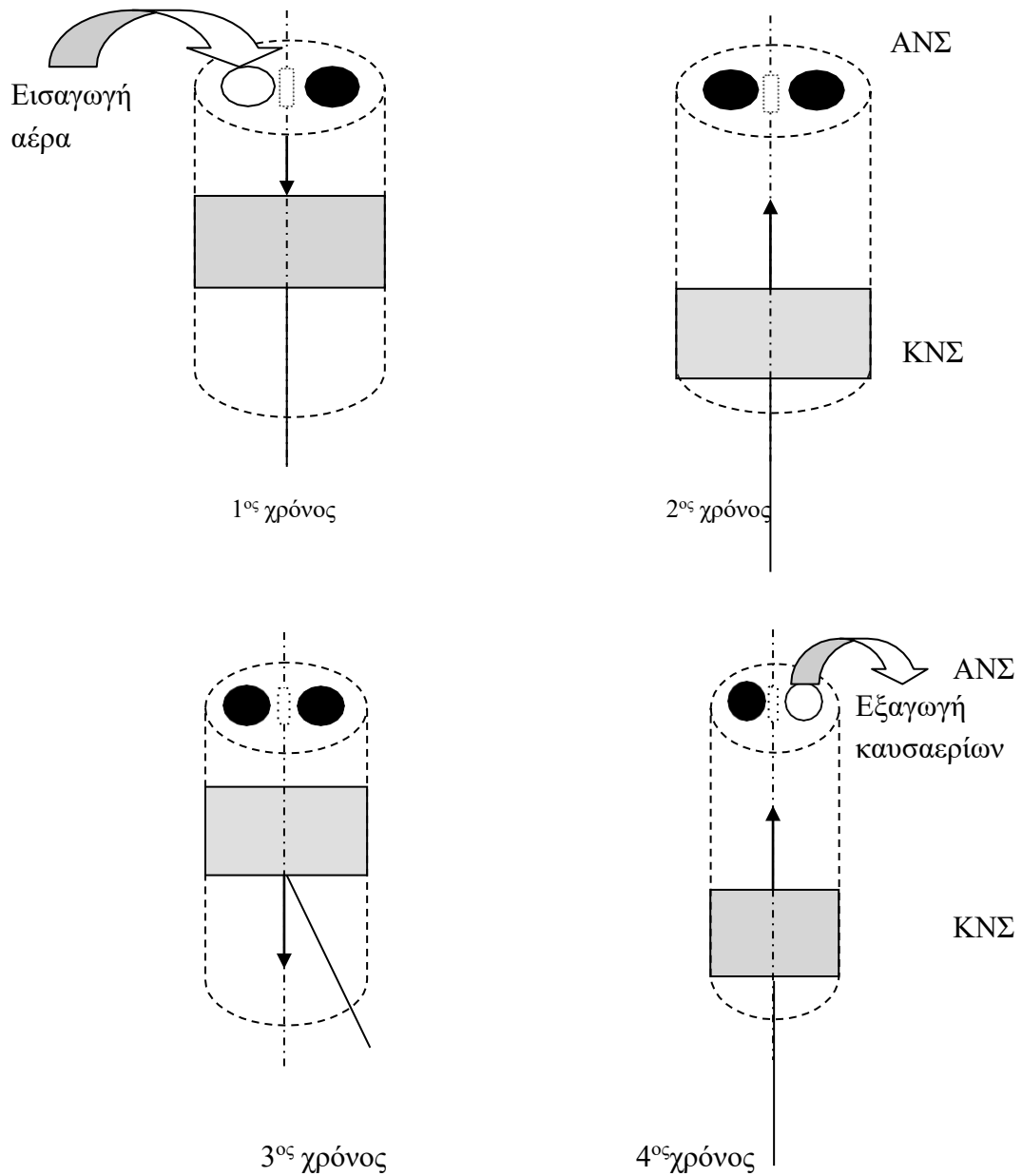
Η δεύτερη φάση είναι η συμπίεση και ξεκινάει με το έμβολο να είναι στο ΚΝΣ και οι βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής να είναι κλειστές έτσι, ώστε να είναι στεγανός ο θάλαμος καύσης. Το έμβολο κινείται από το ΚΝΣ στο ΑΝΣ, μειώνει τον όγκο του κυλίνδρου, με αποτέλεσμα να αυξάνει την πίεση του αέρα. Όταν το έμβολο φτάσει στο ΑΝΣ, ο όγκος του αέρα έχει περιοριστεί στον ελάχιστο όγκο μεταξύ πώματος και εμβόλου. Το έμβολο αντλεί ενέργεια από το στροφαλοφόρο άξονα.

Η τρίτη φάση είναι η καύση-εκτόνωση και ξεκινάει με το έμβολο να βρίσκεται στο ΑΝΣ και τις βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής να είναι κλειστές. Ο αέρας μέσα στον κύλινδρο είναι σε υψηλή πίεση και κατά συνέπεια υψηλή θερμοκρασία έτσι, ώστε μόλις ψεκαστεί από τον εγχυτήρα με νέφος μικροσκοπικών σταγονιδίων πετρελαίου να γίνει αυτανάφλεξη. Η μεγάλη πίεση των καυσαερίων ωθεί το έμβολο προς το ΚΝΣ. Μόλις φτάσει στο ΚΝΣ τελειώνει η τρίτη φάση.

Η τελευταία φάση είναι η εξαγωγή των καυσαερίων. Το έμβολο βρίσκεται στο ΚΝΣ. Με την έναρξη της τελευταίας φάσης το έμβολο πάει από το ΚΝΣ στο ΑΝΣ ανοίγοντας τη βαλβίδα εξαγωγής, ενώ η βαλβίδα εισαγωγής παραμένει κλειστή. Τα καυσαέρια εξέρχονται από τη βαλβίδα εξαγωγής και ωθούνται προς την ατμόσφαιρα.



Η τελική φάση τελειώνει, όταν το έμβολο φτάσει στο ΑΝΣ, και κλείνει η βαλβίδα εξαγωγής.



Σχήμα 2.6: Τέσσερις χρόνοι πετρελαιομηχανής

### 2.2.1.3 Ο κύκλος ιδανικού αερίου

Ο ιδανικός κύκλος είναι ένας θερμοδυναμικός κύκλος, ο οποίος περιγραφεί τη λειτουργία μιας πετρελαιομηχανής με μεγάλη ακρίβεια. Αποτελείται από τις έξις πέντε μεταβολές:

1. Ισεντροπική συμπίεση του αέρα κατά τη μεταβολή 1-2,
2. Απορρόφηση θερμότητας υπό σταθερό όγκο κατά τη μεταβολή 2-3,
3. Απορρόφηση υπό σταθερή πίεση κατά τη μεταβολή 3-4,

4. Ισεντροπική εκτόνωση του αέρα κατά τη μεταβολή 4-5,
5. Αποβολή θερμότητας υπό σταθερό όγκο κατά τη μεταβολή 5-1 και κλείνει ο κύκλος.

Η συναλλαγή θερμότητας πραγματοποιείται σε πρώτη φάση υπό σταθερό όγκο και μετά υπό σταθερή πίεση.



Σχήμα 2.7: Τυπικά διαγράμματα P-V και T-S

Τα χαρακτηριστικά αυτού του κύκλου είναι:

1. Το έργο  $W$  είναι το εμβαδόν του κύκλου 123451 και στα δύο πιο πάνω διαγράμματα.
2. Η θερμότητα που προσδίδεται στη μηχανή  $Q_{24}$  είναι στη μεταβολή 2-3 και 3-4 και ισούται με το εμβαδόν κάτω από τις καμπύλες 2-3 και 3-4 στο διάγραμμα T-S.
3. Η αποβαλλόμενη θερμότητα  $Q_{51}$  είναι το εμβαδόν κάτω από την καμπύλη 51 στο διάγραμμα T-S.

Ο θερμοκός βαθμός απόδοσης ορίζεται ως ο λόγος του αποδιδόμενου έργου προς την προσδιδόμενη θερμότητα. Από το πρώτο θερμοδυναμικό αξίωμα προκύπτει ότι:

$$W = Q_{24} - Q_{51} = Q_{23} + Q_{34} - Q_{51} \quad (2.2)$$

Άρα ο βαθμός απόδοσης είναι:

$$n = \frac{W}{Q_{24}} = \frac{Q_{24} - Q_{51}}{Q_{24}} = 1 - \frac{Q_{51}}{Q_{24}} \quad (2.3)$$

Το συνολικό θεωρητικό έργο εξόδου είναι το άθροισμα των έργων σε κάθε μεταβολής, δηλαδή:

$$W = W_{12} + W_{23} + W_{34} + W_{45} + W_{51} \quad (2.4)$$

Αλλά οι μεταβολές 2-3 και 5-1 είναι ισόογκες, οπότε τα έργα τους είναι μηδέν, δηλαδή:

$$W = W_{12} + W_{34} + W_{45} \quad (2.5)$$

## 2.2.2 Αεριοστρόβιλος

### 2.2.2.1 Γενικά

Ο αεριοστρόβιλος είναι μια θερμική μηχανή, η οποία μετατρέπει ένα μέρος της χημικής ενέργειας σε περιστροφική μέσω ενός άξονα. Αυτή η θερμική μηχανή κυριαρχεί κυρίως στις αεροπορικές εγκαταστάσεις, αλλά δεν απουσιάζει και από τις θαλάσσιες εφαρμογές. Το εύρος της μηχανικής ισχύος είναι από 4MW μέχρι και 500MW.

Τα πλεονεκτήματα αυτής της θερμικής μηχανής είναι:

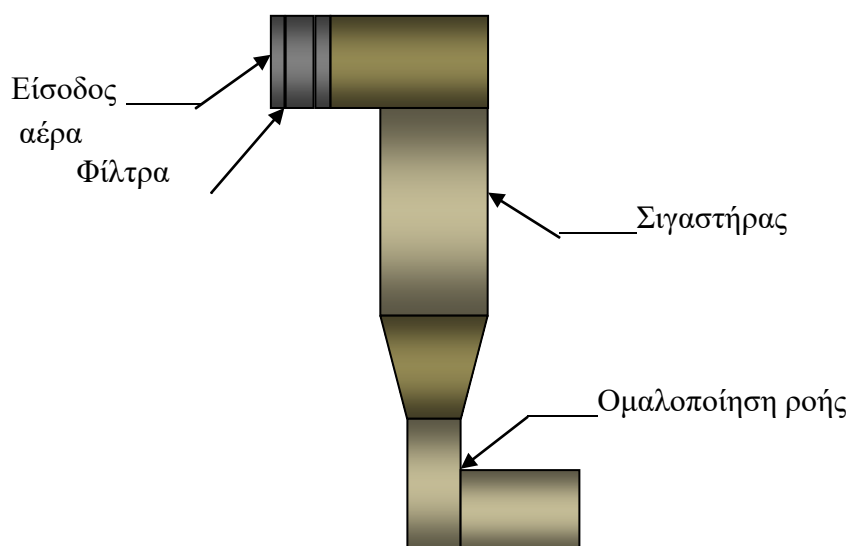
- Χαμηλή εκπομπή NOx.
- Δεν υπάρχουν τμήματα που εκτελούν παλινδρομική κίνηση.
- Χρειάζεται ελάχιστη λίπανση.
- Μεγάλη αξιοπιστία.
- Δεν καταλαμβάνει μεγάλο όγκο σε σχέση με μια μηχανή ντίζελ ίδιας ισχύος.

Τα μειονεκτήματα αυτής της διάταξης είναι:

- Η υψηλή θερμοκρασία στρόβιλου.
- Ο μικρός βαθμός απόδοσης έναντι των μηχανών ντίζελ.
- Η χρήση υψηλής ποιότητας καυσίμου.

Μια απλή διάταξη αποτελείται από έναν αγωγό εισόδου, ένα συμπιεστή, τοθάλαμο καύσης, το στρόβιλο (τουρμπίνα) και έναν αγωγό εξόδου καυσαερίου.

Πιο συγκεκριμένα, ο αγωγός εισόδου πρέπει να είναι τέτοιος έτσι, ώστε να ομαλοποιεί τη ροή του αέρα που εισάγεται στη μηχανή. Επιπλέον έχει φίλτρα έτσι, ώστε να απομακρύνει τυχόντα σκουπίδια, αλλά και να απομακρύνει τις διάφορες σταγόνες από το θαλάσσιο περιβάλλον. Η ύπαρξη των φίλτρων είναι σημαντική, διότι προστατεύει τα πτερύγια του συμπιεστή από τη διάβρωση και παράλληλα η ύπαρξη άλατος μπορεί μέσω του αέρα να διαβρώσει τα πτερύγια του στρόβιλου.



Σχήμα 2.8: Αγωγός εισόδου

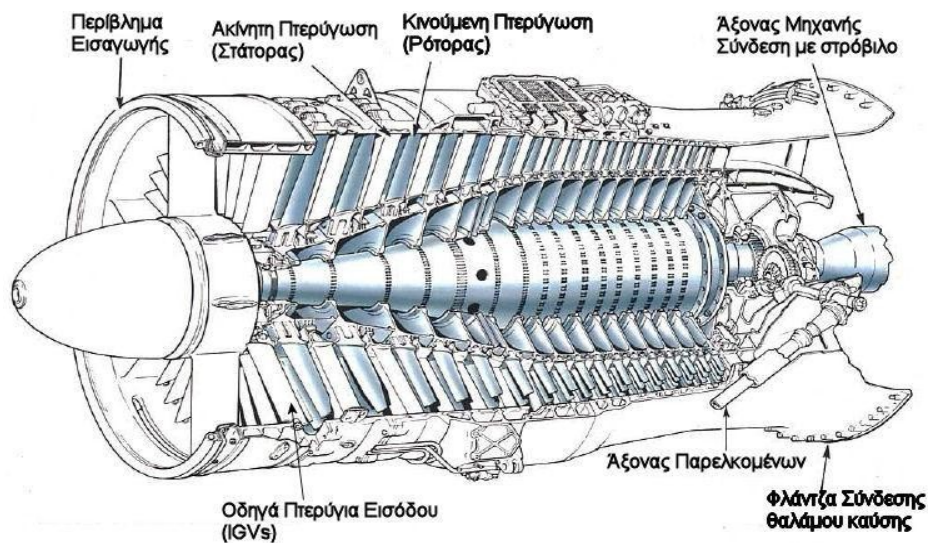
Οι συμπιεστές που χρησιμοποιούνται στους αεριοστροβίλους χωρίζονται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με την κατεύθυνση της ροής και είναι οι εξής:

- Αξονικής κατεύθυνσης
- Ακτινικής κατεύθυνσης

Στους αξονικούς συμπιεστές η κατεύθυνση του αέρα είναι παράλληλα προς τον άξονα της μηχανής. Ένας τέτοιος συμπιεστής έχει πολλές βαθμίδες όπου κάθε βαθμίδα του αποτελείται από μια κινητή και μια σταθερή πτερωτή. Σε αντίθεση με τους αξονικούς στους ακτινικούς ένα μέρος της ροής είναι κάθετη στον άξονα της μηχανής και συνήθως είναι μονοβάθμιοι.

Συνήθως σήμερα χρησιμοποιούνται οι αξονικοί συμπιεστές, διότι πλεονεκτούν στο βαθμό απόδοσης για μεσαίες και μεγάλες παροχές. Επιπλέον ένα ακόμα πλεονέκτημα είναι η μεγαλύτερη παροχή για την ίδια μετωπική επιφάνεια. Μειονεκτούν βέβαια στο ότι μια βαθμίδα αξονικού συμπίεση έχει μικρότερο λόγο πίεσης από μια βαθμίδα ακτινικού, αλλά με το συνδυασμό πολλών βαθμίδων αξονικών έχει βελτιωθεί ο λόγος πίεσης. Επίσης ο ακτινικός συμπιεστής είναι δύσκολο να συνδυαστεί σε πολλές βαθμίδες. Τελικά οι ακτινικοί συμπιεστές χρησιμοποιούνται σε μηχανές χαμηλής ισχύος, ενώ οι αξονικοί σε μεσαίες και υψηλές ισχύες.

Ο αξονικός συμπιεστής αποτελείται από πολλές βαθμίδες όπου η κάθε βαθμίδα αποτελείται και από μια περιστρεφόμενη και μια σταθερή πτερώγηση. Στην είσοδο του συμπιεστή υπάρχουν πτερώγια, τα οποία είναι είτε σταθερά, είτε περιστρεφόμενα, τα οποία οδηγούν τον αέρα στη σωστή κατεύθυνση. Τα σταθερά πτερώγια έχουν σαν σκοπό την επιβράδυνση του αέρα.



Σχήμα 2.9 : Αξονικός πολυβάθμιος συμπιεστής [9, σελίδα 37].

Ο εξερχόμενος αέρας από το συμπιεστή στη συνέχεια πάει στο θάλαμο καύσης. Το καύσιμο μέσω του εγχυτήρα αναμιγνύεται με το συμπιεσμένο αέρα. Το καύσιμο πρέπει να εγχυθεί στον αέρα έτσι ώστε να γίνει ο σωστός διασκορπισμός του. Επιπλέον πρέπει να γίνεται η πλήρης εξαέρωση του θαλάμου καύσης και να ξαναγεμίσει πάλι με συμπιεσμένο αέρα. Όλα αυτά πρέπει να γίνονται έτσι ώστε να γίνεται η μέγιστη εκμετάλλευση της ενέργειας του καύσιμου και να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις για καλή αξιοπιστία. Όσον αφορά το στρόβιλο, όπου έχει κινούμενα πτερώγια με μικρό πάχος, τα οποία δέχονται μηχανικές και θερμικές καταπονήσεις πρέπει να ελέγχεται η θερμοκρασία εξόδου του θαλάμου καύσης.

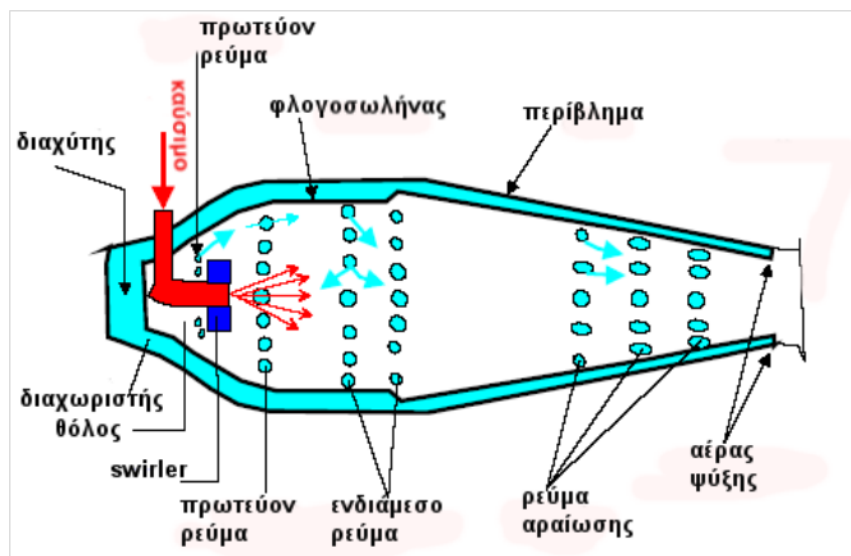
Ένας θάλαμος καύσης πρέπει να ικανοποιεί τις παρακάτω συνθήκες:

- Πρέπει να γίνεται πλήρης καύση.
- Πρέπει να έχει μικρές απώλειες πίεσης κατά την είσοδο και την έξοδο του.
- Να υπάρχει ευστάθεια της διεργασίας καύσης.
- Ομοιόμορφη κατανομή θερμότητας στην έξοδο του.
- Μικρό μήκος και μικρή εγκάρσια διατομή.
- Λειτουργία σε ευρεία περιοχή παροχών, πιέσεων και θερμοκρασιών.
- Δυνατότητα επανέναυσης.

Τα κύρια μέρη του θαλάμου καύσης είναι:

- Στην είσοδο του θαλάμου καύσης υπάρχει ένας διαχύτης, ο οποίος επιβραδύνει τη ροή του αέρα.
- Υπάρχει στο εσωτερικό του θαλάμου καύσης ένας διαχωριστής, ο οποίος διαχωρίζει το ρεύμα αέρα σε διάφορα ρεύματα αέρα.
- Ο θόλος δημιουργεί υψηλή τύρβη έτσι, ώστε να γίνεται η ανάμειξη του καύσιμου και του συμπιεσμένου αέρα. Γίνεται και συστροφή του αέρα.
- Ο φλογοσωλήνας, ο οποίος εμπεριέχει τη φλόγα.
- Ο εγχυτήρας καυσίμου, ο οποίος παρέχει το καύσιμο.
- Ο σπινθηριστής, ο οποίος χρησιμοποιείται κατά την πρώτη έναυση και τοποθετείται στο θόλο.

Στο θάλαμο καύσης υπάρχουν τρία κύρια ρεύματα αέρα: α) το πρωτεύον, β) το ενδιάμεσο και γ) το δευτερεύον. Το πρωτεύον ρεύμα δημιουργεί τοπικά στοιχειομετρικό μείγμα. Το ενδιάμεσο ρεύμα τροφοδοτεί πρόσθετο ρεύμα έτσι, ώστε να ελαττωθεί, όσο το δυνατόν το CO και να ολοκληρωθεί η καύση. Τέλος το ρεύμα αραίωσης ρυθμίζει την τελική θερμοκρασία εξόδου προς το στρόβιλο. Επιπλέον υπάρχει και ένα άλλο ρεύμα για τη ψύξη του θαλάμου καύσης.



Σχήμα 2.10: Κατανομή αέρα στο θάλαμο καύσης [9 σελίδα 95].

Οι διατάξεις του θαλάμου καύσης είναι :

- Σωληνοειδής.

- Δακτυλιοειδής.
- Σωληνοδακτυλιοειδής.

Τα καυσαέρια του θαλάμου καύσης στη συνέχεια οδεύουν στο στρόβιλο. Ο στρόβιλος είναι η συνιστώσα στην οποία παράγεται η ισχύς. Τα καυσαέρια από το θάλαμο καύσης προσπίπτουν στη φτερωτή του στροβίλου και τον στρέφει. Ο στρόβιλος εκμεταλλεύεται την υψηλή θερμοκρασία και πίεση των καυσαερίων και παράγει ισχύ. Ο στρόβιλος δίνει ισχύ στο συμπιεστή για να συμπιέσει τον αέρα και την ισχύ στο φορτίο.

Ο στρόβιλος που σε μεσαίες και μεγάλες ισχύες είναι αξονικός αποτελείται από πολλές βαθμίδες. Η κάθε βαθμίδα έχει μια σταθερή και μια περιστρεφόμενη πτερύγωση. Τα σταθερά πτερύγια συνήθως χαρακτηρίζονται ως ακροφύσια. Οι βαθμίδες του στροβίλου εκλέγονται από την απαιτούμενη ισχύ, το σχεδιασμό, καθώς και τη διάμετρο του στροβίλου. Κυρίως ο σχεδιασμός της βαθμίδας στηρίζεται σε θερμοδυναμική ανάλυση και γι' αυτό τα πτερύγια έχουν σχεδιασμό αεροτομής έτσι, ώστε να υπάρχει βέλτιστος βαθμός απόδοσης. Ο σκοπός των σταθερών πτερυγίων είναι η επιτάχυνση των καυσαερίων, καθώς επίσης και η σωστή οδήγηση των καυσαερίων πάνω στα περιστρεφόμενα πτερύγια.

Ο στρόβιλος είναι το μέρος του αεριοστροβίλου, το οποίο λαμβάνει τη μέγιστη θερμική και μηχανική καταπόνηση. Τα καυσαέρια που προσπίπτουν πάνω στα πτερύγια έχουν θερμοκρασία γύρω στους 850°C. Η έκθεση σε μεγάλες θερμοκρασίες του στροβίλου μπορεί να προκαλέσουν τα εξής προβλήματα:

- Οξείδωση, διάβρωση από αλληλεπίδραση με τα συστατικά του καυσαερίου.
- Ερπυσμούς, σαν αποτέλεσμα της υποβολής των πτερυγίων σε υψηλές τάσεις σε συνδυασμό με υψηλές θερμοκρασίες.
- Κόπωση σαν αποτέλεσμα κυκλικών φορτίσεων με υψηλές θερμικές τάσεις.

Τα δύο τελευταία προβλήματα έχουν σχέση με την αντοχή του υλικού. Έτσι η αντοχή των υλικών είναι το κύριο αίτιο για την επιτρεπόμενη θερμοκρασία στην είσοδο του στροβίλου. Όμως όσο πιο μεγάλη θερμοκρασία υπάρχει στην είσοδο του στροβίλου, τόσο πιο μεγάλη ισχύ παράγει ο στρόβιλος. Έτσι χρησιμοποιούνται πιο ανθεκτικά υλικά, αλλά υπάρχει και η ψύξη των πτερυγίων που κάνει τα πτερύγια να αντέχουν μεγαλύτερη θερμοκρασία. Ο αέρας ψύξης λαμβάνεται από το συμπιεστή.

Τα είδη ψύξης με αέρα είναι τα εξής:

- Εσωτερική ψύξη, στην οποία η θερμότητα απάγεται με συναγωγή από αέρα που ρέει στο εσωτερικό του πτερυγίου.
- Εξωτερική ψύξη, όπου γίνεται απαγωγή θερμότητας από τον αέρα στο εσωτερικό του πτερυγίου, αλλά δημιουργείται ένα στρώμα ψυχρού αέρα με αποτέλεσμα τη μείωση της θερμοκρασίας στα πτερύγια. Υπάρχουν δύο είδη εξωτερικής ψύξης: α) η επιφανειακή ψύξη στην οποία ο αέρας εγγέεται από σειρές οπών πάνω στην επιφάνεια του πτερυγίου, β) η εφιδρωτική ψύξη, στην οποία αέρας διοχετεύεται ομοιόμορφα μέσω του τοιχώματος του πτερυγίου που είναι κατασκευασμένο από πορώδες υλικό.

Η σταθερή βαθμίδα είναι τοποθετημένη στο περίβλημα του στροβίλου, όπου περιβάλλεται περιφερειακά από ένα εσωτερικό και έναν εξωτερικό δακτύλιο. Αυτή η βαθμίδα είναι κατασκευασμένη από ανθεκτικά κράματα, όπως το κράμα νικελίου-αλουμινίου.

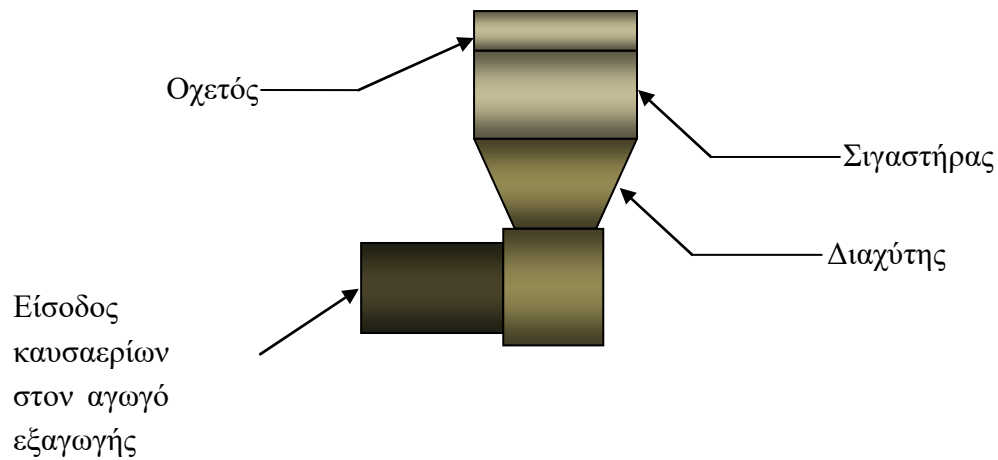
Η στρεφόμενη βαθμίδα είναι κυρίως χύτη με κράματα νικελίου με χρώμιο, κοβάλτιο, αλουμίνιο, τιτάνιο και μολυβδένιο. Μετά τη χύτευσή τους λαμβάνουν θερμική κατεργασία έτσι, ώστε να αποκτήσουν την επιθυμητή αντοχή σε υψηλές θερμοκρασιακές και μηχανικές καταπονήσεις.

Γενικά ένας στρόβιλος αποτελείται από:

- το περίβλημα, το οποίο περιβάλλει τη σταθερή και την κινούμενη βαθμίδα,
- το κινούμενο μέρος της βαθμίδας,
- το δακτύλιο όπου τοποθετείται στην είσοδο και την έξοδο της σταθερής βαθμίδας,
- το κινούμενο μέρος της βαθμίδας.

Τέλος τα καυσαέρια μέσω του αγωγού εξόδου οδηγούνται στο περιβάλλον. Ένας αγωγός εξόδου περιλαμβάνει:

- Ένα διαχύτη, ώστε να μειωθεί η πίεση για να έχουν τα καυσαέρια την ίδια πίεση με την ατμοσφαιρική.
- Ένα σιγαστήρα έτσι, ώστε να μειωθεί ο θόρυβος, όπου το υλικό κατασκευής του πρέπει να αντέχει υψηλές θερμοκρασίες.



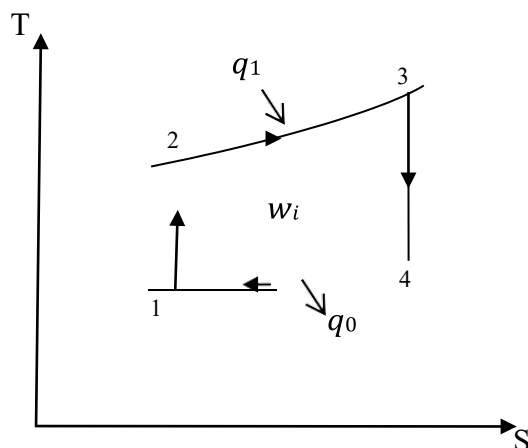
Σχήμα 2.11: Οχετός καυσαερίων

#### 2.2.2.2 Αρχή λειτουργίας

Η πιο απλή μορφή αεριοστροβίλου αποτελείται από ένα συμπιεστή συνδεδεμένο με στρόβιλο σε μία κοινή άτρακτο. Ανάμεσα σ' αυτά τα δύο συστήματα παρεμβάλλεται ο θάλαμος καύσης. Μέσω αυτής της παραδοχής θα εξεταστεί η αρχή λειτουργίας. Ο κύκλος, ο οποίος αντιπροσωπεύει αυτή τη μηχανή, είναι ο κύκλος Joule-Brayton.

Οι μεταβολές που γίνονται σε αυτό το κύκλου είναι οι εξής:

- 1-2 συμπίεση,
- 2-3 ισόθλιπτη θέρμανση,
- 3-4 εκτόνωση,
- 4-1 ισόθλιπτη ψύξη.



Σχήμα 2.12: Κύκλος Joule-Brayton

Ο βαθμός απόδοσης της μηχανής είναι το γινόμενο του έργου που παράγεται στο στρόβιλο  $W_T$  αφαιρούμενου από το έργο που καταναλώνει ο συμπιεστής  $W_C$  προς τη θερμότητα που προσδίδεται  $Q_1$ .

$$n = \frac{W_T - W_C}{Q_1} = \frac{w_T + w_c}{q_1} \quad (2.6)$$

Η εναλλακτική γραφή της απόδοσης αφορά τα ειδικά μεγέθη, δηλαδή εκείνα τα μεγέθη ανά μονάδα μάζας.

Η ειδική ισχύς  $w_i$  είναι το καθαρό έργο που αποδίδεται στο φορτίο ανά μονάδα μάζας, δηλαδή το έργο του στρόβιλου  $w_T$  αφαιρούμενο από το έργο του συμπιεστή  $w_c$  ανά μονάδα μάζας:

$$w_i = w_T - w_c \quad (2.7)$$

Για ανοιχτό σύστημα ισχύει  $w_b = c_p \Delta T_i$  και  $q_b = c_p \Delta T_b$ , όπου  $c_p$  η ειδική θερμοχωρητικότητα υπό σταθερή πίεση (Joule/kg K)

Άρα οι σχέσεις (2.6) και (2.7) γίνονται:

$$n = \frac{C_p(T_{t3} - T_{t4}) - C_p(T_{t2} - T_{t1})}{C_p(T_{t3} - T_{t2})} \quad (2.8)$$

Και

$$w_i = C_p * (T_{t3} - T_{t4}) - C_p(T_{t2} - T_{t1}) \quad (2.9)$$

Εάν αυξηθεί η θερμοκρασία εισόδου του στρόβιλου και η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι συγκεκριμένη, έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της ειδικής ισχύος και του βαθμού απόδοσης. Ενώ για συγκεκριμένη θερμοκρασία εισόδου στρόβιλου, η αύξηση της θερμοκρασίας αέρα εισόδου συμπιεστή έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση της ειδικής ισχύος της μηχανής, αφού αυξάνεται το έργο συμπιεστή.



### 2.2.2.3 Τύποι αεριοστρόβιλου

Υπάρχουν διάφοροι τύποι αεριοστρόβιλων. Οι κύριοι τύποι είναι οι εξής:

- Ο αεριοστρόβιλος απλής ατράκτου συνδέει με έναν άξονα το συμπιεστή, το στρόβιλο και το φορτίο. Σε αυτήν την περίπτωση ο στρόβιλος παράγει την ισχύ που απαιτεί ο συμπιεστής και την ωφέλιμη ισχύ που έχει το φορτίο. Αυτός ο τύπος πλεονεκτεί από τους άλλους, όταν είναι συνδεδεμένος με γεννήτρια εναλλασσόμενου ρεύματος, αφού οι στροφές της μηχανής είναι σταθερές.
- Ο αεριοστρόβιλος διπλής ατράκτου αποτελείται από δύο τμήματα, τα οποία το ένα τμήμα συνδέει ένας άξονας το συμπιεστή με το στρόβιλο, ο οποίος στρόβιλος παράγει την ισχύ που απαιτεί ο συμπιεστής. Αυτός ο στρόβιλος λέγεται κινούσα μηχανή συμπιεστή (gas generator). Το άλλο τμήμα είναι ένας, στρόβιλος, ο οποίος αξιοποιεί τη διαθέσιμη μετά την πρώτη εκτόνωση ισχύ από τα καυσαέρια. Αυτός ο στρόβιλος ονομάζεται στρόβιλος ισχύος. Ο δεύτερος στρόβιλος συνδέεται με έναν άλλο άξονα με το φορτίο. Αυτή η μηχανή χρησιμοποιείται σε ανάγκες εκτεταμένου χρόνου χρήσης σε μερικά φορτία. Έχουν καλύτερες επιδόσεις από τους αεριοστρόβιλους απλής ατράκτου.
- Ο αεριοστρόβιλος διπλού τύμπανου- δύο αξόνων αποτελείται από δύο ζεύγη συμπιεστή και στρόβιλου. Ο συμπιεστής και ο στρόβιλος χαμηλής πίεσης συνδέονται μεταξύ τους με έναν άξονα και με το φορτίο. Έτσι ο στρόβιλος χαμηλής ισχύος παράγει την ωφέλιμη ισχύ. Το τμήμα της υψηλής ισχύος βρίσκεται σε ισορροπία. Πλεονεκτούν από τους άλλους τύπους σε χαμηλές στροφές.

## 2.2.3 Ατμοστρόβιλος

### 2.2.3.1 Γενικά

Ατμοστρόβιλοι είναι απλές θερμικές μηχανές που έχουν μεγάλη ταχύτητα περιστροφής και μεγάλη συγκέντρωση ισχύος. Στον ατμοστρόβιλο, όπως και στον αεριοστρόβιλο, επιδιώκεται η μετατροπή της θερμικής ενέργειας του εργαζόμενου μέσου σε κινητική ενέργεια και αυτής σε μηχανικό έργο. Σήμερα κατασκευάζονται ατμοστρόβιλοι από λίγα kW μέχρι περίπου 1300 MW σε μία άτρακτο.

Τα πλεονεκτήματα αυτής της θερμικής μηχανής είναι:

- Γίνεται χρήση χαμηλής ποιότητας καυσαερίων.
- Έχει χαμηλή κατανάλωση καυσίμου σε χαμηλά φορτία
- Υπάρχει μεγάλος χρόνος μεταξύ γενικών επισκευών.

Τα μειονεκτήματα αυτής της θερμικής μηχανής είναι τα εξής:

- Είναι πολύ βαρύτερη και ογκώδης από ότι οι άλλες μηχανές.
- Είναι πιο ακριβή μηχανή σε σχέση με τους αεριοστρόβιλους.
- Απαιτεί περισσότερο ανθρώπινο δυναμικό από ότι οι άλλες μηχανές.
- Δεν συνιστάται σήμερα.

Οι ατμοστρόβιλοι αποτελούνται κυρίως από τον ατμοπαραγωγό, τον ατμοστρόβιλο, το συμπυκνωτή, την τροφοδοτική δεξαμενή, την αντλία συμπυκνώσεως, την τροφοδοτική αντλία και τον υπερθεμαντήρα.

Ο ατμοπαραγωγός είναι ένα σύστημα παραγωγής ατμού, με ορισμένα θερμοδυναμικά χαρακτηριστικά και καθορισμένη παροχή. Μπορεί να θεωρηθεί σαν ένας εναλλάκτης θερμότητας μεταξύ ενός ρεύματος θερμού καυσαερίου και ενός ρεύματος νερού, που, καθώς διαρρέει τον ατμοπαραγωγό, μετασχηματίζεται βαθμιαία σε κορεσμένο και υπέρθερμο ατμό παίρνοντας θερμότητα από το καυσαέριο.

Το ρεύμα του θερμού καυσαερίου, που αποτελεί το φορέα της συναλλασσόμενης θερμότητας, δημιουργείται μέσα στον ατμοπαραγωγό με την καύση του καυσίμου. Τόσο το εργαζόμενο μέσο (νερό ή ατμός), όσο και ο φορέας της θερμότητας (καυσαέριο), κυκλοφορούν σε σύστημα αγωγών, μέσα από τα τοιχώματα των οποίων μεταδίδεται η θερμότητα από το καυσαέριο στο εργαζόμενο μέσο. Η επιφάνεια των τοιχωμάτων των αγωγών νερού ή ατμού, που έρχεται σε επαφή με το καυσαέριο, αποτελεί τη θερμαινόμενη επιφάνεια του ατμοπαραγωγού.

Οι σύγχρονοι ατμοπαραγωγοί, που έχουν εξελιχθεί σε πολύ μεγάλες και πολύπλοκες κατασκευές. Εκτός από το σύστημα ατμοποίησης είναι εξοπλισμένοι με:

- υπερθερμαντήρες,
- αναθερμαντήρες,
- προθερμαντήρες νερού,
- προθερμαντήρας αέρα καύσης.

Η κατασκευή που βρίσκεται σε έναν απλό ατμοστρόβιλο είναι ο υπερθερμαντήρας. Ο υπερθερμαντήρας έχει σκοπό την αύξηση της θερμοκρασίας του κορεσμένου ατμού και τοποθετείται μετά το σύστημα ατμοποίησης. Αποτελείται από ένα ή περισσότερα τμήματα (σερπαντίνες σωλήνων), που τοποθετούνται σε διαφορετικά σημεία, στη ροή των καυσαερίων. Μεταξύ των τμημάτων του υπερθερμαντήρα τοποθετούνται ψύκτες ατμού για τη ρύθμιση της θερμοκρασίας του. Σκοπός της ενδιάμεσης ψύξης είναι η καλύτερη εκμετάλλευση της θερμότητας των καυσαερίων, καθώς και η ταχύτερη μετάδοση θερμότητας από το καυσαέριο στον ατμό κατά την επόμενη βαθμίδα.

Ανάλογα με την περιοχή τοποθέτησης του υπερθερμαντήρα και τον τρόπο μετάδοσης θερμότητας, διακρίνονται σε υπερθερμαντήρες ακτινοβολίας ή επαφής μεταφοράς.

Οι ατμοπαραγωγοί χωρίζονται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες:

- ατμοπαραγωγοί με φυσική κυκλοφορία,
- ατμοπαραγωγοί με τεχνητή κυκλοφορία,
- ατμοπαραγωγοί εξαναγκασμένης ροής.

Οι ατμοστρόβιλοι είναι απλές θερμικές μηχανές που έχουν μεγάλη ταχύτητα περιστροφής και μεγάλη συγκέντρωση ισχύος.

Κάθε στρόβιλος αποτελείται από δύο κύρια τμήματα:

α) Από το κέλυφος με τα οδηγία πτερύγια ή ακροφύσια, που έχουν προορισμό να προσάγουν τον ατμό με την επιθυμητή κατεύθυνση και ταχύτητα στο δρομέα.

β) Από την κινητή στεφάνη (δρομέα) με τα κινητά πτερύγια, όπου η υπάρχουσα συνολική ενέργεια, που αποτελείται από την πτώση πίεσης προ του κινητού τροχού και είναι σχεδόν η ίδια με την αδιαβατική θερμική πτώση, μετατρέπεται σε μηχανικό έργο.

Η μετατροπή της ενέργειας σε κινητική γίνεται με τη βοήθεια ακροφυσίων ή με τη βοήθεια πτερυγίων (οδηγών ή κινητών). Κατά τη μετατροπή της θερμικής σε κινητική ενέργεια η δέσμη του ατμού αποκτά μεγάλη ταχύτητα. Η κινητική αυτή ενέργεια, λόγω αλλαγής της κατεύθυνσης της δέσμης του ατμού στα κινητά πτερύγια, δημιουργεί μια περιφερειακή δύναμη ώσης και η οποία δημιουργεί τη ροπή στρέψης στην άτρακτο του στρόβιλου.

Οι κύριοι τύποι ατμοστροβίλων είναι:

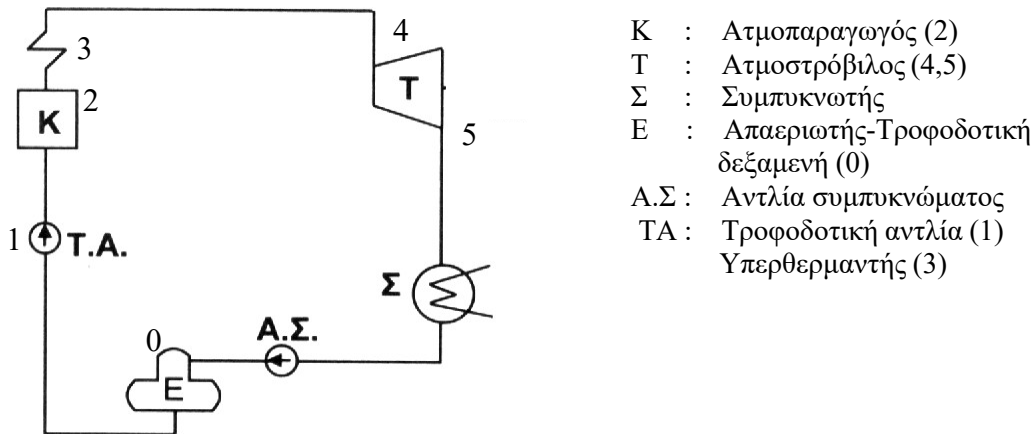
- Ισόθλιπτοι στρόβιλοι, που είναι πιο αποδοτικοί σε υψηλή πίεση.
- Υπέρθλιπτοι στρόβιλοι, που είναι πιο αποδοτικοί σε χαμηλή πίεση.

Η τροφοδοτική αντλία είναι εκείνη που αντλεί το τροφοδοτικό νερό από την τροφοδοτική δεξαμενή και το καταθλίβει στον ατμοπαραγωγό μέσω των προθερμαντών νερού υψηλής πίεσης.

Η αντλία συμπυκνώματος αντλεί το συμπύκνωμα από το ψυγείο του στροβίλου και μέσω των προθερμαντών χαμηλής πίεσης το καταθλίβει στη δεξαμενή τροφοδοτικού νερού. Κατά κανόνα εγκαθίστανται δύο αντλίες συμπυκνώματος, εκ των οποίων η μία είναι εφεδρική. Κάθε αντλία πρέπει να είναι σε θέση να αντλεί τη μέγιστη ποσότητα συμπυκνώματος που μπορεί να προκύψει στις δυσμενέστερες συνθήκες λειτουργίας.

Η τροφοδοτική δεξαμενή αποθηκεύει και δίνει στην τροφοδοτική αντλία το νερό που πάει στον ατμοπαραγωγό και γίνεται ατμός.

Ο συμπυκνωτής είναι ένα ψυγείο το οποίο ψύχει και μετατρέπει τον ατμό σε νερό, με σκοπό να ξαναχρησιμοποιηθεί.



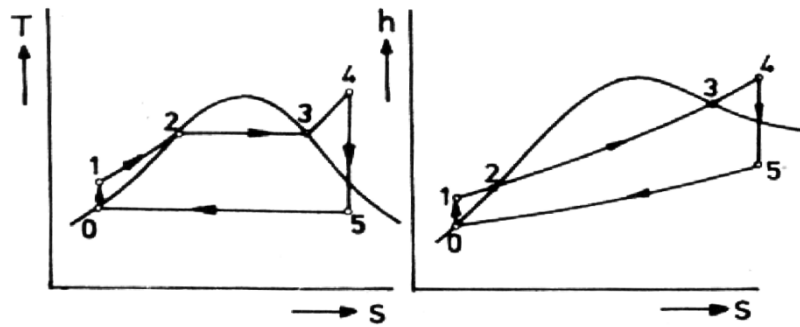
Σχ.2.13: Θερμικός κύκλος με στρόβιλο συμπύκνωσης

Από την τροφοδοτική δεξαμενή το νερό με τη βοήθεια της τροφοδοτικής αντλίας αυξάνεται η πίεση του νερού και οδηγείται στον ατμοπαραγωγό. Εδώ το νερό θερμαίνεται, ατμοποιείται και τελικώς υπερθερμαίνεται. Από τον ατμοπαραγωγό με μια σειρά ασφαλιστικών οργάνων και βαλβίδων ρύθμισης ο υπέρθερμος ατμός οδηγείται στο στρόβιλο, όπου αποτονώνεται με απόδοση έργου σε μια γεννήτρια. Ο ατμός εισάγεται στο συμπυκνωτή όπου ψύχεται και υγροποιείται. Στη συνέχεια με την αντλία του συμπυκνώματος οδηγείται στην τροφοδοτική δεξαμενή.

### 2.2.3.2 Αρχή λειτουργίας

Ο ατμοστρόβιλος αντιπροσωπεύεται από τον κύκλο Clausius-Rankine. Ο κύκλος αυτός αποτελείται από τις ακόλουθες συνιστώσες:

- Αύξηση πίεσης τροφοδοτικού νερού (ισεντροπική μεταβολή),
- 1-2 προθέρμανση νερού μέχρι θερμοκρασίας ζέσης (ισόθλιπτη μεταβολή),
- 2-3 ατμοποίηση (ισόθλιπτη μεταβολή),
- 3-4 υπερθέρμανση (ισόθλιπτη μεταβολή),
- 4-5 εκτόνωση ατμού στο στρόβιλο (ισεντροπική μεταβολή).
- 5-0 συμπύκνωση ατμού (ισόθλιπτη μεταβολή).



Σχήμα 2.14: Κύκλος Clausius-Rankine στα διαγράμματα T-S και h-S

Το έργο του κύκλου είναι το παραγόμενο έργο στο στρόβιλο μείον το δαπανώμενο έργο της τροφοδοτικής αντλίας. Θεωρώντας αμελητέο το έργο της αντλίας συμπυκνώσεως εξάγεται ο εξής τύπος:

$$w = w_{45} - w_{01} \Leftrightarrow w = (h_4 - h_5) - (h_1 - h_0) \quad (2.10)$$

Η προσδιδόμενη θερμότητα στον κύκλο είναι η προθέρμανση του νερού, η ατμοποίηση και η υπερθέρμανση. Συνεπώς:

$$q = q_{12} + q_{23} + q_{34} \Leftrightarrow q = (h_2 - h_1) + (h_3 - h_2) + (h_4 - h_3) \quad (2.11)$$

Τελικά η προσδιδόμενη θερμότητα είναι:

$$q = h_4 - h_1 \quad (2.12)$$

Ο θερμικός βαθμός απόδοσης δίδεται από τη σχέση:

$$\eta_{th} = \frac{w}{q} = \frac{(h_4 - h_5) - (h_1 - h_0)}{(h_4 - h_1)} = 1 - \frac{h_5 - h_0}{h_4 - h_1} \quad (2.13)$$

Στον κύκλο του Clausius-Rankine ο βαθμός απόδοσης προσδιορίζεται από την κατάσταση του ατμού προ του στρόβιλου (σημείο 4) και την κατάσταση εισόδου στο συμπυκνωτή (σημείο 5). Το τελικό σημείο της εκτόνωσης βρίσκεται πάντα εντός της περιοχής του υγρού ατμού. Ως εκ τούτου η θερμοκρασία του ατμού κατά την έξοδο του από τον στρόβιλο μπορεί να θεωρηθεί ίδια με τη θερμοκρασία του συμπυκνώματος.

## 2.2.4 Ειδικές περιπτώσεις

### 2.2.4.1 Ατμοστρόβιλος σε πυρηνικό αντιδραστήρα

Ένας ατμοστρόβιλος μπορεί να τροφοδοτηθεί από έναν πυρηνικό αντιδραστήρα αντί του ατμοπαραγωγού. Αυτού του είδους η μηχανή δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί

στα εμπορικά πλοία. Εφαρμόζεται κυρίως σε πολεμικά πλοία και κυρίως στα υποβρύχια, διότι δεν απαιτείται αέρας και μπορεί να παραμείνει κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας για πολύ περισσότερη ώρα από ότι οι άλλες μηχανές.

Τα πλεονεκτήματα αυτής της μηχανής είναι:

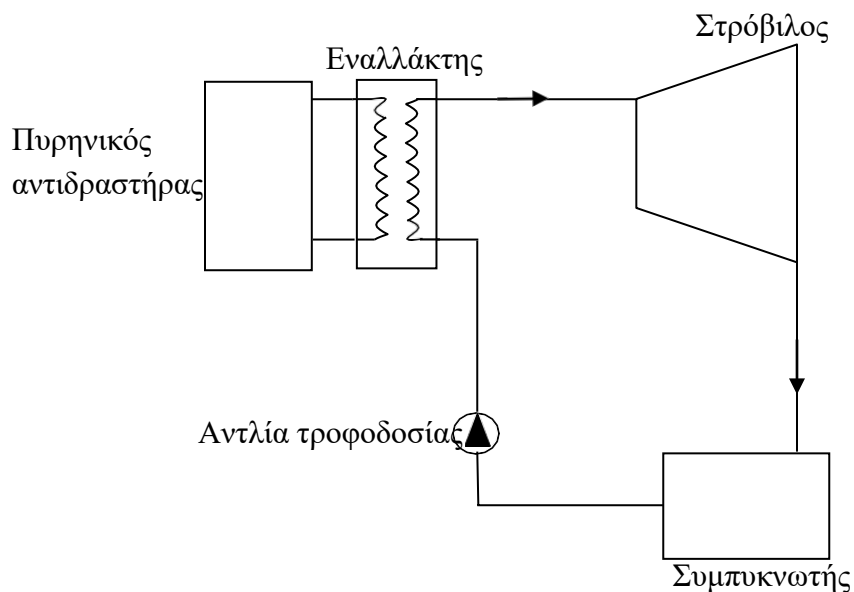
- Με έναν ανεφοδιασμό το πλοίο μπορεί να ταξιδεύει και 2,5 χρόνια.
- Μηδενική απαγωγή καυσαερίων.
- Υπάρχουν μεγάλα αποθέματα καυσίμου.

Τα μειονεκτήματα αυτής της θερμικής μηχανής είναι:

- Ο χρόνος εκκίνησης είναι πολύ μεγαλύτερος από τους αεριοστρόβιλους.
- Απαιτείται προθερμαντήρας.
- Υπάρχει μεγάλη επικινδυνότητα.

Αυτή η θερμική μηχανή αποτελείται από έναν πυρηνικό αντιδραστήρα, έναν εναλλάκτη, ένα στρόβιλο και από ένα συμπυκνωτή.

Πιο συγκεκριμένα ο πυρηνικός αντιδραστήρας είναι αυτός ο οποίος προσδίδει ενέργεια στο νερό και το μετατρέπει σε ατμό. Αυτή η διεργασία γίνεται στον εναλλάκτη θερμότητας. Από την είσοδο του εναλλάκτη μπαίνει η θερμότητα του πυρηνικού αντιδραστήρα, ενώ στην έξοδο του υπάρχει ατμός. Στη συνέχεια ο ατμός αυτός προσπίπτει πάνω στο στρόβιλο, ο οποίος κατευθείαν κινεί τον άξονα. Όλα τα άλλα στοιχεία σε αυτήν τη διάταξη είναι ίδια με του ατμοστρόβιλου, τα οποία μελετήθηκαν στον προηγούμενο κεφάλαιο.



Σχήμα 2.15: Απεικόνιση Κυψέλης καυσίμου.

#### 2.2.4.2 Κυψέλη καυσίμου

Η κυψέλη καυσίμου είναι μια σχετικά νέα μηχανή. Χρησιμοποιείται κατά κόρον σε πολεμικά πλοία και ιδιαίτερα σε υποβρύχια. Τα πλεονεκτήματα αυτής της μηχανής είναι τα εξής:

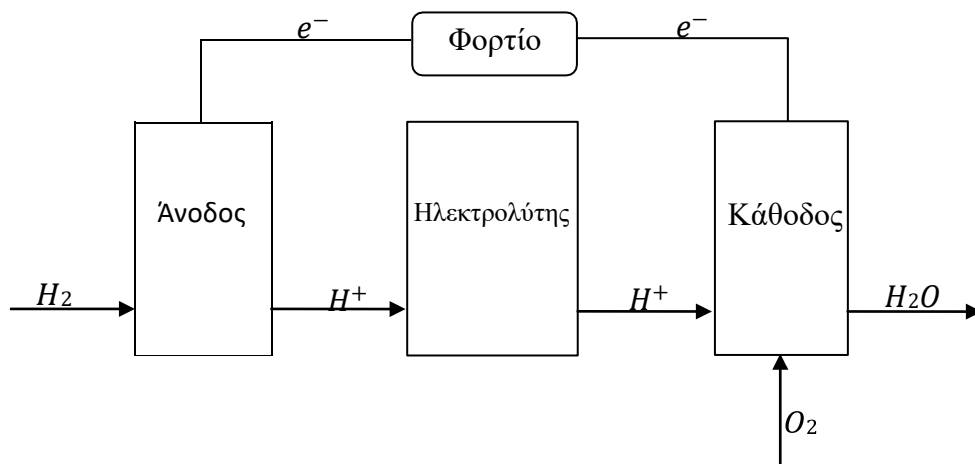
- Υψηλή αποδοτικότητα.
- Αθόρυβη λειτουργία.

- Αποβολή αντί καυσαερίου νερού (στην περίπτωση χρήσης υδρογόνου ως καύσιμο).
- Λιγότερες απώλειες.

Η κυψέλη καυσίμου βασίζεται πάνω σε μια ηλεκτροχημική μετατροπή, η οποία μειώνει σημαντικά τις απώλειες, αφού μετατρέπει κατευθείαν τη χημική σε ηλεκτρική ενέργεια. Η απόδοση αυτής της μηχανής δίνεται από το τύπο του Gibbs. Αυτός ο τύπος είναι ο λόγος της αλλαγής ενέργειας προς την αλλαγή της ενθαλπίας.

$$n_{chemical} = \frac{\Delta G}{\Delta H} = 1 - \frac{T * S}{\Delta H} \quad (2.14)$$

Η κυψέλη καυσίμου αποτελείται από δύο ηλεκτρόδια, όπου στο ενδιάμεσό τους υπάρχει ο ηλεκτρολύτης. Το καύσιμο είναι υδρογόνο και παρέχεται σε συνεχή ροή από το ηλεκτρόδιο της ανόδου, ενώ το οξυγόνο παρέχεται από το ηλεκτρόδιο της καθόδου. Στα ηλεκτρόδια γίνονται χημικές αντιδράσεις με τη μορφή ιόντων όπου διέρχονται από τον ηλεκτρολύτη και τα ηλεκτρόνια δημιουργούν ένα ρεύμα, όπου παρέχονται στα φορτία. Μετά τα φορτία το ρεύμα επιστρέφει στην κάθοδο.

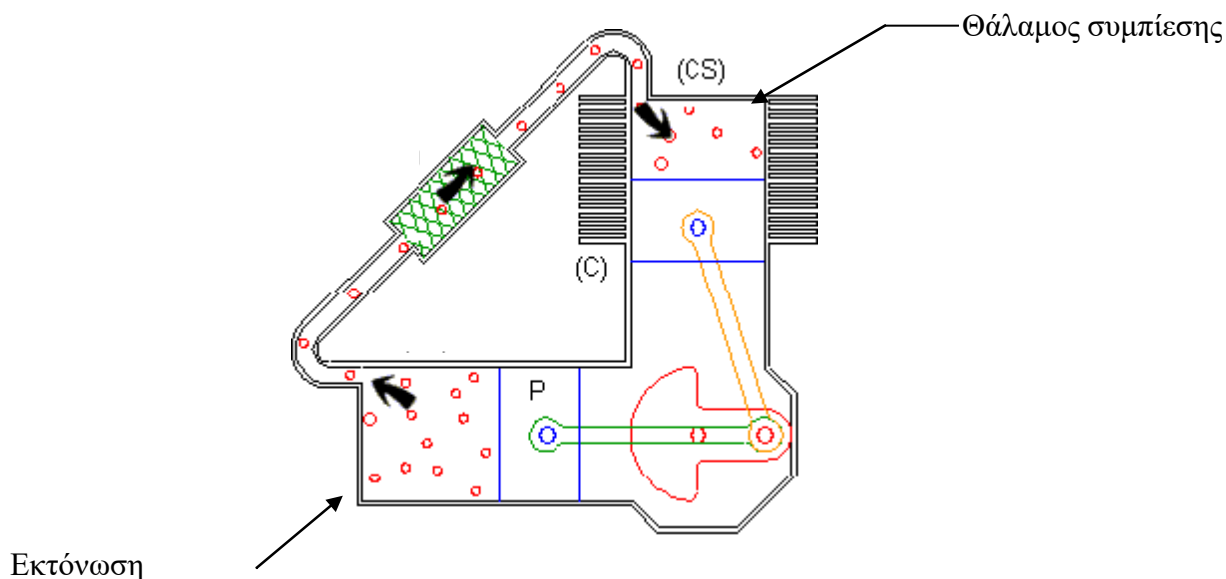


Σχήμα 2.16: Απεικόνιση Κυψέλης καυσίμου

Η χημική αντίδραση που γίνεται στην άνοδο είναι:  $H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$   
 Ενώ στην κάθοδο είναι:  $O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O$

### 2.2.4.3 Κινητήρας Stirling

Αυτό το είδος κινητήρα έχει εφευρεθεί πριν από τον κινητήρα ντίζελ αλλά δεν είναι τόσο δημοφιλής. Αυτή η θερμική μηχανή είναι μηχανή εξωτερικής καύσης αποτελούμενη από δύο κυλίνδρους (απλούστερη μορφή). Ο ένας κύλινδρος αποτελεί το χώρο εκτόνωσης (θερμό μέρος) και ο άλλος χώρος τη συμπίεση (ψυχρό μέρος). Ο χώρος εκτόνωσης παραμένει ζεστός από τον αναθερμαντήρα, ενώ ο χώρος συμπίεσης παραμένει ψυχρός από το ψύκτη. Στο συμπιεστή υπάρχει το έμβολο ισχύος, ενώ στο χώρο εκτόνωσης το έμβολο που κινεί το εγκλωβισμένο εργαζόμενο μέσο (αέρας ή ήλιο, άζωτο, υδρογόνο) μεταξύ του θερμού και του ψυχρού της μηχανής.



Σχήμα 2.17: Απλή διάταξη κινητήρα Stirling.

Ο κινητήρας αυτός ακολουθεί θερμοδυναμικά έναν κύκλο από τις παρακάτω μεταβολές:

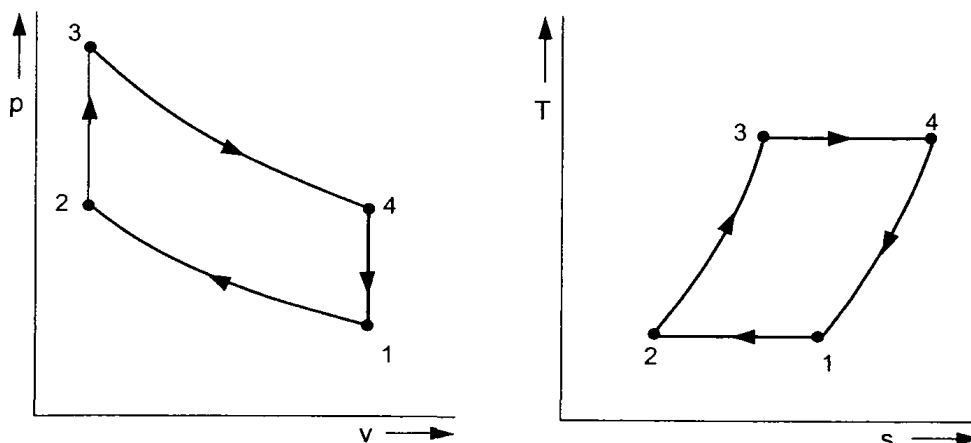
- Ισεντροπική εκτόνωση 1-2,
- Ισόογκη ψύξη 2-3,
- Ισοθερμοκρασιακή συμπίεση 3-4,
- Ισόογκη θέρμανση 4-1

Κατά τη μεταβολή 1-2 το μεγαλύτερο μέρος του εργαζόμενου θερμού αερίου, που έχει εκτονωθεί, έχει μεταφερθεί στον κρύο κύλινδρο. Το αέριο ψύχεται και συστέλλεται, μαζεύοντας και τα δύο έμβολα προς το εσωτερικό των κυλίνδρων τους. Ο αναγεννητής συνεχίζει να απορροφά θερμότητα από το εργαζόμενο αέριο, καθώς αυτό περνά από το θερμό προς το ψυχρό κύλινδρο. Στην αρχή της φάσης ο στρόφαλος βρίσκεται στις  $0^\circ$  ενώ στο τέλος στις  $90^\circ$ .

Κατά τη μεταβολή 2-3 το αέριο έχει εκτονωθεί. Το περισσότερο αέριο (περίπου τα  $2/3$  του) βρίσκεται ακόμα στο θερμό κύλινδρο και το ένα τρίτο στον κρύο κύλινδρο. Ο όγκος στο θερμό κύλινδρο είναι μέγιστος. Καθώς μεταφέρεται θερμός όγκος αερίου από το θερμό στον κρύο κύλινδρο, αποθηκεύεται ποσό θερμότητας στον αναγεννητή. Στην αρχή της φάσης ο στρόφαλος στις  $90^\circ$ , ενώ στο τέλος στις  $180^\circ$ .

Κατά τη μεταβολή 3-4 το μεγαλύτερο μέρος του εργαζόμενου θερμού αερίου, που έχει εκτονωθεί, έχει μεταφερθεί στον κρύο κύλινδρο. Το αέριο ψύχεται και συστέλλεται, μαζεύοντας και τα δύο έμβολα προς το εσωτερικό των κυλίνδρων τους (στον κάτω αριστερό κύλινδρο προς τα αριστερά, ενώ στον πάνω κύλινδρο προς τα πάνω). Ο αναγεννητής συνεχίζει να απορροφά θερμότητα από το εργαζόμενο αέριο, καθώς αυτό περνά από το θερμό προς το ψυχρό κύλινδρο. Στην αρχή της φάσης ο στρόφαλος βρίσκεται στις  $180^\circ$ , ενώ στο τέλος στις  $270^\circ$ .

Κατά τη μεταβολή 4-1 το αέριο που έχει ήδη συσταλθεί βρίσκεται κυρίως στον κρύο κύλινδρο. Ο στρόφαλος στρέφεται ακόμη κατά  $90^\circ$  αναγκάζοντας το αέριο να επιστρέψει στο θερμό κύλινδρο και να συμπληρωθεί ο κύκλος. Καθώς μεταφέρεται κρύος όγκος αερίου από τον κρύο στο θερμό κύλινδρο, ο αναγεννητής αποδίδει θερμότητα στο εργαζόμενο μέσο, προθερμαίνοντάς το. Αν ο αναγεννητής θεωρηθεί τέλειος, τότε και μόνο αποδίδει τόση θερμότητα, όση είχε απορροφήσει. Στην αρχή της φάσης ο στρόφαλος βρίσκεται στις  $270^\circ$  ενώ στο τέλος στις  $360^\circ$ .



Σχήμα 2.18: θερμοδυναμική απεικόνιση κινητήρα Stirling.

Πρόκειται για μία μηχανή υψηλής απόδοσης, άλλα πιο πολύπλοκης δομής που δεν συνηθίζεται η χρήση της λόγω του κόστους (έχει εφαρμοστεί σε υποβρύχια του σουηδικού πολεμικού ναυτικού).

## 2.3 Γεννήτρια

Η γεννήτρια είναι μια ηλεκτρική μηχανή η οποία υφίσταται ταυτόχρονα δύο μηχανισμούς: Το μηχανισμό παραγωγής ροπής και το μηχανισμό παραγωγής τάσης, χάρη στο φαινόμενο της ηλεκτρομηχανικής μετατροπής. Ο μηχανισμός παραγωγής της ροπής βασίζεται στην προσπάθεια ευθυγράμμισης των δύο μαγνητικών πεδίων που δημιουργούνται από τα τυλίγματα του στάτη και του δρομέα. Έτσι το μαγνητικό πεδίο δημιουργείται μέσα σε κατάλληλα τυλίγματα, του στάτη και του δρομέα της γεννήτριας. Η παραγωγή της τάσης σε ένα τύλιγμα έχει άμεση σχέση με τη χρονική μεταβολή της πεπλεγμένης μαγνητικής ροής που δέχεται το ίδιο το τύλιγμα όπου αυτή η μεταβολή σχετίζεται με τη μηχανική κίνηση. Έτσι οι επαγόμενες τάσεις ονομάζονται τάσεις ταχύτητας. Αυτή η μεταβολή μπορεί να προέλθει από την περιστροφή του τυλίγματος σε σταθερό μαγνητικό πεδίο ή από την περιστροφή ενός σταθερού μαγνητικού πεδίου σε σχέση με το μαγνητικό άξονα του σταθερού τυλίγματος.

Οι μηχανισμοί παραγωγής τάσης και ροπής συνυπάρχουν με σκοπό την ηλεκτρομηχανική μετατροπή της ενέργειας. Για αυτήν την ηλεκτρομηχανική μετατροπή απαιτείται η χρήση δύο τυλιγμάτων, τα τυλίγματα τα οποία είναι τοποθετημένα στο στάτη και στο δρομέα. Το ένα τύλιγμα έχει σαν σκοπό τη δημιουργία μαγνητικού πεδίου στο εσωτερικό της μηχανής (διάκενο) και ονομάζεται τύλιγμα διέγερσης, αφού το μαγνητικό πεδίο είναι εκείνο που κάνει τη σύζευξη μεταξύ του ηλεκτρικού και μηχανικού συστήματος. Αυτό το τύλιγμα βρίσκεται στο στάτη και είναι μικρής ισχύος σε σχέση με την ισχύ της μηχανής. Υπάρχει η δυνατότητα σε γεννήτριες χαμηλής ισχύος το τύλιγμα διέγερσης να αντικατασταθεί από μόνιμους μαγνήτες. Το δεύτερο τύλιγμα το οποίο στρέφεται σε σχέση με το μαγνητικό πεδίο που δημιουργεί το τύλιγμα διέγερσης και στο οποίο επάγονται οι τάσεις και οι ροπές, λέγεται τύλιγμα τυμπάνου. Το τύλιγμα τυμπάνου βρίσκεται στο



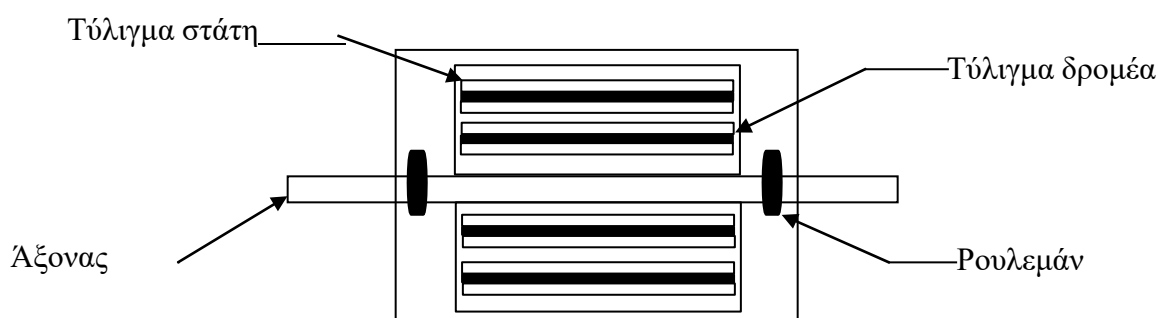
δρομέα. Αυτό το τύλιγμα έχει σαν σκοπό τη δημιουργία της ηλεκτρομηχανικής μετατροπής της ενέργειας. Αυτή η διάταξη βρίσκεται συνήθως σε γεννήτριες συνεχούς ρεύματος.

Στη γεννήτρια υπάρχει κίνηση αγωγών μέσα στο μαγνητικό πεδίο. Άρα η γεννήτρια αποτελείται από:

- Το σταθερό μέρος (πυρήνας στάτη και τύλιγμα διέγερσης).
- Στρεφόμενο μέρος (πυρήνας δρομέα και τύλιγμα τυμπάνου).
- Διάκενα αέρα, που είναι απαραίτητα για την κίνηση του στάτη και του δρομέα.

Τα υλικά του πυρήνα του δρομέα και του στάτη είναι από σιδηρομαγνητικά υλικά για την ελάττωση όσο το δυνατόν της μαγνητικής αντίστασης. Επιπλέον για την ελάττωση των απωλειών των δινορρέυματων χρησιμοποιούνται μονωμένα ελάσματα.

Η παραγωγή του μαγνητικού πεδίου δημιουργείται από τα τυλίγματα του στάτη και του δρομέα, τα οποία μπορεί να είναι τοποθετημένα είτε συγκεντρωμένα, είτε διανεμημένα. Ο αριθμός των πόλων είναι πάντα άρτιος και για τη πιο σωστή λειτουργία πρέπει ο αριθμός των πόλων του τυλίγματος του δρομέα να είναι ίσος με τον αριθμό των πόλων του τυλίγματος του στάτη.



Σχήμα 2.19: Βασικά στοιχεία γεννήτριας

Υπάρχουν δύο κύριοι τύποι γεννήτριας οι γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος και οι γεννήτριες συνεχούς ρεύματος.

Οι γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος είναι οι γεννήτριες οι οποίες κυριαρχούν στο ναυτικό. Κατατάζονται και αυτές σε υποκατηγορίες που είναι οι εξής:

- Ασύγχρονες μηχανές.
- Σύγχρονες μηχανές.

Οι γεννήτριες συνεχούς ρεύματος εφαρμόζονται σε σπάνιες περιπτώσεις, όπως στα υποβρύχια. Οι γεννήτριες συνεχούς ρεύματος ανάλογα τους πόλους, τον τρόπο σύνδεσης των τυλιγμάτων διέγερσης χωρίζονται σε υποκατηγορίες και είναι:

- Ξένης διέγερσης.
- Παράλληλης διέγερσης.
- Διέγερσης σειράς.
- Σύνθετης διέγερσης.

Αυτές οι γεννήτριες ελέγχουν την τάση με σημαντικό πλεονέκτημα την καθετότητα του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου.

Οι ασύγχρονες γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος δεν χρησιμοποιούνται σε πλοία. Το κύριο μειονέκτημα τους είναι ότι δεν διαθέτουν ροπή εκκίνησης, έτσι πρέπει να χρησιμοποιούνται πρόσθετες βοηθητικές διατάξεις εκκίνησης.

Μια σύγχρονη γεννήτρια χωρίζεται σε:

- Εναλλασσόμενου ρεύματος.
- Συνεχούς ρεύματος.

### 2.3.2 Σύγχρονη γεννήτρια εναλλασσόμενου ρεύματος

Μια σύγχρονη γεννήτρια παράγει μια εναλλασσόμενη τριφασική τάση. Η εξίσωση που την περιγράφει στην έξοδο της μηχανής είναι:

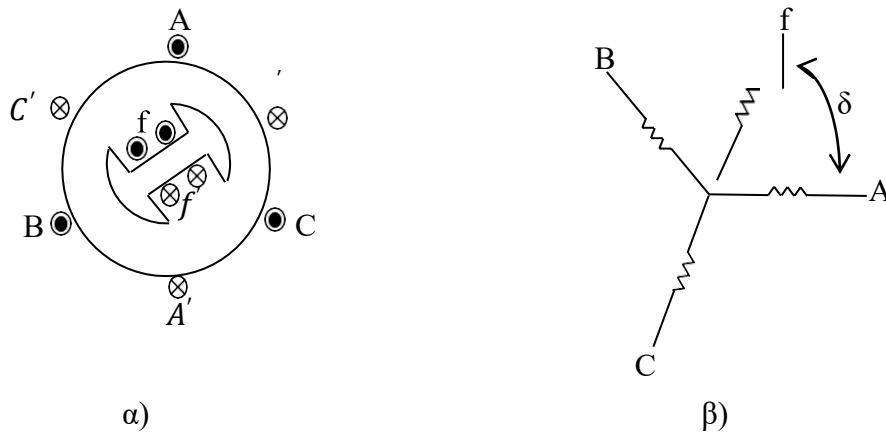
$$V(t) = 1.414V \cos(2\pi ft + \varphi) \quad (2.15)$$

Όπου  $\varphi$  είναι  $0^\circ$ ,  $120^\circ$  και  $240^\circ$  ανάλογα με τη φάση,  $f=50\text{Hz}$  ή  $60\text{Hz}$  και  $V$  είναι η ενεργός τιμή.

Μια γεννήτρια χαρακτηρίζεται ως σύγχρονη όταν ο δρομέας ακολουθεί τη σύγχρονη ταχύτητα περιστροφής. Σύγχρονη ταχύτητα περιστροφής είναι εκείνη η οποία η τάση και η συχνότητα του συστήματος μπορεί να παραμείνει σε σταθερή τιμή. Η σύγχρονη ταχύτητα περιστροφής ορίζεται ως:

$$n_1 = 120f / P \quad (2.16)$$

με  $n_1$  η σύγχρονη ταχύτητα περιστροφής σε rpm,  $f$  η συχνότητα του δικτύου και  $P$  ο αριθμός των πόλων της μηχανής (είναι διπλάσιος από τα τυλίγματα).



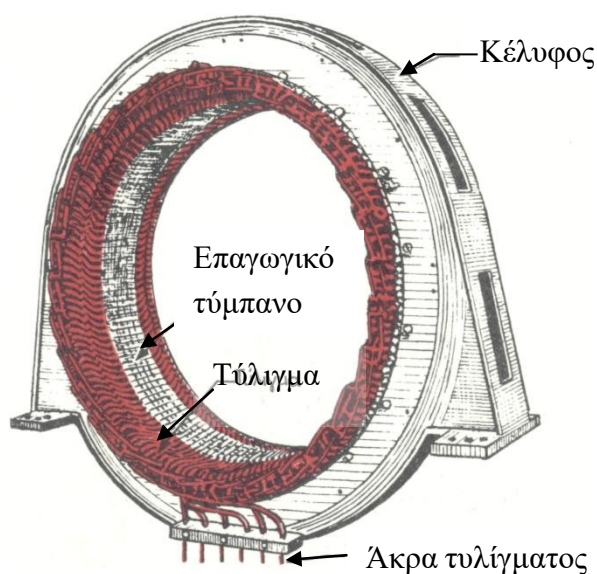
Σχήμα 2.20: α) Διπολική σύγχρονη γεννήτρια με το τυλίγμα διεγέρσεως (ή πεδίου) στο δρομέα και β) το τριφασικό τυλίγμα τυμπάνου (ή επαγωγίμου)

Η σύγχρονη γεννήτρια εναλλασσόμενου ρεύματος αποτελείται από:

- Το κέλυφος.
- Το επαγωγικό τύμπανο.
- Το τριφασικό τυλίγμα.
- Το ακροκιβώτιο ή κλεμμοκυβλωτιο.
- Το δρομέα.
- Το διάκενο μεταξύ δρομέα και στάτη.
- Το τυλίγμα απόσβεσης.

Το κέλυφος, αποτελείται από χαλύβδινα ελάσματα, εντός του οποίου τοποθετείται το σταθερό τμήμα του κινητήρα (το επαγωγικό τύμπανο).

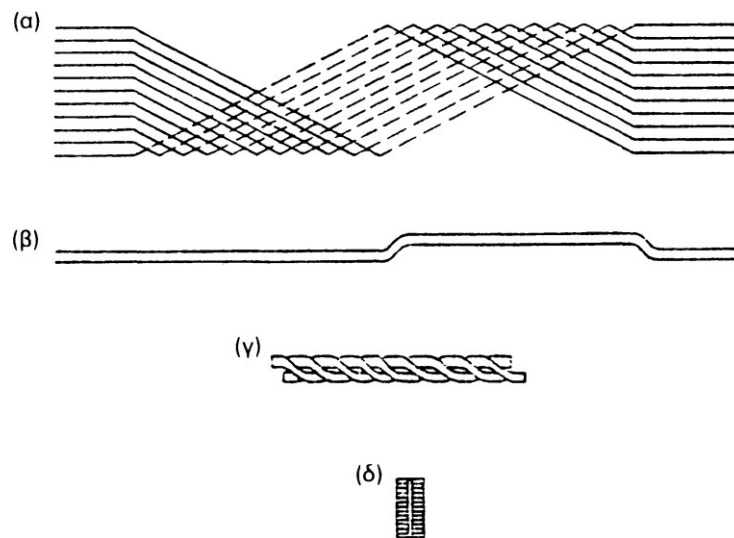
Το επαγωγικό τύμπανο, είναι σταθερό και χρησιμεύει αφενός μεν για την τοποθέτηση του τριφασικού τυλίγματος-περιέλιξης, αφετέρου δε για την αγωγή των μαγνητικών γραμμών και κατ' επέκταση τη δημιουργία του περιστρεφόμενου μαγνητικού πεδίου διαμέσου του πυρήνα του. Το επαγωγικό τύμπανο μαζί με το κέλυφος απαρτίζουν το στάτη, αν και στην πράξη στάτης και επαγωγικό τύμπανο θεωρούνται το ίδιο. Ο πυρήνας αποτελείται από μαγνητικά ελάσματα πάχους 0,5 mm με επιφανειακή μόνωση με ειδικό βερνίκι, προς μείωση των απωλειών λόγω δινορρευμάτων. Τα δόντια που έχουν οι δίσκοι σχηματίζουν κατά τη συγκρότηση του πυρήνα οδοντώσεις παράλληλες προς τον άξονα της μηχανής μέσα στις αύλακες των οποίων τοποθετείται το τριφασικό τύλιγμα του στάτη. Τα άκρα του τυλίγματος καταλήγουν απευθείας στους ακροδέκτες της μηχανής, χωρίς τη μεσολάβηση δακτυλίων και ψηκτρών.



Σχήμα 2.21: Στάτης σύγχρονης γεννήτριας εσωτερικών πόλων.

Το τριφασικό τύλιγμα ή αλλιώς τριφασική περιέλιξη του στάτη είναι ανεξάρτητα του τύπου δρομέα (κυλινδρικό ή έκτυπων πόλων) και αποτελείται από αγωγούς που συντίθενται από κλώνους μονωμένους και τοποθετείται στις αύλακες του στάτη. Συνήθως το τύλιγμα είναι τριφασικό, συνδεδεμένο κατ' αστέρα (προς μείωση των αρμονικών) σε δύο στρώσεις. Ητάση μεταξύ ακροδεκτών είναι συνήθως μέχρι 15kV, αν και μεγάλες μηχανές κατασκευάζονται με τάση 24 kV. Για τον περιορισμό των δινορρευμάτων στο χαλκό των αγωγών (κλώνων) του τυλίγματος και ως εκ τούτου των απωλειών θερμότητας που προέρχονται από αυτά, οι κλώνοι διατάσσονται στις αύλακες έτσι, ώστε όλοι τους να εμπλέκονται από την ίδια ροή αύλακος κατά προσέγγιση. Στο σχήμα 2.22 φαίνεται ένας τέτοιος αγωγός. Οι κλώνοι στρέφονται κοχλιοειδώς κατά μήκος του ενεργού μήκους της μηχανής καταλαμβάνοντας όλες τις θέσεις σε γωνία από 0 έως 360°. Έτσι η συνολική ροή αύλακα που εμπλέκει κάθε κλώνο στο ενεργό μήκος της μηχανής είναι η ίδια. Ο αγωγός που κατασκευάζεται έτσι ονομάζεται αγωγός Roebel από το όνομα του εφευρέτη. Τα τυλίγματα των τριών φάσεων είναι κατανομημένα συμμετρικά στην εσωτερική περιφέρεια του πακέτου

μέσα σε περισσότερες αύλακες. Στις μεγάλες ισχύες εξαιτίας των ισχυρών ρευμάτων χρησιμοποιούνται μεγάλες διατομές αγωγών διαμορφώνοντας ακόμη και ράβδους με μεγάλη διατομή (μέχρι 60 mm). Σημειώνεται ότι λόγω της μεγάλης διατομής των αγωγών του τυλίγματος του στάτη των σύγχρονων γεννητριών, τα πηνία κατασκευάζονται ώστε να έχουν μόνον ένα έλιγμα. Επίσης στα βραχυκυκλώματα εξαιτίας των ρευμάτων κρούσης οι κεφαλές του τυλίγματος εκτίθενται σε μεγάλες μηχανικές δυνάμεις, γι' αυτό αυτές πρέπει να αντέχουν κατασκευαστικά στις δυνάμεις αυτές.



Σχήμα 2.22: Σχηματισμός ενός αγωγού Roebel: (α) πλάγια όψη αγωγού, (β) κάτοψη κλώνου, (γ) κάτοψη αγωγού, (δ) τομή αγωγού.

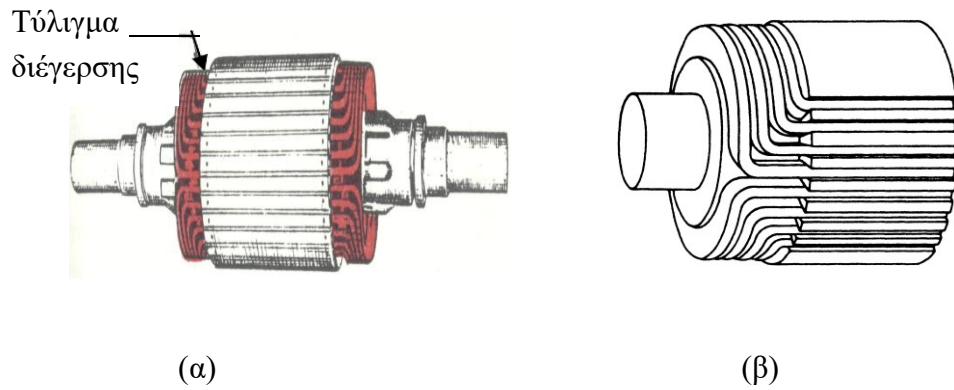
Το ακροκιβώτιο ή το κλεμμοκυβώτιο είναι ένα κουτί στερεωμένο πάνω στο εξωτερικό κέλυφος της μηχανής. Εντός του κιβωτίου οδηγούνται οι ακροδέκτες του τυλίγματος του στάτη, το οποίο πέρα από τις τρεις φάσεις και τη γείωση προστασίας – μεταλλικών μερών, συνήθως διαθέτει και έναν ακροδέκτη ουδετέρου που σε αρκετές περιπτώσεις συνδέεται με τη γείωση λειτουργίας.

Ο δρομέας είναι το κινητό-περιστρεφόμενο τμήμα της μηχανής. Ανάλογα με την κατασκευή του δρομέα υπάρχουν τα ακόλουθα είδη σύγχρονων μηχανών:

- 1) *Σύγχρονες Μηχανές Κυλινδρικού Δρομέα – Δρομέα Στροβιλογεννήτριας.* Ο κυλινδρικός δρομέας φέρει τύλιγμα συνεχούς ρεύματος, το οποίο είναι τοποθετημένο σε αξονικές αύλακες οι οποίες έχουν ανοιχθεί επί της επιφάνειας του δρομέα και κρατούνται στη θέση τους μέσω μεταλλικών σφηνών. Συνήθως αποτελούνται από συγκεντρικά πηνία από μονωμένη ράβδο χαλκού. Τα άκρα των πηνίων του δρομέα, καθώς και οι συνδέσεις κρατούνται ισχυρά στη θέση τους από δακτυλίους συγκράτησης, οι οποίοι συναρμολογούνται σφιχτά επί των άκρων των πηνίων για την προστασία από τις φυγόκεντρες δυνάμεις. Οι ακροδέκτες συνδέονται σε δακτυλίους επί των οποίων ολισθαίνουν ψήκτρες από άνθρακα μέσω των οποίων εισάγεται το ρεύμα του πεδίου. Συχνά υπάρχει στα κανάλια του δρομέα και ένα δεύτερο τύλιγμα κλωβού, όμοιο με αυτό ενός ασύγχρονου κινητήρα, για λόγους εκκίνησης. Λόγω των υψηλών μηχανικών τάσεων εκ της περιστροφής, οι δρομείς των

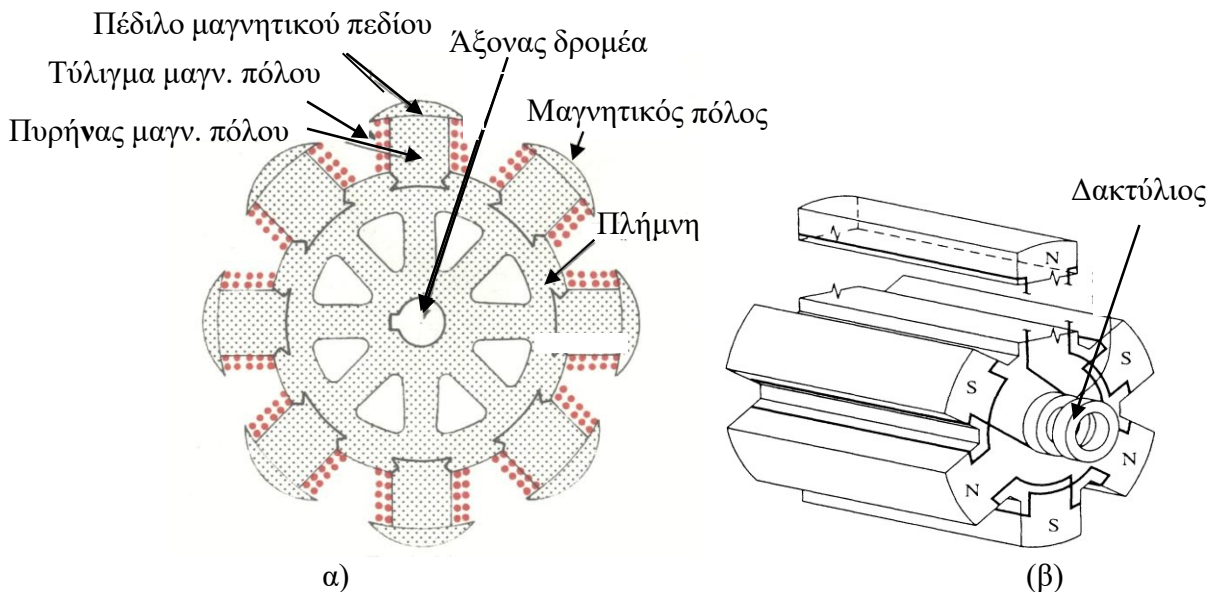
στροβιλογεννητριών πρέπει να σχεδιασθούν, ώστε να έχουν μικρή διάμετρο όσο είναι δυνατό και σε αρμονία με τις άλλες απαιτήσεις. Συγχρόνως περιορισμοί επιβάλλονται στο αξονικό μήκος του δρομέα λόγω ταλαντώσεων κάμψεως. Συγκεκριμένα τέτοιου είδους δρομέα χρησιμοποιούν οι σύγχρονες γεννήτριες οι οποίες περιστρέφονται από ατμοστρόβιλους και για οικονομοτεχνικούς λόγους πρέπει να έχουν τη μεγαλύτερη δυνατή ταχύτητα περιστροφής. Με συχνότητα της παραγόμενης τάσης  $f$  ίση με 50 Hz η ταχύτητα αυτή σε διπολική μηχανή είναι 3000 Σ.Α.Λ. και σε τετραπολική 1500 Σ.Α.Λ. (αντίστοιχα για  $f=60$  Hz οι ταχύτητες είναι 3600 Σ.Α.Λ. και 1800 Σ.Α.Λ.). Επειδή στις ταχύτητες αυτές παρουσιάζονται τεράστιες φυγόκεντρες δυνάμεις, οι δρομείς κατασκευάζονται σαν συμπαγείς ατσάλινοι κύλινδροι μικρών σχετικά διαμέτρων. Π.χ. για λόγους αντοχής για την επιτρεπτή περιφερειακή ταχύτητα 180 m/sec, η μέγιστη διάμετρος του συμπαγούς δρομέα δεν πρέπει να ξεπερνά τα 1200 mm. Γεννήτριες ηλεκτρικοί σιδηροδρόμου με συχνότητα  $16 \frac{2}{3}$  Hz έχουν ταχύτητα 1000 Σ.Α.Λ. για διπολική μηχανή. Γι' αυτό ο σχεδιασμός του δρομέα είναι πράγματι ένα δύσκολο πρόβλημα, ώστε ολόκληρος ο σχεδιασμός της μηχανής να βασίζεται αρκετά σ' αυτόν. Οι μηχανικές τάσεις είναι υψηλές, οι θερμοκρασίες λειτουργίας είναι σχετικά υψηλές και ισχυρές μηχανικές τάσεις προκαλούνται από θερμική διαστολή των πηνίων. Οι παράγοντες αυτοί καθιστούν την ανάγκη χρησιμοποίησης χαμηλής τάσης στο κύκλωμα του πεδίου, η οποία συνήθως ανέρχεται ως 400 V. Το ρεύμα του πεδίου συνήθως λαμβάνεται είτε από διεγέρτρια κατευθείαν συνδεδεμένη με τον άξονα της γεννήτριας, είτε με άλλη διάταξη που χρησιμοποιεί ηλεκτρονικά ισχύος. Οι οδοντώσεις και τα τυλίγματα του δρομέα σε μεγάλες σύγχρονες μηχανές φέρουν κανάλια ψύξης, διαμέσου των οποίων τροφοδοτείται με ψυκτικό μέσο υπό πίεση για την παραλαβή και την αποβολή στη συνέχεια της παραγόμενης θερμότητας. Το τυλίγμα του δρομέα που διαρρέεται από συνεχές ρεύμα δημιουργεί το μαγνητικό πεδίο του διακένου. Οι μεγάλες σε μήκος οδοντώσεις του δρομέα, οι οποίες είναι στην αρχή τους πολύ στενές εξαιτίας των καναλιών ψύξης, παρουσιάζουν πολύ μεγάλη μαγνητική αντίσταση λόγω του μαγνητικού κορεσμού, με αποτέλεσμα η μαγνητική επαγωγή στο διάκενο να μην ξεπερνά τα 0,5 με 0,6 Tesla. Στο μέσο του πόλου μπορεί η μαγνητική επαγωγή να φτάσει από 0,8 μέχρι 1,0 Tesla. Στο σχήμα 2.23 παρουσιάζεται η μορφή και η κεφαλή ενός κυλινδρικού δρομέα.

2) *Σύγχρονες Μηχανές Δρομέα Έκτυπων Πόλων*. Ο τύπος συγχρόνου μηχανής με έκτυπους πόλους προσφέρεται ιδιαίτερα για πολυπολικές μηχανές μέσης και χαμηλής ταχύτητας. Γι' αυτό χρησιμοποιείται για γεννήτριες που κινούνται από υδροστροβίλους (με ταχύτητες από 60 ως 1500 Σ.Α.Λ.) και από μηχανές εσωτερικής καύσεως (με ταχύτητες από 250 ως 1500 Σ.Α.Λ.) και για συγχρόνους κινητήρες (με ίδιες ταχύτητες). Γεννήτριες κινούμενοι από υδροστροβίλους μέσου και χαμηλού ύψους πτώσεως είναι συνήθως μηχανές με κατακόρυφο άξονα, στις οποίες το βάρος του δρομέα της γεννήτριας και του στροβίλου, καθώς και η αξονική πίεση του στροβίλου υποβαστάζονται από ισχυρό ωστικό έδρανο. Στο δρομέα έκτυπων πόλων διαμορφώνονται οι πόλοι εμφανώς.



Σχήμα 2.23: Κυλινδρικός δρομέας σύγχρονης μηχανής (α) δομή], (β) κεφαλή, όπου με κοπτικό μηχανήμα -φρέζα δημιουργούνται αύλακες που καταλαμβάνουν τα 2/3 ενός πολικού βήματος και μέσα τους τοποθετείται το τύλιγμα διέγερσης.

Οι δρομείς αυτοί δηλώνουν κατά κάποιον τρόπο την ομοιότητα της σύγχρονης μηχανής με τη μηχανή συνεχούς ρεύματος. Ο αριθμός των πόλων  $2p$  μπορεί να μετρηθεί απευθείας πάνω στο δρομέα. Ο πυρήνας των πόλων μπορεί να είναι διαμορφωμένος ως ένας συμπαγής αστέρας, πάνω στις κορυφές του οποίου είναι τοποθετημένο το τύλιγμα της διέγερσης και από πάνω εφαρμόζονται τα πέλδια των πόλων, όπως φαίνεται και στο σχήμα 2.24. Τις περισσότερες φορές οι πυρήνες των πεδίων κατασκευάζονται από στρώσεις δυναμοελασμάτων και είναι οι φορείς των τυλιγμάτων αντιστάθμισης, που είναι διαμορφωμένα σε κλωβό ή πλέγματα πόλων. Με μείωση της ταχύτητας περιστροφής για την ίδια ισχύ πρέπει να αυξηθεί ο αριθμός των πόλων και, φυσικά, η διάμετρος του τροχού των πόλων. Οι γεννήτριες υδροηλεκτρικών σταθμών μπορούν να παρουσιάσουν διάμετρο του δρομέα μέχρι και 16 m για ισχύες μέχρι και 800MVA.

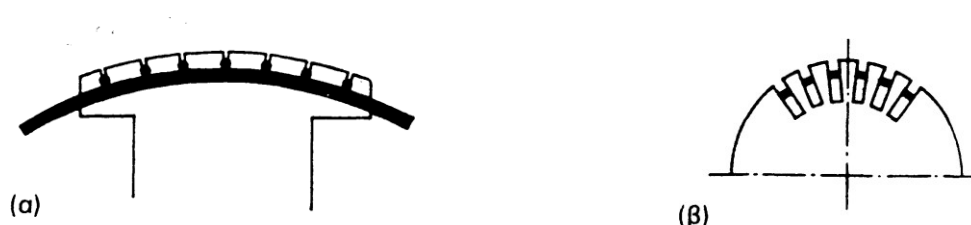


Σχήμα 2.24: Δρομέας έκτυπων πόλων σύγχρονης μηχανής (α) τομή ,(β) κεφαλή.

Τα διάκενα μεταξύ δρομέα και στάτη των στροβιλογεννητριών συνήθως είναι πολύ μεγαλύτερα από μηχανές άλλου τύπου και μπορούν να φθάσουν τα 10 cm.

Συγκεκριμένα, ενώ στις ασύγχρονες μηχανές το διάκενο αέρα δεν ξεπερνά σε τιμή τα μερικά χιλιοστά, στις σύγχρονες μηχανές συναντά κανείς διάκενα που κυμαίνονται από 5 μέχρι και 150 mm. Μακρά διάκενα ελαττώνουν την αντίδραση του τυλίγματος τύμπανου και την πτώση τάσης μέσω της μηχανής και βελτιώνουν την ευστάθεια της. Περιορίζουν τα μεγάλα ρεύματα βραχυκύκλωσης. Το διάκενο είναι επίσης αναγκαίο για τον αερισμό. Ένα προφανές μειονέκτημα του μεγάλου διάκενου είναι το ότι απαιτεί υψηλότερη μαγνητεγερτική δύναμη προς παραγωγή προκαθορισμένης ροής διάκενου και συνεπώς είναι πιο δαπανηρή κατασκευή. Τα μεγάλα αυτά διάκενα είναι επιτρεπτά, διότι το περιστρεφόμενο πεδίο διεγείρεται με συνεχές ρεύμα στο δρομέα, ο οποίος είναι διαμορφωμένος υπό τη μορφή πόλων, με αποτέλεσμα η μαγνητεγερτική δύναμη να μην επιφορτίζει το δίκτυο. Ενώ στις μηχανές συνεχούς ρεύματος το μαγνητικό πεδίο δημιουργείται από ακίνητους μαγνητικούς πόλους, στις σύγχρονες μηχανές προτιμώνται οι περιστρεφόμενοι πόλοι, διότι το μικρό σχετικά ρεύμα διέγερσης τροφοδοτείται ευκολότερα διαμέσου δύο δακτυλίων, από ότι η τριφασική ισχύς, η οποία θα χρειαζόταν και τρεις δακτυλίους. Επίσης ο δρομέας εξαιτίας του συνεχούς ρεύματος διέγερσης μπορεί να κατασκευαστεί από συμπαγή κομμάτια.

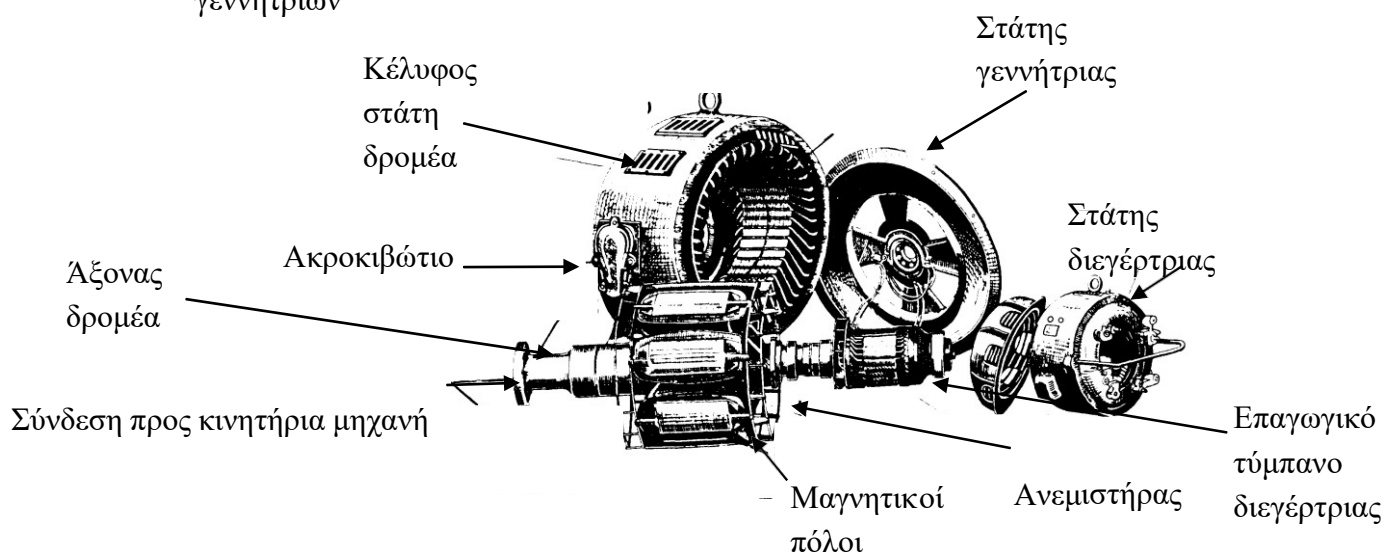
Επίσης υπάρχει και το τύλιγμα απόσβεσης. Στις γεννήτριες χρησιμεύει για τη βελτίωση της λειτουργίας της γεννήτριας κατά τη διάρκεια διαφόρων μεταβατικών φαινομένων. Οι ράβδοι του τυλίγματος απόσβεσης (τυλίγματος κλωβού) στο δρομέα στροβιλογεννήτριας τίθενται μετά του τυλίγματος διέγερσης στις αύλακες του δρομέα. Στους δρομείς με έκτυπους πόλους οι ράβδοι τίθενται σε ιδιαίτερες αύλακες μέσα στο πέδιλο του πόλου, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.25. Στους σύγχρονους κινητήρες ο ρόλος του είναι σημαντικότερος. Οι τελευταίοι δεν διαθέτουν ροπή εκκίνησης. Για να καταστεί ο κινητήρας αυτο-εκκινούμενος, εισάγεται σε αύλακες εντός των επιφανειών των πόλων ένα τύλιγμα κλωβού, δηλαδή τύλιγμα απόσβεσης. Ο κινητήρας εκκινεί ως ασύγχρονος κινητήρας μέσω του τυλίγματος απόσβεσης. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας αυτής το τύλιγμα πεδίου είναι ή ανοικτό ή βραχυκυκλωμένο μέσω κατάλληλης αντιστάσεως εκφόρτισης. Εάν είναι ανοικτό, είναι δυνατό να επαχθούν σ' αυτό υψηλές τάσεις και αυτό πρέπει να ληφθεί υπόψη στον υπολογισμό της μόνωσης. Ο κινητήρας έρχεται σχεδόν μέχρι τη σύγχρονη ταχύτητα μέσω της λειτουργίας του ως ασύγχρονος κινητήρας. Τότε το τύλιγμα πεδίου ενεργοποιείται και εάν το φορτίο του άξονα και η αδράνεια δεν είναι πολύ μεγάλη, ο κινητήρας έρχεται σε συγχρονισμό. Η ικανότητα ενός κινητήρα προς συγχρονισμό εξαρτάται από την αδράνεια του δρομέα και του φορτίου, τη χαρακτηριστική ταχύτητας-ροπής λόγω του τυλίγματος απόσβεσης, την επιβραδύνουσα ροπή των τριβών, ανεμισμού και φορτίου στον άξονα, τη διέγερση του πεδίου και τη στιγμιαία γωνιακή θέση του δρομέα σε σχέση με το στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο τη στιγμή εφαρμογής της διέγερσης.



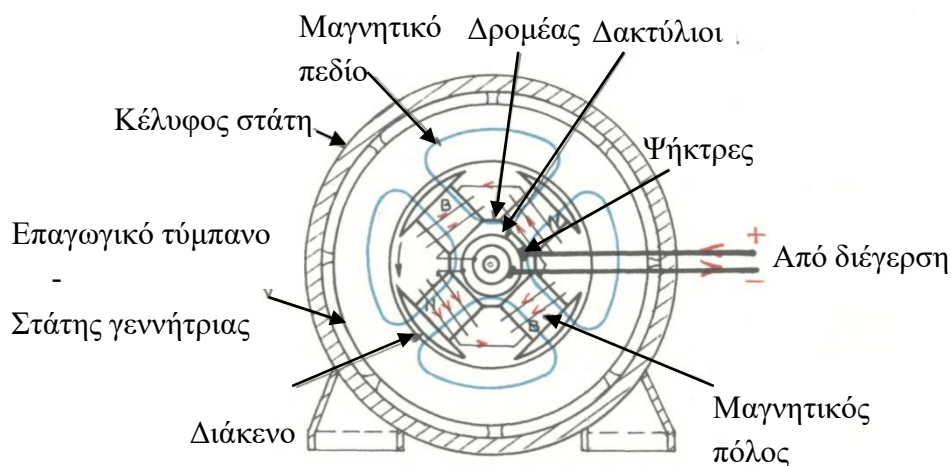
Σχήμα 2.25 Διάταξη τυλίγματος απόσβεσης: (α) για δρομέα έκτυπων πόλων, (β) για κυλινδρικό δρομέα.



Στα παρακάτω σχήματα 2.26 και 2.27 παρουσιάζονται αναλυτικά τα στοιχεία των γεννητριών



Σχήμα 2.26 Σύγχρονη γεννήτρια έκτυπων πόλων



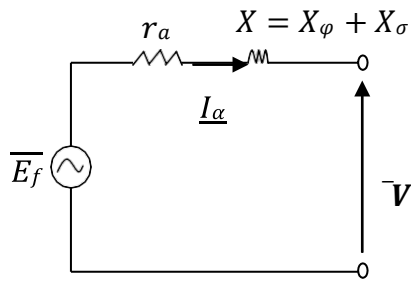
Σχήμα 2.27 Διέγερση σύγχρονης γεννήτριας με έκτυπους πόλους

Τα τυλίγματα του πεδίου τροφοδοτούνται με συνεχή τάση  $V_f$ . Όμως η μηχανική περιστροφή του δρομέα και η ηλεκτρομαγνητική σύζευξη μεταξύ του δρομέα και του στάτη, εμφανίζεται σαν εναλλασσόμενη ημιτονοειδής τάση στο τύλιγμα του τυμπάνου του στάτη. Η τάση αυτή είναι η  $E_f$  και εξαρτάται από την τάση εξόδου της γεννήτριας  $V$ .

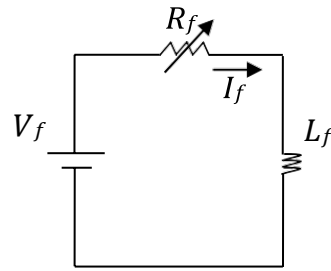
Το  $X_\phi$  η αμοιβαία επαγωγική αντίδραση μεταξύ των τυλιγμάτων του δρομέα και του στάτη,  $X_\sigma$  η επαγωγική αντίδραση σκέδασης του στάτη και  $r_a$  η ωμική αντίσταση αυτού. Η αντίδραση  $X$  ονομάζεται σύγχρονη αντίδραση της γεννήτριας (για μόνιμη λειτουργία). Όταν η γεννήτρια λειτουργεί υπό κενό φορτίο, τότε το ρεύμα που διαρρέει το ισοδύναμο κύκλωμα είναι 0 και έτσι όλες οι τάσεις είναι ίσες μεταξύ τους και κατά μέτρο και κατά γωνιά.



Έτσι το ισοδύναμο κύκλωμα ανά φάση είναι:



(α)



(β)

Σχήμα 2.28: (α) Μονοφασικό ισοδύναμο κύκλωμα τριφασικής συγχρονης γεννήτριας (β) κύκλωμα διέγερσης

Εάν η γεννήτρια είναι υπό φορτίο, τότε η αποδιδόμενη ενεργός ισχύς και η αέργος ισχύς  $Q$  στο δίκτυο είναι:

$$P = 3VI_{\alpha} = 3VE_f \frac{\sin \delta}{X'} \quad (2.17)$$

$$Q = 3VI_{\alpha} \sin \theta = 3V \frac{(E_r \cos \delta - V)}{X'} \quad (2.18)$$

με  $V$  η φασική τάση εξόδου (τάση ακροδεκτών) της γεννήτριας,  $X$  η συνολική επαγόμενη αντίσταση των τυλιγμάτων όπου ονομάζεται σύγχρονη αντίδραση γεννήτριας και  $\delta$  η διαφορά φάσης ανάμεσα στην τάση εξόδου και την τάση διέγερσης όπου ονομάζεται γωνία ροπής, και δείχνει την γωνία του διανύσματος της μαγνητικής ροής του τυλίγματος του στάτη με το αντίστοιχο του δρομέα. Η γωνία  $\theta$  είναι η διαφορά φάσης των ακροδεκτών  $V$  και του ρεύματος  $I_{\alpha}$ . Τέλος το  $\cos \theta$  είναι ο συντελεστής ισχύος της γεννήτριας.

### 2.3.2 Παράλληλη λειτουργία σύγχρονων γεννητριών

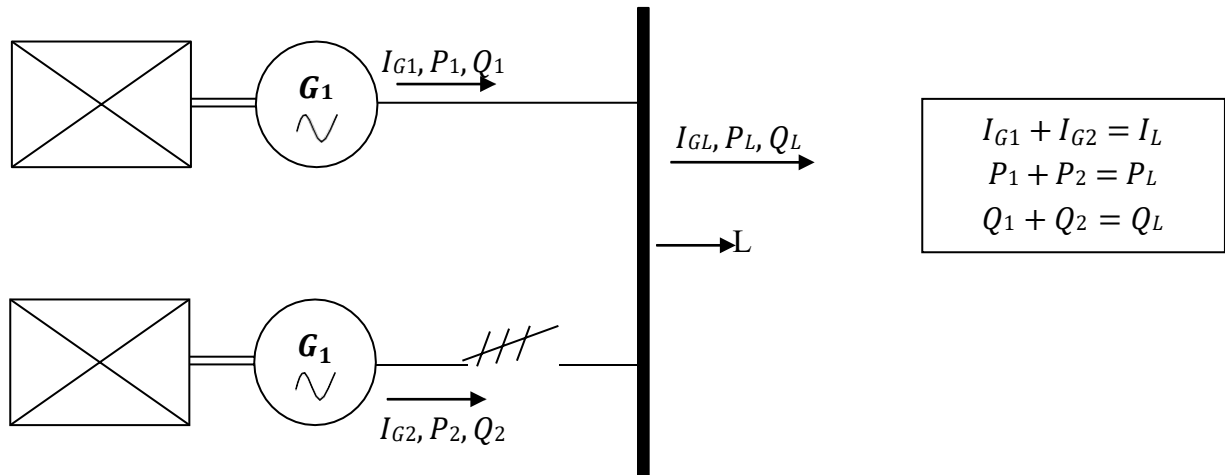
Οι σύγχρονες εναλλασσόμενες γεννήτριες μπορούν εύκολα να λειτουργήσουν παράλληλα. Τα πλεονεκτήματα της παράλληλης λειτουργίας είναι τα έξης:

- Συνεχής και αξιόπιστη εξυπηρέτηση των καταναλωτών.
- Χαμηλότερο κόστος λειτουργίας.
- Μεγάλη ηλεκτρική ευστάθεια του δικτύου

Για να παραλληλιστούν δύο γεννήτριες  $G_1, G_2$  πρέπει να ισχύει :

- Τα μέτρα των τάσεων των δύο γεννητριών να είναι ίδια και για τις τρεις φάσεις.
- Η διαφορά φάσεων των δύο γεννητριών να είναι μηδέν.
- Η συχνότητα των δύο γεννητριών να είναι ίδια.
- Η ακολουθία φάσεων να είναι ίδια.

Έστω δύο γεννήτριες  $G_1, G_2$  με τις κινητήριες μηχανές τους  $PM_1$  και  $PM_2$ , όπου συνδέονται με ένα φορτίο  $L$ .

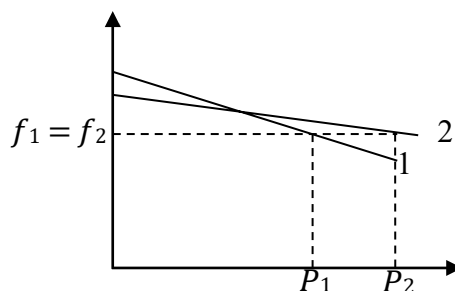


Σχήμα 2.28: Παραλληλισμός τριφασικών σύγχρονων γεννητριών

Τη στιγμή που ο διακόπτης κλείνει, η τάση στους τρεις ζυγούς των  $G_1, G_2$  είναι σε φάση και η διαφορά δυναμικού στους διακόπτες είναι 0. Έτσι το ρεύμα που ρέει τη γεννήτρια 2 είναι μηδέν και επομένως και η ισχύς στο δίκτυο είναι 0. Αυτό πρακτικά είναι αδύνατο γι' αυτό πρέπει να προνοηθεί η τάση και η συχνότητα της γεννήτρια 2 να είναι λίγο μεγαλύτερη από την τάση και τη συχνότητα του δικτύου. Αυτό γίνεται, ώστε η γεννήτρια να μην απορροφάει ρεύμα από το δίκτυο και να λειτουργήσει σαν κινητήρας το οποίο μπορεί να καταστρέψει την κινητήριω μηχανή.

Κατά τη λειτουργία δύο γεννητριών παράλληλα η συχνότητα και η τάση είναι κοινή και για τις δύο γεννήτριες και αποτελούν την τάση και συχνότητα του δικτύου. Ο διαμερισμός της ενεργούς ισχύος μπορεί να γίνει με τη βοήθεια του κανόνα του καυσίμου των κινητήριων μηχανών, όπου αποδίδεται με τις χαρακτηριστικές καμπύλες της συχνότητας και τις ενεργούς ισχύος ( $f - P$ ), ενώ ισχύει

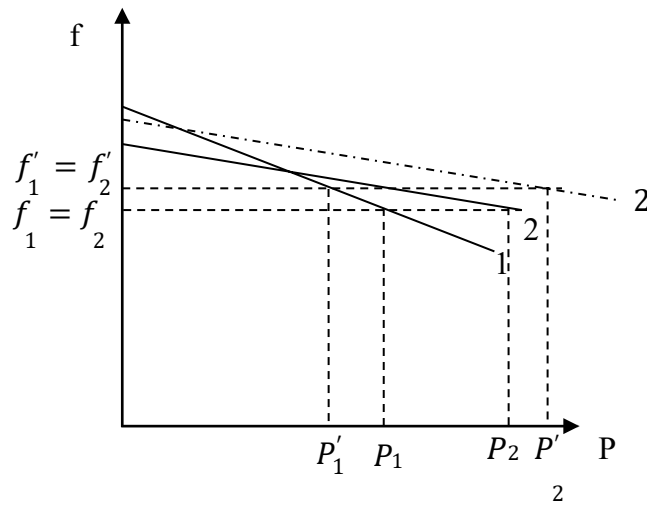
$$P_1 + P_2 = P_L \quad (2.19)$$



Σχήμα 2.30: Κατανομή ενεργού ισχύος

Η κλίση της ευθείας ονομάζεται βαθμός αναλογίας ή στατισμός. Η ταυτόχρονη μεταβίβαση του ενεργού φορτίου από τη μια γεννήτρια στην άλλη επιτυγχάνεται με παράλληλη εκατέρωθεν μετατόπιση των δυο χαρακτηριστικών  $f-P$ . Σε περίπτωση που το καύσιμο του κινητήρα μιας από τις δύο γεννήτριες μεταβληθεί τότε:

- Εάν η  $P_L$  δεν έχει μεταβληθεί, τότε θα αυξηθεί η παραγωγή ενεργού ισχύος της γεννήτριας 2 ( από  $P_2$  σε  $P'_2$  ), ενώ θα υπάρχει και μείωση της ενεργού ισχύος της γεννήτριας 1.
- Παράλληλα θα υπάρχει και αύξηση της κοινής συχνότητας.



Σχήμα 2.31: Κατανομή ενεργού ισχύος μετά από αύξηση τις κατανάλωσης της γεννήτριας 2.

Η συσχέτιση μεταξύ καυσίμου, συχνότητας, ενεργού ισχύος είναι αυστηρή και δεν μπορεί να επηρεαστεί από άλλους παράγοντες παρά μόνο δευτερογενείς. Ποιοτικά αυτό σημαίνει ότι ο χειριστής μπορεί να επιτύχει μεταβολές στην ενεργό ισχύ και τη συχνότητα ρυθμίζοντας μόνο την έγχυση καυσίμου στις κινητήριες μηχανές των γεννητριών.

Ο ελεγκτής flyball είναι ένα σύστημα το οποίο ελέγχει ανάλογα με τη συχνότητα περιστροφής των βαριδίων την έγχυση καυσίμου. Ένα τέτοιο σύστημα φαίνεται στο σχήμα 2.32. Αν υποθεθεί ότι στον ελεγκτή με τα βαρίδια η βαρυτική δύναμη είναι αμελητέα σε σύγκριση με τη φυγοκεντρική δύναμη, τότε δρουν δύο δυνάμεις στο σύστημα αυτό : η  $F_c$  η οποία είναι εξωτερική και δρα στα βαρίδια, και η  $F_s$  είναι εντατική δύναμη και δρα στο ελατήριο. Όσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα περιστροφής των βαριδίων (δηλ μεγάλη συχνότητα), τόσο τα βαρίδια πάνε προς τα έξω και έτσι το ελατήριο συμπιέζεται προς τα άνω. Αυτό έχει σαν συνέπεια η έγχυση καυσίμου να μεγαλώνει έτσι να υπάρχει μεγαλύτερη ισχύ. Αντίστοιχα αν η ταχύτητα των βαριδίων είναι μικρή, τότε τα βαρίδια πάνε πιο κοντά στο σώμα με αποτέλεσμα το ελατήριο να επιμηκύνεται προς τα κάτω. Έτσι η ισχύς μειώνεται, αφού το καύσιμο εγχέεται λιγότερο στο θάλαμο καύσης.

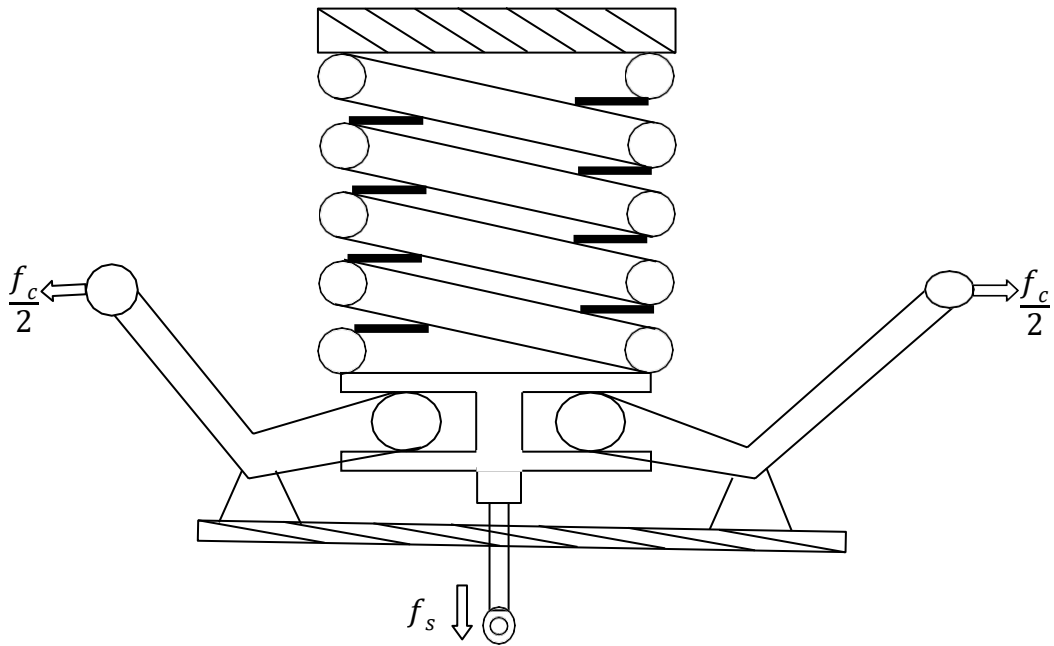
Η κατανομή της αέργου ισχύος μεταξύ των γεννητριών επιτυγχάνεται με μεταβολή του ρεύματος διέγερσης  $I_f$  άρα και της τάσης διέγερσης της γεννήτριας:

$$Q_1 + Q_2 = Q_L \quad (2.20)$$

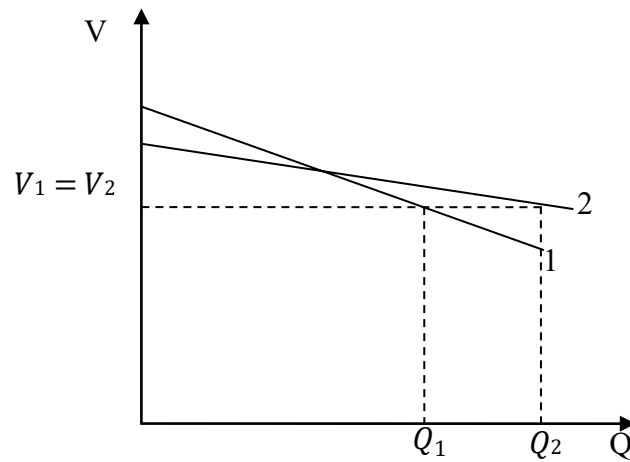
Η μεταφορά της αέργου από τη μια μηχανή στην άλλη γίνεται με παράλληλη μετατόπιση των δύο χαρακτηριστικών V-Q σχήμα 2.32. Εάν το ρεύμα διέγερσης σε μία από τις δύο γεννήτριες μεταβληθεί τότε:

- Εάν η τιμή της συνολικής κατανάλωσης δεν μεταβληθεί, τότε θα αυξηθεί η παραγωγή άεργου τιμής στη γεννήτρια 2 ( από  $Q_2$  σε  $Q_1$ ), ενώ ταυτόχρονα θα μειωθεί η αντίστοιχη παραγωγή άεργου της γεννήτριας 1.

- Επιπλέον θα υπάρχει αύξηση της τάσης του δικτύου.

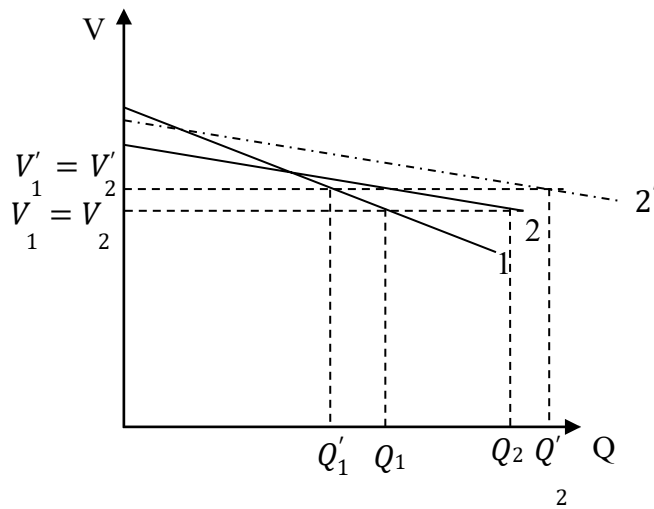


Σχήμα 2.32 Ελεγκτής Flyball.



Σχήμα 2.33 : Κατανομή άεργου ισχύος.

Στις χαρακτηριστικές καμπύλες άεργου ισχύος-τάσεως, οι μεταβολές στο ρεύμα διέγερσης μιας γεννήτριας ισοδυναμεί με παράλληλη μετατόπιση της χαρακτηριστικής V-Q. Έτσι ο μηχανισμός V-Q είναι δυαδικός αντίστοιχος με το μηχανισμό f-P.



Σχήμα 2.34 : Κατανομή άεργου ισχύος μετά από αύξηση του ρεύματος διέγερσης στη γεννήτρια 2.

Όμως υπάρχουν και κάποιες διαφορές που είναι :

- Η ρύθμιση άεργου ισχύος και τάσης περιλαμβάνει ρυθμίσεις μόνο στη γεννήτρια και σε αμιγώς ηλεκτρικά κυκλώματα με αποτέλεσμα να είναι ταχύτατη (χρόνος απόκρισης μερικά ms). Αντιθέτως η ρύθμιση ενεργού ισχύος περιλαμβάνει κατά τρόπο ουσιαστικό την κινητήρια μηχανή της γεννήτριας και το μηχανισμό έγχυσης καυσίμου και είναι εξαιρετικά πιο αργή. Επιπλέον το ισοζύγιο άεργου ισχύος τηρείται στο ηλεκτρικό δίκτυο, ενώ το αντίστοιχο της ενεργού ισχύος τηρείται στο συνολικό σύστημα κινητήρων μηχανών – ηλεκτρικού δικτύου.
- Αποδεικνύεται ότι ο μηχανισμός καυσίμου – συχνότητας - ενεργούς ισχύος (Pf) και ο μηχανισμός ρεύματος διέγερσης – τάσης – άεργο ισχύος (QV) έχουν κάποια αλληλεξάρτηση, και μάλιστα ότι ο πρώτος είναι πολύ πιο ευαίσθητος σε ρυθμίσεις του δεύτερου απ' ότι το αντίστροφο. Χωρίς όμως σοβαρό σφάλμα και δεδομένων των διαφορών στους χρόνους απόκρισης, λαμβάνεται ότι οι δύο μηχανισμοί είναι ανεξάρτητοι μεταξύ τους, κάτι το οποίο ισχύει με μεγάλη ακρίβεια σε μόνιμη κατάσταση λειτουργίας, αλλά και σε αρκετά μεταβατικά φαινόμενα.

### 2.3.4 Γεννήτρια συνεχούς ρεύματος

Η γεννήτρια συνεχούς ρεύματος έχει τα ακόλουθα μέρη:

- Το στάτη.
- Το δρομέα

Πιο συγκεκριμένα ο στάτης αποτελείται από το ζύγωμα, τους μαγνητικούς πόλους, τους βοηθητικούς πόλους, το ψηκτροφορέα με τις ψήκτρες, το κιβώτιο ακροδεκτών και τα δύο καλύμματα. Ο πυρήνας του στάτη κατασκευάζεται από μονωμένα ελάσματα, έτσι, ώστε να μειωθούν όσο το δυνατόν οι απώλειες των δινορρεύματων.

Τα ζύγωμα είναι ο κορμός όλης της μηχανής και το βασικό μέρος του στάτη. Αυτό το κομμάτι συνδέει τον κινούμενο άξονα με τους μαγνητικούς πόλους. Κατασκευάζεται από χυτοσίδηρο ή μαλακό χάλυβα.

Οι μαγνητικοί πόλοι είναι η διέγερση της μηχανής, δηλαδή είναι η πρωτεύουσα πηγή μαγνητικής ροής.

Οι βοηθητικοί τοποθετούνται μεταξύ κύριων πόλων και έχουν σαν σκοπό την προστασία της μηχανής από τυχόν σπινθήρες του συλλέκτη από την εκκίνηση της ουδέτερης ζώνης, κατά τη λειτουργία με φορτίο.

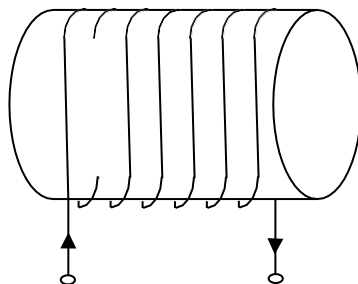
Ο ψηκτροφορέας με τις ψηκτρες, έχει σαν σκοπό την προσαγωγή ή την απαγωγή του ρεύματος των τυλιγμάτων .

Τα καλύμματα χρησιμεύουν για τη στήριξη του άξονα του δρομέα, του ψηκτροφορέα και την προφύλαξη του εσωτερικού της μηχανής.

Ο δρομέα αποτελείται από τον άξονα, το επαγωγικό τύμπανο (πυρήνα και τύλιγμα), το συλλέκτη και τον ανεμιστήρα. Ο πυρήνας του δρομέα κατασκευάζεται και αυτός από μονωμένα ελάσματα για τον ίδιο λόγο με τον πυρήνα του στάτη.

Για τις μηχανές συνεχούς ρεύματος υπάρχουν δύο βασικά τυλίγματα, τα οποία το ένα είναι το τύλιγμα διέγερσης του στάτη ( βρίσκεται στο σταθερό μέρος) και το δεύτερο είναι το τύλιγμα του τύμπανου στο δρομέα.

Τα τυλίγματα του στάτη κατασκευαστικά είναι συγκεντρωμένα, δηλαδή κάθε πόλος αποτελείται από μία μονάδα από N σπείρες διασυνδεδεμένες σε σειρά, όπου καταλήγουν σε δύο ακροδέκτες. Ο αριθμός των σπειρών και η διατομή εξαρτώνται από την ισχύ της μηχανής.



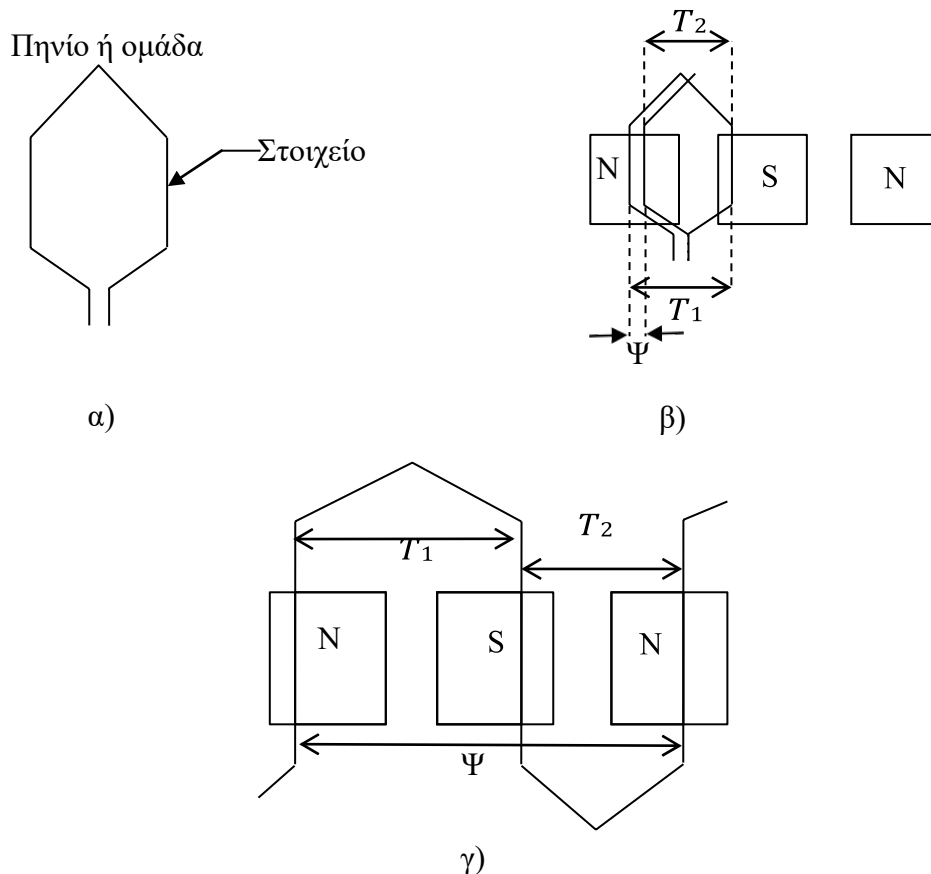
Σχήμα 2.35: Τυλίγματα διέγερσης μηχανής συνεχούς ρεύματος.

Αντίθετα τα τυλίγματα του δρομέα είναι διανεμημένα. Αποτελούνται από ομάδες οι οποίες είναι ομοιόμορφες διανεμημένες και κατάλληλα συνδεδεμένες στα αυλάκια γύρο από το κενό.

Υπάρχουν δύο είδη τυλιγμάτων του δρομέα, τα οποία είναι :

- Τα βροχοτυλίγματα.
- Τα κυματοτυλίγματα.

Οι σπείρες του τυλιγματος του τυμπάνου διαμορφώνονται με πηνία ή ομάδες. Τα άκρα αυτών των ομάδων καταλήγουν στους τομείς του συλλέκτη, ενώ τα στοιχεία τους τοποθετούνται στα αυλάκια του δρομέα. Υπάρχει διαφορετικοί τρόποι σύνδεσης ανάλογα με τον τύπο του τυλιγματος.



Σχήμα 2.36: συνδέσεις ομάδων τυλιγμάτων μηχανών συνεχούς ρεύματος α) Πηνίο β) βροχοτύλιγμα γ) Κυματοτύλιγμα

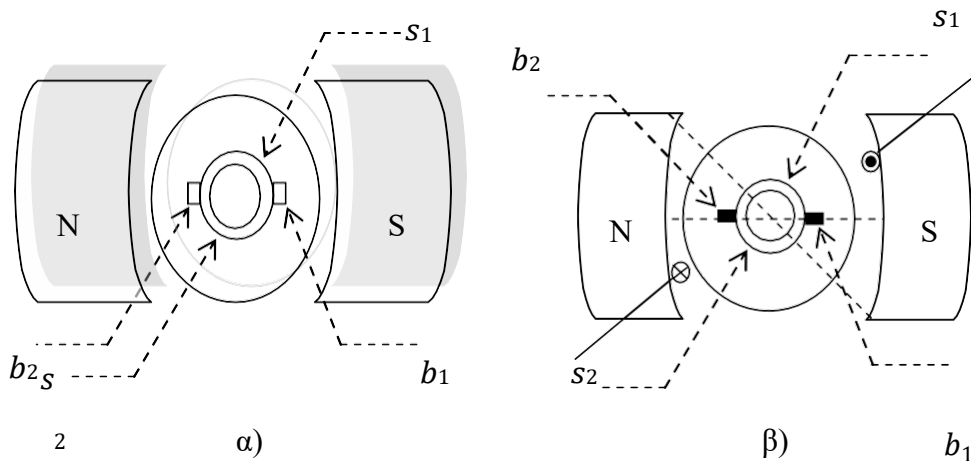
Η απόσταση μεταξύ των στοιχείων της κάθε ομάδας μετριέται συνήθως σε αριθμό στοιχείων και καλείται πρώτο μερικό βήμα  $\psi_1$  (περίπου ίσο με το 90% του πολικού βήματος). Η απόσταση του δεύτερου στοιχείου από το πρώτο της αμέσως επόμενης σε σειρά συνδεδεμένης ομάδας σε σειρά ονομάζεται ως δεύτερο μερικό βήμα  $\psi_2$ . Η απόσταση του στοιχείου της πρώτης σειράς με το στοιχείο της επόμενης σειράς ονομάζεται βήμα του τυλίγματος.

Για τις διπολικές μηχανές προτιμάται το βροχοτύλιγμα, διότι κατασκευάζεται πιο εύκολα. Για περισσότερα ζεύγη πόλων προτιμάται το κυματοτύλιγμα, διότι δίνει μεγαλύτερες ηλεκτρεγερτικές δυνάμεις από το βροχοτύλιγμα. Αυτό οφείλεται στο ότι το βροχοτύλιγμα έχει περισσότερους παράλληλους κλάδους και κατά συνέπεια λιγότερες διασυνδεδεμένες ομάδες.

Ο ρόλος του συλλέκτη σε μια γεννήτρια είναι να ανορθώσει τη τάση που επάγεται στα πηνία του δρομέα, με αποτέλεσμα τη σταθερή πολικότητα της τάσης στις ψήκτρας. Έστω μια διπολική μηχανή με  $N$  σπείρες όπου τα άκρα συνδέονται με τους τομείς  $S_1$   $S_2$  του συλλέκτη.

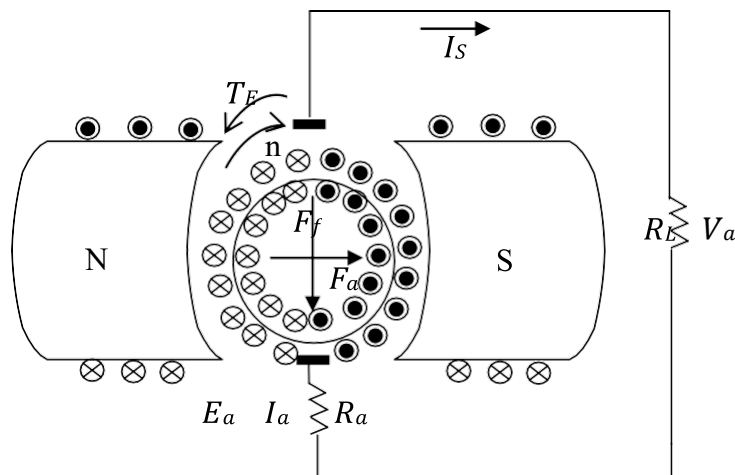
Τη χρονική στιγμή κατά την οποία η γωνία  $\theta$  των μαγνητικών πεδίων των τυλιγμάτων παίρνει τιμή  $0^\circ$  ή  $180^\circ$ , τότε η επαγόμενη τάση είναι 0. Έστω ότι το πλάτος επαφής της ψήκτρας αμεληθεί, τότε η  $b_1$  ολισθαίνει πάντοτε στον τομέα του συλλέκτη κατά το νότιο πόλο. Η ψήκτρα  $b_2$  τότε ολισθαίνει κατά την αντίθετη μεριά του συλλέκτη, δηλαδή κατά το βόρειο πόλο. Αποτέλεσμα αυτού είναι ότι η ψήκτρα  $b_1$  βρίσκεται πάντα σε θετικό δυναμικό, ενώ η ψήκτρα  $b_2$  σε αρνητικό δυναμικό.





Σχήμα 2.37: α) Στοιχειώδης διπολική μηχανή β) Πολικότητα επαγόμενων τάσεων

Η φορά των ρευμάτων είναι αντίθετη από εκείνης της Η.Ε.Δ και η αναπτυσσόμενη ροπή είναι αντίθετη από τη φορά περιστροφής. Το πεδίο του δρομέα προηγείται από το πεδίο του στάτη, ενώ πάντα αυτά τα πεδία έχουν διαφορά φάσης 90°, δηλαδή είναι πάντα κάθετα



Σχήμα 2.38: Λειτουργικές καταστάσεις γεννήτριας

### 2.3.4.1 Παραγωγή τάσης

Έστω ένα στοιχειώδες τύλιγμα τυμπάνου πλήρους βήματος (δηλαδή η απόσταση των πλευρών του ισούται με ένα πολικό βήμα).

Η πεπλεγμένη ροή  $\lambda$  της στοιχειώδους επιφάνειας  $Da$  του πηνίου του δρομέα είναι:

$$d = NB(a)dA = NB(a)l \frac{D}{2} da \quad (2.21)$$

$$= \int_{\alpha=\theta}^{\alpha=\theta+} d = \frac{NDL}{2} \int_{\alpha=\theta}^{\alpha=\theta+} B(A)da \quad (2.22)$$

---

Όπου  $N$  είναι ο αριθμός των σπειρών του πηνίου του δρομέα,  $B$  η πυκνότητα μαγνητικής ροής του διακένου, ( $\text{Wb}/\text{m}^2$ ),

L το "ενεργό" μήκος αγωγών, (m),  
 D διάμετρος δρομέα, (m),  
 λ πεπλεγμένη ροή τυλίγματος τυμπάνου, (Wb),

Επειδή η χωρική διανομή της πυκνότητας ροής είναι περιττή συνάρτηση,  $B(-\alpha) = -B(\alpha)$ , η προκύπτουσα σειρά Fourier περιέχει μόνο περιττούς όρους.

Επομένως η σειρά Fourier περιέχει μόνο ημιτονονικούς όρους. Αποδεικνύεται ότι:

$$B(a) = B_1 \sin a + B_3 \sin 3a + B_5 \sin 5a \dots + B_n \sin na \quad (2.23)$$

Αντικαθιστώντας τις δύο προηγούμενες σχέσεις προκύπτει ως προς την πεπλεγμένη ροή ότι:

$$= NDL(B_1 \cos \theta + \frac{1}{3} B_3 \cos 3\theta + \dots + \frac{1}{n} B_n \cos n\theta) \quad (2.24)$$

Σαν συμπέρασμα βγαίνει ότι όσο αυξάνεται το n, τότε μικραίνει η πεπλεγμένη ροή, δηλαδή η πεπλεγμένη ροή, καθώς και η αντίστοιχη χωρική κατανομή της πυκνότητας ροής μπορεί με αρκετά μεγάλη ακρίβεια να χωριστεί σε δύο θεμελιώδες συνιστώσες:

$$B = B_1 \cos \alpha \quad (2.25)$$

Και

$$= NDLB_1 \cos \theta = B_1 \cos \theta \quad (2.26)$$

Η επαγόμενη τάση στο τύλιγμα, είναι:

$$e = -\frac{d}{dt} = -\frac{d}{d\theta} \frac{d\theta}{dt} = -\omega \frac{d}{d\theta} \quad (2.27)$$

Όπου το  $\omega$  είναι η κυκλική συχνότητα των επαγόμενων τάσεων, (rad/sec)

Εάν αντικατασταθούν οι δύο πιο πάνω σχέσεις, προκύπτει ότι:

$$e = \omega NDL(B_1 \sin \theta + B_3 \sin 3\theta + \dots + B_n \sin n\theta) = \omega NB(\theta)DL \quad (2.28)$$

Η σχέση αυτή δηλώνει ότι για σταθερή γωνιακή ταχύτητα περιστροφής, η κυματομορφή της επαγόμενης τάσης του τυλίγματος τυμπάνου έχει την ίδια μορφή με εκείνη του κύματος της χωρικής κατανομής της πυκνότητας ροής του πεδίου διέγερσης.

Ο συλλέκτης προκαλεί μια ανόρθωση στην τάση. Η τάση στους ακροδέκτες των ψηκτρών λαμβάνεται συνεχής .

Η μέση επαγόμενη τάση στο πηνίο του δρομέα, είναι:

$$E_\alpha = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} e(t) dt = \frac{1}{\pi} \int_0^\pi e(\theta) d\theta = \frac{\omega N}{\pi} \int_0^\pi B(\theta) L d\theta = \frac{\omega N}{\pi} \Phi \quad (2.29)$$

Με  $\Phi$  η μαγνητική ροή ανά πόλο, (Wb)

Στην γενική περίπτωση με P-πολικής μηχανής, ισχύει ότι:

$$\omega_n = \frac{2n}{60} \quad (2.30)$$

και

$$\omega = \frac{P}{2} \omega_m = \frac{Pn}{60} \quad (2.31)$$

Άρα

$$E_a = \frac{PN\Phi_n}{60} \quad (2.32)$$

με  $\omega_m$  :η μηχανική γωνιακή ταχύτητα σε (rad/sec)  
P: ο αριθμός των πόλων.

## 2.5 Μετασχηματιστές

### 2.5.1 Γενικά

Οι μετασχηματιστές είναι ηλεκτρικές συσκευές οι οποίες δεν έχουν κινούμενα μέρη. Οι μετασχηματιστές χρησιμοποιούνται για τη μείωση ή την αύξηση της τάσης και της έντασης του εναλλασσόμενου δικτύου. Οι μεταβολές αυτές επιτυγχάνονται με την κατάλληλη εκμετάλλευσης του φαινομένου της επαγωγής με ακίνητα πηνία και μέσω της μαγνητικής ροής.

Η χρησιμότητα των μετασχηματιστών είναι για την μείωση των απωλειών στα συστήματα μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς επίσης βρίσκουν εφαρμογή και στα ακόλουθα:

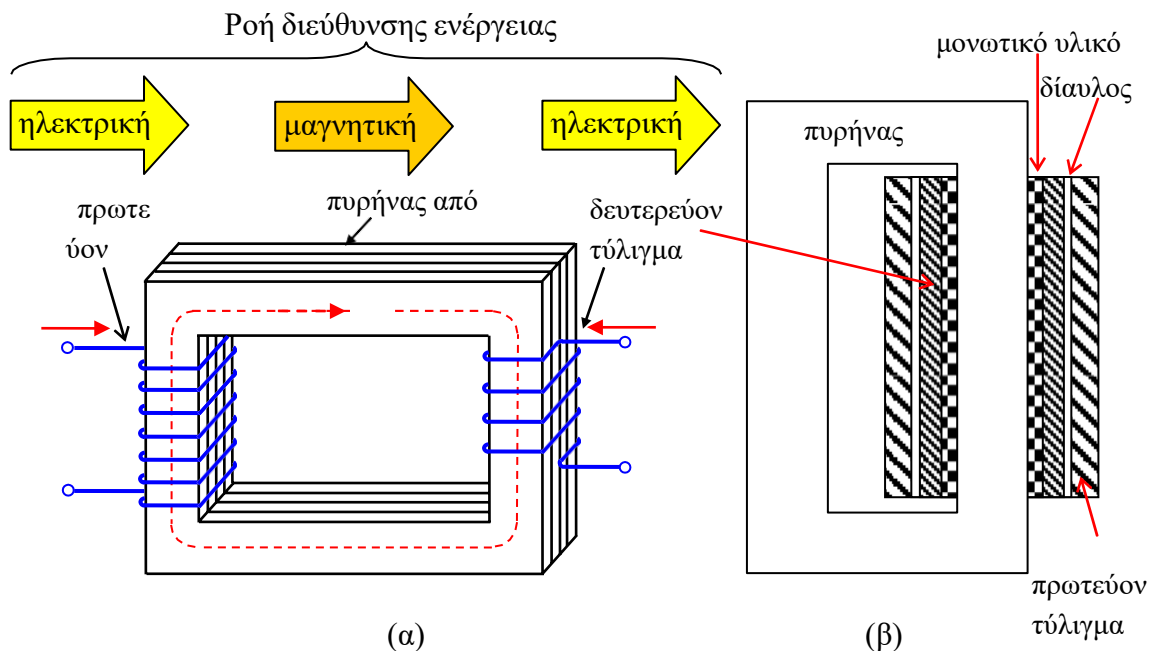
- Στις τηλεπικοινωνίες για τη μεταφορά σημάτων ομιλίας και για την προσαρμογή αντιστάσεων.
  - Στην τεχνολογία των μετρήσεων οι μετασχηματιστές χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά των μετρούμενων μεγεθών της τάσης και του ρεύματος (μετασχηματιστής τάσης και μετασχηματιστής έντασηςαντίστοιχα).
  - Στα εργαστήρια, καθώς και σε οικιακές συσκευές, χρησιμοποιούνται για γαλβανική απομόνωση και υποβιβασμό της τάσης του δικτύου.
  - Στη μετατροπή τάσεων εντός σχετικά μικρών ορίων (αυτομετασχηματιστές) για σύνδεση συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας διαφόρων τάσεων, για εκκίνηση κινητήρων εναλλασσόμενου ρεύματος, για τροφοδότηση διατάξεων με ηλεκτρονικά ισχύος, κ.λ.π.
  - Σε εργαστήρια για την εκτέλεση δοκιμών με υψηλή ή υπερυψηλήτάση.
  - Σε ειδικές εφαρμογές, όπως ηλεκτρικοί κλίβανοι, συγκολλήσεις κ.λ.π.
- Υπάρχουν τρία είδη μετασχηματιστών από πλευρά μετασχηματισμών τάσης και είναι:
- Μετασχηματιστής υποβιβασμού,

- Μετασχηματιστές γαλβανικής απομόνωσης (ίδιας τάσης),
- Μετασχηματιστής ανύψωσης.

Πιο συγκεκριμένα ο μετασχηματιστής όπου στην είσοδο του έχει ρεύμα υψηλής τάσεως και στην έξοδο του βγάζει ρεύμα χαμηλής τάσεως καλείται μετασχηματιστής υποβιβασμού. Αντίθετα, όταν στην είσοδο του μετασχηματιστή εφαρμοστεί ρεύμα χαμηλής τάσεως και στην έξοδο του δίνει ρεύμα υψηλής τάσεως, τότε, αυτός ο μετασχηματιστής καλείται μετασχηματιστής ανύψωσης.

Οι μετασχηματιστές αποτελούνται από δύο πηνία, τα οποία βρίσκονται σε τέτοια θέση έτσι, ώστε να υπάρχει στενή σύνδεση μαγνητικής σύζευξης μέσω ενός κλειστού πυρήνα από μαλακό σίδηρο. Το πηνίο το οποίο είναι τοποθετημένο με την τροφοδοσία ονομάζεται πρωτεύον πηνίο, ενώ το πηνίο, το οποίο είναι τοποθετημένο με το κύκλωμα κατανάλωσης, ονομάζεται δευτερεύον πηνίο.

Ο πυρήνας του μετασχηματιστή αποτελείται από λεπτά φύλλα μαλακού σιδήρου, μονωμένα μεταξύ τους έτσι, ώστε να αποφεύγεται η ανάπτυξη δινορρευμάτων μέσα στον πυρήνα.



Σχήμα 2.39: (α) Γενική διάταξη μετασχηματιστή (β) πραγματική διάταξη μονοφασικού μετασχηματιστή [11].

Εάν το πηνίο του πρωτεύοντος λάβει από την τροφοδοσία ένα εναλλασσόμενο ρεύμα με συχνότητα  $f_1$  τάσης  $V_1$  και ρεύματος  $I_1$ , τότε στον πυρήνα δημιουργείται μια μαγνητική ροή  $\Phi_1$ , η οποία περνάει και από το δευτερεύον πηνίο, στο οποίο αναπτύσσεται ένα εναλλασσόμενο ρεύμα της ίδιας συχνότητας  $f_1$ , αλλά με διαφορετική ενεργό τάση  $V_2$  και ένταση  $I_2$ . Επιπλέον έχει αποδεχθεί ότι ο λόγος των ρευμάτων του πρωτεύοντος και του δευτερεύοντος πηνίου είναι ανάλογος με το λόγο των σπειρών των δύο πηνίων (σχέση 2.33). Επιπλέον ο λόγος των ρευμάτων είναι αντιστρόφως ανάλογο με το λόγο των σπειρών των δύο πηνίων (σχέση 2.34). Οι ισχύς του πρωτεύοντος και του δευτερεύοντος πηνίου είναι ίσες, εάν ο μετασχηματιστής είναι ιδανικός (σχέση 2.35).

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{V_1}{V_2} \quad (2.33)$$

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1} \quad (2.34)$$

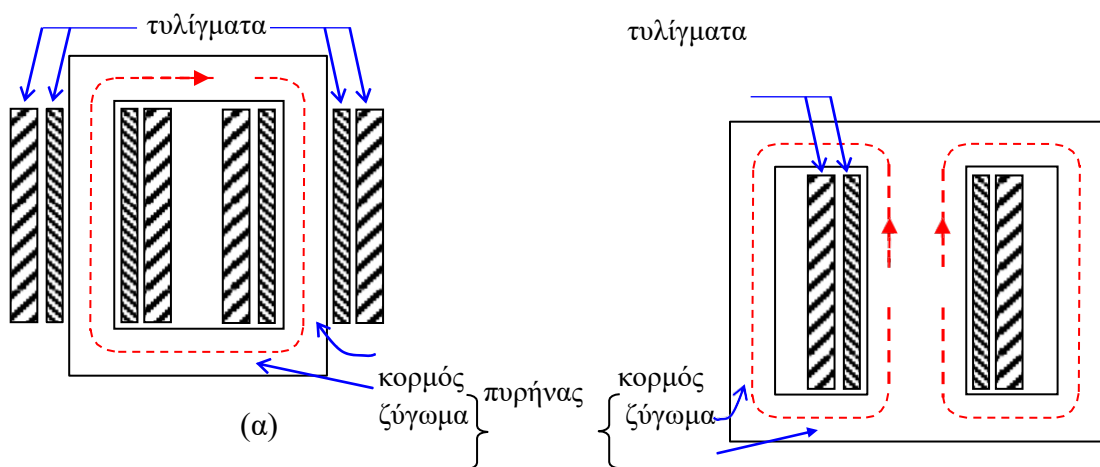
$$P_1 = P_2 \Rightarrow V_1 I_1 = V_2 I_2 \quad (2.35)$$

## 2.5.2 Μονοφασικοί μετασχηματιστές

Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι κατασκευής ενός μονοφασικού μετασχηματιστή:

➤ Τύπου *πυρήνα*, στον οποίο σύμφωνα με το σχήμα 2.40 (α) τα τυλίγματα τοποθετούνται στα δύο σκέλη του μαγνητικού κυκλώματος, το οποίο έχει ορθογωνικό σχήμα. Κάθε σκέλος αυτού περιλαμβάνει το μισό των ελιγμάτων των τυλιγμάτων του πρωτεύοντος και δευτερεύοντος. Τα δύο σκέλη ενώνονται με ζυγούς, οι οποίοι κλείνουν το μαγνητικό κύκλωμα.

➤ Τύπου *μανδύα-κελύφους*, στον οποίο σύμφωνα με το σχήμα 2.40 (β) υπάρχουν τρία σκέλη – κορμοί, όπου τα δύο τυλίγματα του πρωτεύοντος και δευτερεύοντος βρίσκονται στο μεσαίο σκέλος. Η διατομή του μεσαίου σκέλους είναι περίπου διπλάσια της διατομής των δύο άλλων σκελών και των ζυγών, διότι η συνολική ροή στο μεσαίο σκέλος διανέμεται έτσι, ώστε τα εξωτερικά σκέλη και οι ζυγοί να διαρρέονται από το μισό της ροής.



Σχήμα 2.40: Μονοφασικός μετασχηματιστής τύπου (α) πυρήνα, (β) μανδύα – κελύφους [11].

## 2.5.3 Τριφασικοί μετασχηματιστές

Για τα τριφασικά ρεύματα υπάρχουν ειδικοί μετασχηματιστές. Αυτός ο μετασχηματιστής αποτελείται από τρεις μικρότερους μετασχηματιστές όπου είναι ανεξάρτητοι ο καθένας από τον άλλο.

Αυτού οι μετασχηματιστές έχουν τρεις κορμούς όπου εκεί υπάρχουν οι σπείρες του πρωτεύοντος και του δευτερεύοντος. Οι σπείρες του πρωτεύοντος αποτελούνται από τρία τμήματα το ίδιο και για τις σπείρες του δευτερεύοντος πηνίου, δηλαδή ο κάθε κορμός έχει και σπείρες πρωτεύοντος και σπείρες δευτερεύοντος πηνίου για την κάθε φάση.

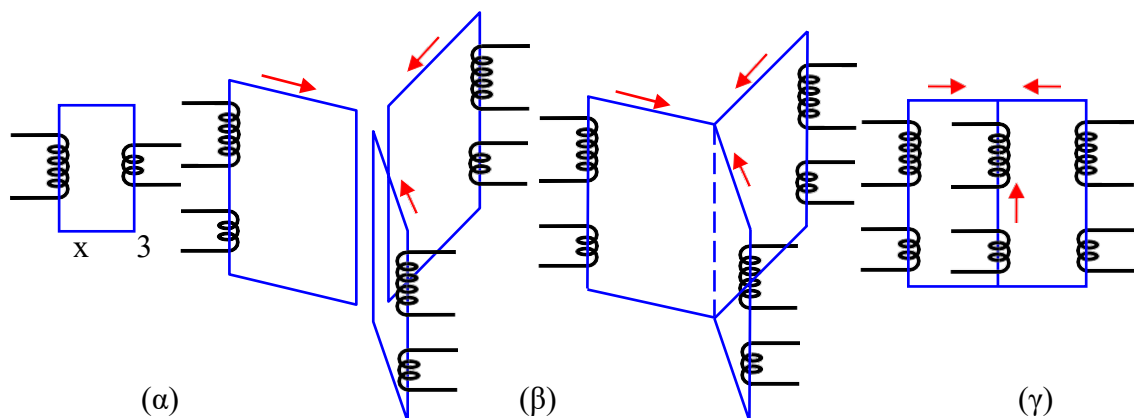
Στους τριφασικούς μετασχηματιστές οι σπείρες του πρωτεύοντος και του δευτερεύοντος μπορούν να συνδεθούν είτε με αστέρα, είτε με τρίγωνο, με συνέπεια να υπάρχουν πολλοί συνδυασμοί.

Υπάρχουν δύο τύποι τριφασικών μετασχηματιστών:

➤ Τύπου *πυρήνα*. Ο τριφασικός μετασχηματιστής τύπου πυρήνα μπορεί να προκύψει από την κατάλληλη ένωση τριών μονοφασικών τύπου πυρήνα με την εξής διαδικασία: Έστω ένα τριφασικό σύστημα με ουδέτερο αγωγό που δημιουργείται από τη συνένωση τριών μονοφασικών συστημάτων, όπου η κάθε φάση διαθέτει ένα μονοφασικό μετασχηματιστή. Αν όμως τα τυλίγματα (πρωτεύον και δευτερεύον) τοποθετηθούν στο ένα σκέλος και στους τρεις μονοφασικούς μετασχηματιστές (μεταβαίνοντας ουσιαστικά από το μετασχηματιστή του σχήματος 2.40(α) στο μετασχηματιστή του σχήματος 2.39(β)), τότε τα άλλα τρία σκέλη μπορούν να σχηματίσουν ένα κοινό τέταρτο σκέλος μέσω του οποίου θα κλείνει το συνολικό μαγνητικό κύκλωμα. Στην περίπτωση ενός συμμετρικού τριφασικού συστήματος, το άθροισμα των μαγνητικών ροών  $\Phi_a, \Phi_b, \Phi_c$  είναι μηδενικό, με συνέπεια να μπορεί να απαλειφθεί το τέταρτο κοινό σκέλος! Η διαδικασία αυτή φαίνεται στο σχήμα

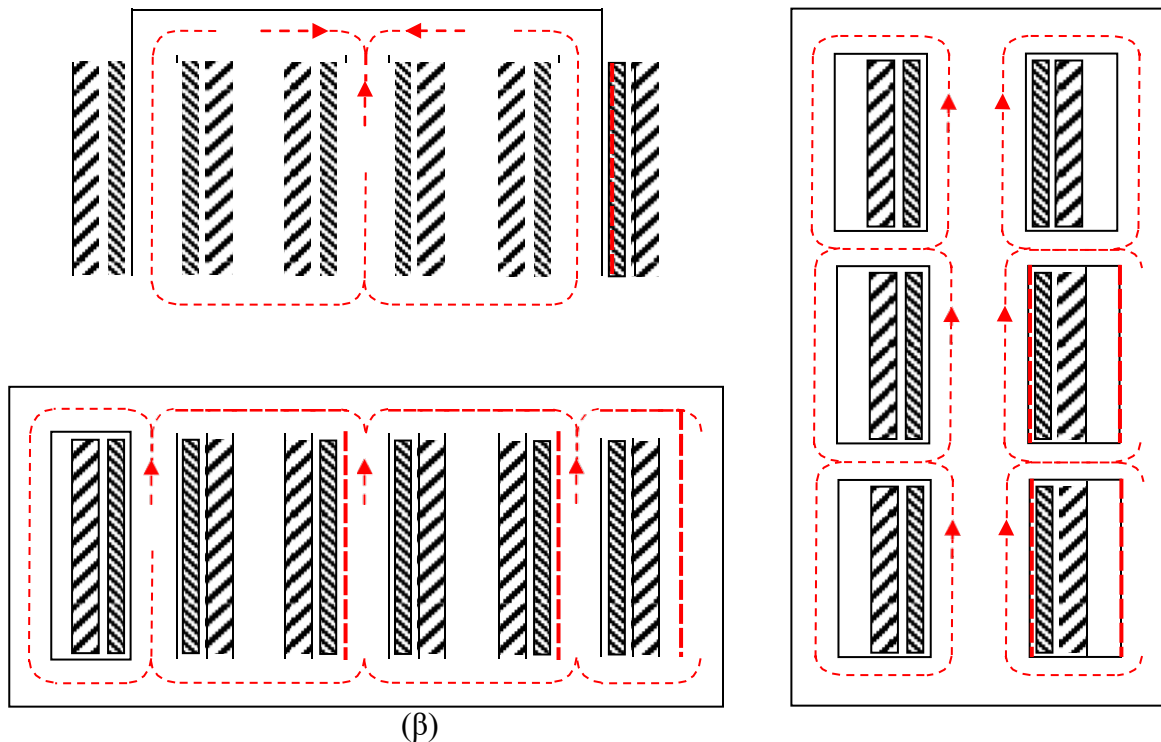
2.41. Η πιο συνηθισμένη κατασκευή του μαγνητικού κυκλώματος των τριφασικών μετασχηματιστών τύπου πυρήνα παρουσιάζεται στο σχήμα 2.42(α), όπου το μαγνητικό κύκλωμα δεν είναι συμμετρικό, τα τρία σκέλη του βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο και στο καθένα από αυτά τυλίγονται το πρωτεύον και το δευτερεύον τυλίγμα μίας φάσης.

➤ Τύπου *μανδύα-κελύφους*: Ο ολόσωμος τριφασικός μετασχηματιστής τύπου κελύφους σχηματίζεται με τη συνένωση τριών μονοφασικών μετασχηματιστών τύπου κελύφους κατά την κατακόρυφη διάσταση, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.42(γ). Για μεγάλους τριφασικούς μετασχηματιστές, πέρα των τριών σκελών (κορμών) στα οποία έχουν τοποθετηθεί τα πρωτεύοντα και τα δευτερεύοντα τυλίγματα κάθε φάσης, υπάρχουν δύο ακόμη σκέλη χωρίς τυλίγματα στα δύο άκρα του μαγνητικού κυκλώματος, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.42(β) σχηματίζοντας το μετασχηματιστή τύπου μανδύα πέντε σκελών (κορμών). Το βασικό πλεονέκτημα του τελευταίου μετασχηματιστή είναι ότι η διατομή των ζυγωμάτων μπορεί να μειωθεί στο 60% περίπου της διατομής του ζυγώματος του μετασχηματιστή τριών σκελών, που έχει ως συνέπεια τη μείωση του ύψους του μετασχηματιστή.



Σχήμα 2.41: Μετάβαση από (α) τρεις μονοφασικούς μετασχηματιστές στη διαμόρφωση τριφασικού μετασχηματιστή (δ) τύπου πυρήνα μέσω της (β) τροποποίησης της θέσης τυλιγμάτων και της (γ) ένωσης των σκελών των

μονοφασικών μετασχηματιστών [11].



Σχήμα 2.42: Τριφασικός μετασχηματιστής τύπου (α) πυρήνα, (β) μανδύα – κελύφους πέντε σκελών, (γ) μανδύα – κελύφους τριών σκελών [11].

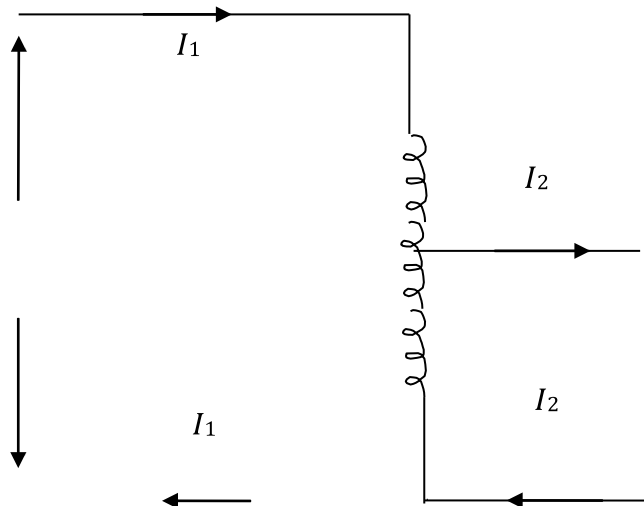
#### 2.5.4 Αυτομετασχηματιστές

Οι μετασχηματιστές στο πλοίο πρέπει να είναι μετασχηματιστές με δύο τυλίγματα εκτός από τους μετασχηματιστές για την εκκίνηση του κινητήρα. Βέβαια μερικές φορές οι ασύγχρονοι κινητήρες εκκινούν με τη βοήθεια αυτομετασχηματιστών.

Η διαφορά αυτών των δύο μετασχηματιστών είναι ότι ο αυτομετασχηματιστής έχει μόνο ένα τύλιγμα. Εάν η τάση τροφοδοσίας συνδεθεί κατά μήκος του πηνίου, τότε το δευτερεύον τύλιγμα είναι αυτό που μένει. Εάν το μεγαλύτερο κομμάτι του πηνίου είναι στο πρωτεύον τύλιγμα, τότε ο μετασχηματιστής είναι μετασχηματιστής υποβιβασμού. Αντίθετα αν το πρωτεύον τμήμα καταλαμβάνει μικρότερο τμήμα από το δευτερεύον, τότε είναι μετασχηματιστής ανύψωσης. Για την εκκίνηση ενός τριφασικού κινητήρα χρειάζονται τρεις τέτοιοι μετασχηματιστές. Το πλεονέκτημα αυτού του μετασχηματιστή είναι ότι χρησιμοποιεί μόνο ένα τύλιγμα, με αποτέλεσμα να χρησιμοποιείται λιγότερος χαλκός. Αυτός ο μετασχηματιστής προτιμάται κυρίως, όταν ο λόγος μετασχηματισμού είναι μικρότερος από  $2/1$ .

Το μεγαλύτερο μειονέκτημα του αυτομετασχηματιστή είναι ότι ένα μέρος του τυλίγματος είναι κοινό από τα δύο τυλίγματα. Έτσι, εάν σε κάποια βλάβη η τάση του πρωτεύοντος εφαρμοστεί στο δευτερεύον τύλιγμα, τότε, εάν αυτή είναι μεγάλη, τότε μπορεί να είναι γίνει επικίνδυνη η διάταξη.





Σχήμα 2.43: Ισοδύναμο κύκλωμα αυτομετασχηματιστή υποβιβασμού.

### 2.5.5 Μετασχηματιστές οργάνων

Οι μετασχηματιστές αυτοί χρησιμοποιούνται κυρίως για να αλλάζουν την κλίμακα των οργάνων σε ένα εναλλασσόμενο κύκλωμα.

Αυτός ο μετασχηματιστής χωρίζεται σε δυο κύριους τύπους:

1. Μετασχηματιστής τάσης.
2. Μετασχηματιστής έντασης.

Ο μετασχηματιστής τάσης είναι πολύ μικρός σε μέγεθος. Ο λόγος μετασχηματισμού είναι τέτοιος έτσι, ώστε να δίνει στο δευτερεύον τάση 110V, όταν το πρωτεύον τυλίγμα συνδεθεί με την τροφοδοσία του δικτύου.

Οι ακροδέκτες του δευτερεύοντος τυλίγματος είναι συνδεδεμένοι με ένα βολτόμετρο, το οποίο ενεργεί σαν σταθερό φορτίο και είναι ρυθμισμένο ώστε να δείχνει την τάση του πρωτεύοντος και συνεπώς την τάση της παροχής.

Ο μετασχηματιστής έντασης βασίζεται στις ίδιες αρχές με το μετασχηματιστή ισχύος. Το πρωτεύον συνδέεται με την τροφοδοτούμενη γραμμή παροχής, ενώ το δευτερεύον με ένα αμπερόμετρο. Το ρεύμα του δευτερεύοντος είναι ανάλογο με το ρεύμα του πρωτεύοντος. Το αμπερόμετρο ρυθμίζεται ώστε, να δείχνει το ρεύμα του πρωτεύοντος και κατά συνέπεια το ρεύμα της παροχής. Εδώ πρέπει να προσεχθεί ότι πρέπει πρώτα να αφαιρεθεί το αμπερόμετρο αν δεν έχει βγει το πρωτεύον από τη τροφοδοσία.

### 2.5.6 Απόδοση μετασχηματιστή

Η απόδοση του μετασχηματιστή είναι ο λόγος της ισχύος του δευτερεύοντος δια του πρωτεύοντος και είναι πάντα κάτω από την μονάδα λόγω των διάφορων απωλειών. Οι απώλειες γίνονται λόγω των δινορευμάτων εντός το πυρήνα, της θερμότητας που αναπτύσσεται από τους αγωγούς και λόγω του φαινομένου της υστέρησης. Όλες αυτές οι απώλειες γίνονται με τη μορφή της θερμότητας για αυτό και σε μεγάλες βιομηχανίες οι μετασχηματιστές είναι βυθισμένοι σε λάδι ή κάποιο άλλο μονωτικό

υλικό έτσι ώστε να απορροφάται η εκλυόμενη θερμότητα και να εξασφαλίζουν τη μόνωση των σπείρων.

Επιπλέον οι σπείρες δεν πρέπει να θερμαίνονται πάνω από ένα όριο, το οποίο είναι οι 40°C.

## 2.6 Προδιαγραφές σύγχρονων μηχανών

### 2.6.1 Γενικά

Σε μια γεννήτρια η ταχύτητας περιστροφής και η ισχύς που παράγεται ποτέ δεν είναι απεριόριστες. Υπάρχουν πάντα κάποια ανώτατα όρια (ονομαστικές τιμές), τα οποία μπορούν να πάρουν οι γεννήτριες. Αυτές οι τιμές βρίσκονται κυρίως στην πινακίδα της γεννήτριας.

Οι τυπικές προδιαγραφές μιας σύγχρονης γεννήτριας είναι: η τάση, η συχνότητα, η ταχύτητα, η φαινόμενη ισχύς, ο συντελεστής ισχύος, το ρεύμα διέγερσης και ο συντελεστής υπερφόρτισης.

Για τη συχνότητα: η συχνότητα των γεννητριών είναι 50 ή 60Hz και σε σπάνιες περιπτώσεις 400Hz. Όπως έχει προαναφερθεί η σχέση που δίνει τη συχνότητα είναι:

$$f_e = \frac{\Omega_m * P}{2} \quad (2.36)$$

Με  $\Omega_m$  : ταχύτητα περιστροφής (στροφές ανά δευτερόλεπτο), P: αριθμός πόλων.

Για την τάση: η τάση που παρέχεται σε κανονική λειτουργία εξαρτάται από τη μαγνητική ροή στο εσωτερικό της μηχανής, από την ταχύτητα περιστροφής και από τα κατασκευαστικά στοιχεία της. Όμως η ταχύτητα περιστροφής και τα κατασκευαστικά στοιχεία είναι σταθερά. Άρα η αύξηση της τάσης στα άκρα της γεννήτριας είναι αποτέλεσμα της μαγνητικής ροής. Η μαγνητική ροή αυξάνεται μέχρι ένα σημείο, εφόσον εξαρτάται από το ρεύμα διέγερσης της γεννήτριας, το οποίο έχει κάποιο όριο έτσι, ώστε η γεννήτρια να είναι ασφαλής. Επιπλέον για την ασφάλεια της γεννήτριας η τάση της στην έξοδο της μηχανής δεν πρέπει να ξεπερνά μια τιμή έτσι, ώστε να μην προκαλούνται τάσεις που να είναι επικίνδυνες για τη διάσπαση της μόνωσης.

Τα όρια ισχύος μιας ηλεκτρικής γεννήτριας εξαρτάται από δύο παράγοντες: τη ροπή που εφαρμόζεται στον άξονά της, και τη θερμότητα που αναπτύσσεται στο τύλιγμα της. Στις μέρες μας οι σύγχρονες μηχανές έχουν άξονα με μεγάλη μηχανική αντοχή έτσι, ώστε ο παράγοντας της ροπής να εξαλειφθεί. Έτσι ο παράγοντας της θερμότητας παίζει τον κυρίαρχο ρόλο σχετικά με τα όρια ισχύος στη μόνιμη κατάσταση.

Πιο συγκεκριμένα το τύλιγμα του δρομέα και του στάτη πρέπει να προστατεύεται από υπερθέρμανση. Η μέγιστη φαινόμενη ισχύς ορίζεται από:

$$S = 3V_{\Phi}I_A \quad (2.37)$$

Όπου  $I_A$  μέγιστο ρεύμα οπλισμού,  
 $V_{\Phi}$ : ονομαστική τάση.

Η ισχύς που μετατρέπεται σε θερμότητα δίνεται από τον τύπο:

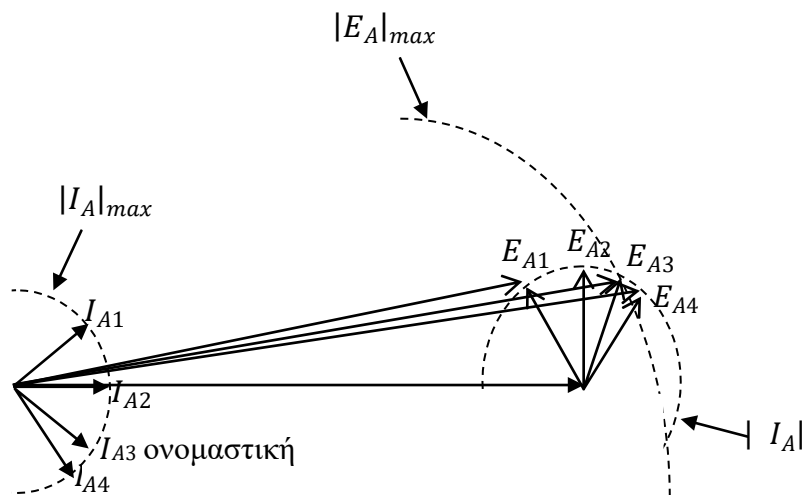
$$P_{SCL} = 3I_A^2 R_A \quad (2.38)$$

Η θερμοκρασία του οπλισμού δεν εξαρτάται από τη φάση (ως προς την τάση  $V_\Phi$ ) του αντίστοιχου ρεύματος. Έτσι κυρίως στις σύγχρονες μηχανές χρησιμοποιείται η φαινόμενη ισχύς (kVA).

Ο συντελεστής ισχύος του ρεύματος οπλισμού δεν παίζει κανένα ρόλο στην υπερθέρμανση των τυλιγμάτων οπλισμού της.

Επειδή έχει οριστεί κάποια επιτρεπόμενη τάση στο εσωτερικό της γεννήτριας  $A$  και ένα μέγιστο ρεύμα  $I$ , αυτό σημαίνει ότι κατά τη λειτουργία με την ονομαστική τιμή της φαινόμενης ισχύος πρέπει να οριστεί κάποιος ελάχιστος επιτρεπόμενος συντελεστής ισχύος. Αυτό θα προσδιοριστεί μέσω του σχήματος 2.44 όπου δείχνει τη λειτουργία μιας γεννήτριας με ονομαστικό ρεύμα οπλισμού και με ονομαστική τάση φάσης. Αυτό θα προσδιοριστεί μέσω του σχήματος 2.44 όπου δείχνει τη λειτουργία μιας γεννήτριας με ονομαστικό ρεύμα οπλισμού και με ονομαστική τάση φάσης. Η τιμή της φασικής τάσης μπορεί να παίρνει διάφορες τιμές, όμως υπάρχει ο περιορισμός της  $A$ , όπου το  $A$  είναι το άθροισμα των  $V$  και  $|I_A|$ . Όμως κάποιες τιμές του  $I_A$  δίνουν στην τιμή  $A$  μεγαλύτερες τιμές από τις μέγιστες τιμές της  $A_{max}$ . Αυτό συνεπάγεται ότι, εάν μια γεννήτρια λειτουργεί με το ονομαστικό ρεύμα  $I_A$  και με τέτοιο συντελεστή ισχύος, το τύλιγμα διέγερσης θα καταστραφεί λόγω υπερθέρμανσης.

Έτσι ο ονομαστικός συντελεστής ισχύος ορίζεται κατά τη λειτουργία της μηχανής με ονομαστική τάση  $V_\Phi$  από τη φάση του ονομαστικού ρεύματος  $I_A$  όπου δίνει τη μέγιστη τιμή της  $A$ . Η λειτουργία της μηχανής με μικρότερο συντελεστή ισχύος είναι εφικτό, μόνο όταν η λειτουργία με τη φαινόμενη ισχύ είναι μικρότερη από την ονομαστική της.



Σχήμα 2.44: Προσδιορισμός του ονομαστικού συντελεστή ισχύος μιας σύγχρονης γεννήτριας από το όριο ασφαλούς λειτουργίας του ρεύματος διέγερσης

### 2.6.1 Διάγραμμα λειτουργίας της σύγχρονης γεννήτριας

Τα όρια ασφαλούς λειτουργίας που θέτει ο δρομέας και ο στάτης, καθώς επίσης και κάποια όρια που επηρεάζονται από εξωτερικούς παράγοντες όπως η πολική τάση δικτύου συνδυάζονται και δημιουργείται το διάγραμμα λειτουργίας μιας σύγχρονης γεννήτριας. Αυτό το γράφημα στην ουσία είναι η γραφική παράσταση της φαινόμενης ισχύος ( $=$ ) που εξάγεται από το διανυσματικό διάγραμμά της, εάν θεωρείται ότι η τάση είναι σταθερή και ίση με την ονομαστική τάση.

Στα σχήματα 2.45 και 2.46 απεικονίζεται η διανυσματική ανάλυση μιας γεννήτριας με επαγωγικό συντελεστή ισχύος και με ονομαστική τάση. Πάνω σε αυτό έχει σχεδιαστεί ένα σύστημα ορθογωνικών συντεταγμένων με την αρχή του στο τέλος του διανύσματος  $V_{\Phi}$ , ενώ οι μονάδες τους είναι σε Volts. Το τμήμα AB έχει μήκος  $sI_A \cos \theta$ , ενώ το τμήμα A έχει μήκος  $sI_A \sin \theta$ .

Η ενεργός ισχύς της γεννήτριας λαμβάνεται από:

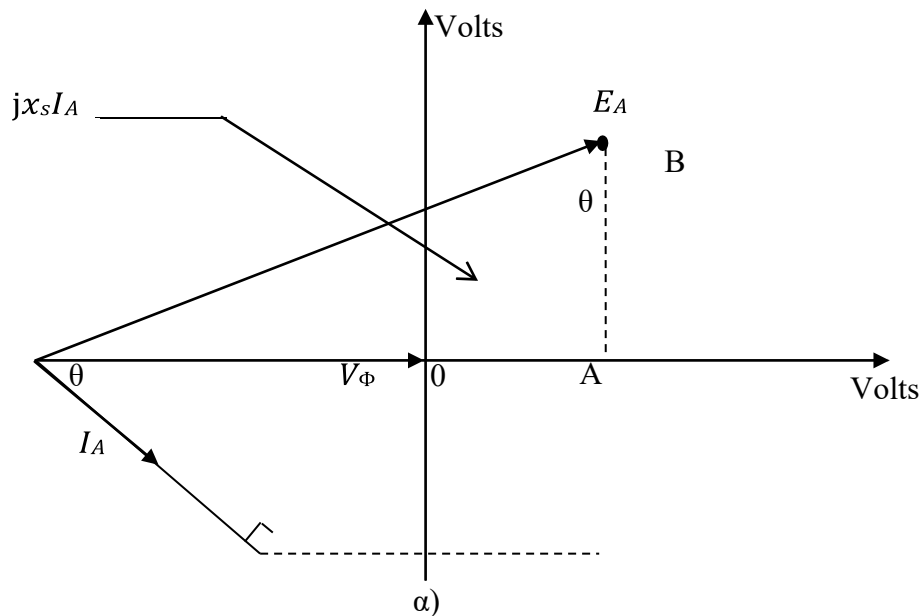
$$P = 3V_{\Phi}I_A \cos \theta \quad (2.39)$$

Η άεργος ισχύς είναι :

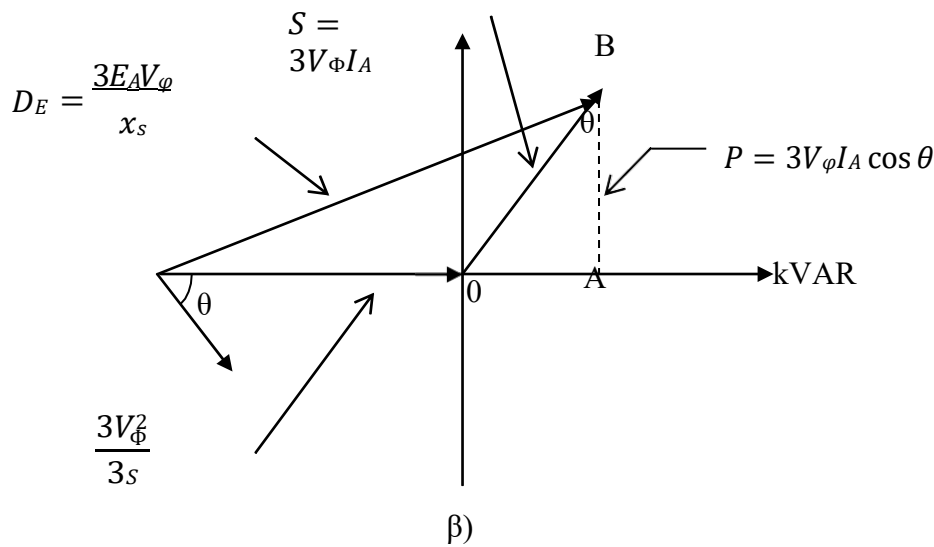
$$Q = 3V_{\Phi}I_A \sin \theta \quad (2.40)$$

Και η φαινόμενη ισχύς της είναι:

$$S = 3V_{\Phi}I_A \quad (2.41)$$



Σχήμα 2.45: Διανυσματικό διάγραμμα τάσεων- ρεύματος κατά τη λειτουργία γεννήτριας με επαγωγικό φορτίο.



Σχήμα 2.46: Εξαγωγή του διαγράμματος λειτουργίας της σύγχρονης γεννήτριας

Έτσι δίνεται η δυνατότητα στις μονάδες των συντεταγμένων να μετατραπούν από Volts σε μονάδες ισχύος (Voltampere). Ο συντελεστής αυτής της μετατροπής είναι ο  $\frac{3V_\phi}{x_s}$ . Άρα η ενεργός και η άεργος ισχύς γίνονται:

$$P = 3 \frac{V_\phi}{x_s} I_A x_s \cos \theta \quad (2.42)$$

Και

$$Q = 3 \frac{V_\phi}{x_s} x I_A \sin \theta \quad (2.43)$$

Στο σχήμα 2.46 το διανυσματικό διάγραμμα έχει την αρχή του στο  $-V_\phi$  του οριζώντιου άξονα. Άρα στο νέο σύστημα η αρχή του διανυσματικού διαγράμματος βρίσκεται στο σημείο :

$$Q = \frac{3V_\phi(-V_\phi)}{x_s} \quad (2.44)$$

Το ρεύμα διέγερσης της γεννήτριας είναι ανάλογο με τη μαγνητική ροή στο εσωτερικό της. Η μαγνητική ροή όμως είναι ανάλογη με την τάση  $E_A$ . Το μήκος που αντιστοιχεί στην  $E_A$  επάνω στο διάγραμμα είναι:

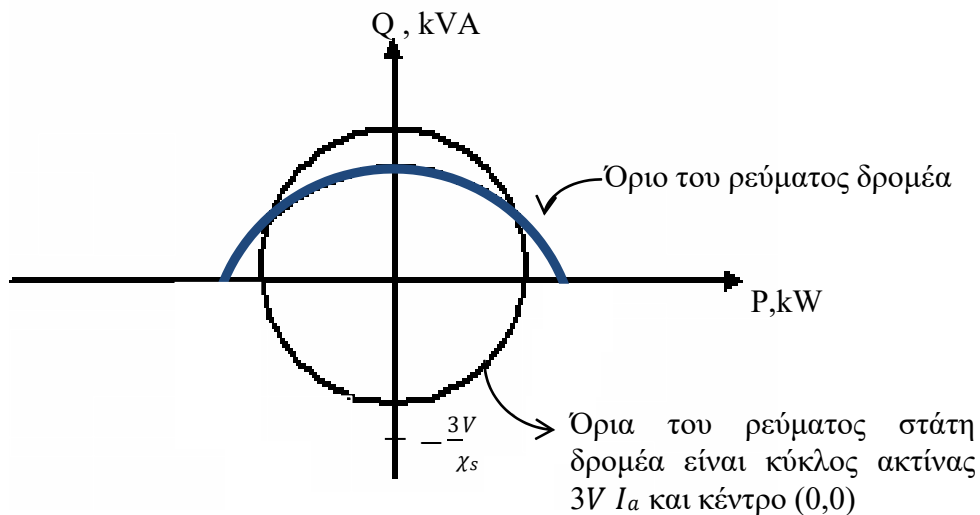
$$D_E = \frac{3E_A V_\phi}{X_s} \quad (2.45)$$

Το τελικό διάγραμμα λειτουργίας της γεννήτριας, όπου στον οριζόντιο άξονα είναι η ενεργός ισχύς και στο κάθετο η άεργος, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.46. Οι γεωμετρικοί τόποι σταθερού ρεύματος οπλισμού παρουσιάζονται στο διάγραμμα

μέσω των γεωμετρικών τόπων σταθερής φαινόμενης ισχύος που είναι ομόκεντροι κύκλοι γύρω από την αρχή των συντεταγμένων. Ανάλογα οι γεωμετρικοί τόποι σταθερού ρεύματος διέγερσης ή σταθερής  $E_A$  είναι ομόκεντροι κύκλοι με ακτίνα  $\frac{3}{K_s} V_{\Phi}$  έχουν το κέντρο τους στο σημείο :

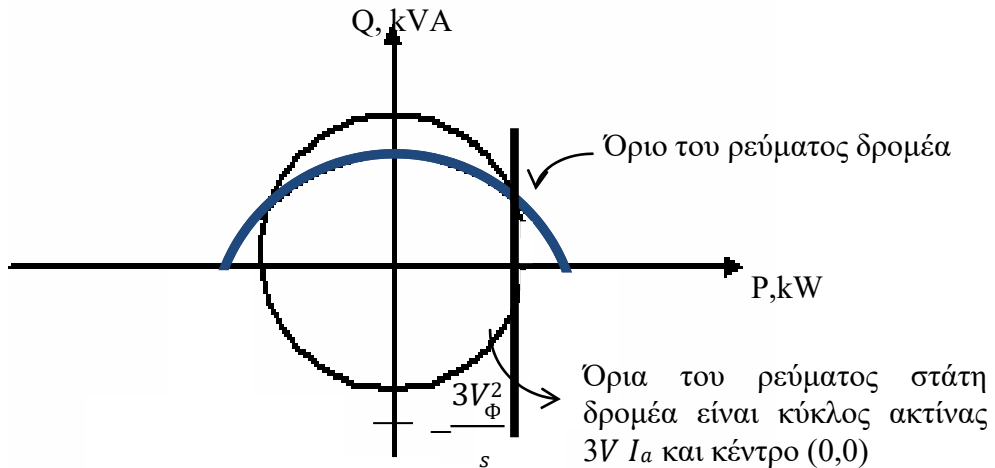
$$Q = -\frac{3V_{\Phi}^2}{s} \quad (2.46)$$

Στο σχήμα 2.47 το όριο ασφαλείας του ρεύματος σπλισμού δηλαδή το  $I_A$  αντιστοιχεί με το κύκλο της ονομαστικής φαινόμενης ισχύος ενώ το όριο του ρεύματος διέγερσης παρουσιάζεται με τον κύκλο του που αντιστοιχεί με το ονομαστικό  $I$  ή την ονομαστική  $E_A$ . Όλα τα σημεία που είναι εντός του κύκλου είναι ασφαλής σημεία λειτουργίας.



Σχήμα 2.47: Τελικό διάγραμμα λειτουργίας μιας σύγχρονης γεννήτριας

Επιπλέον στο ίδιο διάγραμμα μπορεί να προστεθούν και άλλοι περιορισμοί, όπως το όριο της ισχύος εισόδου που προσδιορίζεται από τις ιδιότητες της κινητήριος μηχανής και το όριο στατικής ευστάθειας. Στο σχήμα 2.47 φαίνεται το διάγραμμα λειτουργίας μιας γεννήτριας στο οποίο περιλαμβάνει και το όριο της μέγιστης ισχύος που προσφέρει η κινητήρια μηχανή.



Σχήμα 2.48: Διάγραμμα λειτουργίας μιας σύγχρονης γεννήτριας στο οποίο περιλαμβάνεται και το όριο ισχύος της κινητήριας μηχανής

### 2.7 Στατική ευστάθεια

Συσχέτιση ενεργού ισχύος  $P$  και των μεγεθών της ηλεκτρεγερτικής δύναμης  $E_{Gen}$ , της τάσης ακροδεκτών  $\hat{V}_1$  και της γωνίας ισχύος  $\delta$  σε μία σύγχρονη γεννήτρια κυλινδρικού δρομέα χωρίς απώλειες ( $r_{Gen}=0$ )

Στο σχήμα 2.49α παρουσιάζεται το μονοφασικό ισοδύναμο κύκλωμα μίας σύγχρονης γεννήτριας κυλινδρικού δρομέα της οποίας ενδιαφέρει η μέγιστη μεταφορά ισχύος. Κατά τη μεταφορά ισχύος από τη θέση (G) στη θέση (1) ισχύουν ότι:

$$\hat{E}_s = \hat{E}_{Gen} \tag{2.47}$$

$$\hat{E}_R = \hat{V}_1 \tag{2.48}$$

$$R + jX = r_{Gen} + jx_{Gen} \implies X = x_{Gen} \tag{2.49}$$

Διευκρινίζεται ότι η  $\hat{E}_{Gen}$  ονομάζεται στην περίπτωση της γεννήτριας ηλεκτρεγερτική δύναμη, η  $\hat{V}_1$  είναι η ισοδύναμη τάση ακροδεκτών και  $\delta$  η γωνία ισχύος (ή ροπής) που ουσιαστικά είναι η γωνία μεταξύ  $\hat{E}_{Gen}$  και  $\hat{V}_1$  με θετικές τιμές αν προηγείται η της  $\hat{V}_1$ , η  $r_{Gen}$  είναι η ωμική αντίσταση του τυλίγματος και η  $x_{Gen}$  η επαγωγική αντίδραση του τυλίγματος του στάτη στο μονοφασικό κύκλωμα.

Το αντίστοιχο διανυσματικό διάγραμμα τάσεων – εντάσεων – αντιστάσεων παρουσιάζεται στο σχήμα 2.49β.

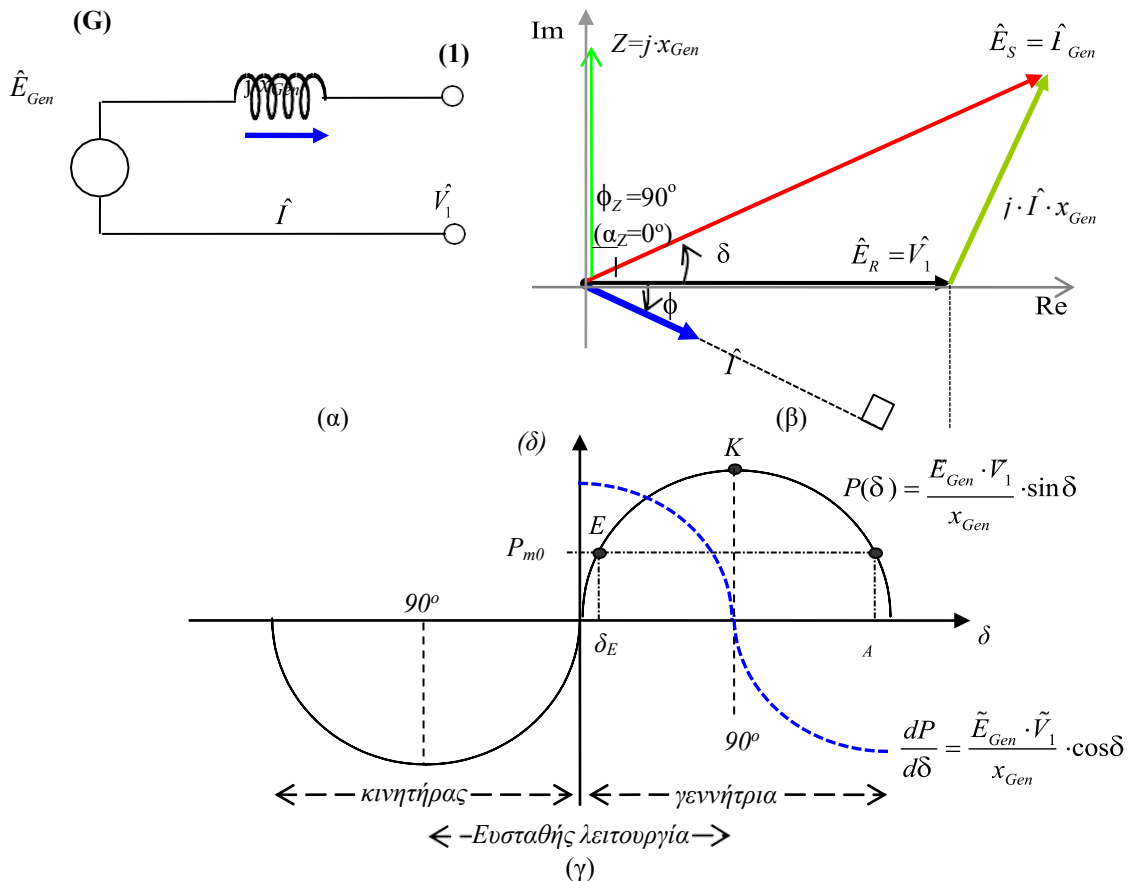
Λαμβάνοντας υπόψη τη μηδενική ωμική αντίσταση ( $r_{Gen}=0$  ή αλλιώς  $\varphi_Z=0^\circ$ ,  $\alpha_Z=90^\circ$ ) προκύπτουν συνολικά ότι η ισχύς που αποδίδεται στους ακροδέκτες του μονοφασικού ισοδύναμου της γεννήτριας είναι ίσο με:

$$P = \frac{\hat{E}_{Gen} \hat{V}_1}{x_{Gen}} \sin \delta \tag{2.50}$$

με μέγιστη τιμή

$$P = \frac{\hat{E}_{Gen} \hat{V}_1}{x_{Gen}} \quad (2.51)$$

Συνεπώς η ενεργός ισχύς μεταβάλλεται ανάλογα με το ημίτονο της γωνίας  $\delta$  ( $\sin\delta$ ). Η καμπύλη  $P(\delta)$  είναι γνωστή ως «χαρακτηριστική ενεργού ισχύος – γωνίας ισχύος  $\delta$ » της σύγχρονης γεννήτριας κυλινδρικού δρομέα (χωρίς ωμική αντίσταση τυλιγμάτων) και παρουσιάζεται στο σχήμα 2.49γ.



Σχήμα 2.49: (α) Ισοδύναμο μονοφασικό κύκλωμα σύγχρονης γεννήτριας κυλινδρικού δρομέα χωρίς απώλειες, (β) διανυσματικό διάγραμμα τάσεων – εντάσεων – αντιστάσεων, (γ) διάγραμμα ισχύος  $P$  – γωνίας ισχύος  $\delta$  [12]

Η καθαρή μηχανική ισχύς  $P_{m0}$  είναι η ισοδύναμη (μονοφασική) μηχανική ισχύς με την οποία η γεννήτρια κινείται από την κινητήρια μηχανή (π.χ. νηξελομηχανή σε ένα πλοίο), αφού έχουν αφαιρεθεί / αγνοηθεί οι μηχανικές – μαγνητικές απώλειες της γεννήτριας, η οποία θα αποδοθεί προς το δίκτυο (θέση (1)) θεωρώντας ότι οι απώλειες χαλκού στα τυλίγματα του στάτη είναι μηδενικές ( $r_{Gen}=0$ ). Από το σχήμα 2.48γ παρατηρείται ότι η καθαρή μηχανική ισχύς  $P_{m0}$  αντιστοιχεί σε δύο σημεία τομής E και A της χαρακτηριστικής  $P$ - $\delta$  με αντίστοιχες γωνίες  $\delta_E$  και  $\delta_A$ . Η γωνία  $\delta_E$  αντιστοιχεί σε κατάσταση ευσταθούς λειτουργίας, ενώ η γωνία  $\delta_A$  σε κατάσταση ασταθούς λειτουργίας. Για την κατανόηση της ευστάθειας ακολουθείται ο εξής συλλογισμός: «Έστω ότι η γεννήτρια λειτουργεί στη θέση E και υπάρχει μία μικρή αύξηση του φορτίου που λαμβάνει το δίκτυο διατηρώντας όμως το μέτρο των τάσεων



$E$  και  $V$  σταθερά, τότε μεταβάλλεται το διάνυσμα της έντασης του ρεύματος που λαμβάνει το δίκτυο και η γωνία  $\delta$  αυξάνεται κατάλληλα μεταβαίνοντας σε ένα νέο σημείο  $E'$  (το οποίο σημαίνει ότι αυξάνεται η αποδιδόμενη ενεργός ισχύς της γεννήτριας στο δίκτυο και ουσιαστικά πρέπει να αυξηθεί και η ισχύς της κινητήριας μηχανής). Αν φτάσει όμως στην κορυφή της καμπύλης (σημείο K), τότε οποιαδήποτε περαιτέρω αύξηση της γωνίας  $\delta$  θα οδηγήσει σε μείωση της αποδιδόμενης ισχύος, οπότε δεν θα μπορέσει να καλύψει τη σχετική αύξηση του φορτίου, με συνέπεια να πέσει το σύστημα σε αστάθεια (ουσιαστικά πρόκειται για το φαινόμενο του αποσυγχρονισμού της γεννήτριας). Το σημείο K ονομάζεται «σημείο στατικής ευστάθειας» και είναι η μέγιστη ισχύς της γεννήτριας. Δηλαδή γωνίες μεγαλύτερες των  $90^\circ$  αντιστοιχούν σε κατάσταση αστάθειας».

Η κατάσταση ευστάθειας της γεννήτριας είναι τόσο πιο ισχυρή, όσο ο «συντελεστής σύγχρονης ισχύος» είναι υψηλότερος και θετικός. Ο τελευταίος ουσιαστικά η παραγωγός της συνάρτησης  $P(\delta)$  (δηλαδή της  $dP/d\delta$ ).

Λαμβάνοντας υπόψη ότι η ονομαστική ισχύς λειτουργίας της γεννήτριας είναι η  $P_{nom}$ , τότε ο «συντελεστής μόνιμης υπερφόρτισης  $K_{nom}$ » δίνεται από τη σχέση:

$$K_{nom} = \frac{P_{max}}{P_{nom}} = \frac{\frac{E_{Gen} \dot{\gamma}_1}{x_{Gen}}}{\frac{E_{Gen} \dot{\gamma}_1}{x_{Gen}} \sin \delta} \Rightarrow K_{nom} = \frac{1}{\sin \delta_{nom}} \quad (2.52)$$

Όπου  $\delta_{nom}$  είναι η τιμή της γωνίας  $\delta$  που αντιστοιχεί στην ονομαστική ισχύ. Οι τυπικές τιμές του συντελεστή μόνιμης υπερφόρτισης είναι 2 ως 2,5 για τις στροβιλογεννήτριες (δηλαδή  $\delta_{nom} = 25^\circ \div 30^\circ$ ).

## 2.8 Συμπεράσματα

Στο δεύτερο κεφάλαιο έχει γίνει μια εκτενής περιγραφή σχετικά με τις κινητήριες μηχανές που μπορούν να συνδεθούν μαζί με τις γεννήτριες. Αυτές οι μηχανές είναι :

- Μηχανή ντίζελ.
- Αεριοστρόβιλος.
- Ατμοστρόβιλος.
- Λοιπές μηχανές, όπως μηχανή stirling.

Επιπλέον αναλύεται πλήρως η γεννήτρια για τους ακόλουθους τύπους:

- Γεννήτρια συνεχούς ρεύματος.
- Γεννήτρια εναλλασσόμενου ρεύματος.

Τέλος γίνεται λόγος για τις προδιαγραφές των σύγχρονων μηχανών και των μετασχηματιστών.

Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφονται αναλυτικά τα δίκτυα σε μια ηλεκτρογεννήτρια πολεμικού πλοίου.

### Μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας πολεμικών πλοίων του πολεμικού ναυτικού.

#### 3.1 Γενική περιγραφή μονάδων

Στις φρεγάτες υπάρχουν τέσσερις ηλεκτρομηχανές, οι οποίες είναι 750kW η κάθε μία. Δύο είναι τοποθετημένες στο πρωαίο και άλλες δύο στο πρυμναίο ηλεκτροστάσιο. Η τάση κάθε μιας ηλεκτρογεννήτριας είναι 450V τριφασική με συχνότητα 60Hz, όπου αποδίδεται στο δίκτυο του πλοίου. Κάθε ηλεκτρομηχανή αποτελείται από μία κινητήρια μηχανή (συνήθως ντίζελομηχανή) και μία γεννήτρια. Η κινητήρια μηχανή είναι τύπου: S.E.M.T. Pielstick A4, ενώ η γεννήτρια είναι τύπου: Smit-Slikkerveer

Τα κύρια χαρακτηριστικά αυτής της κινητήριας μηχανής είναι:

- Κατασκευαστής: S.E.M.T. PIELSTICK.
- Τύπος: PA4.
- Τύπος: Τετράχρονη, οκτακύλινδρη, τύπου “V”, με υπερπλήρωση.
- Στροφές μηχανής: 1200rpm.
- Ισχύς μηχανής: 750kW.
- Φυσιολογική πίεση πετρελαίου: 1,5 bar.
- Φυσιολογική πίεση ελαίου στις 1200rpm: 5,5bar.
- Φυσιολογική θερμοκρασία ελαίου: 75°C.
- Φυσιολογική πίεση γλυκού ύδατος στην έξοδο της μηχανής: 80°C.
- Φυσιολογική πίεση γλυκού ύδατος στις 1200rpm : 2bar .
- Φυσιολογική πίεση θαλασσινού ύδατος στις 1200rpm : 1,9bar.
- Φυσιολογική θερμοκρασία καυσαερίων στην είσοδο του στροβιλοσυμπιεστή στη μέγιστη ισχύ : 500°C .

Τα κύρια χαρακτηριστικά της γεννήτριας είναι:

- Δεν έχει ψύκτρες, αλλά περιστρεφόμενες διόδους.
- Οι τρεις φάσεις εξόδου είναι συνδεδεμένες σε ένα κιβώτιο πάνω από τη γεννήτρια.
- Υπάρχει ένας ανεμιστήρας στο πάνω μέρος της γεννήτριας όπου ψύχει το ρότορα και το στάτορα.
- Δύο αντιστάσεις αφύγρανσης 250W η κάθε μία, οι οποίες τροφοδοτούνται με 115V/60Hz .
- Έναν αισθητήρα θερμοκρασίας του σφαιροτριβέα.
- Έναν αισθητήρα θερμοκρασίας του ζεστού αέρα ψύξεως.
- Έναν αισθητήρα θερμοκρασίας του κρύου αέρα ψύξεως.
- Τρεις διόδους τύπου 70Hz.
- Τρεις διόδους τύπου 70Hz για ανάστροφη πολικότητα .
- Δύο αντιστάσεις 47Ω 25W .
- Ένα κύκλωμα RC .

Στα αρματαγωγά τύπου “ΣΑΜΟΣ” υπάρχουν τέσσερις ηλεκτρομηχανές ισχύος 320kW η κάθε μία. Αυτές είναι τοποθετημένες δύο στα δύο μηχανοστάσια, μία στο ηλεκτροστάσιο και μία πάνω από το αντλιοστάσιο (emergency). Η ονομαστική τάση εξόδου κάθε μιας μηχανής είναι 450V τριφασική με συχνότητα 60Hz, όπου

αποδίδεται στο δίκτυο του πλοίου. Κάθε μηχανή αποτελείται από μια κινητήριαμηχανή (ντιζελομηχανή) και μια γεννήτρια. Οι ηλεκτρομηχανές αυτές είναι γαλλικής σχεδίασης τύπου UNIDIESEL-UD25L6S5 και έχουν κατασκευαστεί από τη Jeumont Schneider.

Τα κύρια χαρακτηριστικά της κινητήριας μηχανής είναι :

- Ισχύς μηχανής: 320kW.
- Στροφές μηχανής: 1200rpm.
- Τύπος: τετράχρονη, εξακύλινδρη σε σειρά με υπερπλήρωση.
- Πίεση ελαίου: 4,7 bar.
- Φυσιολογική θερμοκρασία γλυκού νερού: 75°C.
- Φυσιολογική θερμοκρασία ελαίου: 95°C.
- Φορά περιστροφής: αριστερόστροφη.

Τα κύρια χαρακτηριστικά της γεννήτριας είναι:

- Ταχύτητα περιστροφής: 1200rpm.
- Ισχύς λειτουργίας: 296 kW.
- Ονομαστική φαινόμενη ισχύς: 380 kVA.
- Ονομαστική τάση εξόδου: 450V.
- Συχνότητα: 60Hz.
- Ονομαστική ένταση ρεύματος : 487,5 A.
- Αριθμός πόλων: 6.
- Τύπος μονώσεως : H.
- Μέγιστη θερμοκρασία περιβάλλοντος: 50°C.

Σε μια ηλεκτρογεννήτρια έχει επικρατήσει στα ελληνικά πολεμικά πλοία να χρησιμοποιείται ως κινητήρια μηχανή η ντιζελομηχανή. Επιλέγεται αυτός ο τύπος μηχανής, διότι είναι πιο αξιόπιστος από τις άλλες, καθώς επίσης μπορούν να επιδιορθωθούν πολλές βλάβες μέσα στο πλοίο.

Μια τυπική κατασκευή ηλεκτρογεννήτριας με ντιζελομηχανή αποτελείται από τα παρακάτω υποσυστήματα:

- Πετρελαιοκινητήρας.
- Ηλεκτρική γεννήτρια.
- Ελεγκτής συχνότητας.
- Αυτόματος ρυθμιστής τάσης.
- Ασφαλειοδιακόπτης/αυτόματος διακόπτης ισχύος.
- Κύκλωμα συμπίεσης αέρα.
- Κύκλωμα λιπαντικού λαδιού.
- Κύκλωμα καυσίμου.
- Κύκλωμα ποσίμου νερού.
- Κύκλωμα θαλασσινού νερού.
- Τα κύρια μέρη της γεννήτριας είναι :
- Στάτης
- Δρομέας.
- Στάτης διεγέρτριας.
- Δρομέας γέφυρας διόδων διεγέρτριας.
- Κιβώτιο ακροδεκτών.

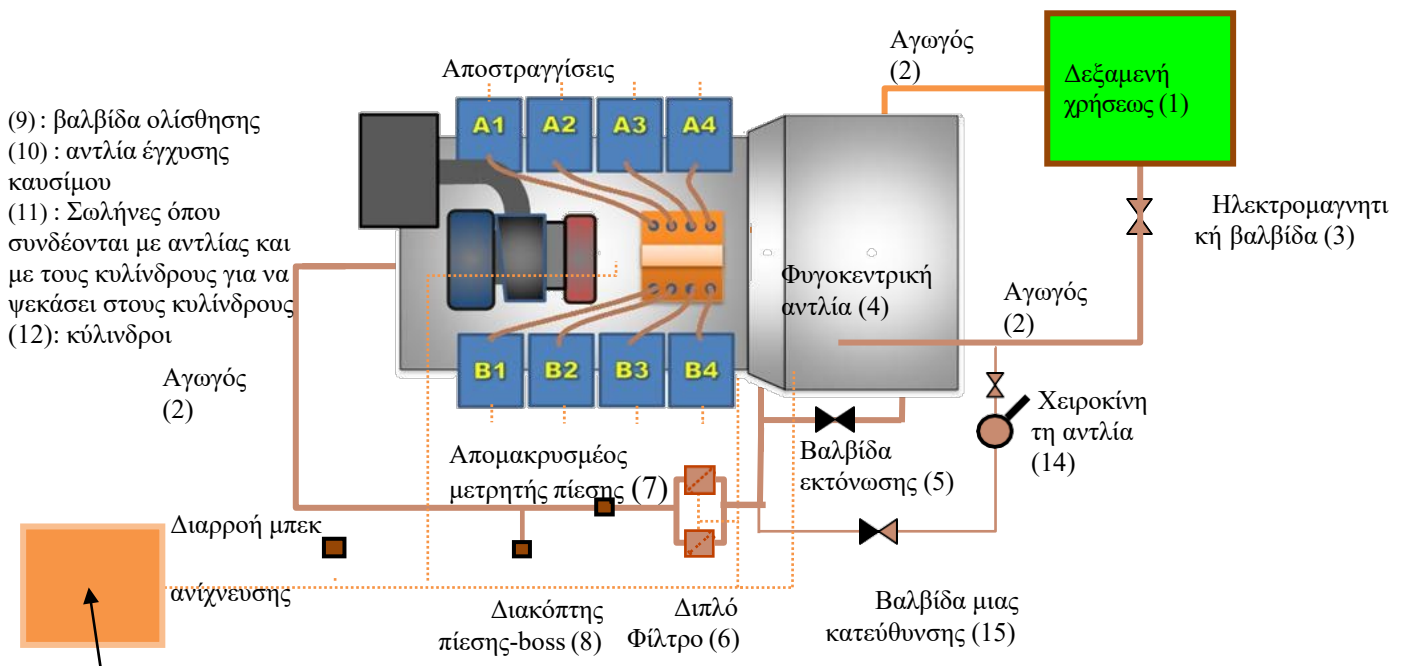
## 3.2 Δίκτυα ηλεκτρογεννήτριας

Όλα τα δίκτυα θα περιγραφούν με την παραδοχή ότι η ηλεκτρομηχανή είναι όμοια με τη βασική ηλεκτρομηχανή που υπάρχουν στις φρεγάτες τύπου S.

### 3.2.1 Δίκτυο πετρελαίου

Το δίκτυο πετρελαίου αποτελείται από κάποια στοιχεία, τα οποία δίπλα έχουν έναν αριθμό σε παρένθεση και δείχνονται στο σχήμα 3.1. Τα στοιχεία είναι τα εξής:

- Δεξαμενή χρήσεως (1).
- Αγωγός (2).
- Ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα (3).
- Φυγοκεντρική αντλία (4).
- Βαλβίδα εκτόνωσης (5).
- Φίλτρα καυσίμου (6) που χρησιμοποιούνται δύο παράλληλα φίλτρα έτσι, ώστε αν χαλάσει το ένα, να υπάρχει το δεύτερο για να μην γίνει διακοπή της παροχής.
- Απομακρυσμένος μετρητής πίεσης (7).
- Διακόπτης πίεσης (Boss) (8).
- Βαλβίδα ολίσθησης (9).
- Αντλία έγχυσης πετρελαίου (10)
- Σωλήνες που συνδέονται με αντλία και με τους κυλίνδρους για να γίνει ο ψεκασμός στους κυλίνδρους (11) ( χρησιμοποιούνται οκτώ σωλήνες καυσίμου, όσοι είναι οι καυστήρες).
- 8 κύλινδροι ( ) (12)
- Δοχείο κατακρατήσεων (13).
- Χειροκίνητη αντλία πετρελαίου (14).
- Βαλβίδα μίας κατεύθυνσης (15).



Καρτερ  
κατακρατήσεως

(13)

Σχήμα 3.1: Δίκτυο καυσίμου μιας τυπικής ηλεκτρογεννήτριας.

Το δίκτυο πετρελαίου είναι όλη η διαδρομή που ακολουθεί το καύσιμο από τη δεξαμενή χρήσεως (1) μέχρι και την εισχώρησή του στο θάλαμο καύσης. Η φυγοκεντρική αντλία (4) απορροφά καύσιμο από τη δεξαμενή χρήσεως (4) και το διοχετεύει στα διπλά φίλτρα (6) πετρελαίου, όπου η πίεση του καυσίμου δεν ξεπερνά τα 1,5 bar. Η βαλβίδα εκτόνωσης αποδεσμεύεται, όταν το πετρέλαιο ρέει με μεγάλη πίεση.

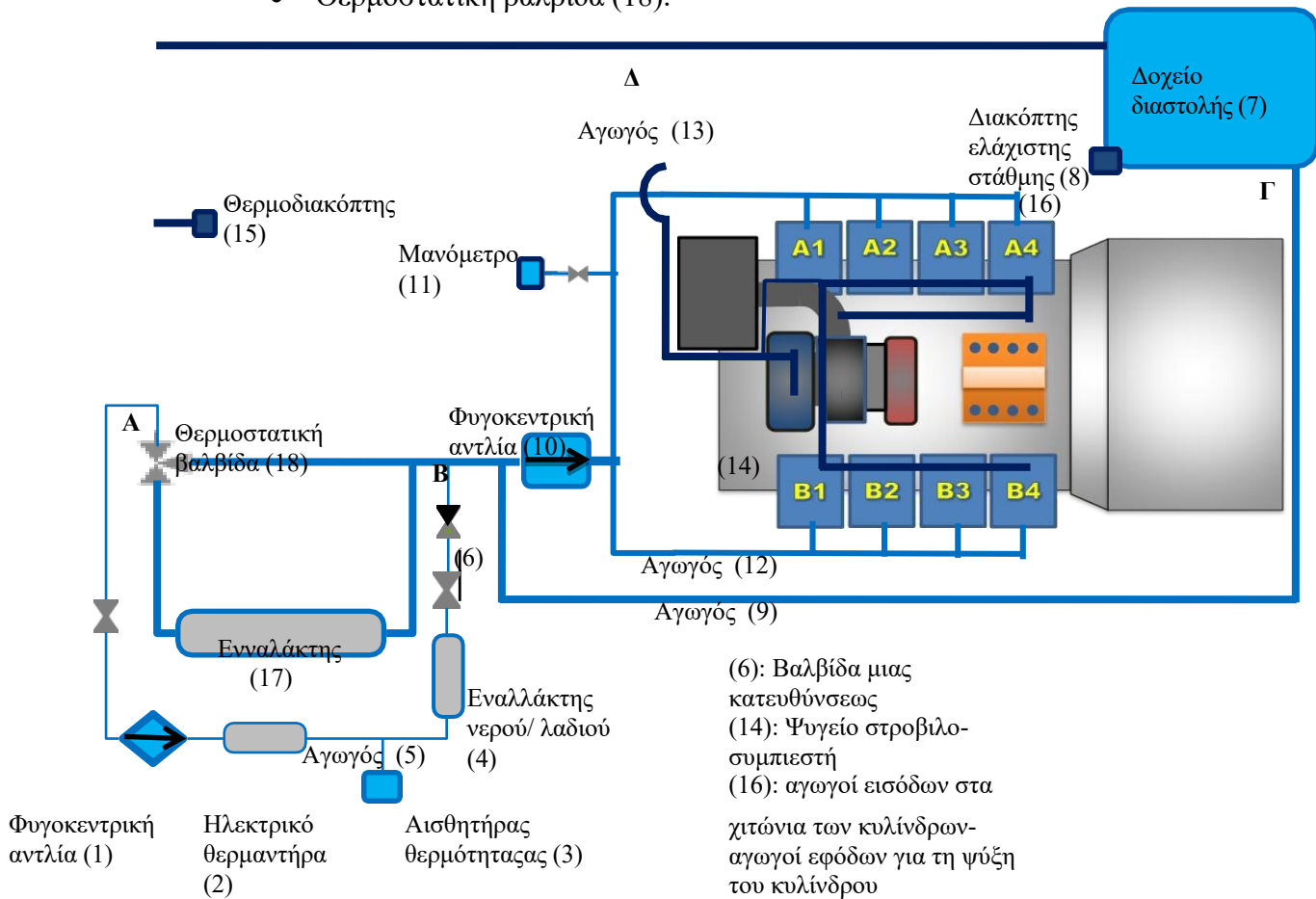
Μετά τα διπλά φίλτρα πετρελαίου το καύσιμο πάει στη βαλβίδα ολίσθησης (9). Ο αγωγός (2) που μεταφέρει το καύσιμο είναι εφοδιασμένος με δύο στοιχεία, τα οποία εξυπηρετούν τον απομακρυσμένο έλεγχο της μηχανής. Αυτά τα στοιχεία είναι ο απομακρυσμένος μετρητής πίεσης (7) και ο διακόπτης πίεσης-Boss(8), όπου εκπέμπει ένα οπτικό και ηχητικό μήνυμα αν η πίεση του πετρελαίου πέσει κάτω από ένα συγκεκριμένο όριο (συνήθως είναι 0,5 bar). Μετά τη βαλβίδα ολίσθησης (9) το πετρέλαιο πάει στους κυλίνδρους μέσω της αντλίας έγχυσης (10). Η αντλία έγχυσης (10) είναι αυτή που στέλνει με κατάλληλη πίεση το καύσιμο στους κυλίνδρους και μέσω των μπεκ γίνεται ο σωστός διασκορπισμός του καυσίμου. Το καύσιμο, το οποίο δεν έχει χρησιμοποιηθεί στην καύση πάει στη δεξαμενή αποστραγγίξεως. Το καύσιμο το οποίο πάει στην δεξαμενή αποστραγγίξεως είναι είτε από κάποια διαρροή των σωλήνων, είτε από το διπλό φίλτρο πετρελαίου, είτε από κάποια διαρροή του κυλίνδρου. Μια χειροκίνητη βαλβίδες (14) οδηγεί το καύσιμο στην αντλία καυσίμου (4), και το μεταφέρει μέσω μιας βαλβίδας μιας κατευθύνσεως (15) στο διπλό φίλτρο πετρελαίου. Αυτό έχει γίνει έτσι, ώστε εάν υπάρχει πρόβλημα στην αντλία καυσίμου (4), να υπάρχει ένα σύστημα έτσι, ώστε να παρέχεται καύσιμο στους κυλίνδρους για τη λειτουργία της μηχανής.

### 3.2.2 Δίκτυο γλυκού νερού

Το δίκτυο γλυκού νερού αποτελείται από κάποια στοιχεία, τα οποία δίπλα έχουν έναν αριθμό σε παρένθεση και δείχνονται στο σχήμα 3.2. Τα στοιχεία είναι τα εξής:

- Φυγοκεντρική αντλία (1).
- Ηλεκτρικός θερμαντήρας (2).
- Αισθητήρας θερμότητας (3).
- Εναλλάκτης νερού/ λαδιού (4).
- Αγωγοί από το σημείο Α στο σημείο Β, όπου το νερό που κυκλοφορεί είναι από την ηλεκτρική αντλία.
- Βαλβίδα μιας κατεύθυνσης (6).
- Δοχείο διαστολών (7).
- Διακόπτης ελάχιστης στάθμης (8).
- Αγωγοί από το σημείο Β μέχρι το σημείο Γ (9).
- Φυγοκεντρική αντλία, που παίρνει κίνηση από τον ο κινητήρα (10).
- Μανόμετρο (11).
- Αγωγοί από το σημείο Β μέχρι και τα 8 χιτώνια των 8 κυλίνδρων (12).
- Αγωγοί από την έξοδο του χιτωνίου μέχρι και το σημείο Δ (13). Σε αυτό το κομμάτι περιλαμβάνονται οι επιστροφές των κυλίνδρων, το γλυκό νερό για τη ψύξη του στροβίλο-συμπιεστή και η έξοδος του κεντρικού αγωγού εξόδου.
- Ψυγείο στρόβιλο-συμπιεστή.(14).
- Θερμοδιακόπτης (15).
- Αγωγοί εισόδου στα χιτώνια των κυλίνδρων- αγωγοί εξόδου για τη ψύξη του κυλίνδρου (16).

- Εναλλάκτης θερμότητας γλυκού νερού/ θαλασσινού νερού (17).
- Θερμοστατική βαλβίδα (18).



Σχήμα. 3.2: Δίκτυο γλυκού νερού από μια τυπική ηλεκτρογεννήτρια.

Το δίκτυο γλυκού νερού ψύχει τους κυλίνδρους, τις κυλινδροκεφαλές, καθώς επίσης και το στροβίλο-συμπιεστή. Το γλυκό νερό ψύχεται από το θαλασσινό νερό. Το γλυκό νερό πραγματοποιεί τη διαδρομή του χάρη στη φυγοκεντρική αντλία (10) ενώ, όταν το σύστημα είναι σε κατάσταση αναμονής, το ρευστό παίρνει κίνηση από μια αντλία προθερμάνσεως (1). Στη δεύτερη περίπτωση, η κυκλοφορία της ροής του γλυκού νερού είναι τέτοια έτσι, ώστε να διατηρείται η θερμοκρασία στους 40°C μέσω του ηλεκτρικού θερμαντήρα. Στην έξοδο του αγωγού (5) υπάρχει ένας αισθητήρας θερμοκρασίας (3), ο οποίος ελέγχει τη θερμοκρασία του γλυκού νερού έτσι, ώστε να κυμαίνεται στους 50°C. Στη συνέχεια υπάρχει ένας εναλλάκτης νερού-λαδιού, όπου ψύχει το λάδι λιπάνσεως που κυκλοφορεί από μια ηλεκτρική αντλία λαδιού. Το δίκτυο αυτό είναι υπό πίεση, έτσι υπάρχει το δοχείο διαστολής (7), όπου είναι εξωτερικά του δικτύου, το οποίο συνδέεται με την αντλία αναρρόφησης (10). Στο επάνω σημείο του δικτύου γλυκού νερού ένας αγωγός που είναι συνδεδεμένος με το δοχείο διαστολής.

Όταν η ηλεκτρογεννήτρια είναι σε λειτουργία, τότε η αντλία (10) παρέχει γλυκό νερό στον κινητήρα μέσω δύο κύριων αγωγών, οι οποίοι πηγαίνουν στους αριστερούς και δεξιούς κυλίνδρους. Το γλυκό νερό πάει μέσω μικρών αγωγών στο κάτω μέρος του χιτώνιου, κυκλοφορεί σε όλο το χιτώνιο (16) μέσω αυλακώσεων και στη συνέχεια το γλυκό νερό πάει στις κυλινδρο-κεφαλές. Η ψύξη των κυλινδρο-κεφαλών γίνεται με αγωγούς συναλλαγής. Στο στροβιλο-συμπιεστή οι αγωγοί εισόδου και εξόδου, καθώς και οι αγωγοί του ψυγείου (14) παρακάμπτονται από δεξιά από τους

αγωγούς επιστροφής. Όλες οι επιστροφές μετά συγκεντρώνονται σε έναν κοινό αγωγό έτσι, ώστε να υπάρχει μια ροή στον αγωγό εξόδου. Ο θερμοστατικός διακόπτης (15) ελέγχει τη θερμοκρασία και, εάν αυτή είναι μεγαλύτερη από τους 95°C, τότε το νερό βρίσκεται στον ίδιο αγωγό και διαχωρίζεται σε δύο κλάδους, ο ένας οδεύει προς τον εναλλάκτη γλυκού νερού / θαλασσινού νερού (17) και ο άλλος κλάδος προς τη θερμοστατική βαλβίδα (18). Η έξοδος του εναλλάκτη συνδέεται με τη θερμοστατική βαλβίδα, όπου κάνει ανάμιξη του γλυκού νερού με αποτέλεσμα η θερμοκρασία να είναι της τάξης των 77°C.

### 3.2.3 Δίκτυο θαλασσινού νερού

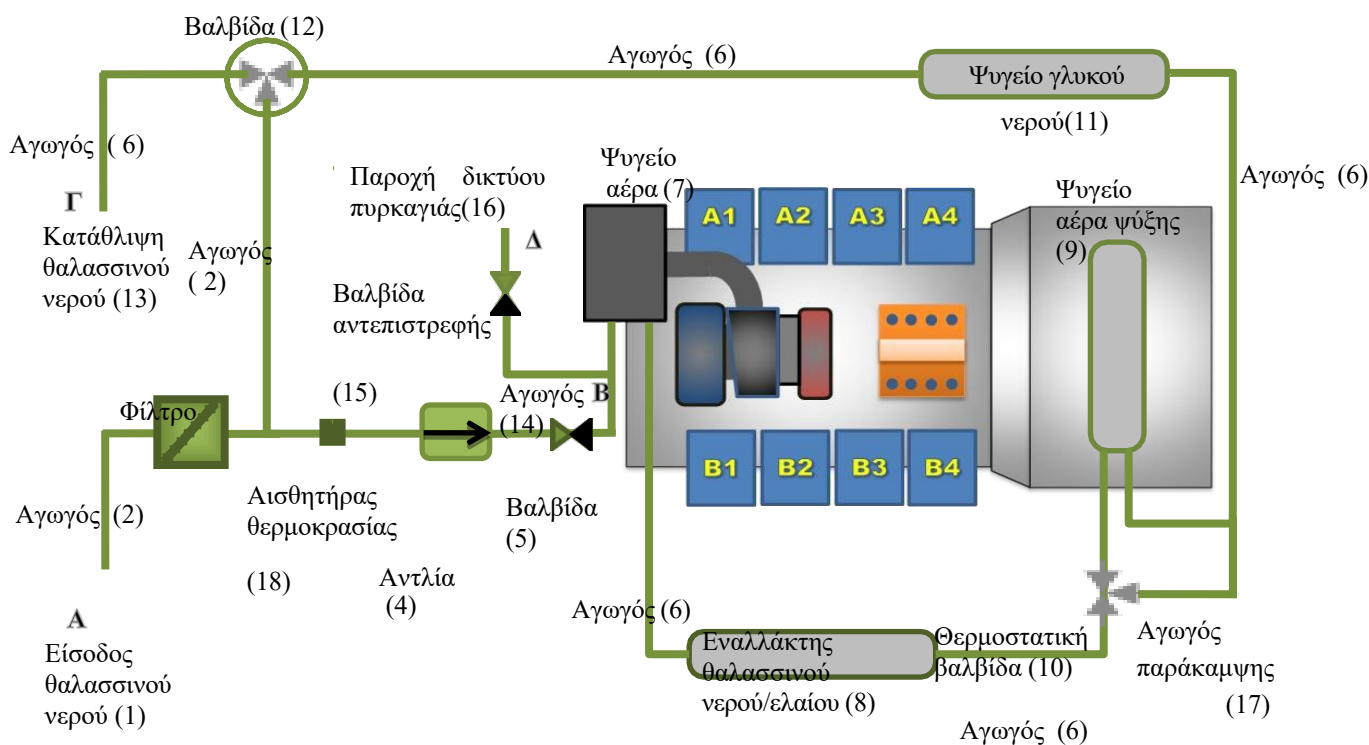
Το δίκτυο θαλασσινού νερού αποτελείται από κάποια στοιχεία, τα οποία δίπλα έχουν έναν αριθμό σε παρένθεση και δείχνονται στο σχήμα 3.3. Τα στοιχεία είναι τα εξής:

- Είσοδος θαλασσινού νερού (1).
- Αγωγοί από τους σωλήνες Α μέχρι Β (2).
- Φίλτρο (3).
- Φυγοκεντρική αντλία (4).
- Βαλβίδα μίας κατεύθυνσης (5).
- Αγωγοί από τα σημεία Β μέχρι το σημείο Γ (6).
- Ψυγείο αέρας σάρωσης (7).
- Εναλλάκτης θαλασσινού νερού/λαδιού (8).
- Ψυγείο αέρα ψύξης (9).
- Θερμοστατική βαλβίδα (10).
- Ψυγείο γλυκού νερού (11).
- Βαλβίδα τριών βαλβίδων (12).
- Κατάθλιψη θαλασσινού νερού (13).
- Αγωγοί από το σημείο Β μέχρι το σημείο Δ (14).
- Βαλβίδα αντεπιστροφής (15).
- Παροχή από δίκτυο πυρκαγιάς (16).
- Βαλβίδα By-pass (17).
- Αισθητήρας θερμοκρασίας (18).

Μέσω του δικτύου θαλασσινού νερού ψύχεται ο αέρας από το στροβιλοσυμπιεστή, το λάδι λιπάνσεως της μηχανής, ο αέρας και το γλυκό νερό.

Αρχικά αναρροφάται θαλασσινό νερό (1). Το θαλασσινό νερό περνά από ένα φίλτρο (3) έτσι, ώστε να καθαριστεί από διάφορα σκουπίδια. Η φυγοκεντρική αντλία (4) είναι η αντλία η οποία αναρροφά το θαλασσινό νερό από το (1). Το θαλασσινό νερό περνά από μια βαλβίδα μιας κατεύθυνσεως (5) και μετά πάει στο ψυγείο αέρα σάρωσης (7). Μετά από το ψυγείο αέρα το θαλασσινό νερό πάει στον εναλλάκτη θαλασσινού νερού/ ελαίου (8), όπου το νερό της θάλασσας ψύχει το λάδι λιπάνσεως της μηχανής. Η έξοδος του εναλλάκτη συνδέεται με την είσοδο της θερμοστατικής βαλβίδας (10). Αυτή η βαλβίδα χωρίζει το θαλασσινό νερό σε δύο μέρη το ένα πάει προς το ψυγείο αέρα και το άλλο πάει από τη βαλβίδα by-pass (17). Ανάλογα με τη θερμοκρασία που έχει μετρήσει η θερμοστατική βαλβίδα, τότε η παροχή του θαλασσινού νερού πάει από τον κατάλληλο αγωγό.





Σχήμα 3.3: Δίκτυο θαλασσινού νερού από μια τυπική γεννήτρια

Στη συνέχεια το χρησιμοποιημένο θαλασσινό νερό πάει στο ψυγείο γλυκού νερού (11) και στη συνέχεια καταθλίβεται έξω από το πλοίο (13). Πριν την έξοδο το ψυγείο γλυκού νερού είναι συνδεδεμένο με μια βαλβίδα τριών κατευθύνσεων, το οποίο κρατά ένα μέρος του θαλασσινού νερού έτσι ώστε να μην υπάρχει μεγάλη διάφορα θερμοκρασίας από την είσοδο του θαλασσινού νερού και την έξοδο του και αυτό γίνεται μέσω της βαλβίδας (12). Αυτός ο μηχανισμός ελέγχει τη θερμοκρασία ψυχρού θαλασσινού νερού της μηχανής. Επιπλέον εάν υπάρχει κάποιο έκτακτο συμβάν (βλάβη αντλίας (9) ), μέσω της βαλβίδας μιας κατευθύνσεως (15) παρέχεται στο σημείο Δ παροχή από μάνικες του δίκτυα πυρόσβεσης.

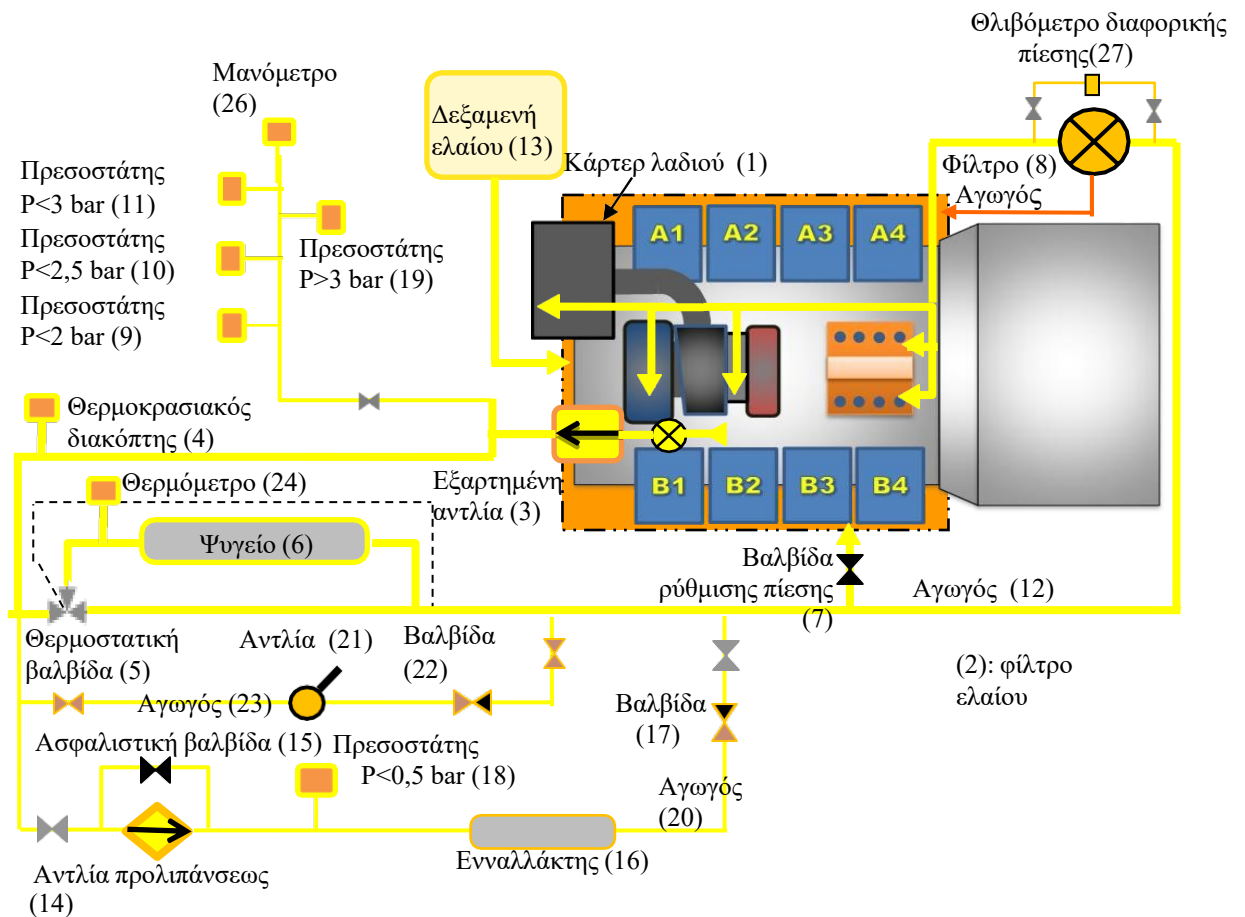
### 3.2.4 Δίκτυο λαδιού

Το δίκτυο λαδιού αποτελείται από κάποια στοιχεία τα οποία δίπλα έχουν έναν αριθμό σε παρένθεση και δείχνονται στο σχήμα 3.4. Τα στοιχεία είναι τα εξής:

- Κάρτερ λαδιού (1).
- Φίλτρο ελαίου (2).
- Εξαρτημένη αντλία (3).
- Θερμοστατικός διακόπτης (4).
- Θερμοστατική βαλβίδα (5).
- Ψυγείο λαδιού (6).
- Βαλβίδα ρύθμισης πίεσης (7).
- Φίλτρο (8).
- Πρεσοστάτης < 2bar (9).
- Πρεσοστάτης < 2,5 bar (10).
- Πρεσοστάτης < 3bar (11).

- Αγωγός (12).
- Δεξαμενή ελαίου για συντήρησης/ καθημερινή χρήση (13).

- Αντλία προλιπάνσεως (14).
- Ασφαλιστική βαλβίδα (15).
- Εναλλάκτης γλυκού νερού-ελαίου (16).
- Βαλβίδα μιας κατευθύνσεως (17).
- Πρεσοστάτης <math><0,5 \text{ bar}</math> (18).
- Πρεσοστάτης >math>>3 \text{ bar}</math> (19).
- Αγωγός (20).
- Χειροκίνητη αντλία λιπάνσεως (21)
- Βαλβίδα μίας κατευθύνσεως (22).
- Αγωγός (23).
- Θερμόμετρο (24).
- Αποστραγγίξεις φίλτρου (25).
- Μανόμετρο (26).
- Θλιβόμετρο διαφορικής πίεσης (27).



Σχήμα 3.4: Δίκτυο ελαίου από μια τυπική

Το λάδι λιπάνσεως αναρροφάται από το κάτω μέρος της μηχανής, όπου υπάρχει το κάρτερ ελαίου (1). Μόλις η μηχανή τεθεί εντός λειτουργίας, τότε το λάδι στο κάρτερ (1) αναρροφάται και πηγαίνει στο φίλτρο (2) και στη συνέχεια στη φυγοκεντρική αντλία λιπάνσεως (3). Το λάδι μετά την αντλία πάει στη θερμοστατική βαλβίδα ελέγχοντας εάν η θερμοκρασία του ελαίου είναι ικανοποιητική. Εάν η

θερμοκρασία είναι ικανοποιητική, τότε περνάει από τον κάτω αγωγό, ενώ, εάν δεν είναι, τότε περνά από το ψυγείο λαδιού (6). Η θερμοκρασία ελαίου έχει καθορισμένη τιμή για την είσοδο του ελαίου στη μηχανή. Με αυτήν τη διάταξη ο θερμοστατικός διακόπτης (4) επικοινωνεί με το θερμόμετρο (24). Ο θερμοστατικός διακόπτης στέλνει ένα ηχητικό και ένα οπτικό μήνυμα όταν η θερμοκρασία ελαίου ανέβει πάνω από μία τιμή, δηλαδή τους 90°C. Υπάρχει μια βαλβίδα ρύθμισης πίεσης (7), η οποία ελέγχει την πίεση του λαδιού έτσι ώστε να μπει με καθορισμένη τιμή μέσα στη μηχανή. Εν συνεχεία το λάδι περνά από το φίλτρο (8). Στο φίλτρο (8) υπάρχουν δυο έξοδοι, η μια διανέμει το λάδι στη μηχανή και η άλλη μέσω ενός αγωγού (25) πάει στο κάρτερ ελαίου (1). Ο αγωγός που πάει στο κάρτερ φέρει το περισσευούμενο λάδι.

Επιπλέον υπάρχει ένα σύστημα παρακολούθησης της πίεσης ανεξάρτητο από το αυτόματο σύστημα ελέγχου, διότι δεν ελέγχει απευθείας την πίεση του λαδιού. Υπάρχουν τα εξής στοιχεία:

- Ο πρεσοστάτης (9) σταματάει τη μηχανή μόλις η πίεση της μηχανής πέσει κάτω από 2 bar .
- Ο πρεσοστάτης (10) προειδοποιεί με ένα ηχητικό και ένα οπτικό μήνυμα, όταν η πίεση της μηχανής πέσει κάτω από 2.5 bar.
- Ο πρεσοστάτης (11) εκπέμπει ένα ηχητικό και ένα οπτικό μήνυμα, όταν η πίεση πέσει κάτω από 3 bar.
- Ο πρεσοστάτης (19) ελέγχει την ηλεκτρική αντλία και εάν η πίεση του ελαίου πάει πάνω από 3 bar κάνει "κράτει" την αντλία.
- Μετρητής πίεσης (26).

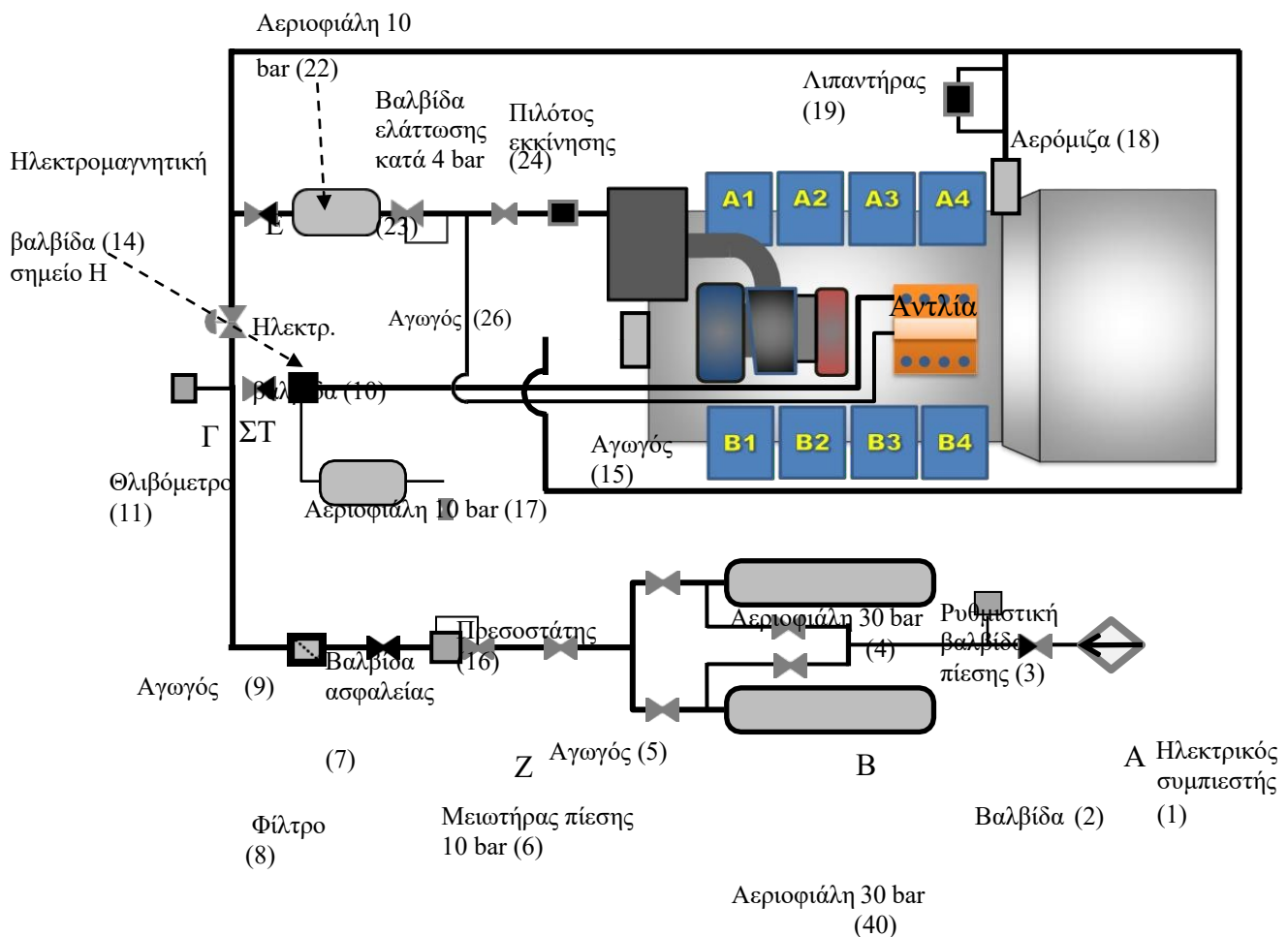
Στο κάτω μέρος του δικτύου υπάρχει μια ηλεκτρική αντλία (14) και μια βαλβίδα ασφαλείας (15), όπου αντλούν το λάδι και το στέλνει στον εναλλάκτη γλυκού νερού/λαδιού. Μετά ρέει από τον αγωγό (20) σε μια βαλβίδα μονής κατευθύνσεως (17) και καταλήγει στο μπλοκ της μηχανής. Με αυτήν τη διαδικασία το ιξώδες και η θερμοκρασία διατηρούνται στα σωστά επίπεδα προδιαγραφών. Ο πρεσοστάτης (18) στέλνει ένα ηχητικό και ένα οπτικό μήνυμα, όταν η πίεση του λαδιού δεν είναι στα επιθυμητά επίπεδα και κάνει "κράτει" τη μηχανή, όταν η πίεση του λαδιού είναι κάτω από 0.5 bar. Σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης υπάρχει μια αντλία χειρός (21) με την αντίστοιχη βαλβίδα μιας κατεύθυνσης (22), η οποία, εάν υπάρχει κάποια βλάβη να συνεχίζεται η λίπανση της μηχανής. Τέλος το δίκτυο είναι εφοδιασμένο με ένα δοχείο λαδιού, όπου μπορεί να παρέχει καθαρό λάδι για την καθημερινή λειτουργία της μηχανής.

### 3.2.5 Δίκτυο αέρα εκκινήσεως

Το δίκτυο αέρα εκκίνησης αποτελείται από κάποια στοιχεία, τα οποία δίπλα έχουν έναν αριθμό σε παρένθεση και δείχνονται στο σχήμα 3.5. Τα στοιχεία είναι τα εξής:

- Ηλεκτρικός συμπιεστής (1).
- Βαλβίδα μιας επιστροφής (2).
- Ρυθμιστική βαλβίδα πίεσης (3).
- Αεροφιάλη 30 bar (4).
- Αγωγός που αντέχει 30 bar (5).
- Μειωτήρας πίεσης 10 bar (6).
- Βαλβίδα ασφαλείας 10 bar (7).
- Φίλτρο αέρα 10 bar (8).
- Αγωγός για μεταφορά 10 bar (9) από το σημείο Z μέχρι το σημείο Θ.

- Ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα (10).
- Θλιβόμετρο (11).
- Βαλβίδα μιας κατεύθυνσης (αντεπιστροφή) (12).
- Ολισθαίνουσα βαλβίδα (13).
- Ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα υπερτάχυνσης στα 10 bar (14).
- Αγωγός (15) από το σημείο ΣΤ μέχρι και το σημείο Η, όπου είναι στα 10 bar.
- Πρεσοστάτης < 6 bar (16).
- Αεροφιάλη 10 bar (17).
- Αερόμιζα (18).
- Λιπαντήρας (19).
- Διάταξη περιορισμού έγχυσης πετρελαίου (20).
- Βαλβίδα μιας κατεύθυνσης (21)
- Αεροφιάλη 10 bar (22).
- Βαλβίδα ελάττωσης πίεσης στα 4 bar (23).
- Πιλότος εκκίνησης (24).
- Αντλία έγχυσης πετρελαίου (25).
- Αγωγός 4 bar (26).
- Ρυθμιστής στροφών (27).



(12), (21): βαλβίδα μιας κατεύθυνσης, (25): αντλία έγχυσης πετρελαίου (27): ρυθμιστής στροφών (20): Περιορισμός πετρελαίου

Σχήμα 3.5: Κύκλωμα αέρα εκκίνησης από μία τυπική ηλεκτρογεννήτρια

Ο συμπιεσμένος αέρας που περνά από το δίκτυο χρησιμοποιείται για την εκκίνηση της μηχανής, ενεργοποιώντας την αερόμιζα (18). Κατά την εκκίνηση της μηχανής ελέγχει την τροφοδοσία του καυσίμου και ρυθμίζει την ταχύτητα. Τέλος ο συμπιεσμένος αέρας βοηθά την εκκένωση των θαλάμων καύσης και γίνεται και η αποστράγγιση του πετρελαίου από τους θαλάμους καύσης.

Ο αέρας των 30 bar που παράγεται στον ηλεκτρικό συμπιεστή (1) αποθηκεύεται στις δύο αεροφιάλες των 30 bar (4). Από το συμπιεστή μέχρι την αποθήκευση του αέρα ο συμπιεσμένος αέρας περνάει από μια βαλβίδα μιας κατευθύνσεως (3) και από μια ρυθμιστική βαλβίδα (3). Στη συνέχεια ο αέρας που εξέρχεται από την αεροφιάλη πάει σε μια βαλβίδα μείωσης πίεσης (6), όπου η πίεση πέφτει κάτω από 10 bar. Μετά τη βαλβίδα μείωσης υπάρχει μια βαλβίδα ασφαλείας (7). Όταν επιτευχθεί η ρύθμιση του αέρα, τότε ο αέρας περνάει από το φίλτρο (8). Μέσω του αγωγού (9) ο αέρας χωρίζεται σε τρεις κλάδους. Ο ένας πάει στο θλιβόμετρο, το οποίο στέλνει μετρήσεις στο σύστημα ελέγχου, ο δεύτερος κλάδος περνά από την ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα υπερτάχυνσης των 10 bar (14), όπου πληρώνεται μια αεροφιάλη 10 bar (17) και, εάν η αεροφιάλη πέσει κάτω από 6 bar, υπάρχει ένας πρεσοστάτης (16) και στέλνει μια ηχητική και μια οπτική ειδοποίηση. Επιπλέον η ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα (14) συνδέεται με την ολισθαίνουσα βαλβίδα (13). Ο τρίτος κλάδος πάει στην ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα (10). Αυτή η βαλβίδα είναι εφοδιασμένη με χειροκίνητη λειτουργία έτσι, ώστε εάν το ρεύμα των 24V σταματήσει, να μπορεί να λειτουργήσει. Ο αέρας έπειτα κινείται μέσα σε δύο αγωγούς. Ο ένας διακλαδώνεται και καταλήγει στην αερόμιζα (18) όπου πριν την αερόμιζα υπάρχει ένας λιπαντήρας (19) και η γεννήτρια. Ο άλλος αγωγός συνδέεται με μια αεροφιάλη 10bar (22) μέσω μιας βαλβίδας ελάττωσης κατά 4 bar (23). Μετά τη βαλβίδα (23) υπάρχει διακλάδωση του αγωγού και ο ένας αγωγός πάει στην αντλία έγχυσης πετρελαίου (25), ενώ ο άλλος πάει στον πιλότο οδήγησης (24).

Όταν η μηχανή ξεκινάει αυτόματα, τότε η ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα (10) ανοίγει και ο αέρας φτάνει στην αερόμιζα (18). Αυτό επίσης ενεργοποιεί την ολισθαίνουσα βαλβίδα (13) και τον περιορισμό έγχυσης πετρελαίου (20). Η βαλβίδα ολίσθησης περιορίζει την έγχυση καυσίμου κατά 50%. Ο περιορισμός έγχυσης πετρελαίου (20) επιτρέπει στο ρυθμιστή στροφών (27) (όπου τροφοδοτείται με λάδι υπό πίεση) να ξεκινήσει κατευθείαν χωρίς να περιμένει την ενεργοποίηση της αντλίαςζλαδιού που υπάρχει στο εσωτερικό του ρυθμιστή στρόφων.

### 3.2.6 Λοιπά υποσυστήματα

Η ηλεκτρική μονάδα περιλαμβάνει επίσης την κύρια μηχανή ντίζελ, την ηλεκτρική γεννήτρια, τον ελεγκτή συχνότητας, τον αυτόματο ρυθμιστή τάσης και τον ηλεκτρικό διακόπτη. Όλα αυτά τα εξαρτήματα μπορούν να έχουν χιλιάδες υποσυστήματα, αλλά το καθένα λειτουργεί αυτόνομα. Έτσι και δεν λειτουργεί ο ηλεκτρικός και ηλεκτρονικός εξοπλισμός, όπως ασφαλειοδιακόπτες, ρυθμιστής στροφών κ.α. θα πρέπει να αλλαχτεί ολόκληρο, αφού για την επισκευή τους χρειάζεται εξειδικευμένο προσωπικό και εγκαταστάσεις. Οι κύριες βλάβες ενός πετρελαιοκινητήρα (όπως φθορά του ρουλεμάν) και της ηλεκτρικής γεννήτριας (όπως διαρροές στη μόνωση) πρέπει να επιθεωρούνται συχνά έτσι ώστε, να προλαμβάνεται η βλάβη και να αντικαθίστανται γρήγορα.

### 3.3 Συμπεράσματα

Στο τρίτο κεφάλαιο έχει γίνει μια γενική παρουσίαση των χαρακτηριστικών μιας ηλεκτρογεννήτριας που έχουν δύο τύποι πλοίων στο ελληνικό Π.Ν.

Επιπλέον έχει γίνει μια αναλυτική περιγραφή των δικτύων μιας ηλεκτρομηχανής είναι όμοια με τις ηλεκτρομηχανές των φρεγατών "S". Τα δίκτυα που περιγράφηκαν είναι:

- δίκτυο πετρελαίου,
- δίκτυο γλυκού νερού,
- δίκτυο θαλασσινού νερού,
- δίκτυο ελαίου,
- δίκτυο αέρα εκκινήσεως.

Τέλος στο κεφάλαιο τέσσερα εκτελείται ένα πρόγραμμα για την προσομοίωση των ορίων λειτουργίας της ηλεκτρομηχανής με πραγματικά δεδομένα.



### Προσομοίωση μονάδας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας πολεμικού πλοίου Π.Ν.

#### 4.1 Γενικά

Η προσομοίωση που υλοποιείται ως πρόγραμμα του Παραρτήματος 1 αναλύει τα όρια στα οποία μπορεί να λειτουργήσει μια ηλεκτρογεννήτρια. Τα όρια που έχουν ληφθεί είναι τα ακόλουθα:

- Όριο ρεύματος στάτη.
- Όριο ρεύματος πεδίου.
- Όριο κινητήριας μηχανής
- Όρια στατικής ευστάθειας.

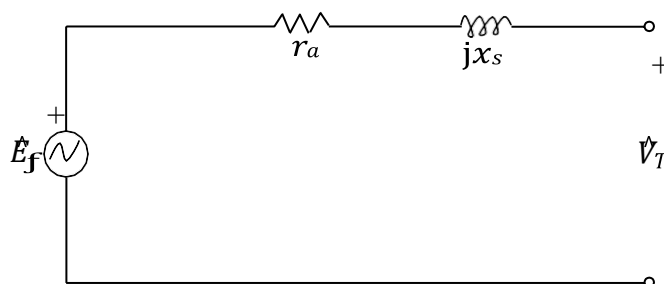
#### 4.2 Όριο ρεύματος στάτη

Όπως έχει αναλυθεί και στην παράγραφο 2.6.1, ο γεωμετρικός τόπος του ορίου στάτη είναι κύκλος σε άξονες (P,Q) με κέντρο την αρχή των αξόνων (0,0) και ακτίνα  $St = 3\tilde{V}_t\tilde{I}_a$ .

#### 4.3 Όριο ρεύματος πεδίου.

Αρχικά έχει αναλυθεί στη παράγραφο 2.6.1 σε απλούστερη μορφή, αφού στο κύκλωμα 4.1 δεν υπάρχει η  $r_a$ . Εδώ η ανάλυση θα επεκταθεί συμπεριλαμβάνοντας την αντίσταση  $r_a$ .

Πιο συγκεκριμένα, έστω ότι υπάρχει το ακόλουθο κύκλωμα (στην απλούστερη μορφή  $r_a$  θεωρείται μηδέν).



Σχήμα 4.1: Ισοδύναμο κύκλωμα γεννήτριας

Η τάση εξόδου της γεννήτριας είναι σταθερή με τιμή  $\hat{V}_t = \frac{1}{\sqrt{3}}$  Volt, δηλαδή

θεωρείται δεδομένη.

Εάν εφαρμοστεί ο νόμος τάσεων Kirchhoff για το κύκλωμα του σχήματος 4.1, προκύπτει η σχέση:

$$\hat{E}_f = \hat{V}_t + \hat{I}_a r_a + j\hat{I}_a x_s \quad (4.1)$$

Για την εύρεση του  $\hat{E}_f$  χρησιμοποιούνται οι ονομαστικές τιμές φόρτισης της γεννήτριας, δηλαδή το  $\hat{E}_f = \hat{E}_{fnom}$  έχοντας ως δεδομένα την ονομαστική φαινόμενη ισχύ  $S_{nom}$  και την ονομαστική ενεργό ισχύ  $nom$ .

Το ονομαστικό ρεύμα δίνεται από τη σχέση :

$$I_{nom} = \frac{S_{nom}}{\sqrt{3}V_{nom}} \quad (4.2)$$

Για το κύκλωμα 4.1 από το νόμο τάσεων του Kirchhoff δίνεται η σχέση:

$$\hat{E}_f = \hat{V}_t + \hat{I}_{nom}r_a + j\hat{I}_{nom}3s \quad (4.3)$$

Με αντικατάσταση της σχέσης (4.2) στη σχέση (4.3) προκύπτει η σχέση:

$$\tilde{E}_f^{\angle\psi} = \tilde{V}_t + \tilde{I}_{nom} \cos \varphi_{nom} r_a + \tilde{I}_{nom} 3s \sin \varphi_{nom} + \tilde{I}_{nom} \cos \varphi_{nom} - \tilde{I}_{nom} \sin \varphi_{nom} \quad (4.4)$$

Με  $\cos \varphi_{nom} = \frac{nom}{S_{nom}}$  επαγωγικό.

Από τη σχέση 4.1 και λύνοντας ως προς  $\hat{I}_a$  βγαίνει:

$$\hat{I}_a = \frac{\hat{E}_f - \hat{V}_t}{|Z_s|} \quad (4.5)$$

Με αντικατάσταση των διανυσμάτων σε πολική μορφή η σχέση (4.5) γίνεται:

$$\hat{I}_a = \frac{\tilde{E}^{\angle\psi} - \tilde{V}^{\angle\psi}}{|Z_s|^{\angle\psi_s}} \quad (4.6)$$

όπου γωνία  $\delta$  είναι γωνία μεταξύ των  $\hat{E}_f$  και  $\hat{V}_t$  και  $\varphi_s = \delta - \psi$

Για να απεικονιστεί το όριο ρεύματος πεδίου σε σχέση με τις ισχύες πρέπει να εκφραστεί το ρεύμα πεδίου σε σχέση με τη φαινόμενη ισχύ:

$$S_t = 3\hat{V}_t\hat{I}_a \quad (4.7)$$

Εάν γίνει αντικατάσταση της σχέσης (4.6) στη σχέση (4.7), γίνουν πράξεις και αντικατασταθεί, όπου  $\cos \varphi_s = \frac{ra}{\sqrt{ra^2+x_s^2}}$  και  $\sin \varphi_s = \frac{x_s}{\sqrt{ra^2+x_s^2}}$  προκύπτει ότι:

$$S(t) = \frac{3\tilde{E}_f\tilde{V}_t}{r_a^2 + x_s^2} r_a \cos \delta + \frac{3\tilde{E}_f\tilde{V}_t}{r_a^2 + x_s^2} x_s \sin \delta - \frac{3\tilde{V}_t^2}{r_a^2 + x_s^2} r_a$$

$$+ j \left[ \frac{3\tilde{E}_f\tilde{V}_t}{r_a^2 + x_s^2} x_s \cos \delta - \frac{3\tilde{E}_f\tilde{V}_t}{r_a^2 + x_s^2} r_a \sin \delta - \frac{3\tilde{V}_t^2}{r_a^2 + x_s^2} x_s \right]$$
(4.8)

Η απλούστερη περίπτωση είναι για  $r_a = 0$ , οπότε η σχέση (4.5) γίνεται:

$$S(t) = \frac{3\tilde{E}_f\tilde{V}_t}{x_s} \sin \delta + j \left[ \frac{3\tilde{E}_f\tilde{V}_t}{x_s} \cos \delta - \frac{3\tilde{V}_t^2}{x_s} \right]$$
(4.9)

Όπου από τη σχέση (4.9) προκύπτει ότι η ενεργός ισχύς είναι:

$$P = \frac{3\tilde{E}_f\tilde{V}_t}{x_s} \sin \delta, \text{ ενώ η άεργος είναι } Q = \frac{3\tilde{E}_f\tilde{V}_t}{x_s} \cos \delta - \frac{3\tilde{V}_t^2}{x_s}$$

Ο γενικός τύπος του κύκλου είναι:

$$(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 = \rho^2$$
(4.10)

Συγκρίνοντας τη σχέση (4.9) με τη σχέση (4.10) προκύπτει ο γεωμετρικός τόπος ενός κύκλου με κέντρο  $(-\frac{3\tilde{V}_t^2}{x_s}, \frac{3\tilde{E}_f\tilde{V}_t}{x_s})$  και ακτίνα  $\frac{3\tilde{E}_f\tilde{V}_t}{x_s}$

Ενώ στην περίπτωση που  $r_a = 0$ , τότε ο γεωμετρικός τόπος των σημείων της σχέσης (4.5) είναι κύκλος με κέντρο  $(-\frac{3\tilde{V}_t^2}{r_a^2+x_s^2} r_a, \frac{3\tilde{E}_f\tilde{V}_t}{r_a^2+x_s^2} x_s)$  και ακτίνα  $\frac{3\tilde{E}_f\tilde{V}_t}{\sqrt{r_a^2+x_s^2}}$

Εάν η γεννήτρια λειτουργεί μέσα στον κύκλο του ρεύματος στάτη και του ρεύματος δρομέα, τότε η γεννήτρια δουλεύει σε ασφαλή σημείο λειτουργίας.

#### 4.4 Όριο κινητήριας μηχανής

Υπάρχουν τρία όρια της κινητήριας μηχανής που είναι:

- όριο της αρνητικής ενεργού ισχύος,
- όριο του καπνίσματος,
- όριο της μέγιστης ισχύος, με ή χωρίς συντελεστή υπερφόρτισης.

Για το πρώτο όριο πρέπει η μηχανή να μην απορρόφα ενεργό ισχύ. Εάν συμβεί κάτι τέτοιο, τότε ο πετρελαιοκινητήρας θα καταστραφεί. Επομένως ο γεωμετρικός τόπος του πρώτου ορίου αυτού είναι μια ευθεία, η οποία εφάπτεται με τον άξονα της άεργου ισχύος.

Το όριο της μέγιστης ισχύος είναι όταν η γεννήτρια παράγει τη μέγιστη ενεργό ισχύ. Ο γεωμετρικός τόπος είναι μια ευθεία παράλληλη με τον άξονα της άεργου ισχύος.

Η γεννήτρια μπορεί να λειτουργήσει σε ισχύ της μέγιστης ενεργού + 10% για περίπου 1 ώρα. Αυτό ορίζει τη μέγιστη ισχύ με υπερφόρτιση.

## 4.5 Όριο στατικής ευστάθειας

Το όριο της στατικής ευστάθειας μπορεί να βρεθεί αν ισχύει ότι:

$$\varphi_s = \delta \quad (4.11)$$

Ισχύει ότι:

$$P_R = \frac{3\tilde{E}_f\tilde{V}_t}{r_a^2 + x_s^2} x_s \cos(\varphi_s - \delta) - \frac{3V_t^2}{r_a^2 + x_s^2} \cos \varphi_s \quad (4.12)$$

Εάν εφαρμοστεί η (4.11) στην (4.12), τότε το όριο της στατικής ευστάθειας είναι:

$$P_R = \frac{3\tilde{E}_f\tilde{V}_t}{r_a^2 + x_s^2} x_s - \frac{3V_t^2}{r_a^2 + x_s^2} \quad (4.13)$$

Για να είναι σε ασφαλή λειτουργία της γεννήτριας πρέπει το σημείο λειτουργίας της να είναι ανάμεσα στο όριο καπνίσματος και στο όριο της μέγιστης ισχύος.

Για να λειτουργεί η ηλεκτρογεννήτρια ασφαλώς πρέπει να συνδυαστούν οι πιο πάνω γραφικές παραστάσεις και τα κοινά τους σημεία είναι η ασφαλής λειτουργία της γεννήτριας.

## 4.6 Προσομοίωση

Για την προσομοίωση λήφθηκαν τα εξής δεδομένα από μια τυπική γεννήτρια της φρεγάτας "S" του Π.Ν.:

- Ονομαστική φαινόμενη ισχύς:  $S_{nom}=937,5$  kVA
- Ονομαστική ενεργός ισχύς:  $P_{nom}=750$  kW
- Ονομαστική τάση :  $V_{nom}=450$  V
- Ονομαστική αντίσταση  $r_a$ :  $r_a=0,00417$  Ω
- Ονομαστική επαγωγική αντίσταση  $x_s$ :  $x_{snom}=0,280$  Ω
- Ονομαστική συχνότητα:  $f_{nominal}=60$  Hz
- Συντελεστής καπνίσματος:  $P_{min\_nominal}=0.25$
- Συντελεστής στατικής ευστάθειας:  $P_{max\_nominal}=1.1$

Εκτελώντας τον κώδικα του παραρτήματος 1 στο πρόγραμμα της Matlab με τα πιο πάνω δεδομένα παρουσιάζονται τα διαγράμματα του ορίου λειτουργίας της γεννήτριας.

Αρχικά θα παρουσιαστεί το διάγραμμα του ορίου του στάτη. Στο διάγραμμα του στάτη παρουσιάζεται ο γεωμετρικός τόπος της σύγχρονης μηχανής ως κινητήρας και ως γεννήτρια. Στην παρούσα προσομοίωση ενδιαφέρει μόνο ο γεωμετρικός τόπος της σύγχρονης μηχανής ως γεννήτριας δηλαδή μόνο το δεξί τμήμα της γραφικής παράστασης με χρώμα μαύρο του σχήματος 4.2.

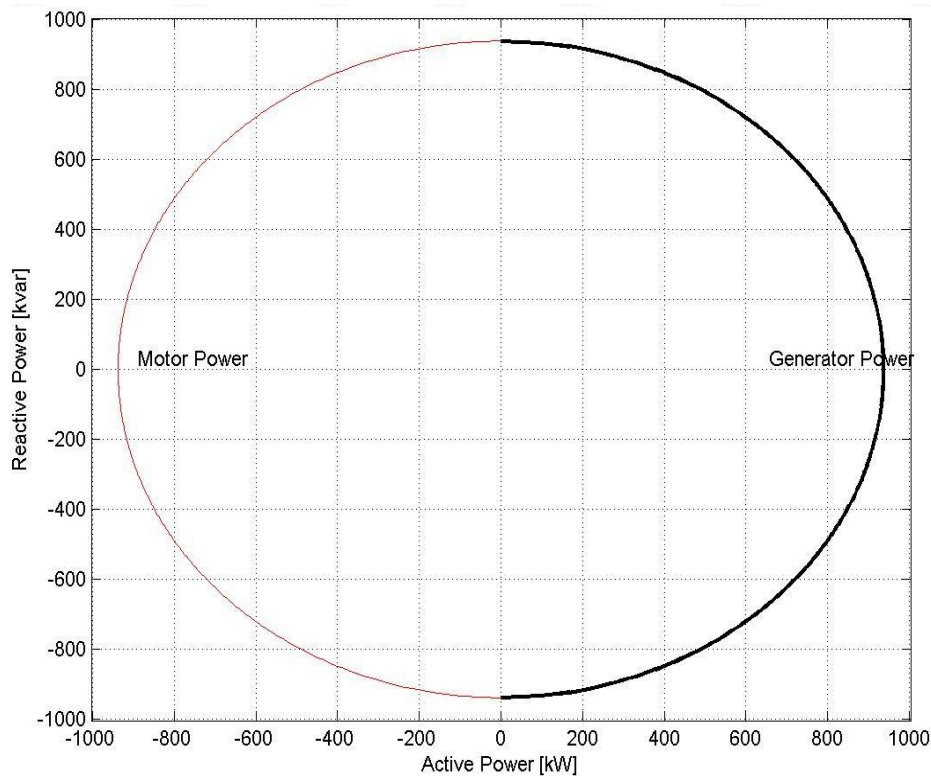
Στη συνέχεια στο σχήμα 4.3 παρουσιάζεται η γραφική παράσταση του ορίου του ρεύματος του δρομέα, όπου φαίνεται ο αντίστοιχος κύκλος.

Στο σχήμα 4.4 παρουσιάζεται το μέγιστο όριο της στατικής ευστάθειας.

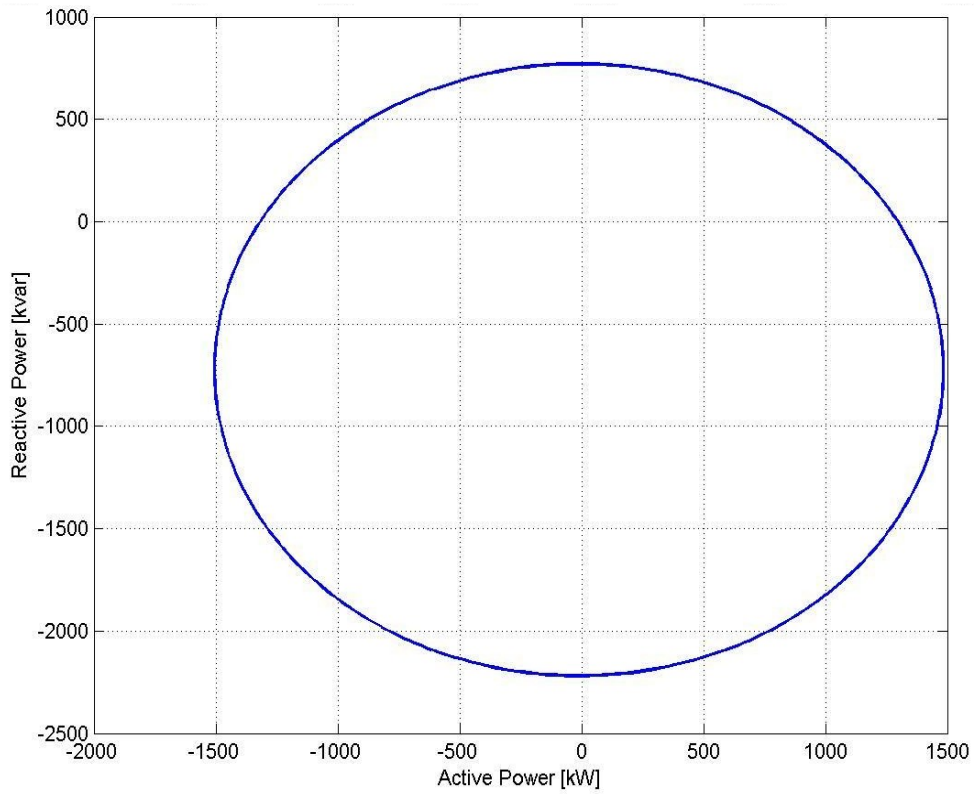
Στο σχήμα 4.5 καταγράφονται τα τέσσερα όρια λειτουργίας της ντιζελομηχανής εκ των οποίων τα δύο ακραία  $Min_{emergency}$  και  $Max_{emergency}$  αφορά καταστάσεις ευσταθούς λειτουργίας.

Τέλος παρουσιάζεται το τελικό διάγραμμα του σχήματος 4.6 της λειτουργίας της ηλεκτρογεννήτριας που απεικονίζεται σε μια γραφική παράσταση τα πιο πάνω διαγράμματα από κοινού.

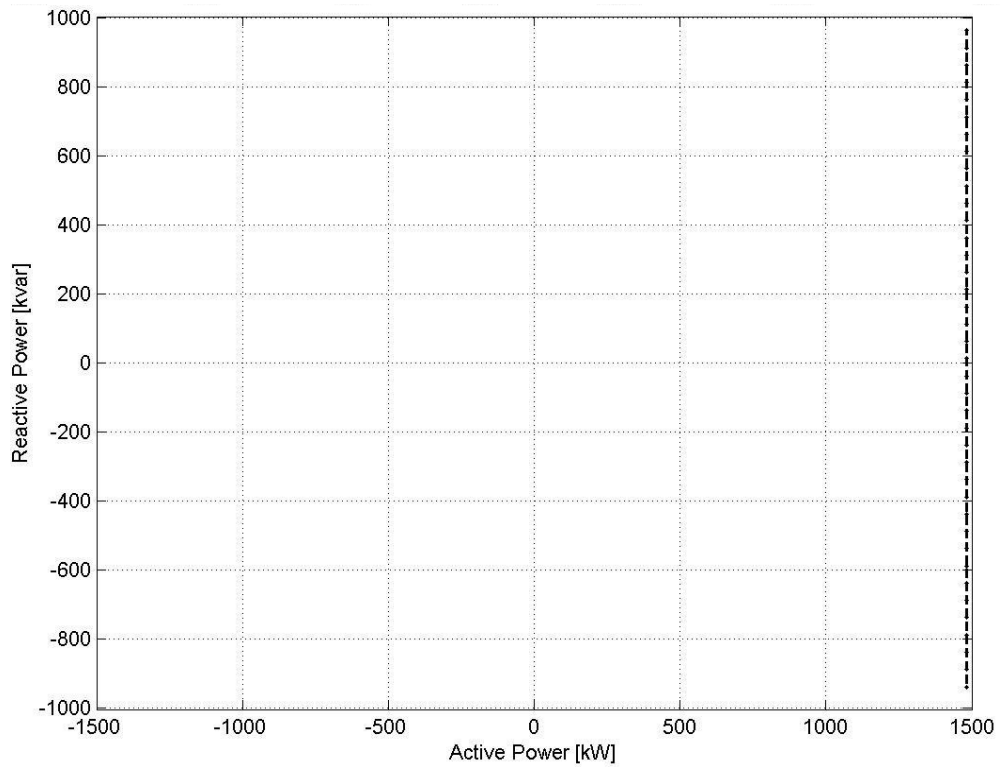
Το ασφαλές όριο λειτουργίας της ηλεκτρογεννήτριας τα κοινά όρια λειτουργίας των γραφικών παραστάσεων που απεικονίζονται με χρώμα ροζ, μπλε και πράσινο. Στην περίπτωση έκτακτης ανάγκης η περιοχή επεκτείνεται στα όρια με ροζ, μπλε και της πράσινης ευθείας με κουκίδες.



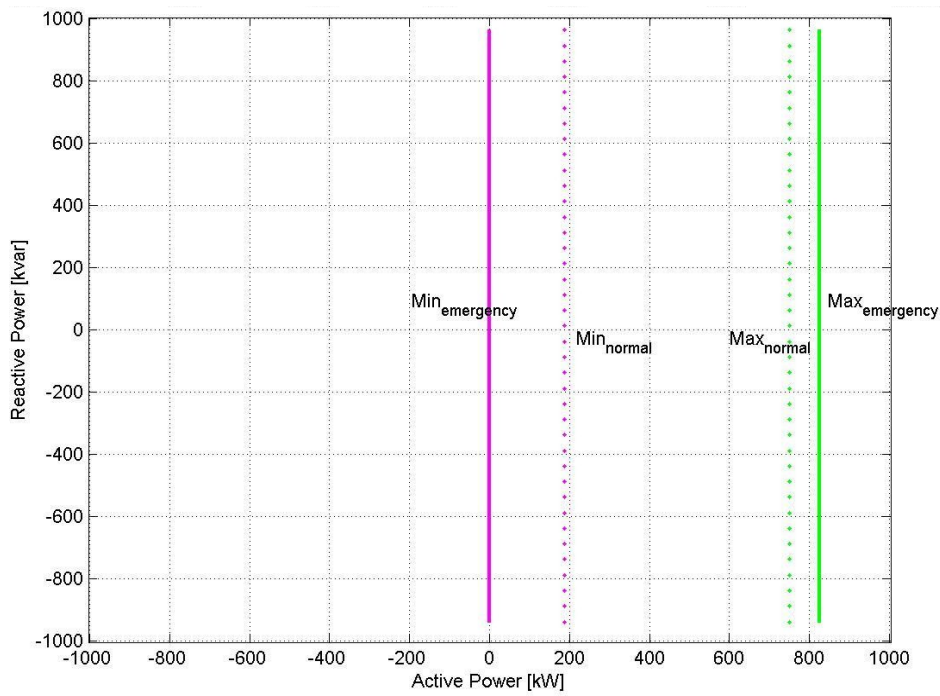
Σχήμα 4.2: Γραφική παράσταση του όριο ρεύματος στάτη.



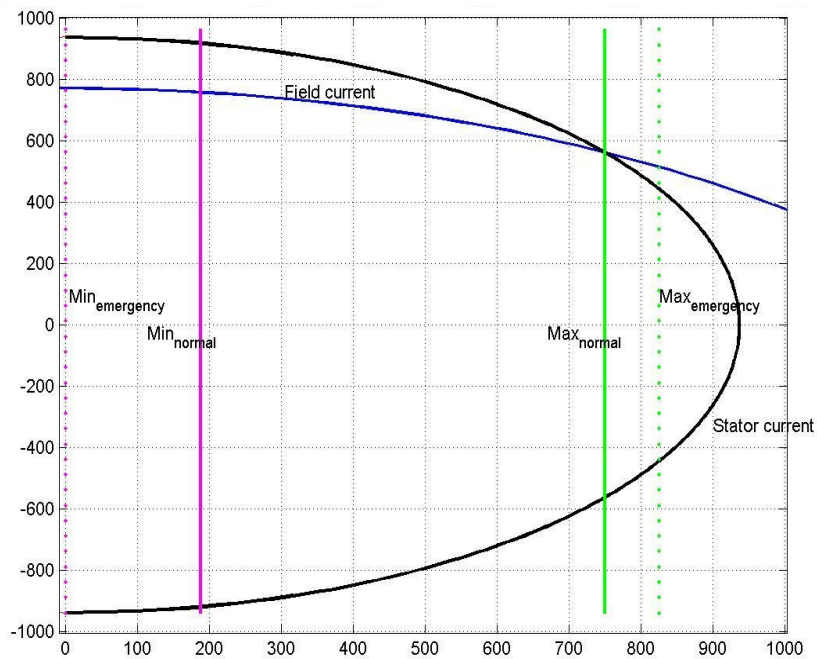
Σχήμα 4.3: Γραφική παράσταση του ορίου ρεύματος δρομέα



Σχήμα 4.4: Γραφική παράσταση του ορίου στατικής ευστάθειας.



Σχήμα 4.5: Γραφική παράσταση με τα όρια λειτουργίας της ντιζελομηχανής.



Σχήμα 4.6: Το διάγραμμα ορίων λειτουργίας της ντιζελομηχανής.

## 4.7 Συμπεράσματα

Στο κεφάλαιο 4 γίνεται μια ανάλυση για τον προσδιορισμό των ορίων ενεργού και άεργου ισχύος για την ασφαλή λειτουργία της σύγχρονης γεννήτριας υπό ονομαστική τάση και συχνότητα. Επιπλέον έχει δημιουργηθεί ένας κώδικας με το πρόγραμμα της MATLAB έτσι, ώστε να προσομοιωθεί με αληθινά δεδομένα τα όρια της ενεργού και άεργου ισχύος για την ασφαλή λειτουργία της ηλεκτρομηχανής.



## Κεφάλαιο 5 Συμπεράσματα

### 5.1 Συμπεράσματα

Η παρούσα διπλωματική εργασία είχε ως σκοπό την κατανόηση της λειτουργίας των τυπικών ηλεκτρομηχανών στα πολεμικά πλοία. Μεταξύ των άλλων διαπιστώθηκαν τα εξής:

- Στο Ελληνικό Πολεμικό Ναυτικό η συντριπτική πλειοψηφία είναι ντιζελοηλεκτρογεννήτριες. Μόνο στα υποβρύχια τύπου U214 υπάρχει ως εναλλακτική πηγή ενέργειας κυψέλες καυσίμου με καύσιμο υδρογόνο. Σε άλλα ναυτικά (Η.Π.Α, Ηνωμένο Βασίλειο, Ρωσία, κα) διαθέτουν σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με πυρηνικούς αντιδραστήρες (ως λέβητες) και ατμοστροβίλους (ως κινητήριες μηχανές) για μεγάλα πλοία, όπως αεροπλανοφόρα.
- Οι σύγχρονες γεννήτριες του Ελληνικού Πολεμικού Ναυτικού συνήθως είναι οι αυτοδιεγειρόμενες, χωρίς ψήκτρες. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω μιας βοηθητικής γεννήτριας που το τύλιγμα διέγερσής της είναι στο στάτη και περιλαμβάνει και μόνιμους μαγνήτες, ενώ στο δρομέα βρίσκεται τριφασικό τύλιγμα, του οποίου οι τάσεις ανορθώνονται και τροφοδοτούν το τύλιγμα του κύριου πεδίου διέγερσης της κύριας γεννήτριας που βρίσκεται πάνω στο δρομέα.
- Για την επίτευξη της λειτουργίας μιας ηλεκτρογεννήτριας δεν απαιτείται μόνο η χρήση της κινούμενης μηχανής και της γεννήτριας, αλλά και η άριστη συνεργασία με τα βοηθητικά συστήματα της θερμικής μονάδας. Σ' αυτά περιλαμβάνονται τα δίκτυα λίπανσης, πετρελαίου, γλυκού νερού, θαλασσινού νερού, πεπιεσμένου αέρα, καθώς επίσης και οι αυτόματοι διακόπτες ισχύος, ο ρυθμιστής στροφών, ο αυτόματος ρυθμιστής τάσης, οι αυτοματισμοί προστασίας έναντι υπερτάχυνσης, επιβράδυνσης κα.
- Στη μόνιμη κατάσταση λειτουργίας μια ηλεκτρομηχανή για να λειτουργήσει με ασφάλεια πρέπει να εξαχθούν οι οριακές καμπύλες φόρτισης στο καρτεσιανό επίπεδο ενεργού και άεργου ισχύος που καθορίζονται από:
  1. το ρεύμα του στάτη, που επηρεάζεται από τη διατομή των αγωγών του στάτη, την αντίστοιχη μόνωση, τη θερμοκρασία περιβάλλοντος και τη ψύξη της μηχανής,
  2. το ρεύμα του πεδίου, που επηρεάζεται αντίστοιχο από τη διατομή των αγωγών του πεδίου διέγερσης του δρομέα, την αντίστοιχη μόνωση, τη θερμοκρασία περιβάλλοντος και τη ψύξη της μηχανής,
  3. την κινητήρια μηχανή, που επηρεάζεται από τον επιτρεπτό αφόρτιστης λειτουργίας της μηχανής και της μέγιστης υπερφόρτισης.
  4. τη στατική ευστάθεια του δικτύου υπό σταθερή τάση του δικτύου.

## 5.2 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Με την ολοκλήρωση της διπλωματικής εργασίας, προέκυψαν τα παρακάτω θέματα τα οποία θα μπορούσαν να μελετηθούν σε μελλοντικές εργασίες:

1. Μελέτη υποσυστημάτων της ηλεκτρογεννήτριας. Μελέτη ηλεκτρογεννήτριας στη μεταβατική κατάσταση.
2. Διαστασιολόγηση συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με βάση το φορτίο ζήτησης.
3. Πλήρης ανάλυση όλων των απαιτήσεων για την επιλογή ηλεκτρογεννήτριας (ανάγκες φορτίου, αξιοπιστία κ.).
4. Οικονομική μελέτη για την αξιολόγηση των κινητήριων μηχανών για χρήση με γεννήτρια.
5. Μελέτη για τις ανάγκες συντήρησης της ηλεκτρομηχανής.
6. Διαστασιολόγηση της ηλεκτρολογικής εγκατάστασης πλοίου (διακόπτες, καλώδια κ.) με βάση τα σχέδια του πλοίου (κατόψεις κάθε καταστρώματος, μηχανοστασίου κ.).
7. Μελέτη σκοπιμότητας – βιωσιμότητας του πλήρως εξηλεκτρισμένου πλοίου σε περίπτωση εκσυγχρονισμού υπάρχοντος πλοίου.

# Παράρτημα 1: Ανάπτυξη Λογισμικού

## Π.1 Ανάπτυξη λογισμικού σε MATLAB

Στην παρακάτω παράγραφο αναπτύσσεται ο κώδικας σε MATLAB για την προσομοίωση τυπικής ντιζελογεννήτριας του Πολεμικού Ναυτικού στη μόνιμη κατάσταση προς εύρεση των ορίων λειτουργίας ενεργού και άεργου ισχύος.

```
% YPOLOGISMOS KAMPYLWN P-Q
% EKATHARRISH MNHMHS
clear;
% BASIKES PARAMETROI GENNHTRIAS
S_nominal= 937500; % [VA]
P_nominal= 750000; % [W]
V_nominal= 450.00; % [V]
rA_nominal=0.00417; % [Ohm]
Xs_nominal=0.280; % [Ohm]
f_nominal = 60.0; % [Hz]
min_P_diesel =0.25;% [-]
max_P_diesel =1.10;% [-]

% YPOLOGISMOS cosf_nominal
cosf_nominal=P_nominal/S_nominal; % [-]
% YPOLOGISMOS I_nominal
I_nominal=S_nominal/(sqrt(3)*V_nominal); % [A]
% YPOLOGISMOS Ef_nominal
sinf_nominal=sqrt(1-cosf_nominal^2);
V_nominal_phase=V_nominal/sqrt(3);
Ef_nominal_phase=sqrt((V_nominal_phase+I_nominal*cosf_nominal*rA_nominal+I_n
ominal*sinf_nominal*Xs_nominal)^2+(I_nominal*cosf_nominal*Xs_nominal-
I_nominal*sinf_nominal*rA_nominal)^2);
% Loipoi ypologismoi
S_nominal_1000=S_nominal/1000;
P_nominal_1000=P_nominal/1000;

% ORIO REUMATOS TYMPANOU
Q_tymp_min=-S_nominal/1000; % [kvar]
Q_tymp_max= S_nominal/1000; % [kvar]
Q_tymp_step= 5; % [kvar]
i_metritis_Q_tymp_population_fin=ceil((Q_tymp_max-
Q_tymp_min)/Q_tymp_step)+1;
for i_metritis_Q=1:i_metritis_Q_tymp_population_fin
    Q_tymp(i_metritis_Q)=Q_tymp_min+Q_tymp_step*(i_metritis_Q-1);
    P_tymp_pos(i_metritis_Q)= sqrt(S_nominal_1000^2-Q_tymp(i_metritis_Q)^2);
    P_tymp_neg(i_metritis_Q)=-sqrt(S_nominal_1000^2-Q_tymp(i_metritis_Q)^2);
end;
figure;
plot(P_tymp_pos(:),Q_tymp(:),'k','LineWidth',2);
hold on;
plot(P_tymp_neg(:),Q_tymp(:),'r');
hold off;
title(['Limits of stator current: S_n_o_m [kVA]= ',num2str(S_nominal_1000),'
P_n_o_m [kW]= ',num2str(P_nominal_1000),' V_n_o_m [V]=
',num2str(V_nominal),' f_n_o_m [Hz]= ',num2str(f_nominal),' X_s_n_o_m [Ohm]=
',num2str(Xs_nominal),' r_A_n_o_m [Ohm]= ',num2str(rA_nominal),'
f_d_i_e_s_e_l_m_i_n [-]= ',num2str(min_P_diesel),' f_d_i_e_s_e_l_m_a_x [-]=
',num2str(max_P_diesel)]);
ylabel('Reactive Power [kvar]');
xlabel('Active Power [kW]');
grid on;
axis([-1.07*S_nominal_1000 1.07*S_nominal_1000 -(1.07*S_nominal_1000)
(1.07*S_nominal_1000)]);
text( -(0.95*S_nominal_1000),30,'Motor Power','FontSize',10);
text( (0.7*S_nominal_1000),30,'Generator Power','FontSize',10);
```

```

% ORIO ISXYOS PETRELA IOMHXANHS
Q_diesel_min=-S_nominal/1000; % [kvar]
Q_diesel_max= S_nominal/1000; % [kvar]
Q_diesel_step= 50; % [kvar]
i_metritis_Q_diesel_population_fin=ceil((Q_diesel_max-
Q_diesel_min)/Q_diesel_step)+1;
for i_metritis_Q=1:i_metritis_Q_diesel_population_fin
    Q_diesel(i_metritis_Q)=Q_diesel_min+Q_diesel_step*(i_metritis_Q-1);
    P_diesel_pos1(i_metritis_Q)= P_nominal_1000;
    P_diesel_pos2(i_metritis_Q)= max_P_diesel*P_nominal_1000;
    P_diesel_neg1(i_metritis_Q)= min_P_diesel*P_nominal_1000;
    P_diesel_neg2(i_metritis_Q)= 0.0;
end;
figure;
plot(P_diesel_pos1(:),Q_diesel(:),'.g','LineWidth',1);
hold on;
plot(P_diesel_pos2(:),Q_diesel(:), 'g','LineWidth',2);
plot(P_diesel_neg2(:),Q_diesel(:), 'm','LineWidth',2);
plot(P_diesel_neg1(:),Q_diesel(:), '.m','LineWidth',1);
hold off;
title(['Limits of diesel engine: S_n_o_m [kVA]= ',num2str(S_nominal_1000),'
P_n_o_m [kW]= ',num2str(P_nominal_1000),' V_n_o_m [V]=
',num2str(V_nominal),' f_n_o_m [Hz]= ',num2str(f_nominal),' X_S_n_o_m [Ohm]=
',num2str(Xs_nominal),' r_A_n_o_m [Ohm]= ',num2str(rA_nominal),'
f_d_i_e_s_e_l_m_i_n [-]= ',num2str(min_P_diesel),' f_d_i_e_s_e_l_m_a_x [-]=
',num2str(max_P_diesel)]);
ylabel('Reactive Power [kvar]');
xlabel('Active Power [kW]');
grid on;
axis([-1.07*S_nominal_1000) (1.07*S_nominal_1000) -(1.07*S_nominal_1000)
(1.07*S_nominal_1000)]);
text(-0.21*S_nominal_1000),80,'Min_e_m_e_r_g_e_n_c_y','FontSize',10);
text( (0.23*S_nominal_1000),-40,'Min_n_o_r_m_a_l','FontSize',10);
text( (0.64*S_nominal_1000),-40,'Max_n_o_r_m_a_l','FontSize',10);
text( (0.9*S_nominal_1000),80,'Max_e_m_e_r_g_e_n_c_y','FontSize',10);

% ORIO ISXYOS GIA REYMA PEDIOU
i_metritis_delta=0;
for delta=0:(2*pi/360):(2*pi)
    i_metritis_delta=i_metritis_delta+1;

P_delta(i_metritis_delta)=(3/1000)*(Ef_nominal_phase*V_nominal_phase*(rA_nominal*cos(delta)+Xs_nominal*sin(delta))-
(V_nominal_phase^2)*rA_nominal)/(rA_nominal^2+Xs_nominal^2); % [kW]
Q_delta(i_metritis_delta)=(3/1000)*(Ef_nominal_phase*V_nominal_phase*(-
rA_nominal*sin(delta)+Xs_nominal*cos(delta))-
(V_nominal_phase^2)*Xs_nominal)/(rA_nominal^2+Xs_nominal^2); % [kvar]
end;
figure;
plot(P_delta(:),Q_delta(:), 'b','LineWidth',1.5);
title(['Limits of field current: S_n_o_m [kVA]= ',num2str(S_nominal_1000),'
P_n_o_m [kW]= ',num2str(P_nominal_1000),' V_n_o_m [V]=
',num2str(V_nominal),' f_n_o_m [Hz]= ',num2str(f_nominal),' X_S_n_o_m [Ohm]=
',num2str(Xs_nominal),' r_A_n_o_m [Ohm]= ',num2str(rA_nominal),'
f_d_i_e_s_e_l_m_i_n [-]= ',num2str(min_P_diesel),' f_d_i_e_s_e_l_m_a_x [-]=
',num2str(max_P_diesel)]);
ylabel('Reactive Power [kvar]');
xlabel('Active Power [kW]');
grid on;

% ORIO STATIKHS EUSTATHEIAS
P_statiki=(3/1000)*(Ef_nominal_phase*V_nominal_phase/sqrt(rA_nominal^2+Xs_nominal^2)-
(V_nominal_phase^2)*rA_nominal/(rA_nominal^2+Xs_nominal^2)); % [kW]
Q_statiki_min=-S_nominal/1000; % [kvar]
Q_statiki_max= S_nominal/1000; % [kvar]
Q_statiki_step= 50; % [kvar]
i_metritis_Q_statiki_population_fin=ceil((Q_statiki_max-

```

```

Q_statiki_min)/Q_statiki_step)+1;
for i_metritis_Q=1:i_metritis_Q_diesel_population_fin
    Q_statiki_pin(i_metritis_Q)= Q_statiki_min+Q_statiki_step*(i_metritis_Q-
1);
    P_statiki_pin(i_metritis_Q)= P_statiki;
end;
figure;
plot(P_statiki_pin(:),Q_statiki_pin(:),'--.k','LineWidth',1.5);
title(['Limits of static stability: S_n_o_m [kVA]=
',num2str(S_nominal_1000),' P_n_o_m [kW]= ',num2str(P_nominal_1000),'
V_n_o_m [V]= ',num2str(V_nominal),' f_n_o_m [Hz]= ',num2str(f_nominal),'
X_S_n_o_m [Ohm]= ',num2str(Xs_nominal),' r_A_n_o_m [Ohm]=
',num2str(rA_nominal),' f_d_i_e_s_e_l_m_i_n [-]= ',num2str(min_P_diesel),'
f_d_i_e_s_e_l_m_a_x [-]= ',num2str(max_P_diesel)]);
ylabel('Reactive Power [kvar]');
xlabel('Active Power [kW]');
grid on;
axis([-1.6*S_nominal_1000) (1.6*S_nominal_1000) -(1.07*S_nominal_1000)
(1.07*S_nominal_1000)]);

% TELIKH EKTYPWSH
figure;
plot(P_delta(:),Q_delta(:),'b','LineWidth',1.5); % orio pediou
hold on;
plot(P_tymp_pos(:),Q_tymp(:),'k','LineWidth',2); % orio reumatos tympanou
plot(P_tymp_neg(:),Q_tymp(:),'r');
plot(P_diesel_pos1(:),Q_diesel(:),'g','LineWidth',2);
plot(P_diesel_pos2(:),Q_diesel(:),'.g','LineWidth',1);
plot(P_diesel_neg2(:),Q_diesel(:),'.m','LineWidth',1);
plot(P_diesel_neg1(:),Q_diesel(:),'m','LineWidth',2);
plot(P_statiki_pin(:),Q_statiki_pin(:),'--.k','LineWidth',1.5);
hold off;
title(['Limits of Generator: S_n_o_m [kVA]= ',num2str(S_nominal_1000),'
P_n_o_m [kW]= ',num2str(P_nominal_1000),' V_n_o_m [V]=
',num2str(V_nominal),' f_n_o_m [Hz]= ',num2str(f_nominal),' X_S_n_o_m [Ohm]=
',num2str(Xs_nominal),' r_A_n_o_m [Ohm]= ',num2str(rA_nominal),'
f_d_i_e_s_e_l_m_i_n [-]= ',num2str(min_P_diesel),' f_d_i_e_s_e_l_m_a_x [-]=
',num2str(max_P_diesel)]);
grid on;
axis([-0.01*S_nominal_1000) (1.07*S_nominal_1000) -(1.07*S_nominal_1000)
(1.07*S_nominal_1000)]);
text((0.005*S_nominal_1000),80,'Min_e_m_e_r_g_e_n_c_y','FontSize',10);
text((0.12*S_nominal_1000),-40,'Min_n_o_r_m_a_l','FontSize',10);
text((0.715*S_nominal_1000),-40,'Max_n_o_r_m_a_l','FontSize',10);
text((0.88*S_nominal_1000),80,'Max_e_m_e_r_g_e_n_c_y','FontSize',10);
text((0.96*S_nominal_1000),(-0.35*S_nominal_1000),'Stator
current','FontSize',10);
text((0.325*S_nominal_1000),(0.81*S_nominal_1000),'Field
current','FontSize',10);
text((1.3*S_nominal_1000),(0.81*S_nominal_1000),'Static
stability','FontSize',10);

```

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Χ. Φραγκόπουλου, Ι. Προυσαλίδη: "Ενεργειακά Συστήματα Πλοίου", Εκδόσεις DaVinci, 2019
- [2] Hans Klein Woud, Douwe Stapersma: "Design of propulsion and electric power system generation systems", IMAREST, 2002
- [3] ABB: "System Project Guide for Passenger Vessels", February 2011.
- [4] Χ. Φραγκόπουλος: «Ενεργειακά συστήματα πλοίου – Τεύχος Α», ΕΜΠ.
- [5] Γ.Τσεκούρας: «Μέρος Ε-Κεφάλαιο 1: Μελέτη Φορτίου» Σημειώσεις από το μάθημα και «Σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας», τμήμα Μηχανικών Ενεργειακής Τεχνολογίας, ΤΕΙ Αθήνας, 2011.
- [6] Θ. Νικολακάκης: «Ηλεκτρολογική μελέτη πλοίου», Προπτυχιακή εργασία, 2009, υπό τον Ι. Μ. Προυσαλίδη για το μάθημα «Ενεργειακά συστήματα πλοίου».
- [7] Β. Παπαδιάς, Κ. Βουρνάς, Κ. Ντελκής: «Σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας», Εκδόσεις Συμμετρία, Μάιος 2011.
- [8] C.M. Plumb: "Worship Propulsion System Selection", The institute of Marine Engineers, 1987.
- [9] Heemaf smit slikkerveer Holec machines and systems: "Erection and maintenance instruction for electric machinery", 1981.
- [10] Γ. Ρουμελιώτης: «Θεωρία αεροστροβίλων», Σχολή Ναυτικών Δοκίμων, 2012.
- [11] Χ. Κλιάνης, Κ. Νικολάου, Α. Σιδέρης: «Μηχανές εσωτερικής καύσεως». Ευγενίδιο Ίδρυμα, 2002.
- [12] Γ. Τσεκούρας : «Κεφάλαιο 4: Βασικά θεωρήματα ηλεκτροτεχνίας» Σημειώσεις από το μάθημα «Θεωρία κυκλωμάτων Ιβ», ΣΝΔ, 2011.