



**ΑΝΩΤΑΤΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ
ΠΕΙΡΑΙΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟΥ ΤΟΜΕΑ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.**

Π Τ Υ Χ Ι Α Κ Η Ε Ρ Γ Α Σ Ι Α

**ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΔΙΑΝΟΜΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΕΠΙΒΑΤΙΚΟΥ ΑΕΡΟΣΚΑΦΟΥΣ**

**PRODUCTION AND DISTRIBUTION OF
ELECTRICAL ENERGY IN CIVIL AIRCRAFT**



ΚΑΤΣΑΚΟΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ

A.M. 42361

Εισηγητής: ΗΡΑΚΛΗΣ ΒΥΛΛΙΩΤΗΣ, Καθηγητής Εφαρμογών

ΑΙΓΑΛΕΩ, ΙΟΥΝΙΟΣ 2017

**ΑΝΩΤΑΤΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΙΡΑΙΑ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟΥ ΤΟΜΕΑ**

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

Π Τ Υ Χ Ι Α Κ Η Ε Ρ Γ Α Σ Ι Α

**ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΔΙΑΝΟΜΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΕΠΙΒΑΤΙΚΟΥ ΑΕΡΟΣΚΑΦΟΥΣ**

**PRODUCTION AND DISTRIBUTION OF
ELECTRICAL ENERGY IN CIVIL AIRCRAFT**

ΚΑΤΣΑΚΟΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ

A.M. 42361

ele42361@teipir.gr

Εισηγητής: ΗΡΑΚΛΗΣ ΒΥΛΛΙΩΤΗΣ, Καθηγητής Εφαρμογών

ΑΙΓΑΛΕΩ, ΙΟΥΝΙΟΣ 2017

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Καταρχήν, θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στον επιβλέποντα καθηγητή, Ηρακλή Βυλλιώτη, για την ενθουσιώδη βοήθεια, την ενθάρρυνση, την επίβλεψη και την καθοδήγησή του κατά τη διάρκεια αυτής της πτυχιακής εργασίας.

Θα ήθελα επίσης να επωφεληθώ αυτής της ευκαιρίας για να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την αγάπη, την κατανόηση και την ενθάρρυνσή τους. Χωρίς την υποστήριξή τους, δεν θα μπορούσα να τα καταφέρω.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα τελευταία χρόνια, τα αεροσκάφη εξαρτώνται όλο και περισσότερο από τα συστήματα παροχής ηλεκτρικού ρεύματος και αυτό οφείλεται στην ταχεία εξέλιξη της τεχνολογίας στα ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά. Προκειμένου να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις ισχύος σε διάφορες συνθήκες πτήσης και λειτουργίας, η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας του αεροσκάφους έχει αυξηθεί σημαντικά. Η κύρια λειτουργία ενός ηλεκτρικού συστήματος είναι να παράγει, να ρυθμίζει και κυρίως να διανέμει ισχύ σε όλο το αεροσκάφος. Επομένως, τα συστήματα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει να διερευνηθούν διεξοδικά. Επιπλέον, η απόδοση των αεροσκαφών συνδέεται άμεσα με την αξιοπιστία των ηλεκτρικών συστημάτων και υποσυστημάτων. Γενικά, τα σύγχρονα ηλεκτρικά συστήματα αεροσκαφών χρησιμοποιούν AC καθώς και DC.

Ο κύριος στόχος αυτής της εργασίας είναι η παρουσίαση του συστήματος διανομής ισχύος και οι διάφορες μέθοδοι διανομής του ηλεκτρικού ρεύματος του αεροσκάφους σε όλα τα συστατικά μέρη του. Επιπλέον, παρουσιάζεται και αναλύεται το σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας του αεροσκάφους που περιλαμβάνει τόσο συστήματα AC όσο και DC. Ως εκ τούτου, είναι σημαντικό να εξεταστεί προσεκτικά το σύστημα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας ενός σύγχρονου επιβατικού αεροσκάφους και πιο συγκεκριμένα του A380.

Είναι σημαντικό να εξεταστούν τα εξαρτήματα του συστήματος διανομής ισχύος του αεροσκάφους. Αποτελούνται από τον εξοπλισμό μετατροπής ισχύος, συμπεριλαμβανομένων των μπαταριών, των μετασχηματιστών, των ανορθωτών και της εξωτερικής τροφοδοσίας, δηλαδή την εξωτερική παροχή ισχύος όταν το αεροσκάφος βρίσκεται στο έδαφος. Επιπλέον, το σύστημα περιλαμβάνει τα εγκατεστημένα καλώδια μέσα στο αεροσκάφος, τόσο τον εσωτερικό όσο και τον εξωτερικό φωτισμό, τα όργανα μέτρησης του θαλάμου διακυβέρνησης και τις διατάξεις προστασίας των κυκλωμάτων που απομονώνουν το ηλεκτρικό ρεύμα για την αποφυγή σοβαρών ζημιών.

Η λεπτομερής έρευνα των ηλεκτρικών συστημάτων του αεροσκάφους έγινε κατανοητή με την πραγματοποίηση κυκλωματικών και μπλοκ διαγραμμάτων. Συγκεκριμένα, αυτά τα διαγράμματα αφορούν τα εξαρτήματα του αεροσκάφους και τις συνδέσεις που γίνονται με τον ηλεκτρολογικό εξοπλισμό. Τέλος, γίνεται μια σχηματική αναπαράσταση της αρχιτεκτονικής του ηλεκτρικού συστήματος του αεροσκάφους και του κύριου συστήματος διανομής ισχύος και αναλύονται διεξοδικά.

Λέξεις κλειδιά:

Ηλεκτρικό σύστημα αεροσκάφους, Σύστημα διανομής ισχύος, Σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, Σύστημα διανομής ζυγών τροφοδοσίας

ABSTRACT

In recent years, aircraft have become contingent on electrically powered services due to the swift evolvement of electric and electronic technology. In order to meet the power requirements under diverse flight and operating conditions, the aircraft electrical power generation capacity has increased significantly. The main function of an electrical system is to generate, regulate, and mainly distribute power throughout the aircraft. Therefore, electrical power distribution systems need to be investigated thoroughly. Moreover, aircraft performance is directly connected with the reliability of electrical systems and subsystems. Generally, modern aircraft electrical systems utilize AC as well as DC power.

The main purpose of this thesis is to introduce the power distribution system and various methods of dispensing the aircraft electrical power throughout its electrical components. Furthermore, the aircraft power generation system is presented and analyzed including both AC and DC systems. Therefore, it is important to scrutinize the electrical power distribution approach of a modern civil aircraft and more specifically the A380.

It is major to examine the components of the aircraft power distribution system. They consist of the power conversion equipment, including batteries, transformers, rectifiers and the ground power supplies, namely the external power supply when the aircraft is on the ground. Additionally, the system includes the installed wires and cables within the aircraft, both the internal and external lighting, measuring instruments of the cockpit and the circuit protection devices which insulate the electrical power for the avoidance of serious damage.

The detailed investigation of the aircraft electrical systems has been made comprehensible with the realization of circuit and block diagrams. Specifically, these diagrams concern the components of the aircraft and the connections made with the electrical equipment. Finally, the schematic representation of the aircraft electrical system architecture and the main power distribution system are actualized and thoroughly analyzed.

Key Words:

Aircraft electrical system, Power distribution system, Power generation system, Busbar distribution system

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	I
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	II
ABSTRACT.....	III
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ.....	V
ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....	VII
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ.....	IX
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1 Ηλεκτρικό σύστημα αεροσκάφους και τρόποι παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.....	2
1.1 Γενικό ηλεκτρικό σύστημα αεροσκάφους.....	2
1.2 Έλεγχος ηλεκτρικής παραγωγής.....	3
1.2.1 Έλεγχος παραγωγής συστημάτων συνεχούς τάσης.....	3
1.2.2 Έλεγχος παραγωγής συστημάτων εναλλασσόμενης τάσης.....	5
1.3 Σύγχρονοι τρόποι παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (AC).....	8
1.3.1 Σταθερή συχνότητα/Παραγωγή ρεύματος μέσω γεννήτριας IDG.....	10
1.3.2 Παραγωγή Μεταβλητής Συχνότητας.....	11
1.3.3 Παραγωγή σταθερής συχνότητας με μεταβλητή ταχύτητα (VSCF).....	12
1.3.4 Συστήματα 270 V DC.....	13
1.4 Σύστημα διανομής.....	15
1.5 Μετατροπή ρεύματος και αποθήκευση ενέργειας.....	15
2 Παραγωγή εναλλασσόμενης τάσης.....	17
2.1 Αρχή λειτουργίας των σύγχρονων γεννητριών εναλλασσόμενου ρεύματος.....	17
2.2 Συστήματα Μεταβλητής Συχνότητας (Frequency-Wild).....	19
2.2.1 Διέγερση γεννήτριας.....	19
2.2.2 Γεννήτριες Μεταβλητής Συχνότητας (Frequency-Wild).....	20
2.2.3 Ρύθμιση τάσης.....	22
2.3 Συστήματα σταθερής συχνότητας.....	25
2.4 Καταμερισμός φορτίου.....	27
2.5 Καταμερισμός πραγματικού φορτίου.....	30
2.6 Καταμερισμός αντιδραστικού φορτίου.....	30
3 Παραγωγή συνεχούς τάσης.....	33
3.1 Γεννήτριες Shunt-wound.....	33
3.2 Ρυθμιστής τάσης.....	35
3.3 Ρυθμιστής ρεύματος.....	36
3.4 Παράλληλη λειτουργία φορτίων.....	37
3.5 Μπαταρίες.....	39
3.5.1 Τοποθεσία μπαταριών στο αεροσκάφος.....	39
3.5.2 Συνδέσεις μπαταρίας.....	40
3.5.3 Τυπικά συστήματα μπαταριών.....	41

4	Εξοπλισμός μετατροπής ηλεκτρικής ενέργειας.....	47
4.1	Στατικός εξοπλισμός.....	47
4.1.1	Ανορθωτές.....	47
4.1.2	Μετασχηματιστές.....	50
4.1.2.1	Μετασχηματιστές Τάσης.....	50
4.1.2.2	Μετασχηματιστές Ρεύματος.....	52
4.1.2.3	Αυτομετασχηματιστές.....	53
4.1.3	Μονάδες Μετασχηματιστή-Ανορθωτή (T.R.U.).....	55
4.1.4	Στατικοί μετατροπείς (Inverters).....	57
4.2	Περιστροφικός εξοπλισμός.....	59
4.3	Ρύθμιση τάσης και συχνότητας.....	60
5	Επίγεια Τροφοδοσία Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	64
5.1	Συστήματα DC.....	64
5.2	Συστήματα AC.....	67
5.3	Εφεδρική μονάδα ισχύος (A.P.U.).....	69
6	Καλωδιώσεις και φωτισμός.....	72
6.1	Μέθοδοι ομαδοποίησης καλωδίων.....	72
6.2	Κατηγορίες Καλωδίων.....	73
6.3	Γείωση καλωδίων.....	75
6.4	Συστήματα φωτισμού αεροσκάφους.....	76
6.4.1	Εξωτερικά φώτα.....	76
6.4.2	Εσωτερικά φώτα.....	79
7	Διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας.....	81
7.1	Ζυγοί ανατροφοδότησης.....	81
7.2	Συστήματα διαχωρισμένων ζυγών.....	82
7.2.1	Σύστημα διαχωρισμένων ζυγών τροφοδοσίας (με AC πηγή τροφοδοσίας).....	84
7.3	Σύστημα παράλληλων ζυγών τροφοδοσίας (3-4 κινητήρων).....	86
7.4	Πρωτεύων ρεύμα και ρεύμα σε κατάσταση αναμονής.....	87
7.5	Εξωτερική τροφοδοσία.....	88
7.6	Κινητήρες.....	90
7.7	Επισκόπηση συστήματος παραγωγής AC ηλεκτρικής ενέργειας αεροσκάφους A380.....	92
8	Διατάξεις προστασίας.....	97
8.1	Μονάδες προστασίας.....	97
8.1.1	Ασφάλειες.....	97
8.1.2	Περιοριστές ρεύματος.....	98
8.1.3	Αντιστάσεις περιορισμού ρεύματος.....	98
8.1.4	Διακόπτες κυκλώματος.....	100
8.2	Προστασία έναντι ανάστροφου ρεύματος.....	102
8.2.1	Ρελέ ανάστροφου ρεύματος.....	102
8.2.2	Διακόπτες ανάστροφου ρεύματος.....	104
8.3	Καταστάσεις υπέρτασης και υπότασης.....	107
8.3.1	Προστασία από υπέρταση.....	107
8.3.2	Προστασία από υπόταση.....	109
	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	110
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	112

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1.1	Γενικό ηλεκτρικό σύστημα αεροσκάφους.....	2
Σχήμα 1.2	Τρόποι Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	8
Σχήμα 1.3	Σταθερή συχνότητα / Παραγωγή μέσω IDG.....	9
Σχήμα 1.4	Παραγωγή VSCF.....	12
Πίνακας 1.1	Πρόσφατες εξελίξεις συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας των αεροσκαφών.....	14
Σχήμα 2.1	Αρχή λειτουργίας της σύγχρονης γεννήτριας εναλλασσόμενου ρεύματος.....	17
Σχήμα 2.2	Τριφασική γεννήτρια AC σε διάταξη αστέρα.....	18
Σχήμα 2.3	Γεννήτρια Frequency-Wild.....	20
Σχήμα 2.4	Γεννήτρια Frequency-Wild.....	21
Σχήμα 2.5	Διάγραμμα κυκλώματος γεννήτριας Frequency-Wild.....	22
Σχήμα 2.6	Ρύθμιση τάσης με τρανζίστορ.....	23
Σχήμα 2.7	Ρύθμιση τάσης συστήματος σταθερής συχνότητας.....	25
Σχήμα 2.8	Πραγματικό φορτίο.....	29
Σχήμα 2.9	Αντιδραστικό φορτίο.....	30
Σχήμα 3.1	Γεννήτρια Shunt-wound συνεχούς τάσης.....	33
Σχήμα 3.2	Χαρακτηριστική αυτοδιεγερτικής γεννήτριας shut-wound.....	34
Σχήμα 3.3	Ρυθμιστής τάσης και ρεύματος.....	36
Σχήμα 3.4	Απλοποιημένο κύκλωμα - Αρχή παράλληλης λειτουργίας.....	37
Σχήμα 3.5	Αναλυτικό κύκλωμα - Αρχή παράλληλης λειτουργίας.....	38
Σχήμα 3.6	Τυπική εγκατάσταση μπαταρίας.....	40
Σχήμα 3.7	Κύκλωμα συστήματος μπαταρίας.....	41
Σχήμα 3.8	Φόρτιση μπαταρίας.....	43
Σχήμα 4.1	Μονοφασική ανόρθωση.....	47
Σχήμα 4.2	Τριφασική ανόρθωση μισού κύματος.....	48
Σχήμα 4.3	Λειτουργία γέφυρας ανόρθωσης πλήρους κύματος.....	49
Σχήμα 4.4	Λειτουργία μετασχηματιστή.....	50
Σχήμα 4.5.1	Συνδέσεις μετασχηματιστή σε αστέρα.....	51
Σχήμα 4.5.2	Σύνδεση μετασχηματιστή σε αστέρα και τρίγωνο.....	51
Σχήμα 4.6	Συγκρότημα μετασχηματιστών ρεύματος.....	52
Σχήμα 4.7	Διάταξη κυκλώματος μετασχηματιστή.....	53
Σχήμα 4.8	Διάταξη κυκλώματος τριφασικού αυτομετασχηματιστή.....	54
Σχήμα 4.9	Μονάδα Μετασχηματιστή-Ανορθωτή (T.R.U.).....	55
Σχήμα 4.10	Διάταξη κυκλώματος T.R.U.	56
Σχήμα 4.11	Αρχή λειτουργίας στατικού ανορθωτή.....	57
Σχήμα 4.12	Αρχή λειτουργίας στατικού ανορθωτή.....	60
Σχήμα 4.13	Σύστημα ελέγχου τάσης και συχνότητας ανορθωτή.....	62
Σχήμα 5.1	Συμβατικό σύστημα εξωτερικής τροφοδοσίας.....	64
Σχήμα 5.2	Πρίζα εξωτερικής τροφοδοσίας.....	65
Σχήμα 5.3	Σύστημα εξωτερικής τροφοδοσίας με πρίζα πολλαπλών ακίδων..	65
Σχήμα 5.4	Σχεδιάγραμμα συστήματος εξωτερικής τροφοδοσίας πολλαπλών DC ζυγών.....	66
Σχήμα 5.5	Σχεδιάγραμμα συστήματος εξωτερικής τροφοδοσίας – Σύστημα AC.....	68
Σχήμα 5.6	Εφεδρική μονάδα ισχύος (APU).....	70

Σχήμα 6.1	Διάταξη καλωδίων παράλληλα.....	72
Σχήμα 6.2	Διάταξη καλωδίων σε αγωγούς.....	73
Σχήμα 6.3	Διάταξη Εξωτερικού φωτισμού αεροσκάφους.....	76
Σχήμα 7.1	Σύστημα παράλληλων ζυγών τροφοδοσίας.....	81
Σχήμα 7.2	Σύστημα διαχωρισμένων ζυγών τροφοδοσίας.....	83
Σχήμα 7.3	Σύστημα διαχωρισμένων ζυγών τροφοδοσίας (με AC πηγή τροφοδοσίας).....	85
Σχήμα 7.4	Σύστημα διανομής παράλληλων φορτίων.....	86
Σχήμα 7.5	Συστήματα AC/DC σε κατάσταση αναμονής.....	87
Σχήμα 7.6	Λειτουργικό block διάγραμμα εξωτερικής AC τροφοδοσίας.....	88
Σχήμα 7.7	Σύστημα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας.....	91
Σχήμα 7.8	Συστατικά μέρη του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας - A380...	92
Σχήμα 7.9	Αρχιτεκτονική του συστήματος AC - A380.....	93
Σχήμα 7.10	Αρχιτεκτονική του συστήματος DC - A380.....	94
Σχήμα 8.1	Ασφάλειες.....	97
Σχήμα 8.2	Περιοριστής ρεύματος.....	98
Σχήμα 8.3	Κύκλωμα περιοριστή ρεύματος.....	99
Σχήμα 8.4	Σχηματικό διάγραμμα λειτουργίας του διακόπτη κυκλώματος..	100
Σχήμα 8.5	Διακόπτες κυκλώματος.....	105
Σχήμα 8.6	Λειτουργία ανάστροφου ρεύματος.....	103
Σχήμα 8.7	Διακόπτης ανάστροφου ρεύματος.....	104
Σχήμα 8.8	Λειτουργία διακόπτη ανάστροφου ρεύματος.....	105
Σχήμα 8.9	DC Σύστημα προστασίας από υπέρταση.....	107
Σχήμα 8.10	AC Σύστημα προστασίας από υπέρταση.....	108

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

- APB** : Auxiliary Power Breaker = Διακόπτης βοηθητικής τροφοδοσίας
APU : Auxiliary Power Unit = Μονάδα βοηθητικής ισχύος
BCRU : Battery Charger Rectifier Unit =
= Μονάδα ρυθμιστή τάσης φόρτισης μπαταρίας
BPCU : Bus Power Control Unit = Μονάδα ελέγχου ισχύος ζυγού ανατροφοδότησης
BTB : Bus Tie Breaker = Διακόπτης ελέγχου γεννήτριας
BUS BAR = Ζυγός Τροφοδοσίας : Ένα σημείο διανομής ισχύος που συνδέεται με την κύρια πηγή ισχύος
CB : Circuit Breaker = Διακόπτης κυκλώματος
CF : Constant Frequency = Σταθερή συχνότητα
CSD : Constant Speed Drive = Κιβώτιο σταθερής ταχύτητας
EPC, XPC : External Power Contactor = Εξωτερικό ρελέ ισχύος
ESS AC : Essential AC Bus = AC ζυγός ζωτικής σημασίας
ESS DC : Essential DC Bus = DC ζυγός ζωτικής σημασίας
ESS TRU : Essential AC Bus = Μονάδα TRU ζωτικής σημασίας
GCB : Generator Control Breaker = Διακόπτης ελέγχου γεννήτριας
GCU : Generator Control Unit = Μονάδα ελέγχου γεννήτριας
GEN : Generator = Γεννήτρια
IDG : Integrated Drive Generator =
= Γεννήτρια με ενσωματωμένο κιβώτιο ταχυτήτων
PMG : Permanent Magnet Generator = Γεννήτρια μόνιμου μαγνήτη
RAT : Ram Air Turbine = Αεροστρόβιλος με έμβολο
SSB : Split System Breaker = Διακόπτης διαχωρισμένων ζυγών τροφοδοσίας
STBY AC : Standby AC Bus = AC ζυγός σε κατάσταση αναμονής
STBY DC : Standby DC Bus = DC ζυγός σε κατάσταση αναμονής
STBY PWR SW : Standby Power Switch = Διακόπτης σε κατάσταση αναμονής
TRU : Transformer Rectifier Unit = Μονάδα Μετασχηματιστή - Ανορθωτή
VF : Variable Frequency = Μεταβλητή συχνότητα
VSCF : Variable Speed Constant Frequency =
= Μεταβλητή ταχύτητα / Σταθερή συχνότητα

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα ηλεκτρικά συστήματα έχουν κάνει σημαντικές προόδους τα τελευταία χρόνια, αφού τα αεροσκάφη πλέον εξαρτώνται όλο και περισσότερο από την ηλεκτρική ενέργεια. Ένα τυπικό σύστημα ηλεκτρικής ισχύος της δεκαετίας του 1940 και του 1950 ήταν το σύστημα 28 V DC. Το σύστημα αυτό χρησιμοποιήθηκε σε μεγάλο βαθμό από δικινητήρια αεροσκάφη. Κάθε κινητήρας τροφοδοτούσε μια γεννήτρια των 28 V DC που θα μπορούσε να χρησιμοποιήσει τον επιμερισμό του φορτίου, όταν αυτό απαιτούνταν. Μία ή δύο μπαταρίες DC ήταν επίσης τοποθετημένες μαζί με έναν μετατροπέα για την τροφοδοσία των 115 V AC στα όργανα πτήσης.

Η τάση των 200 V AC τροφοδοτεί τα AC φορτία. Η τάση 200V AC σε σταθερή συχνότητα (CF) στα 400Hz του συστήματος των αεροσκαφών άρχισε την δεκαετία του 1960. Τα συστήματα μεταβλητής συχνότητας (VF) εμφανίστηκαν από το 1990 μαζί με τα συστήματα διαχείρισης φορτίου και τις εφεδρικές γεννήτριες. Τα αεροσκάφη με σύστημα μεταβλητής ταχύτητας/σταθερής συχνότητας (VSCF) εμφανίστηκαν το 2000 και συνεχίζουν να υπάρχουν μέχρι σήμερα. Αυτά τα αεροσκάφη περιέχουν έναν DC ζυγό των 270 V DC και για την τροφοδοσία των AC φορτίων χρησιμοποιούνται τριφασικοί μετατροπείς.

Η εξέλιξη στην τεχνολογία μαζί με βελτιώσεις στα ηλεκτρονικά ελέγχου έχουν κάνει τα συστήματα μεταβλητής ταχύτητας/σταθερής συχνότητας (VSCF) μια βιώσιμη πρόταση κατά την τελευταία δεκαετία. Τα συστήματα VSCF είναι τώρα όλο και πιο σύνηθες φαινόμενο αφού χρησιμοποιούνται ευρέως στα επιβατηγά αεροσκάφη Airbus A380 και Boeing 777.

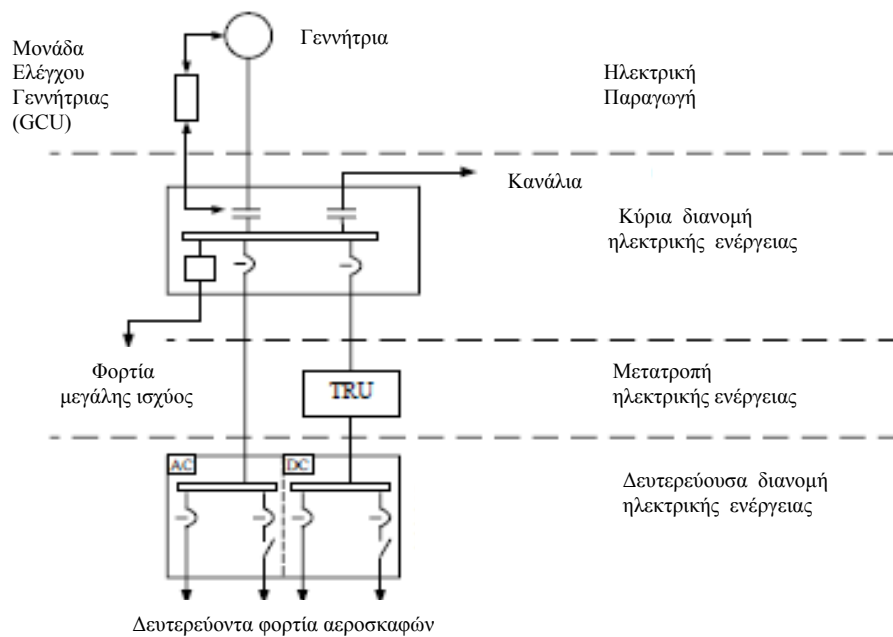
Οι πρόοδοι στην ανάπτυξη συσκευών μεταγωγής υψηλής ισχύος βελτιώνουν τον τρόπο με τον οποίο τα πρωτεύοντα και τα δευτερεύοντα φορτία τροφοδοσίας των αεροσκαφών είναι ενεργοποιημένα και προστατευμένα. Αυτές οι εξελίξεις σε συνδυασμό με τις εξελίξεις στα μικροηλεκτρονικά, έχουν καταστήσει δυνατή την εφαρμογή των νέων ιδεών για το σύστημα διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας, της προστασίας και της μεταγωγής του φορτίου. Η χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας έχει προχωρήσει σε σημείο όπου η παραγωγή, η διανομή και η προστασία της ηλεκτρικής ενέργειας στα φορτία των αεροσκαφών να αποτελεί σήμερα ένα από τα πιο πολύπλοκα συστήματα του αεροσκάφους.

1. Ηλεκτρικό σύστημα αεροσκάφους και τρόποι παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

1.1 Γενικό ηλεκτρικό σύστημα αεροσκάφους

Τα γενικά μέρη ενός ηλεκτρικού συστήματος αεροσκάφους παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα περιλαμβάνοντας τα εξής :

- Ηλεκτρική παραγωγή
- Κύρια διανομή ισχύος και προστασία
- Μετατροπή ισχύος και ενεργειακή αποθήκευση
- Δευτερεύουσα διανομή ρεύματος και προστασία



Σχήμα 1.1	Γενικό ηλεκτρικό σύστημα αεροσκάφους
-----------	--------------------------------------

1.2 Έλεγχος ηλεκτρικής παραγωγής

Τα κυριότερα στοιχεία του ελέγχου ηλεκτρικών συστημάτων είναι:

- Συστήματα DC
 - Ρύθμιση τάσης
 - Παράλληλη λειτουργία
 - Λειτουργίες προστασίας

- Συστήματα AC
 - Ρύθμιση τάσης
 - Παράλληλη λειτουργία
 - Εποπτικές λειτουργίες

1.2.1 Έλεγχος παραγωγής συστημάτων συνεχούς τάσης

❖ Ρύθμιση τάσης

Η παραγωγή συνεχούς τάσης γίνεται με τη βοήθεια των αυτοδιεγερτικών γεννητριών shut-wound. Αυτές οι γεννήτριες έχουν έναν μεταβλητό αντιστάτη σε σειρά με το τυλίγμα διέγερσης έτσι ώστε η διακύμανση του αντιστάτη να μεταβάλλει την αντίσταση του τυλίγματος διέγερσης και ως εκ τούτου, το ρεύμα του τυλίγματος και η τάση εξόδου να ποικίλουν. Στην πραγματικότητα, ο κανονισμός απαιτεί να υπάρχει μια αυτόματη λειτουργία που λαμβάνει υπόψη το φορτίο και την ταχύτητα της γεννήτριας. Ο κανονισμός τάσης πρέπει να είναι σύμφωνος με τα πρότυπα που χρησιμοποιούνται για να διευκρινίζουν τα συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας των αεροσκαφών.

Αυτά τα πρότυπα διευκρινίζουν την τάση στο σημείο του κανονισμού και στη φύση των αποδεκτών πτώσεων τάσης σε όλη τη διανομή του αεροσκάφους, στην προστασία και στο σύστημα καλωδίωσης.

Τα συστήματα συνεχούς τάσης περιορίζονται σε περίπου 400 A ή 12 KW(μέγιστο) ανά κανάλι για δύο λόγους:

- Το μέγεθος των αγωγών και του μηχανισμού διακλάδωσης που φέρουν το απαραίτητο ρεύμα γίνεται απαγορευτικό.
- Η φθορά του περιστρεφόμενου άξονα των γεννητριών συνεχούς ρεύματος γίνεται υπερβολική, καταλήγοντας σε μεγάλα κόστη συντήρησης, εάν αυτά τα επίπεδα ξεπεραστούν.

❖ Παράλληλη λειτουργία

Στα αεροσκάφη πολλών κινητήρων, κάθε κινητήρας θα είναι αυτόνομος και σε αυτήν την κατάσταση, είναι αναγκαίο να υπάρχει αδιάλειπτη παροχή ισχύος σε περιπτώσεις βλάβης των γεννητριών. Τα διάφορα ευαίσθητα όργανα αεροσκαφών και οι συσκευές πλοήγησης που περιλαμβάνουν μερικά από τα ηλεκτρικά φορτία, μπορεί να έχουν υποστεί ζημιά ή να χρειαστεί να επανεκκινηθούν μετά από μια διακοπή τροφοδοσίας. Προκειμένου να εξασφαλιστεί αυτό, οι γεννήτριες παραλληλίζονται για να γίνει ισόποση διανομή του ηλεκτρικού φορτίου μεταξύ τους. Οι γεννήτριες ελέγχονται με τη βοήθεια των ρυθμιστών τάσης, που αυτόματα αντισταθμίζουν τις διακυμάνσεις. Στην περίπτωση λειτουργίας της παράλληλης γεννήτριας, υπάρχει μια ανάγκη να συνδεθούν οι ρυθμιστές τάσης έτσι ώστε σε οποιαδήποτε άνιση φόρτιση των γεννητριών, να μπορούν να ρυθμιστούν με τη βοήθεια των αντίστοιχων αλλαγών με το ρεύμα του τυλίγματος διεγερσης. Αυτό το χαρακτηριστικό της παραλληλίας είναι συχνότερα γνωστό ως κύκλωμα αντιστάθμισης, το οποίο παρέχει αδιάλειπτη ισχύ σε περίπτωση σοβαρής βλάβης του συστήματος.

❖ Εποπτικές λειτουργίες και λειτουργίες προστασίας

Οι κύριες προϋποθέσεις για τις οποίες η προστασία πρέπει να εξεταστεί σε ένα σύστημα συνεχούς τάσης είναι το ακόλουθο:

- Αντίστροφο ρεύμα : Σε ένα σύστημα συνεχούς τάσης, είναι εμφανές ότι το ρεύμα πρέπει να ρέει από τη γεννήτρια στους ζυγούς ανατροφοδότησης και στα συστήματα διανομής. Σε μια κατάσταση σφάλματος, είναι δυνατό για το ρεύμα να ρέει προς την αντίθετη κατεύθυνση και τα κύρια τμήματα των συστημάτων πρέπει να προστατευθούν από αυτό το ενδεχόμενο. Αυτό συνήθως, μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη βοήθεια διακοπών κυκλώματος αντίστροφου ρεύματος ή ηλεκτρονόμων. Αυτές οι συσκευές ανιχνεύουν αποτελεσματικά το αντίστροφο ρεύμα και διακόπτουν τη λειτουργία της γεννήτριας, αποτρέποντας οποιασδήποτε επακόλουθη ζημιά.

- Προστασία από υπέρταση : Τα σφάλματα στο κύκλωμα διέγερσης του πεδίου μπορούν να προκαλέσουν τη γεννήτρια να υπερδιεγερθεί. Με αυτόν τον τρόπο, ρυθμίζεται λανθασμένα η τάση τροφοδοσίας, προκαλώντας καταστάσεις υπέρτασης. Αυτό θα μπορούσε έπειτα να οδηγήσει στα ηλεκτρικά φορτία να βρίσκονται εκτεθειμένα σε καταστάσεις που θα μπορούσαν να προκαλέσουν μόνιμη ζημιά. Με την προστασία από υπέρταση ανιχνεύονται αυτά τα σφάλματα και ανοίγει η γραμμή επαφής προκαλώντας διακοπή τροφοδοσίας της γεννήτριας.
- Προστασία από υπόταση : Σε ένα ενιαίο σύστημα γεννητριών, η υπόταση είναι μια παρόμοια κατάσταση σφάλματος. Ωστόσο, σε περίπτωση πολλών γεννητριών, όπου ο παραλληλισμός γίνεται με τη βοήθεια της ισοστάθμισης του κυκλώματος, η κατάσταση θα είναι διαφορετική. Στην προκειμένη περίπτωση, η ικανότητα προστασίας από υπόταση είναι αναγκαία, αφού το ισοσταθμισμένο κύκλωμα προσπαθεί πάντα να αυξήσει την παραγωγή της γεννήτριας. Σε αυτήν την κατάσταση, η προστασία από υπόταση είναι ένα αναπόσπαστο μέρος της λειτουργίας παράλληλης κατανομής του φορτίου.

1.2.2 Έλεγχος παραγωγής συστημάτων εναλλασσόμενης τάσης

❖ Ρύθμιση τάσης

Οι γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος διαφέρουν από τις γεννήτριες συνεχούς ρεύματος στο γεγονός ότι χρειάζονται μια ξεχωριστή πηγή διέγερσης συνεχούς τάσης για τα τυλίγματα διέγερσης, αν και το σύστημα που περιγράφηκε νωρίτερα επιτρέπει στη γεννήτρια να ενισχύσει την τάση εξόδου του κυκλώματος. Το θέμα της διέγερσης γεννητριών εναλλασσόμενου ρεύματος είναι ένα σύνθετο θέμα για το οποίο οι τεχνικές λύσεις ποικίλλουν, σύμφωνα με το εάν η γεννήτρια είναι σταθερής ή μεταβλητής συχνότητας. Μερικές από αυτές τις λύσεις περιλαμβάνουν περίπλοκους βρόχους ελέγχου με ανιχνευτές λάθους, προενισχυτές και ενισχυτές ισχύος.

❖ Παράλληλη λειτουργία

Με τον ίδιο τρόπο που οι γεννήτριες συνεχούς ρεύματος λειτουργούν παράλληλα για να παρέχουν αδιάλειπτη ισχύ, γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος μπορεί επίσης να ελεγχθούν με παρόμοιο τρόπο. Αυτή η τεχνική εφαρμόζεται μόνο για παραγωγή εναλλασσόμενου ρεύματος σταθερής συχνότητας, αφού είναι αδύνατο να παραλληλιστούν οι γεννήτριες frequency-wild ή οι AC γεννήτριες μεταβλητής συχνότητας (VF).

Στην πραγματικότητα, πολλά από τα φορτία αεροσκαφών που λειτουργούν μέσω των γεννητριών VF είναι σχετικά ανεπηρέαστα από τη συχνότητα και η ανάγκη για αδιάλειπτη ισχύ δεν είναι τόσο σημαντική. Ο παραλληλισμός των γεννητριών εναλλασσόμενου ρεύματος είναι πιο σύνθετος, αφού και τα πραγματικά και τα φανταστικά διανύσματα των φορτίων πρέπει να συγχρονίζονται για μια πιο αποτελεσματική διανομή φορτίων. Η αδιάλειπτη μεταφορά ισχύος είναι επίσης σημαντική κατά το ξεκίνημα/διακοπή στη μετάβαση από/προς την επίγεια ισχύ και την παραγόμενη ισχύ από τη γεννήτρια APU προς την κύρια ισχύ των γεννητριών του αεροσκάφους, ώστε να αποφευχθεί κάποια δυσλειτουργία ή επανεκκίνηση του ηλεκτρικά τροφοδοτούμενου εξοπλισμού.

Η διανομή του πραγματικού φορτίου εξαρτάται από τις σχετικές ταχύτητες περιστροφής και ως εκ τούτου ο σχετικός συγχρονισμός φάσης των τάσεων γεννητριών. Η σταθερή ταχύτητα ή η σταθερή συχνότητα παραγωγής εναλλασσόμενου ρεύματος εξαρτάται από την ακρίβεια εντοπισμού των κιβωτίων ταχυτήτων (CSD) των γεννητριών που εμπλέκονται. Στην πράξη, η πραγματική διανομή φορτίων επιτυγχάνεται από τους νόμους ελέγχου που μετρούν το βαθμό δυσαναλογίας φορτίων χρησιμοποιώντας μετασχηματιστές ρεύματος και κυκλώματα ανίχνευσης σφάλματος. Με αυτόν τον τρόπο, ρυθμίζονται τα κιβώτια ταχυτήτων (CSD) έτσι ώστε οι ροπές που εφαρμόζονται από όλες τις γεννήτριες να είναι ίσες. Η διανομή του φορτίου μεταξύ των γεννητριών είναι μια λειτουργία της τάσης που παράγεται από κάθε γεννήτρια όπως και στην περίπτωση παράλληλης λειτουργίας για τη συνεχή τάση.

Οι τάσεις εξόδου των γεννητριών εξαρτώνται από τη σχετική απόδοση των ρυθμιστών τάσης και των κυκλωμάτων διέγερσης. Για να ολοκληρωθεί η διανομή του φορτίου απαιτείται η χρήση ειδικών μετασχηματιστών, κυκλωμάτων ανίχνευσης λάθους και προενισχυτών/ενισχυτών ισχύος ώστε να ρυθμίζεται το ρεύμα του τυλίγματος διέγερσης. Επομένως, χρησιμοποιώντας ένα συνδυασμό ρύθμισης της ταχύτητας των κιβωτίων ταχυτήτων (CSD) και εξισορροπώντας το τύλιγμα διέγερσης με τις γεννήτριες, τα πραγματικά και αντιδραστικά τμήματα φορτίων μπορεί να μοιραστούν εξίσου μεταξύ των γεννητριών. Με αυτόν τον τρόπο, παρέχεται εναλλασσόμενο ρεύμα στο σύστημα του αεροσκάφους προσφέροντας συνεχή τροφοδοσία σε περιόδους όπου απαιτείται μεγάλη ισχύς. Ίσως το πλεονέκτημα της παραλληλισμένης λειτουργίας είναι ότι όλες οι γεννήτριες λειτουργούν στο συγχρονισμό φάσης, επομένως σε περίπτωση βλάβης, δεν υπάρχει τρόπος μεταστροφής της λειτουργίας.

– Εποπτικές λειτουργίες και λειτουργίες προστασίας

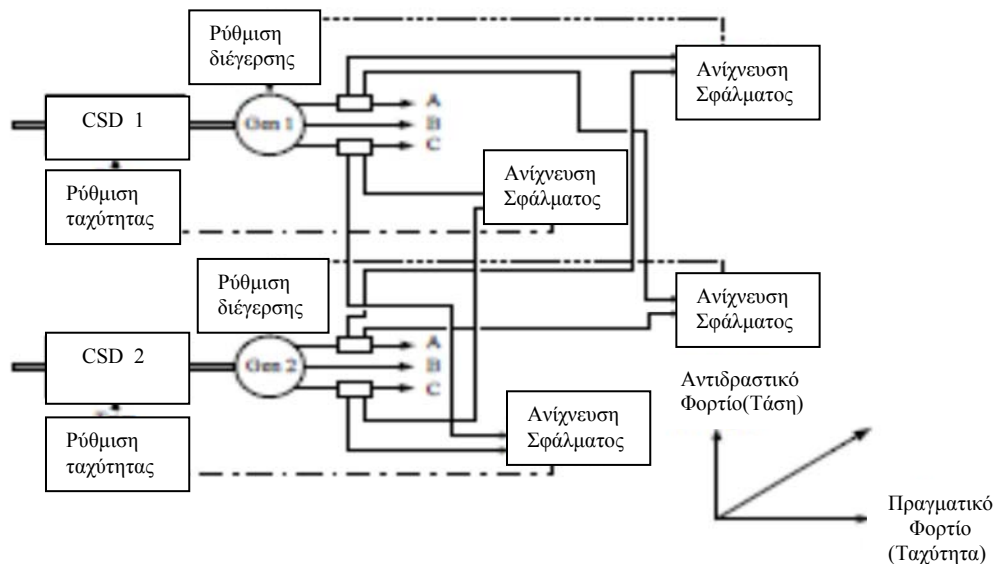
Χαρακτηριστικές εποπτικές ή λειτουργίες προστασίας που αναλαμβάνονται από έναν ελεγκτή γεννήτριας εναλλασσόμενου ρεύματος (GCU) παρατίθενται παρακάτω:

- Υπέρταση
- Υπόταση
- Υπό/υπερδιέγερση
- Υπό/υπερσυχνότητα
- Διαφορική προστασία από το ρεύμα
- Ακριβής περιστροφή φάσης

Η υπέρταση, η υπόταση και η υπό/υπερ διέγερση είναι λειτουργίες παρόμοιες με τις αντίστοιχες λειτουργίες που περιγράφονται για τον έλεγχο παραγωγής συνεχούς τάσης. Η προστασία από υπό/υπερ συχνότητα εκτελείται αποτελεσματικά από το πραγματικό φορτίο από τη λειτουργία επιμερισμού του πραγματικού φορτίου. Η διαφορική προστασία από το ρεύμα έχει ως σκοπό να ανιχνεύσει ένα σφάλμα στους ζυγούς ανατροφοδότησης ή βραχυκύκλωμα που θα μπορούσε να θέσει ζήτημα υψηλής τάσης για τη βραχυκυκλωμένη φάση. Οι διαφορικοί μετασχηματιστές ρεύματος ανιχνεύουν τα ρεύματα φάσης στα διαφορετικά μέρη του συστήματος.

Αυτοί συνδέονται έτσι ώστε τα κυκλώματα ανίχνευσης να αισθανθούν οποιαδήποτε μεγάλη διαφορά στο ρεύμα φάσης (δηλαδή πάνω από 30A ανά φάση) ως αποτέλεσμα μιας δυσαναλογίας φάσης και αποσύνδεσης της γεννήτριας από το ζυγό ανατροφοδότησης προκαλώντας πτώση του διακόπτη ισχύος γεννητριών (GCB).

Η περιστροφή φάσης ελέγχει αν υπάρχει η σωστή περιστροφή: R>Y>G της τροφοδοσίας σε περίπτωση που έχει γίνει οποιαδήποτε σύνδεση διαγώνια.



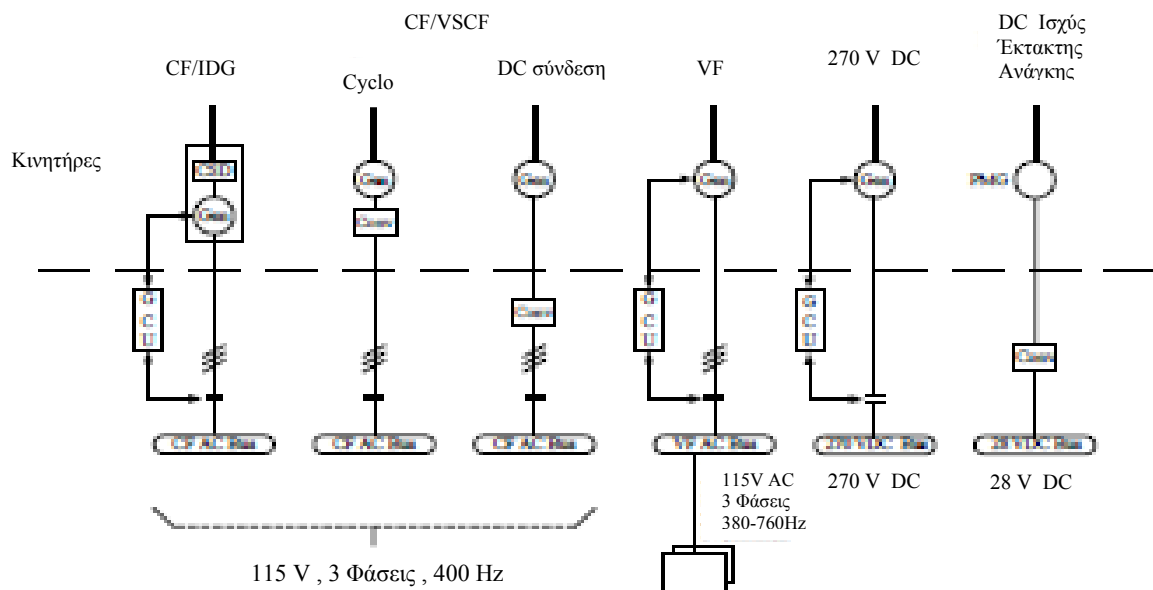
Σχήμα 1.2 Παράλληλη λειτουργία γεννητριών εναλλασσόμενου ρεύματος

1.3 Σύγχρονοι τρόποι παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (AC)

Μέχρι στιγμής, τα κυριότερα AC και DC συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας έχουν περιγραφεί. Το σύστημα συνεχούς τάσης περιορίζεται από ρεύματα μεγαλύτερα των 400A και τη μέθοδο σταθερής συχνότητας εναλλασσόμενου ρεύματος που χρησιμοποιεί μια γεννήτρια ενσωματωμένου κιβωτίου ταχυτήτων (IDG).

Στην πραγματικότητα, υπάρχουν πολλοί περισσότεροι τρόποι παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε λειτουργία σήμερα. Στις μέρες μας, υπάρχει αύξηση των απαιτήσεων της ηλεκτρικής ισχύος των αεροσκαφών. Εντούτοις, όχι μόνο τα επίπεδα ισχύος των ηλεκτρικών συστημάτων αεροσκαφών αυξάνονται, αλλά και οι τρόποι παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Οι διαφορετικοί τρόποι παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα :

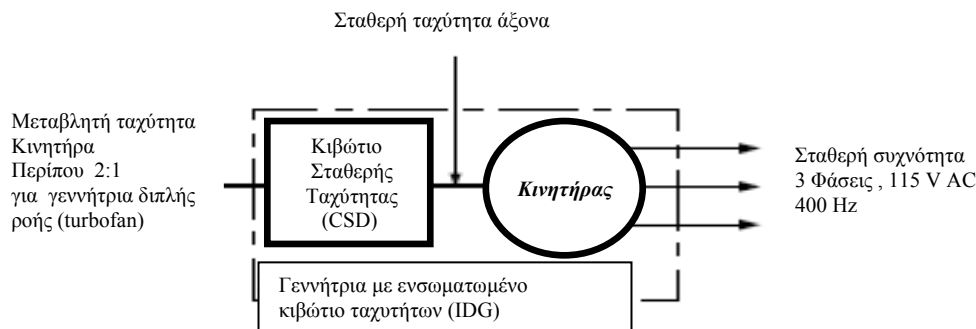


Σχήμα 1.3	Τρόποι Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας
------------------	--

Η σταθερή συχνότητα (CF) 115 V AC, τριφασικό σύστημα, 400 Hz αποτελούν χαρακτηριστικά της γεννήτριας ενσωματωμένου κιβωτίου ταχυτήτων (IDG), του κυκλομετατροπέα σταθερής συχνότητας - μεταβλητής ταχύτητας (VSCF) και της DC σύνδεσης. Η τριφασική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με μεταβλητή συχνότητα (VF) 115V AC είναι ένας πιο πρόσφατος τρόπος παραγωγής, και παρόλο που είναι μια σχετικά φθηνή μορφή παραγωγής, έχει το μειονέκτημα ότι μερικά φορτία μηχανών μπορεί να απαιτούν ελεγκτές μηχανών. Τα στρατιωτικά αεροπλάνα των ΗΠΑ κάνουν χρήση των συστημάτων 270V DC. Οι γεννήτριες μόνιμου μαγνήτη (PMG) χρησιμοποιούνται για την παραγωγή 28V DC ηλεκτρικής ενέργειας έκτακτης ανάγκης για τα συστήματα υψηλής ακεραιότητας.

1.3.1 Σταθερή συχνότητα / Παραγωγή ρεύματος μέσω γεννήτριας IDG

Τα κύρια χαρακτηριστικά γνωρίσματα της ισχύος με σταθερή συχνότητα(CF) και της γεννήτριας IDG παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα :



Χαρακτηριστικά :

400 Hz , 4-πολική γεννήτρια , λειτουργία σε ταχύτητα 12.000 rpm

Το εναλλασσόμενο ρεύμα (με σταθερή συχνότητα) χρησιμοποιείται σε αεροσκάφη με γεννήτριες διπλής ροής (turbofan)

Πολυπλοκότητα του κιβωτίου σταθερής ταχύτητας (CSD)

Εναλλακτικές μέθοδοι παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι υπό εξέταση

Σχήμα 1.4

Σταθερή συχνότητα / Παραγωγή μέσω IDG

Από κοινού με όλους τους άλλους τρόπους παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος, σε αυτήν την περίπτωση, πρέπει να ικανοποιηθεί μια αναλογία 2:1 για την ταχύτητα της μηχανής μεταξύ της μέγιστης ισχύος και της αδρανούς γείωσης. Το κιβώτιο σταθερής ταχύτητας (CSD) ουσιαστικά ενεργεί ως αυτόματο κιβώτιο ταχυτήτων, διατηρώντας την ταχύτητα άξονα της γεννήτριας σε μια σταθερή περιστροφή/λεπτό που οδηγεί σε μια σταθερή συχνότητα εξόδου 400 Hz.

Το μειονέκτημα του υδρομηχανικού κιβωτίου ταχυτήτων (CSD) είναι ότι πρέπει να διατηρηθεί σωστά από την άποψη του επιπέδου δαπανών πετρελαίου και την καθαρότητα πετρελαίου. Επίσης, για να διατηρηθεί η υψηλή αξιοπιστία, οι συχνές επιδιορθώσεις μπορεί να είναι απαραίτητες. Ως εκ τούτου, η γεννήτρια ενσωματωμένου κιβωτίου ταχυτήτων (IDG) χρησιμοποιείται σήμερα για να τροφοδοτήσει την πλειοψηφία των επιβατικών αεροσκαφών.

1.3.2 Παραγωγή Μεταβλητής Συχνότητας

Η παραγωγή μεταβλητής συχνότητας (VF) είναι η απλούστερη και πιο αξιόπιστη μορφή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Με αυτήν την τεχνική, δεν υπάρχει καμία περίπτωση να ακυρωθούν τα αποτελέσματα της αναλογίας 2:1 της ταχύτητας της μηχανής και της παραγωγής ισχύος, που ρυθμίζεται εν τούτοις σε 115V AC, με μια παραλλαγή συχνότητας με χαρακτηριστικά από 380 έως 720 Hz. Αυτή η ευρεία ζώνη ισχύος μεταβλητής συχνότητας επιδρά στα ευαίσθητες συχνότητας φορτία των αεροσκαφών, όπου η προφανέστερη ύπαρξη είναι η επίδραση στους ηλεκτρικούς κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος που χρησιμοποιούνται σε πολλά συστήματα αεροσκαφών. Μπορεί επομένως να υπάρξει μια ποινική ρήτρα που πληρώνεται κατά την εκτέλεση άλλων συστημάτων αεροσκαφών όπως τα καύσιμα, το σύστημα περιβαλλοντικού ελέγχου (ECS) και τα υδραυλικά.

Σε πολλές περιπτώσεις, οι παραλλαγές στην απόδοση μηχανής/αντλίας μπορούν να προσαρμοστούν αλλά στις χειρότερες περιπτώσεις, ένας ελεγκτής μηχανών μπορεί να χρειαστεί για να αποκαταστήσει μια ευκολότερη κατάσταση ελέγχου.

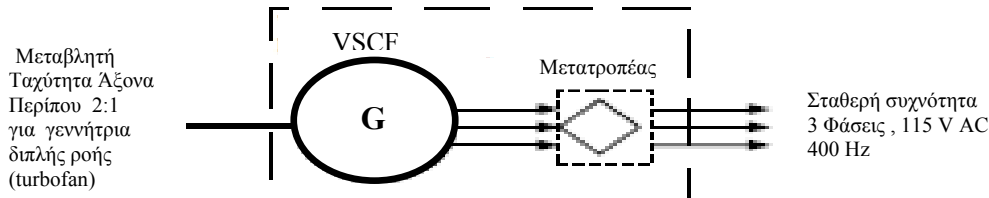
Σημαντικοί κατασκευαστές, όπως οι Airbus και Boeing καθιστούν υπεύθυνους τους προμηθευτές εξοπλισμού για να εξασφαλιστεί ότι τα μεγάλα ηλεκτρικά εξαρτήματα παρέχουν, σύμφωνα με τις προδιαγραφές, όλο το προσδοκώμενο φάσμα συχνότητας και ότι η ποιότητα ισχύος των αεροσκαφών δεν επηρεάζεται αρνητικά. Η μεταβλητή συχνότητα (VF) υιοθετείται ευρέως στην επιχειρησιακή κοινότητα των αεροσκαφών, καθώς οι απαιτήσεις ισχύος τους φτάνουν πάνω από το όριο των 28V DC/12 KW των συστημάτων των 28V DC.

Άλλοι πρόσφατοι χρήστες της μεταβλητής συχνότητας (VF) είναι το Airbus A380 και το Boeing 787.

1.3.3 Παραγωγή σταθερής συχνότητας με μεταβλητή ταχύτητα (VSCF)

Το παρακάτω σχήμα παρουσιάζει την έννοια του μετατροπέα VSCF.

Σε αυτήν την τεχνική, η ισχύς που παράγεται μέσω της μεταβλητής συχνότητας από τη γεννήτρια, μετατρέπεται ηλεκτρονικά από τις συσκευές μετατροπής στερεάς κατάστασης ισχύος στη σταθερή συχνότητα 400 Hz, 115 V AC.



Χαρακτηριστικά :

Η μετατροπή του ηλεκτρικού ρεύματος από μεταβλητή συχνότητα(VF) σε σταθερή (CF) επιτυγχάνεται με την ηλεκτρονική ελεγχόμενη μετατροπή ρεύματος.

Επιλογές DC συνδέσεων & κυκλομετροπέων είναι διαθέσιμες.

Δεν έχουν αποδειχθεί όλες οι εφαρμογές αξιόπιστες –
Ο κυκλομετροπέας παρουσιάζει την μεγαλύτερη αξιοπιστία.

Ακόμα μη αποδεδειγμένος τρόπος στην αγορά.

Σχήμα 1.5

Παραγωγή VSCF

Δύο επιλογές υπάρχουν :

- DC σύνδεση: Στη DC σύνδεση η ακατέργαστη ισχύς μετατρέπεται σε ένα ενδιάμεσο συνεχές ρεύμα πριν να μετατραπεί ηλεκτρονικά σε τριφασικό εναλλασσόμενο ρεύμα. Η τεχνολογία DC συνδέσεων έχει χρησιμοποιηθεί σε B737 και B777 αλλά πρέπει να συναγωνιστεί ακόμα την αξιοπιστία της παραγωγής ρεύματος με σταθερή συχνότητα (CF) ή με τη μεταβλητή συχνότητα(VF).

- Κυκλομετατροπέας: Ο κυκλομετατροπέας χρησιμοποιεί μια διαφορετική αρχή. Στις έξι φάσεις παράγονται σχετικά υψηλές συχνότητες μέχρι 3000 Hz και οι συσκευές στερεάς κατάστασης αλλάζουν μεταξύ αυτών των πολλαπλών φάσεων με προκαθορισμένο και προσεκτικά ελεγχόμενο τρόπο. Το αποτέλεσμα είναι να γίνει ηλεκτρονικά μεταγωγή στην είσοδο και να παρέχονται τρεις φάσεις με σταθερή συχνότητα 400 Hz. Αν και αυτό μοιάζει να είναι μια σύνθετη τεχνική, είναι στην πραγματικότητα αρκετά συνήθης και τα συστήματα κυκλομετατροπέων έχουν χρησιμοποιηθεί επιτυχώς σε στρατιωτικά αεροπλάνα των ΗΠΑ.

1.3.4 Συστήματα 270 V DC

Η χρήση των συστημάτων 270 V DC είναι μια προέκταση του σκεπτικού της εναλλαγής από τα 28 V DC σε 115 V AC. Υπάρχει, δηλαδή μείωση του μεγέθους των αγωγών ηλεκτρικού ρεύματος, ελαχιστοποιώντας έτσι το βάρος, την πτώση τάσης και την κατανάλωση ισχύος. Υπάρχουν, ωστόσο, μια σειρά από μειονεκτήματα που σχετίζονται με τη χρήση των συστημάτων 270 V DC. Τα συστήματα αυτά δεν είναι καθόλου συνηθισμένα. Ένας σημαντικός αριθμός καταναλώσεων των αεροσκαφών εξακολουθούν να απαιτούν 28V DC ή 115V AC τροφοδοσία και η χρήση υψηλότερων τάσεων προϋποθέτει να υπάρχει μεγαλύτερη εξάρτηση στις τεχνικές μόνωσης για την αποφυγή διάσπασης της τάσης.

Η υψηλή DC τάση ενέχει κίνδυνο αυξημένης πιθανότητας πυρκαγιάς, σε στρατιωτικά αεροσκάφη, που προκύπτουν από ζημιές στη μάχη. Πρέπει να ληφθεί μέριμνα για τη μείωση του κινδύνου τόξου σε μεγάλα υψόμετρα. Ένα από τα προβλήματα κατά τη μετάβαση σε 270 V DC είναι ότι εξακολουθεί να υπάρχει ανάγκη για το συμβατικό σύστημα των 115 V AC και 28 V DC για κάποιο εξοπλισμό.

**Πίνακας 1.1 : Πρόσφατες εξελίξεις συστημάτων
ηλεκτρικής ενέργειας των αεροσκαφών**

Τύπος Κινητήρα	Αεροσκάφος	Αριθμός Κινητήρων
IDG/CF [115 V AC / 400 Hz]	B777 A340 B737 NG MD-12 B747-X B717 B767-400 B777 MD-90 Global Ex Horizon A380 B787	2 × 120 kVA 4 × 90 kVA 2 × 90 kVA 4 × 120 kVA 4 × 120 kVA 2 × 40 kVA 2 × 120 kVA 2 × 120 kVA 2 × 75 kVA 4 × 40 KVA 2 × 20/25 kVA 4 × 150 kVA 4 × 250 kVA
VSCF (Κυκλομετατροπέας) [115 V AC / 400 Hz] VSCF (DC Σύνδεση) [115 V AC / 400 Hz]		
VF [115 V AC / 380 –760 Hz]		
VF 230 V AC 270 V DC		

1.4 Σύστημα διανομής

Το κύριο σύστημα διανομής ισχύος ενοποιεί τις εισόδους ηλεκτρικού ρεύματος των αεροσκαφών. Στην περίπτωση ενός χαρακτηριστικού επιβατηγού αεροσκάφους, η ισχύς παρέχεται από τις ακόλουθες πηγές:

- Κύρια γεννήτρια αεροσκάφους, με τη βοήθεια ενός διακόπτη ελέγχου γεννήτριας (GCB) υπό τον έλεγχο της μονάδας ελέγχου γεννήτριας (GCU).
- Εναλλασσόμενη γεννήτρια αεροσκάφους – σε περίπτωση σφάλματος γεννητριών – με τη βοήθεια ενός διακόπτη ζυγού ανατροφοδότησης (BTB) υπό τον έλεγχο μιας μονάδας ελέγχου ισχύος ζυγού ανατροφοδότησης (BPCU).
- Γεννήτρια βοηθητικής ισχύος (APU), με τη βοήθεια ενός διακόπτη ελέγχου (GCB) υπό τον έλεγχο μιας μονάδας ελέγχου ισχύος ζυγού ανατροφοδότησης (BPCU).
- Ισχύς εξωτερικής τροφοδοσίας, με τη βοήθεια ενός εξωτερικού ρελέ ισχύος (EPC) υπό τον έλεγχο μιας μονάδας ελέγχου ισχύος ζυγού ανατροφοδότησης (BPCU).
- Εφεδρικός μετατροπέας, με τη βοήθεια ενός διακόπτη ελέγχου μετατροπέα (CCB) υπό τον έλεγχο του μετατροπέα VSCF.
- Γεννήτρια RAT(αεριοστρόβιλος με έμβολο), όταν τίθεται σε λειτουργία μέσω του ηλεκτρικού συστήματος έκτακτης ανάγκης.

1.5 Μετατροπή ρεύματος και αποθήκευση ενέργειας

Μέχρι στιγμής, έχει εξεταστεί η κύρια παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας και η κύρια διανομή ρεύματος και η προστασία. Υπάρχουν, εντούτοις, πολλές περιπτώσεις μέσα σε ένα ηλεκτρικό σύστημα αεροσκάφους όπου πρέπει να μετατραπεί η ενέργεια από μια μορφή σε άλλη. Χαρακτηριστικά παραδείγματα μετατροπής ενέργειας είναι:

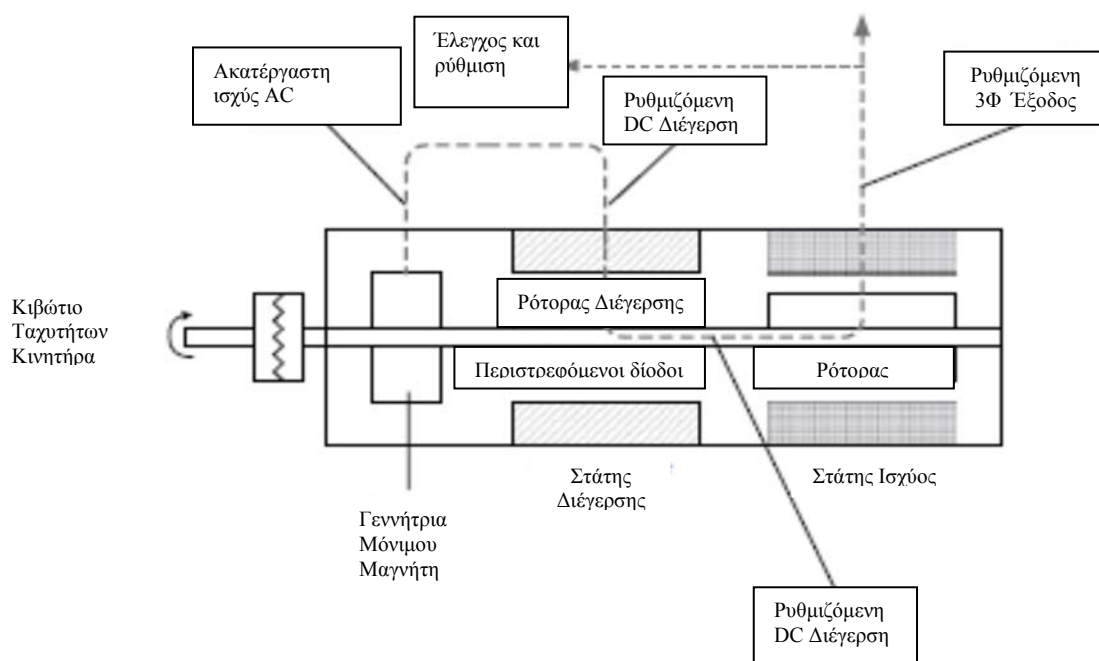
- Μετατροπή από το συνεχές ρεύμα στο εναλλασσόμενο ρεύμα – αυτή η μετατροπή χρησιμοποιεί τους αντιστροφείς για να μετατρέψει 28 V DC σε 115 V AC ενιαίας φάσης ή τριφασικής.
- Μετατροπή από 115 V AC σε 28 V DC – αυτό είναι μια πολύ συνήθης μετατροπή που χρησιμοποιεί τους ανορθωτές-μετασχηματιστές (TRU).
- Μετατροπή από ένα επίπεδο εναλλασσόμενης τάσης σε άλλο – μια χαρακτηριστική μετατροπή θα ήταν από 115 V AC σε 26 V AC.
- Φόρτιση μπαταριών – είναι απαραίτητο να διατηρηθεί η κατάσταση φόρτισης της μπαταρίας του αεροσκάφους με τη μετατροπή 115 V AC σε μια τάση φόρτισης της μπαταρίας 28 V DC.
- Στις πιο πρόσφατες στρατιωτικές εφαρμογές, χρησιμοποιούνται 270V DC : η μετατροπή σε εναλλασσόμενο ρεύμα 115 V AC, 3 φάσεις, 400 Hz και 28 V DC απαιτούνται για τους εξοπλισμούς με σκοπό να λειτουργήσουν χρησιμοποιώντας αυτές τις τάσεις.

2. Παραγωγή εναλλασσόμενης τάσης

2.1 Αρχή λειτουργίας των σύγχρονων γεννητριών εναλλασσόμενου ρεύματος

Ένα σύστημα εναλλασσόμενης τάσης χρησιμοποιεί μια γεννήτρια για να παραγάγει ένα κύμα ημιτόνου μιας δεδομένης τάσης και, στις περισσότερες περιπτώσεις, μιας σταθερής συχνότητας. Η κατασκευή του εναλλάκτη είναι απλούστερος από αυτόν της γεννήτριας συνεχούς τάσης, δεδομένου ότι δεν απαιτείται κανένας μεταγωγός. Οι γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος χρησιμοποιούν τους δαχτυλίους ολίσθησης για να περάσει το ρεύμα στον ρότορα, ωστόσο υπέστησαν γδάρσιμο και διάβρωση, ειδικά κατά τη διέλευση υψηλών ρευμάτων σε μεγάλο υψόμετρο.

Η αρχή λειτουργίας των σύγχρονων γεννητριών εναλλασσόμενου ρεύματος παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα :



Σχήμα 2.1	Αρχή λειτουργίας της σύγχρονης γεννήτριας εναλλασσόμενου ρεύματος
------------------	--

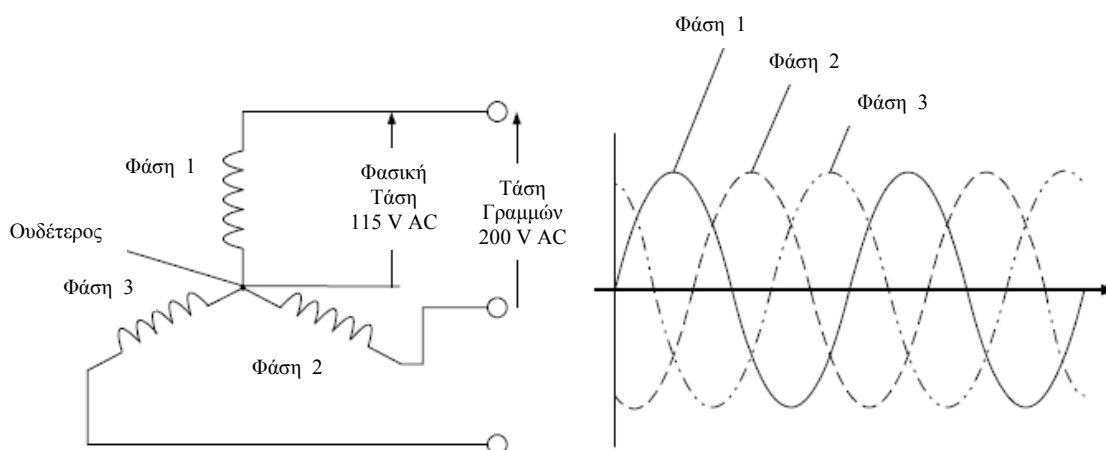
Αυτή η γεννήτρια εναλλασσόμενου ρεύματος μπορεί να θεωρηθεί ως διάφορες μηχανές μοιραζόμενες τον ίδιο άξονα. Από τα δεξιά προς τα αριστερά όπως στο παραπάνω διάγραμμα, περιλαμβάνουν:

- Μια γεννήτρια μόνιμου μαγνήτη (PMG)
- Έναν στάτη διέγερσης που περιβάλλει έναν στροφέα διέγερσης που περιέχει περιστρεφόμενες διόδους.
- Ένα στροφέα ισχύος που καλύπτεται από έναν στάτη ισχύος.

Η ροή του ρεύματος μέσω αυτής της γεννήτριας τονίζεται από τη διακεκομμένη γραμμή. Η γεννήτρια μόνιμου μαγνήτη παράγει μεταβλητή τάση η οποία γίνεται αισθητή από το τμήμα ελέγχου και κανονισμού που είναι μέρος του ελεγκτή της γεννήτριας. Αυτό διαμορφώνει τη ροή του συνεχούς ρεύματος στα τυλίγματα του στάτη διέγερσης και επομένως ελέγχει την τάση που παράγεται από το στροφέα διέγερσης. Η περιστροφή του στροφέα διέγερσης μέσα στο πεδίο που παράγεται από τα τυλίγματα του στάτη διέγερσης, αποκαθίσταται με τη βοήθεια των διόδων που περιλαμβάνονται μέσα στο στροφέα και έτσι παράγεται μια ρυθμιζόμενη και ελεγχόμενη συνεχής τάση για να διεγείρει τα τυλίγματα του στροφέα ισχύος.

Το περιστρεφόμενο πεδίο που παράγεται από το στροφέα ισχύος προκαλεί μια εναλλασσόμενη τάση στο στάτη ισχύος που μπορεί να προστατευθεί και να παρεσχεθεί στα συστήματα αεροσκαφών.

Τα περισσότερα συστήματα εναλλασσόμενου ρεύματος που χρησιμοποιούνται στα αεροσκάφη χρησιμοποιούν ένα τριφασικό σύστημα, το οποίο είναι ο εναλλάκτης που παράγει τρία κύματα ημιτόνου με κάθε φάση τοποθετημένη στις 120° .



Σχήμα 2.2	Τριφασική γεννήτρια AC σε διάταξη αστέρα
------------------	---

Αυτές οι φάσεις συχνότερα συνδέονται σε μια διάταξη αστέρα.

Σε αυτό το σχεδιάγραμμα, η φασική τάση ενός τυποποιημένου συστήματος αεροσκαφών είναι 115 V AC, ενώ η τάση που μετριέται μεταξύ των γραμμών είναι 200 V AC. Η πρότυπη συχνότητα για τα ελεγχόμενα συστήματα αεροσκαφών είναι 400 Hz.

Οι περιγραφές που δίνονται ανωτέρω περιγράφουν τις δύο αρχικές μεθόδους παραγωγής ρεύματος που χρησιμοποιείται στα αεροσκάφη για πολλά χρόνια.

2.2 Συστήματα Μεταβλητής Συχνότητας (Frequency-Wild)

Frequency-wild είναι ένα σύστημα στο οποίο η συχνότητα της τάσης εξόδου της γεννήτριας επιτρέπεται να μεταβάλλεται με την ταχύτητα περιστροφής της γεννήτριας. Αν και τέτοιες διακυμάνσεις συχνότητας δεν είναι κατάλληλες για την άμεση λειτουργία όλων των τύπων εξοπλισμού εναλλασσομένου ρεύματος, η τάση εξόδου μπορεί (μετά από σταθερή ρύθμιση τάσης) να εφαρμοστεί άμεσα σε ωμικά φορτία κυκλωμάτων και μπορεί επίσης να μετατραπεί και να διορθωθεί για να παρέχει μέσης ή χαμηλής τάσης συνεχές ρεύμα.

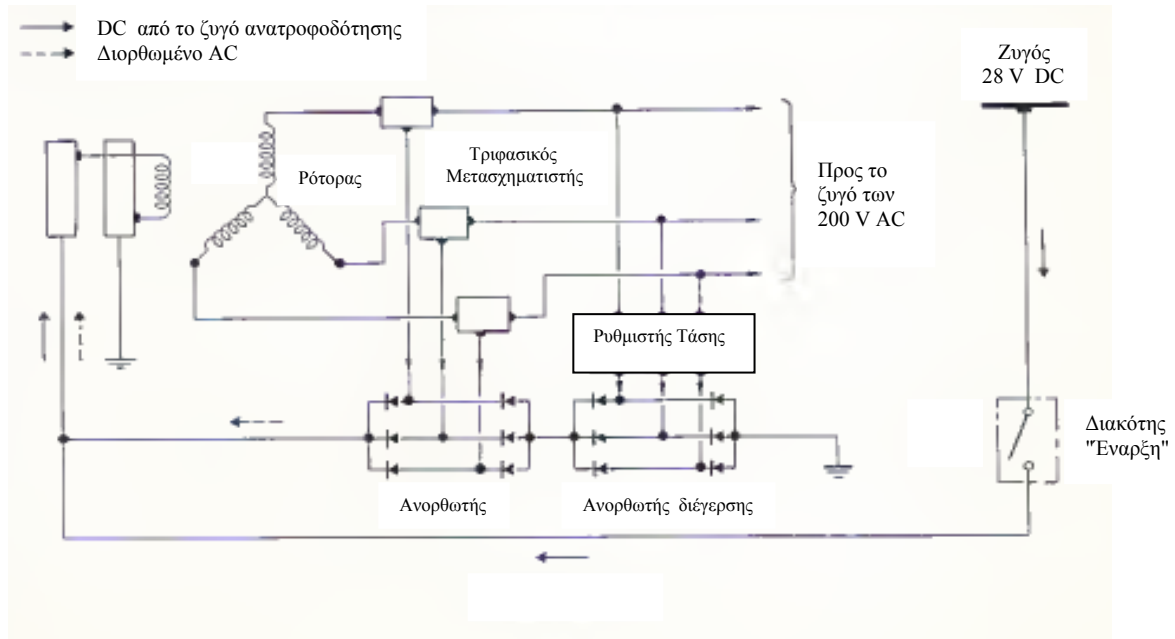
2.2.1 Διέγερση γεννήτριας

Η παραγωγή μιας επιθυμητής τάσης εξόδου από οποιονδήποτε τύπο γεννήτριας απαιτεί ένα μαγνητικό πεδίο που να παρέχει διέγερση των τυλιγμάτων για την έναρξη και για την επόμενη περίοδο λειτουργίας. Σε γεννήτριες Σ.Ρ., αυτό επιτυγχάνεται με έναν αρκετά απλό τρόπο, με το μαγνητισμό που δημιουργείται στο σύστημα ηλεκτρομαγνήτη και με τη ροή ρεύματος μέσω των τυλιγμάτων. Το ρεύμα που ρέει στα τυλίγματα ελέγχεται από ένα σύστημα ρυθμιστή τάσης.

Η διέγερση των γεννητριών εναλλασσομένου ρεύματος, από την άλλη πλευρά, περιλαμβάνει τη χρήση πιο πολύπλοκων κυκλωμάτων, οι ρυθμίσεις των οποίων διαφέρουν ουσιαστικά για να ταιριάζουν με το συγκεκριμένο τύπο γεννήτριας και το σύστημα ελέγχου της. Ωστόσο, όλες οι γεννήτριες έχουν ένα κοινό χαρακτηριστικό, δηλαδή την παροχή συνεχούς ρεύματος στα τυλίγματα ώστε να διατηρείται η επιθυμητή εναλλασσόμενη τάση εξόδου.

2.2.2 Γεννήτριες Μεταβλητής Συχνότητας (Frequency-Wild)

Σε αυτόν τον τύπο γεννήτριας, το τυλίγμα διέγερσης του ρότορα παρέχεται με συνεχές ρεύμα από τον κύριο ζυγό ανατροφοδότησης του αεροσκάφους και με διορθωμένο εναλλασσόμενο ρεύμα.



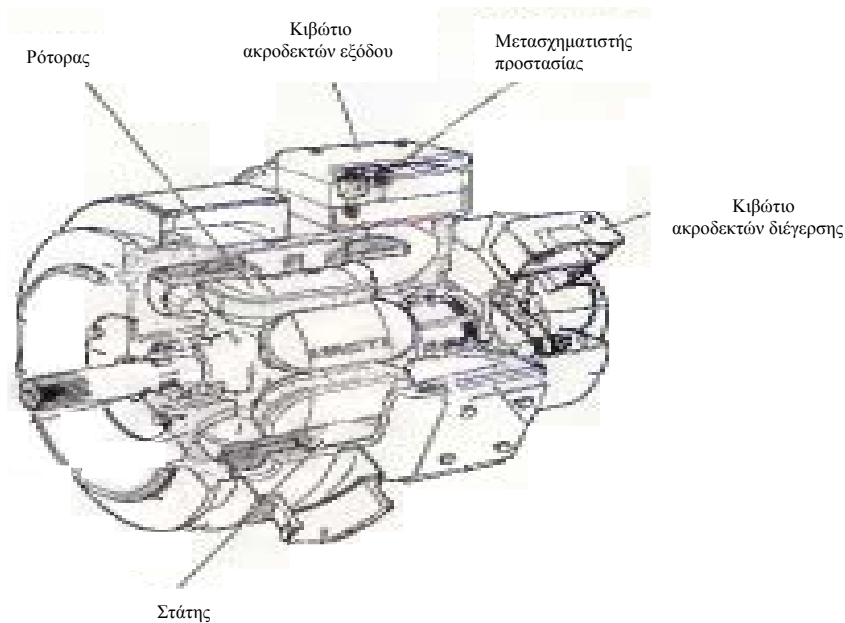
Σχήμα 2.3

Γεννήτρια Frequency-Wild

Οι κύριες συνιστώσες και τα τμήματα του συστήματος ελέγχου που σχετίζονται με τη διέγερση είναι: ο διακόπτης ελέγχου, το τμήμα ρύθμισης τάσης, ο ανορθωτής του τυλίγματος διέγερσης και το τμήμα σύνθεσης ρεύματος που αποτελείται από έναν τριφασικό μετασχηματιστή ρεύματος και ανορθωτή. Τα κύρια τυλίγματα του μετασχηματιστή είναι σε σειρά με τις τρεις φάσεις της γεννήτριας και τα δευτερεύοντα τυλίγματα σε σειρά με τον ανορθωτή.

Όταν ο διακόπτης ελέγχου βρίσκεται στη θέση "έναρξη", παρέχεται συνεχές ρεύμα από τον κύριο ζυγό ανατροφοδότησης στους δακτυλίους και τα τυλίγματα του ρότορα της γεννήτριας. Έτσι, με τη γεννήτρια σε λειτουργία, παράγεται ένα περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο το οποίο επάγει ένα εναλλασσόμενο ρεύμα εξόδου στο στάτη. Το ρεύμα εξόδου τροφοδοτεί ένα μαγνητικό τύπο ενισχυτή του ρυθμιστή τάσης που τροφοδοτεί ένα αισθητήριο σήμα ρεύματος στον ανορθωτή διέγερσης.

Όταν αυτό το σήμα φθάνει μία προκαθορισμένη τιμή εκτός της τιμής του φορτίου, το ανορθωμένο εναλλασσόμενο ρεύμα μέσα στο τύλιγμα του ρότορα είναι επαρκές για τη γεννήτρια ώστε να γίνει αυτοδιεγείρομενη και ανεξάρτητη από την παροχή των κύριων ζυγών ανατροφοδότησης, οπότε αποσυνδέεται.

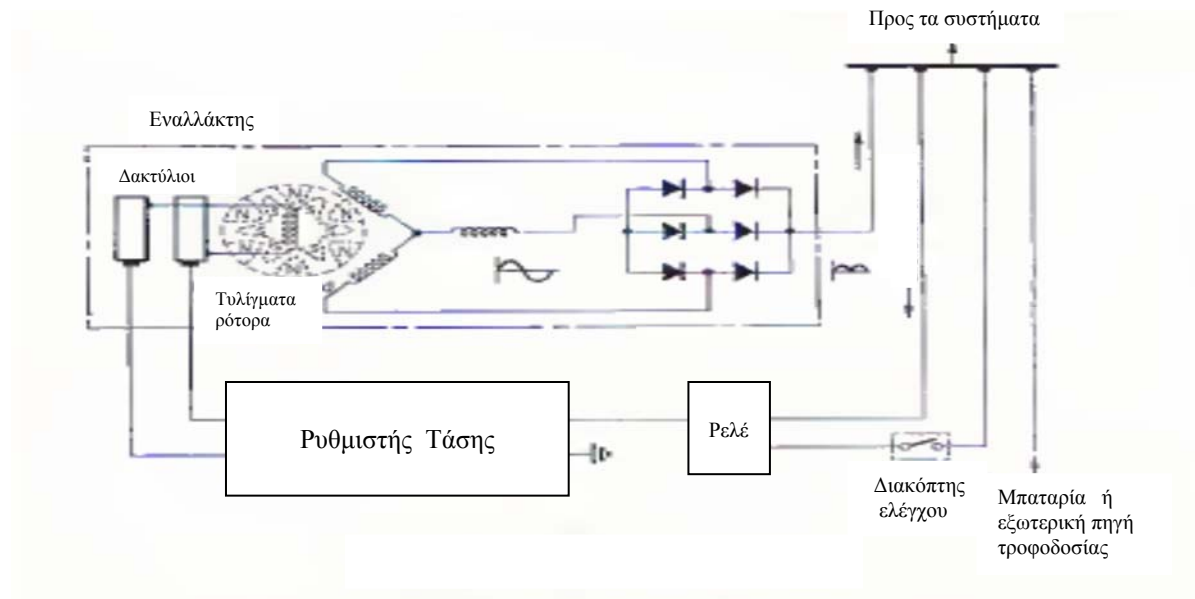


Σχήμα 2.4	Γεννήτρια Frequency-Wild
------------------	---------------------------------

Το μέγιστο ρεύμα διέγερσης για γεννήτριες ευρείας ταχύτητας και υψηλής τάσης εξόδου του τύπου του παρακάτω σχήματος είναι αρκετά υψηλό και η διακύμανση στο ρεύμα διέγερσης είναι αναγκαία για τον έλεγχο της τάσης εξόδου υπό συνθήκες μεταβολής του φορτίου τέτοια ώστε η δράση του ρυθμιστή τάσης να πρέπει να συμπληρωθεί από κάποιο άλλο μέσο μεταβλητού ρεύματος διέγερσης.

Αυτό παρέχεται από το μετασχηματιστή και τον ανορθωτή και μέσω της σύνδεσής τους, το συνεχές ρεύμα που είναι ανάλογο με το ρεύμα φορτίου, τροφοδοτεί τα τυλίγματα του ρότορα της γεννήτριας.

Το παρακάτω σχήμα απεικονίζει το διάγραμμα κυκλώματος της γεννήτριας.



Σχήμα 2.5

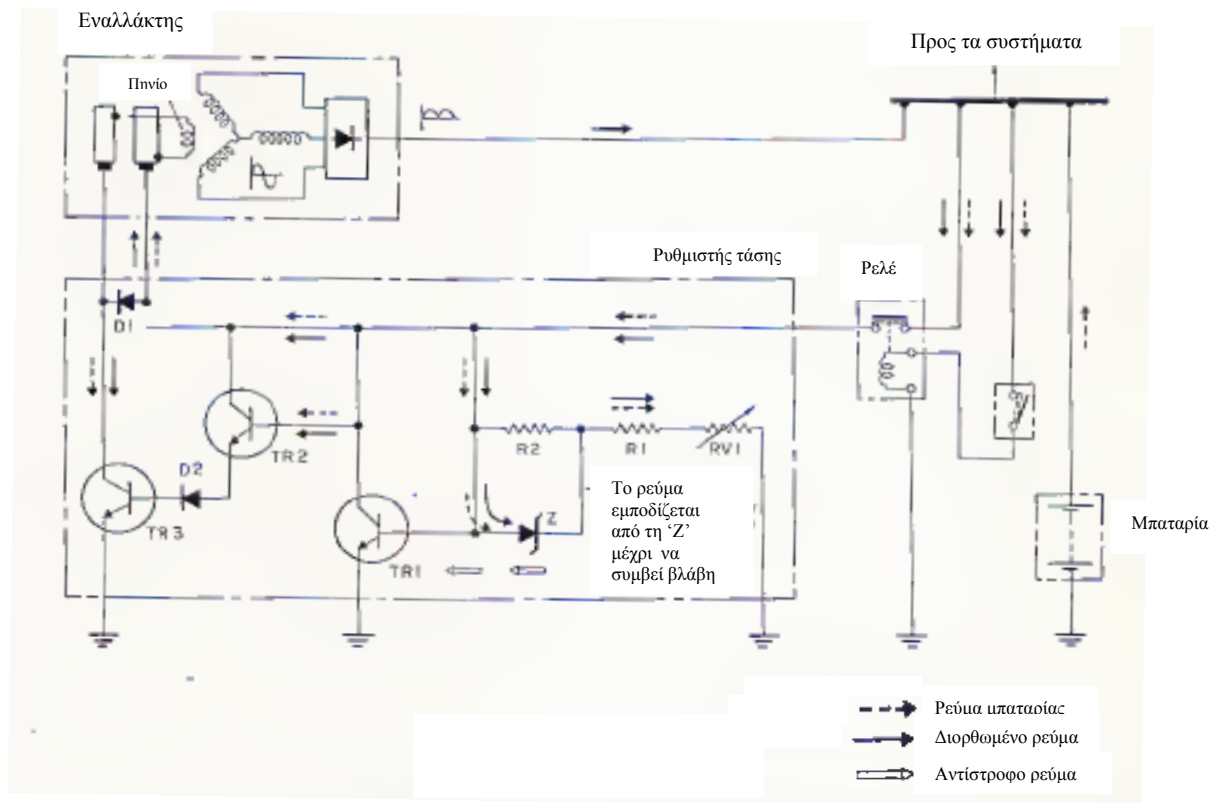
**Διάγραμμα κυκλώματος
γεννήτριας Frequency-Wild**

Όταν εισέρχεται το συνεχές ρεύμα στη γεννήτρια, το πηνίο του ρότορα ενεργοποιείται. Καθώς περιστρέφεται ο ρότορας, το παραγόμενο πεδίο επάγει ένα τριφασικό εναλλασσόμενο ρεύμα εντός του ρότορα το οποίο τροφοδοτεί τις διόδους και στη συνέχεια το σύστημα του αεροσκάφους ως διορθωμένο εναλλασσόμενο ρεύμα. Το επίπεδο τάσης ρυθμίζεται από ένα ρυθμιστή τάσης τύπου τρανζίστορ.

2.2.3 Ρύθμιση τάσης

Ο έλεγχος των τάσεων εξόδου των γεννητριών εναλλασσομένου ρεύματος αποτελεί βασική απαίτηση και οι αρχές ρύθμισης τάσης για τις γεννήτριες εναλλασσόμενης τάσης μπορούν επίσης να εφαρμοστούν, δηλαδή η αυτόματη ρύθμιση του ρεύματος διέγερσης θα πρέπει να ανταποκρίνονται στις μεταβαλλόμενες συνθήκες του φορτίου και της ταχύτητας. Οι ρυθμιστές τάσης κανονικά αποτελούν μέρος του συστήματος ελέγχου της γεννήτριας και των μονάδων προστασίας.

Το παρακάτω σχήμα δείχνει τη διάταξη κυκλώματος ενός τυπικού τρανζίστορ ρυθμιστή τάσης.



Σχήμα 2.6 | **Ρύθμιση τάσης με τρανζίστορ**

Στο κύκλωμα ρυθμιστή του παραπάνω σχήματος, τα τρία τρανζίστορ (TR1, TR2, TR3) συνδέονται σε διάταξη n-p-n. Όταν ο διακόπτης ελέγχου του συστήματος ανοίγει, το ρεύμα ρέει αρχικά μέσα από την μπαταρία στη βάση του TR2 και μέσω ενός δικτύου καταμερισμού τάσης που αποτελείται από τις αντιστάσεις R1, R2 και RV1. Ο σκοπός αυτού του δικτύου σε συνδυασμό με την δίοδο Zener (Z) είναι να καθιερωθεί η τάση λειτουργίας του συστήματος. Με το ρεύμα που οδηγείται στη βάση του TR2, το τρανζίστορ τίθεται σε λειτουργία και το ρεύμα της μπαταρίας ρέει προς τον κόμβο συλλέκτη και εκπομπού.

Το ενισχυμένο ρεύμα εξόδου στο κύκλωμα του εκπομπού ρέει προς τη βάση του TR3 ενεργοποιώντας το, έτσι ώστε το ρεύμα της μπαταρίας που παρέχεται στο τύλιγμα, να μπορεί να οδηγηθεί στη γείωση μέσω του κόμβου συλλέκτη-εκπομπού του TR3. Όταν η γεννήτρια βρίσκεται σε λειτουργία, το περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο επάγει ένα εναλλασσόμενο ρεύμα στο στάτη και αυτό ανορθώνεται και παρέχεται στο DC σύστημα του αεροσκάφους.

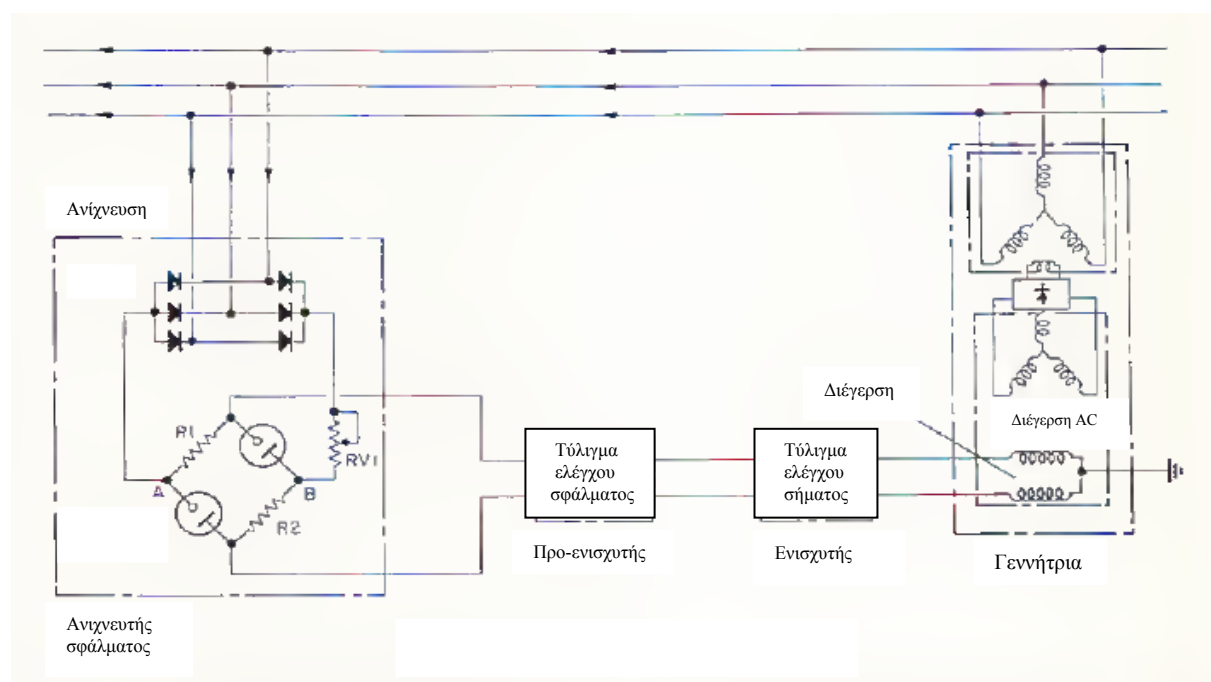
Όταν η τάση εξόδου της γεννήτριας φτάσει την προκαθορισμένη τιμή λειτουργίας, το ρεύμα που ρέει προς την αντίθετη κατεύθυνση μέσω της διόδου Z προκαλώντας τη διάσπασή της και να επιτρέπει στο ρεύμα να ρέει προς τη βάση του TR1 έτσι ώστε αυτό να ενεργοποιείται. Ο κόμβος συλλέκτη-πομπού του TR1 τώρα άγει, έτσι ώστε το ρεύμα να απομακρύνεται από τη βάση του TR2 απενεργοποιώντας το.

Με αυτόν τον τρόπο, απενεργοποιείται και το TR3 και έτσι το ρεύμα στα τυλίγματα της γεννήτριας διακόπτεται. Ο ανορθωτής $D1$ παρέχει μια διαδρομή για το ρεύμα ώστε να μπορεί να μειώνεται με βραδύτερο ρυθμό ώστε να αποτρέπεται η παραγωγή υψηλής τάσης στο TR3 κάθε φορά που απενεργοποιείται. Όταν η τάση εξόδου της γεννήτριας πέφτει σε μια τιμή κατά την οποία η διάδος Zener(Z) να σταματήσει να άγει, το TR1 θα αρχίσει να άγει και πάλι ώστε να αποκαταστήσει το ρεύμα διέγερσης στα τυλίγματα. Αυτή η ακολουθία λειτουργίας επαναλαμβάνεται και η τάση εξόδου της γεννήτριας διατηρείται στην προκαθορισμένη τιμή λειτουργίας της.

2.3 Συστήματα σταθερής συχνότητας

Σε αεροσκάφη που απαιτούνται πολλές ρυθμίσεις των γεννητριών σταθερής συχνότητας, πρόσθετα κυκλώματα είναι απαραίτητα για τον έλεγχο της εξόδου υπό μοιρασμένα φορτία ή παράλληλα μεταξύ τους.

Το συνολικό κύκλωμα ρύθμισης τάσης φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 2.7

Ρύθμιση τάσης συστήματος σταθερής συχνότητας

Το κύκλωμα αυτό αποτελείται από τρία κύρια τμήματα: ένα ανιχνευτή σφάλματος τάσης, έναν προ-ενισχυτή και έναν ενισχυτή ρεύματος.

Η λειτουργία του ανιχνευτή σφάλματος τάσης είναι να ανιχνεύει την τάση εξόδου της γεννήτριας, να τη συγκρίνει με μια σταθερή τάση αναφοράς και να μεταδίδει οποιοδήποτε σφάλμα στον προ-ενισχυτή. Αποτελείται από τριφασικές γέφυρες ανορθωτών που συνδέονται με την έξοδο της γεννήτριας και ένα κύκλωμα γέφυρας των οποίων τα δύο σκέλη περιέχουν σωλήνες ρυθμιστών και αντιστάσεις.

Με αυτόν τον τρόπο διατηρείται μια ουσιαστικά σταθερή πτώση τάσεως για ένα ευρύ φάσμα ρεύματος και για το λόγο αυτό έχει καθοριστεί η τάση αναφοράς με την οποία συγκρίνεται συνεχώς η τάση εξόδου. Η πλευρά εξόδου της γέφυρας είναι συνδεδεμένη με το τύλιγμα ελέγχου σφάλματος του προ-ενισχυτή και έπειτα από αυτόν τον ενισχυτή στο τύλιγμα ελέγχου σήματος του ενισχυτή ρεύματος. Και στα δύο στάδια υπάρχουν μαγνητικοί ενισχυτές τριών φάσεων.

Το τελικό ενισχυμένο σήμα κατόπιν παρέχεται στα διακλαδιζόμενα τυλίγματα του στάτη της γεννήτριας εναλλασσομένου ρεύματος.

Η έξοδος του ανορθωτή γέφυρας στον ανιχνευτή σφάλματος είναι μια DC τάση ελαφρώς χαμηλότερη από το μέσο όρο των τριών εναλλασσομένων τάσεων της γραμμής που μπορεί να ρυθμιστεί μέσω μιας μεταβλητής αντίστασης (R_{V1}) για να φέρει το σύστημα ρυθμιστή σε μια ισορροπημένη κατάσταση για οποιαδήποτε ονομαστική τιμή τάσης της γραμμής. Μια ισορροπημένη κατάσταση του συγκεκριμένου κυκλώματος γέφυρας λαμβάνεται όταν η τάση που εφαρμόζεται σε όλη την γέφυρα (σημεία "A" και "B") είναι ακριβώς διπλάσια εκείνης της πτώσης τάσης κατά μήκος των δύο σωλήνων. Δεδομένου ότι υπό αυτές τις συνθήκες, η πτώση τάσης στα άκρα των αντιστάσεων R_1 και R_2 θα είναι ίση με την πτώση τάσης κατά μήκος κάθε σωλήνα, τότε δεν θα ρέει ρεύμα από το κύκλωμα εξόδου προς το τύλιγμα ελέγχου σφαλμάτων του προ-ενισχυτή.

Εάν η AC τάση της γραμμής πρέπει να είναι πάνω ή κάτω από τη σταθερή τιμή, οι πτώσεις τάσης σε όλη την R_1 και την R_2 θα διαφέρουν προκαλώντας ανισορροπία του κυκλώματος γέφυρας και μία ροή ρεύματος προς το τύλιγμα ελέγχου σφαλμάτων του προ-ενισχυτή. Η κατεύθυνση και το μέγεθος της ροής ρεύματος θα εξαρτηθεί από το κατά πόσον το σφάλμα στην τάση της γραμμής, είναι πάνω (θετικό μήνυμα σφάλματος) ή κάτω (αρνητικό μήνυμα σφάλματος) από την ονομαστική τιμή και από το μέγεθος των μεταβολών αυτών.

Όταν το ρεύμα ρέει μέσω του τυλίγματος ελέγχου σφαλμάτων, η μαγνητική ροή που έχει δημιουργηθεί, μεταβάλλει τη συνολική ροή στους πυρήνες του ενισχυτή, καθιερώνοντας έτσι μια ανάλογη μεταβολή στην έξοδο του ενισχυτή η οποία εφαρμόζεται στο τύλιγμα του ενισχυτή.

Εάν το σήμα σφάλματος είναι αρνητικό, θα προκαλέσει αύξηση της ροής του πυρήνα, αυξάνοντας έτσι το ρεύμα εξόδου του ενισχυτή στο τύλιγμα διεγέρτη της γεννήτριας. Για ένα θετικό σήμα σφάλματος, η ροή πυρήνα και ρεύματος διεγερσης θα μειωθεί. Έτσι, η έξοδος της γεννήτριας ελέγχεται στην προκαθορισμένη τιμή, η οποία όταν επιτυγχάνεται, επαναφέρει το κύκλωμα γέφυρας ανιχνευτή σφάλματος σε μια ισορροπημένη κατάσταση.

2.4 Καταμερισμός φορτίου

❖ Συστήματα Μεταβλητής Συχνότητας (Frequency-Wild)

Στα συστήματα αυτού του τύπου, το εναλλασσόμενο ρεύμα εξόδου παρέχεται σε ανεξάρτητα συστήματα των καταναλωτών και αφού η συχνότητα επιτρέπεται να είναι μη ελεγχόμενη, τότε ο καταμερισμός του φορτίου εναλλασσόμενου ρεύματος δεν είναι δυνατός. Στις περισσότερες εφαρμογές αυτό γίνεται με το σχεδιασμό, δηλαδή για παράδειγμα, σε ηλεκτρικό σύστημα αποπάγωσης, χρησιμοποιώντας θερμαντήρες τύπου αντίστασης, μια μεταβλητή συχνότητα δεν έχει καμία επίδραση στη λειτουργία του συστήματος. Ως εκ τούτου, δίνεται περισσότερη σημασία στην αξιοπιστία της γεννήτριας και την απλότητα του συστήματος παραγωγής.

Σε συστήματα διορθωμένου εναλλασσόμενου ρεύματος, η συχνότητα είναι επίσης μη ελεγχόμενη, αλλά αφού το περισσότερο ρεύμα από την έξοδο χρησιμοποιείται για την παροχή συνεχούς ρεύματος στα συστήματα των καταναλωτών, ο καταμερισμός του φορτίου επιτυγχάνεται πιο εύκολα με τον παραλληλισμό της διορθωμένης εξόδου μέσω της παράλληλης λειτουργίας των κυκλωμάτων με παρόμοιο τρόπο με εκείνο για τα συστήματα παραγωγής συνεχούς ρεύματος.

❖ Συστήματα σταθερής συχνότητας (CF)

Αυτά τα συστήματα είναι σχεδιασμένα για λειτουργία σε συνθήκες καταμερισμού φορτίου και σε αυτήν την περίπτωση απαιτούνται δύο παράμετροι :

το πραγματικό φορτίο(πραγματική ισχύς) και το αντιδραστικό φορτίο(άεργος ισχύς).

Πραγματική ισχύς φορτίου είναι η πραγματική έξοδος του φορτίου εργασίας σε kW, διαθέσιμες για τον εφοδιασμό των διαφόρων ηλεκτρικών συστημάτων-υπηρεσιών, και η άεργος ισχύς φορτίου είναι στην πραγματικότητα το διανυσματικό άθροισμα των επαγωγικών και χωρητικών ρευμάτων και η τάση του συστήματος εκφράζεται σε kVAR.

Δεδομένου ότι η πραγματική ισχύς φορτίου σχετίζεται άμεσα με την ισχύ εισόδου του κινητήριου μηχανισμού, δηλαδή τον κινητήρα του αεροσκάφους, ο έλεγχος του καταμερισμού της πραγματικής ισχύος φορτίου πρέπει να γίνεται στον κινητήρα. Υπάρχουν, ωστόσο, ορισμένες πρακτικές δυσκολίες που, αλλά όπως είναι δυνατόν, οποιαδήποτε ανισορροπία στο πραγματικό φορτίο της κινητήριας μονάδας σταθερής ταχύτητας(CSD) μεταξύ μηχανής και γεννήτριας, η πραγματική ισχύς του φορτίου επηρεάζεται με τη ρύθμιση της ροπής στην έξοδο του κινητήριου άξονα. Οι ασυμμετρίες στο αντιδραστικό φορτίο διορθώνονται με τον έλεγχο του ρεύματος διέγερσης που παραδίδεται από τους ρυθμιστές τάσης στις αντίστοιχες γεννήτρίες τους, σύμφωνα με σήματα από ένα κύκλωμα κατανομής αντιδραστικού φορτίου.

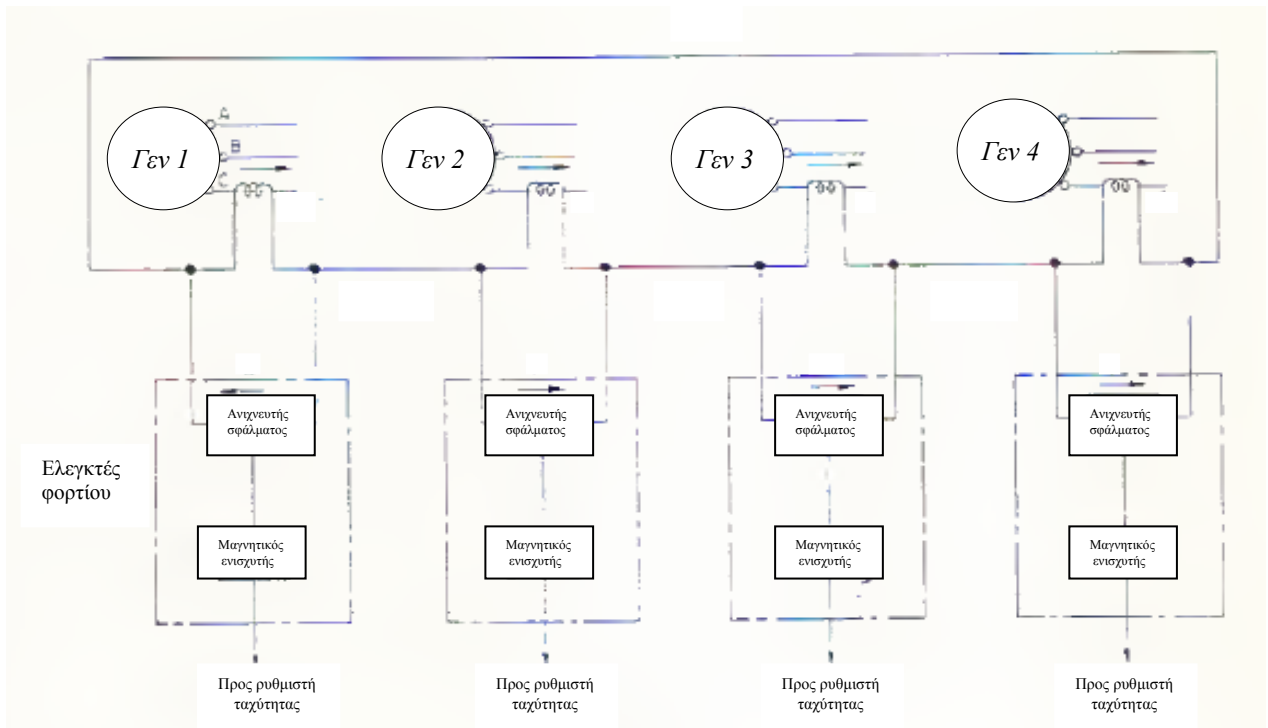
2.5 Καταμερισμός πραγματικού φορτίου

Ο καταμερισμός του πραγματικού φορτίου μεταξύ παραλληλισμένων γεννητριών καθορίζεται από τις πραγματικές σχετικές ταχύτητες περιστροφής των γεννητριών που με τη σειρά τους, επηρεάζουν τις σχέσεις τάσης και φάσης. Όπως έχει ήδη περιγραφεί, η ταχύτητα της γεννήτριας καθορίζεται από τον ρυθμιστή ταχύτητας στις συνδεδεμένες μονάδες σταθερής ταχύτητας(CSD). Δεν είναι δυνατόν, όμως, να επιτευχθούν ακριβώς ίδιες ρυθμίσεις στο ρυθμιστή σε όλες τις μονάδες σταθερής ταχύτητας (CSD) που χρησιμοποιούνται σε οποιαδήποτε εγκατάσταση, και έτσι ο αυτόματος έλεγχος των ρυθμιστών καθίσταται αναγκαίος.

Οι γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος είναι σύγχρονες μηχανές. Ως εκ τούτου, όταν δύο ή περισσότερες λειτουργούν παράλληλα, κλειδώνουν ταυτόχρονα σε σχέση με τη συχνότητα και έτσι η συχνότητα του συστήματος που θα καθιερωθεί, είναι εκείνης της γεννήτριας της οποίας η έξοδος είναι στο υψηλότερο επίπεδο. Δεδομένου ότι αυτή ελέγχεται από τον ρυθμιστή ταχύτητας, τότε αυτό σημαίνει ότι η γεννήτρια που συνδέεται με μια υψηλότερη ρύθμιση, θα μεταφέρει περισσότερο από το μερίδιό του φορτίου και θα παρέχει ενέργεια ώστε τα υπόλοιπα μηχανήματα να είναι παράλληλα με αυτό. Έτσι, ο καταμερισμός του συνολικού πραγματικού φορτίου είναι μη ισορροπημένος και για αυτό πρέπει να παρέχονται ίσες ποσότητες ενέργειας με μορφή ροπής στα στροφεία της γεννήτριας.

Βασικά, ένα σύστημα ελέγχου αποτελείται από δύο κύρια τμήματα: ένα στο οποίο η ανισορροπία προσδιορίζεται μέσω των μετασχηματιστών ρεύματος, και το άλλο (το τμήμα που ελέγχει φορτίο) στο οποίο εφαρμόζονται ροπές.

Ένα διάγραμμα του κυκλώματος του συστήματος, όπως εφαρμόζεται σε εγκατάσταση τεσσάρων γεννητριών παρουσιάζεται σχηματικά στο παρακάτω σχήμα:



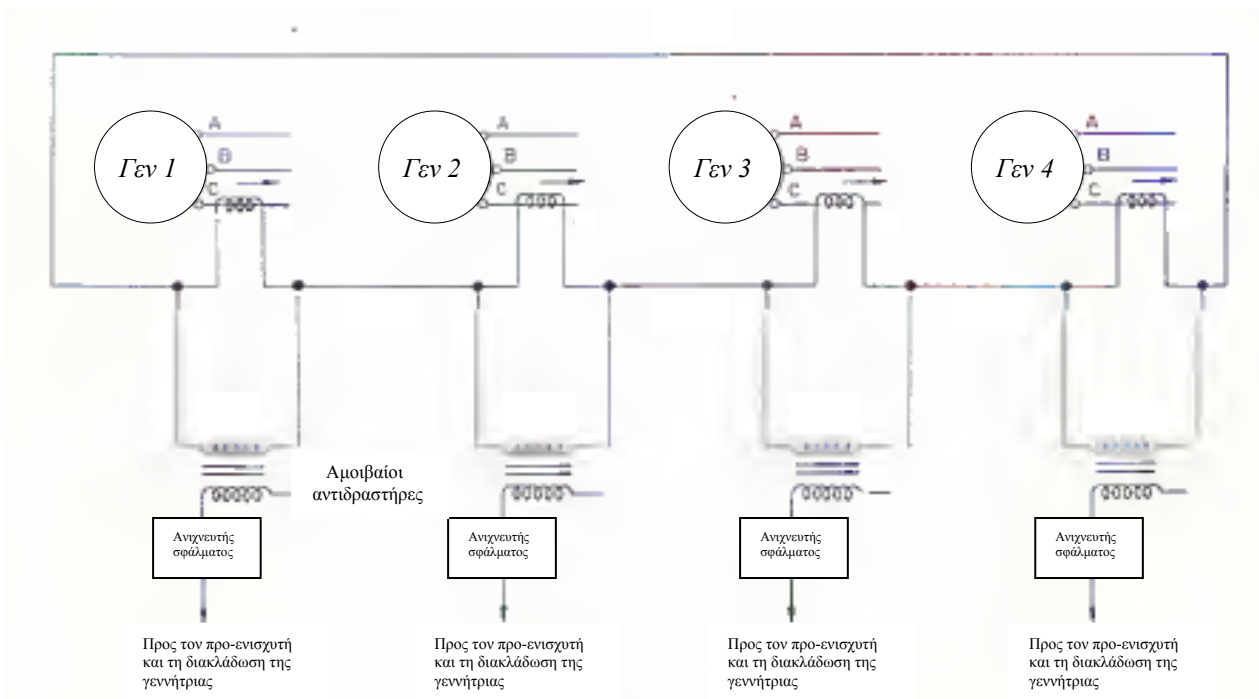
Σχήμα 2.8	Πραγματικό φορτίο
-----------	-------------------

Οι μετασχηματιστές ρεύματος ανιχνεύουν τον πραγματικό καταμερισμό φορτίου στη φάση "C" της τροφοδοσίας από κάθε γεννήτρια και συνδέονται σε σειρά και μαζί σχηματίζουν έναν βρόγχο καταμερισμού του φορτίου. Κάθε ελεγκτής φορτίου αποτελείται από δύο βαθμίδες μαγνητικού ενισχυτή ελεγχόμενες από ένα αισθητήρα σφάλματος συνδεδεμένο παράλληλα με κάθε μετασχηματιστή. Η πλευρά εξόδου του κάθε ελεγκτή φορτίου, με τη σειρά του, συνδέεται στο ρυθμιστή ταχύτητας της κάθε μονάδας σταθερής ταχύτητας (CSD). Όταν το ρεύμα ρέει μέσω της φάσης "C" κάθε γεννήτριας, η τάση ανάλογη προς το ρεύμα επάγεται σε κάθε έναν από τους μετασχηματιστές και αφού είναι συνδεδεμένοι σε σειρά, τότε ρεύμα θα ρέει στο βρόγχο καταμερισμού του φορτίου. Αυτό το ρεύμα θα είναι ίσο με το μέσο όρο του ρεύματος που παράγεται από όλους τους τέσσερις μετασχηματιστές.

2.6 Καταμερισμός αντιδραστικού φορτίου

Η κατανομή του αντιδραστικού φορτίου μεταξύ των παραλληλισμένων γεννητριών εξαρτάται από τα σχετικά μεγέθη των τάσεων εξόδου τους, που ποικίλλουν, όπως και με όλα τα συστήματα παραγωγής εξαρτώνται από τις ρυθμίσεις των σχετικών ρυθμιστών τάσης και ρεύματος διέγερσης. Κατ'αρχήν η μέθοδος της λειτουργίας του κυκλώματος καταμερισμού αντιδραστικού φορτίου είναι παρόμοια με αυτή που υιοθετήθηκε στο κύκλωμα του πραγματικού φορτίου.

Μια διαφορά στη δομή του κυκλώματος πρέπει ωστόσο να σημειωθεί σε αυτό το σημείο. Ενώ στο κύκλωμα καταμερισμού πραγματικού φορτίου οι μετασχηματιστές ρεύματος συνδέονται άμεσα με την ανάγνωση σφαλμάτων στις μονάδες ελέγχου του φορτίου, στο κύκλωμα καταμερισμού αντιδραστικού φορτίου, συνδέονται με τα κύρια τυλίγματα των συσκευών που ονομάζονται αμοιβαίοι αντιδραστήρες.



Σχήμα 2.9

Αντιδραστικό φορτίο

Αυτοί είναι, στην πραγματικότητα, μετασχηματιστές που έχουν μία πηγή ρεύματος συνδεδεμένη με τα δευτερεύοντα τυλίγματά τους μαζί με τα πρωτεύοντά τους· σε αυτή την περίπτωση, η φάση "C" της εξόδου της γεννήτριας και ένα διάκενο αέρα στον πυρήνα σιδήρου για να παραχθεί μια μετατόπιση στη φάση των περίπου 90° μεταξύ του πρωτεύοντος ρεύματος και δευτερεύουσας τάσης.

Εξυπηρετούν το σκοπό της παροχής σημάτων προς τον ρυθμιστή τάσης του οποίου η τάση είναι ανάλογη μόνο με το αντιδραστικό φορτίο της γεννήτριας.

Όταν παρουσιαστεί μια ανισορροπία στο αντιδραστικό φορτίο, οι μετασχηματιστές ρεύματος την ανιχνεύουν με έναν τρόπο παρόμοιο με εκείνους που σχετίζονται με το κύκλωμα καταμερισμού του πραγματικού φορτίου και προκαλούν ρεύματα να ρέουν στα κύρια τυλίγματα των σχετικών αμοιβαίων αντιδραστήρων τους.

Οι τάσεις ανάλογες με το μέγεθος των διαφορικών ρευμάτων που επάγονται στα δευτερεύοντα τυλίγματα, είτε θα προπορεύονται είτε θα καθυστερούν το ρεύμα της γεννήτριας κατά 90°. Όταν η τάση που επάγεται στο δευτερεύον τύλιγμα του συγκεκριμένου αντιδραστήρα, προηγείται του ρεύματος, υποδεικνύεται ότι υπάρχει ένα αντιδραστικό φορτίο στη γεννήτρια το οποίο λαμβάνει περισσότερο από το μερίδιό του επί του συνολικού φορτίου και σε αυτή την περίπτωση, η τάση θα προστεθεί στην τάση που ανιχνεύεται από το δευτερεύον τύλιγμα στη φάση "C".

Αν, από την άλλη πλευρά, το ρεύμα προηγείται της τάσης τότε η γεννήτρια απορροφά ένα αντιδραστικό φορτίο, δηλαδή λαμβάνει λιγότερο μερίδιο του συνολικού φορτίου και η τάση θα αφαιρεθεί από τάση που ανιχνεύεται στη φάση "C". Το δευτερεύον τύλιγμα του κάθε αμοιβαίου αντιδραστήρα συνδέεται σε σειρά με έναν ανιχνευτή σφάλματος σε κάθε ρυθμιστή τάσης, ο ανιχνευτής λειτουργεί με τον ίδιο τρόπο όπως αυτοί που χρησιμοποιούνται για τη ρύθμιση της τάσης και τον καταμερισμό του πραγματικού φορτίου.

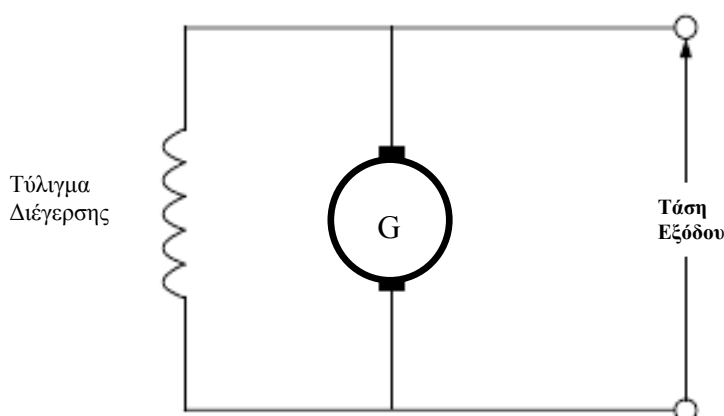
3. Παραγωγή συνεχούς τάσης

3.1 Γεννήτριες Shunt-wound

Τα συστήματα συνεχούς τάσης χρησιμοποιούν τις γεννήτριες για να αναπτύξουν μια συνεχή τάση για να τροφοδοτούν τα φορτία του συστήματος αεροσκαφών :

συνήθως η τάση είναι 28 V DC αλλά τα συστήματα είναι των 270 V DC στην πράξη. Η γεννήτρια ελέγχεται για να παρέχει 28 V DC ανά πάσα στιγμή στα φορτία των αεροσκαφών έτσι ώστε να μην υπάρχει περίπτωση η τάση να ποικίλει ή να κυμανθεί. Οι γεννήτριες συνεχούς τάσης είναι αυτοδιεγερτικές, δεδομένου ότι περιέχουν περιστρεφόμενους ηλεκτρομαγνήτες οι οποίοι παράγουν το ηλεκτρικό ρεύμα. Η μετατροπή του συνεχούς ρεύματος επιτυγχάνεται με τη χρησιμοποίηση ενός μετατροπέα που επιτρέπει την τάση εξόδου, η οποία θα εμφανιζόταν ως απλό ημιτονοειδές κύμα τάσης εξόδου, να διορθωθεί και να εξομαλυνθεί σε μισό κύμα ώστε να παρουσιάζεται μια σταθερή συνεχής τάση με έναν επιβαλλόμενο κυματισμό.

Στις εφαρμογές των αεροσκαφών οι γεννήτριες είναι κυρίως shunt-wound στις οποίες τα τυλίγματα διέγερσης υψηλής τάσης συνδέονται παράλληλα με τον σπλισμό.



Σχήμα 3.1

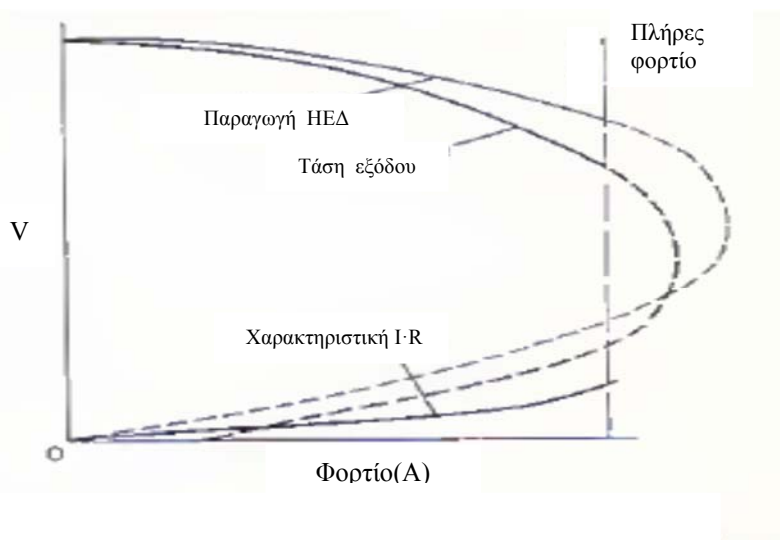
Γεννήτρια Shunt-wound συνεχούς τάσης

Το φυσικό χαρακτηριστικό του φορτίου της γεννήτριας Shunt-wound είναι ότι η τάση ελαττώνεται με το αυξανόμενο ρεύμα φορτίου, ενώ το επιθυμητό χαρακτηριστικό είναι ο έλεγχος της τάσης εξόδου σε μια σταθερή τάση 28 V DC.

Το ρεύμα σπλισμού χωρίζεται σε δύο κλάδους, ένας που σχηματίζεται από το τύλιγμα διέγερσης κι ο άλλος από το εξωτερικό κύκλωμα.

Δεδομένου ότι το τύλιγμα διέγερσης είναι υψηλής αντίστασης, το πλεονέκτημα αποκτάται έχοντας τη μέγιστη ροή ρεύματος στο εξωτερικό κύκλωμα και αποφεύγοντας την κατανάλωση περιττής ηλεκτρικής ενέργειας στο εσωτερικό της γεννήτριας. Όταν ο οπλισμός περιστρέφεται, οι αγωγοί σταματούν το ασθενές μαγνητικό πεδίο το οποίο οφείλεται σε παραμένοντα μαγνητισμό στο ηλεκτρομαγνητικό σύστημα. Μια μικρή ηλεκτρεγερτική δύναμη (ΗΕΔ) επάγεται στο τύλιγμα του οπλισμού και εφαρμόζεται στο τύλιγμα διέγερσης, προκαλώντας τη ροή ρεύματος μέσα από αυτό έτσι ώστε να αυξάνεται η μαγνητική ροή. Αυτό, με τη σειρά του, προκαλεί μια προοδευτική αύξηση στην επαγόμενη ΗΕΔ και στο ρεύμα του πηνίου μέχρι η επαγόμενη ΗΕΔ και η τάση εξόδου να φτάσουν στη μέγιστη τάση του ανοικτού κυκλώματος.

Η χαρακτηριστική για αυτό το είδος της γεννήτριας φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 3.2 Χαρακτηριστική αυτοδιεγερτικής γεννήτριας shunt-wound

Παρατηρείται ότι η τάση ακροδέκτη τείνει να μειωθεί με την αύξηση του ρεύματος φορτίου. Αυτό οφείλεται στην πτώση τάσης στον οπλισμό του πηνίου και στη μείωση της κύριας ροής από τον οπλισμό. Η πτώση της τάσης εξόδου μειώνει το ρεύμα του πηνίου, η κύρια ροή μειώνεται περαιτέρω και ως εκ τούτου, έχουμε μια περαιτέρω πτώση στην τάση εξόδου.

Εάν η διαδικασία της αύξησης του φορτίου συνεχιστεί αφού η κατάσταση πλήρους φορτίου έχει επιτευχθεί, η τάση ακροδεκτών θα μειωθεί με αυξανόμενο ρυθμό μέχρι να μη μπορεί πλέον να διατηρήσει το ρεύμα φορτίου και οι δύο να μηδενιστούν.

Με μειωμένη διέγερση, η εξωτερική χαρακτηριστική μιας γεννήτριας shunt-wound πέφτει πολύ πιο γρήγορα, έτσι ώστε το σημείο στο οποίο εμφανίζεται η πτώση τάσης να επιτευχθεί με ένα πολύ μικρότερο φορτίο ρεύματος.

Στην πράξη, το ρεύμα του πηνίου ρυθμίζεται για να διατηρήσει σταθερή την τάση σε όλες τις συνθήκες φορτίου, με ένα ρυθμιστή τάσης, ο οποίος χρησιμοποιείται για να τροποποιεί το ρεύμα του πηνίου ώστε να εξασφαλίζεται ότι η τάση εξόδου διατηρείται, ενώ η ταχύτητα των μηχανών του αεροσκάφους και τα φορτία των γεννητριών ποικίλλουν.

3.2 Ρυθμιστής τάσης

Η μονάδα αυτή αποτελείται από δύο τύλιγματα συγκεντρωμένα σε ένα κοινό πυρήνα. Το τύλιγμα αποτελείται από πολλές στροφές σύρματος λεπτού διαμετρήματος και συνδέεται σε σειρά με το τύλιγμα του ρυθμιστή ρεύματος και παράλληλα με τη γεννήτρια. Αντίθετα, το τύλιγμα σειράς αποτελείται από μερικές στροφές σύρματος και συνδέεται σε σειρά με το διακλαδιζόμενο πηνίο της γεννήτριας όταν οι επαφές των δύο ρυθμιστών είναι κλειστές, δηλαδή κάτω από στατική κατάσταση συστήματος της γεννήτριας. Το συγκρότημα επαφής αποτελείται από μία σταθερή επαφή και μία κινητή επαφή ασφαλισμένα με ένα εύκαμπτο αρθρωτό οπλισμό. Η κίνηση του οπλισμού και, ως εκ τούτου, το σημείο στο οποίο το άνοιγμα και το κλείσιμο της επαφής λαμβάνει χώρα, ελέγχεται από ένα ελατήριο το οποίο είναι ρυθμισμένο στην απαιτούμενη τάση.

Όταν η γεννήτρια αρχίζει να λειτουργεί, οι επαφές των δύο ρυθμιστών παραμένουν κλειστές, έτσι ώστε μια θετική τροφοδοσία μπορεί να ρέει διαμέσου του διακλαδιζόμενου πηνίου της γεννήτριας για να παράσχει την απαραίτητη διέγερση για την αύξηση της τάσης εξόδου της γεννήτριας. Ταυτόχρονα, ρεύμα περνά μέσα από το τύλιγμα του ρυθμιστή τάσης και σε συνδυασμό με το τύλιγμα σειράς, αυξάνει και το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο του ρυθμιστή. Μόλις η τάση εξόδου της γεννήτριας φθάνει στην προγραμματισμένη επιλογή του ρυθμιστή, το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο γίνεται αρκετά ισχυρό για να αντιταχθεί στην τάση του οπλισμού ανοίγοντας έτσι τις επαφές. Σε αυτή τη θέση ισορροπίας, το κύκλωμα σε σειρά με το τύλιγμα ανοίγει, έτσι ώστε το πεδίο να παύσει να υπάρχει. Συγχρόνως, η παροχή στο τύλιγμα της γεννήτριας περνά μέσα από μια αντίσταση (R), η οποία μειώνει το ρεύμα διέγερσης και συνεπώς την τάση εξόδου της γεννήτριας. Η μείωση της τάσης εξόδου, με τη σειρά της, μειώνει την ένταση του μαγνητικού πεδίου του τυλίγματος του ρυθμιστή, έτσι ώστε να κλείσουν ξανά οι επαφές. Με αυτόν τον τρόπο, επαναφέρεται η τάση εξόδου της γεννήτριας με αποτέλεσμα ο κύκλος λειτουργίας να επαναλαμβάνεται.

3.3 Ρυθμιστής ρεύματος

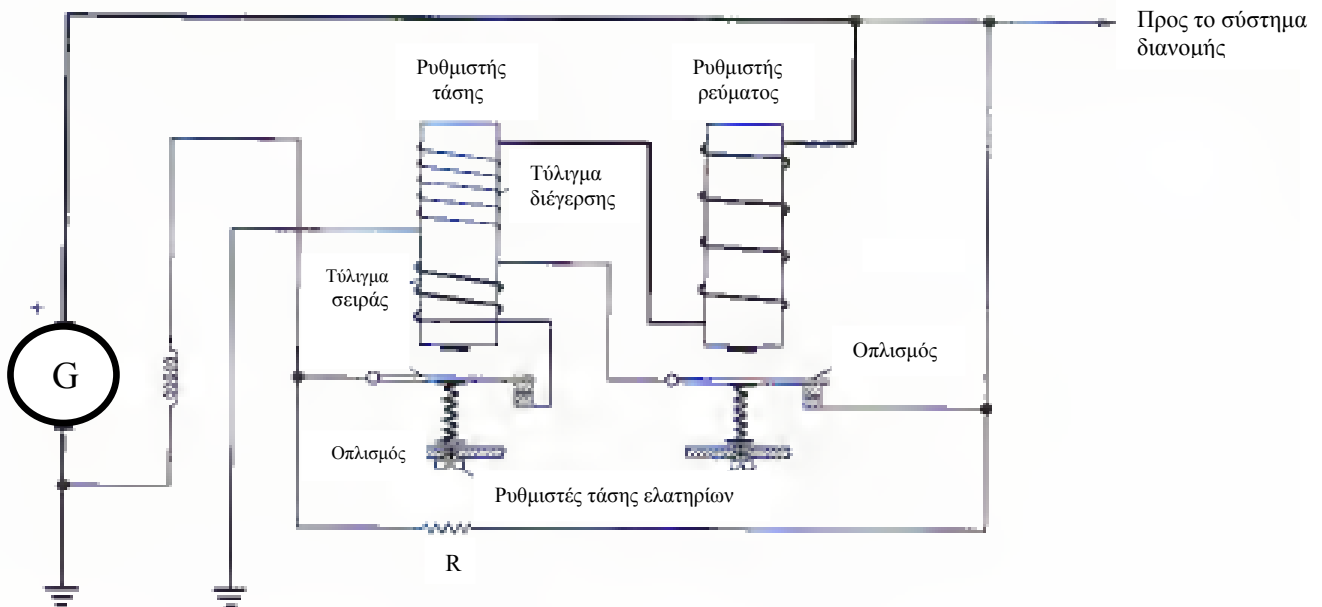
Αυτή η μονάδα οριοθετεί το ρεύμα εξόδου της γεννήτριας με τον ίδιο ακριβώς τρόπο όπως και ο ρυθμιστής τάσης ελέγχει την τάση εξόδου, δηλαδή με τον έλεγχο του ρεύματος της γεννήτριας.

Όταν οι απαιτήσεις του ηλεκτρικού φορτίου είναι αυξημένες, η τιμή τάσεως εξόδου της γεννήτριας μπορεί να μην αυξηθεί επαρκώς για να προκαλέσει τον ρυθμιστή τάσης να ανοίξει τις επαφές του. Κατά συνέπεια, η έξοδος θα συνεχίσει να αυξάνεται μέχρι να φτάσει το μέγιστο ονομαστικό ρεύμα, αυτή είναι η τιμή για την οποία έχει οριστεί ο ρυθμιστής ρεύματος.

Σε αυτή τη ρύθμιση, το ρεύμα που ρέει μέσω του τυλίγματος του ρυθμιστή δημιουργεί ένα αρκετά ισχυρό ηλεκτρομαγνητικό πεδίο για να προσελκύσει τον οπλισμό ώστε να ανοίξει τις επαφές.

Έτσι, ο ρυθμιστής ρεύματος είναι αυτός που παρεμβάλλει τώρα την αντίσταση R στο διακλαδιζόμενο κύκλωμα της γεννήτριας για τη μείωση της τάσης εξόδου της.

Μόλις υπάρξει επαρκής πτώση της τάσης εξόδου, οι επαφές κλείνουν και ο κύκλος επαναλαμβάνεται και πάλι σε μια συχνότητα παρόμοια με εκείνη του ρυθμιστή τάσης.

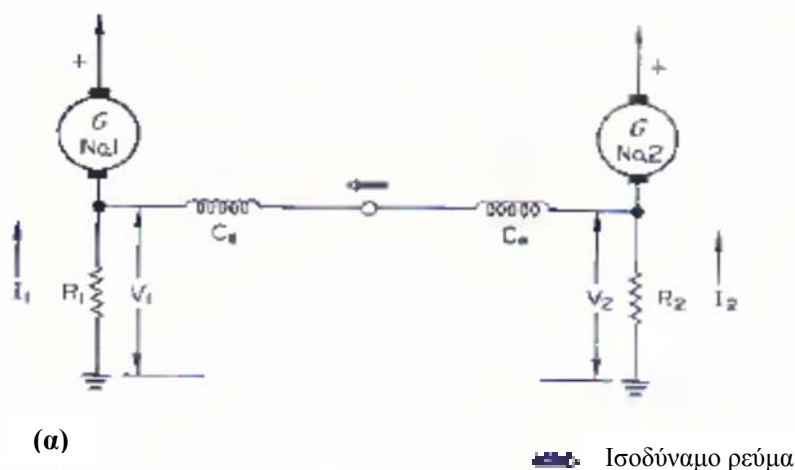


Σχήμα 3.3	Ρυθμιστής τάσης και ρεύματος
-----------	------------------------------

3.4 Παράλληλη λειτουργία φορτίων

Στα αεροσκάφη πολλών κινητήρων, κάθε κινητήρας θα είναι αυτόνομος και σε αυτήν την κατάσταση, είναι αναγκαίο να υπάρχει αδιάλειπτη παροχή ισχύος σε περιπτώσεις βλάβης των γεννητριών. Τα διάφορα ευαίσθητα όργανα αεροσκαφών και οι συσκευές πλοήγησης που περιλαμβάνουν μερικά από τα ηλεκτρικά φορτία, μπορεί να έχουν υποστεί ζημιά ή να χρειαστεί να επανεκκινηθούν μετά από μια διακοπή τροφοδοσίας. Προκειμένου να εξασφαλιστεί αυτό, οι γεννήτριες παραλληλίζονται για να γίνει ισόποση διανομή του ηλεκτρικού φορτίου μεταξύ τους.

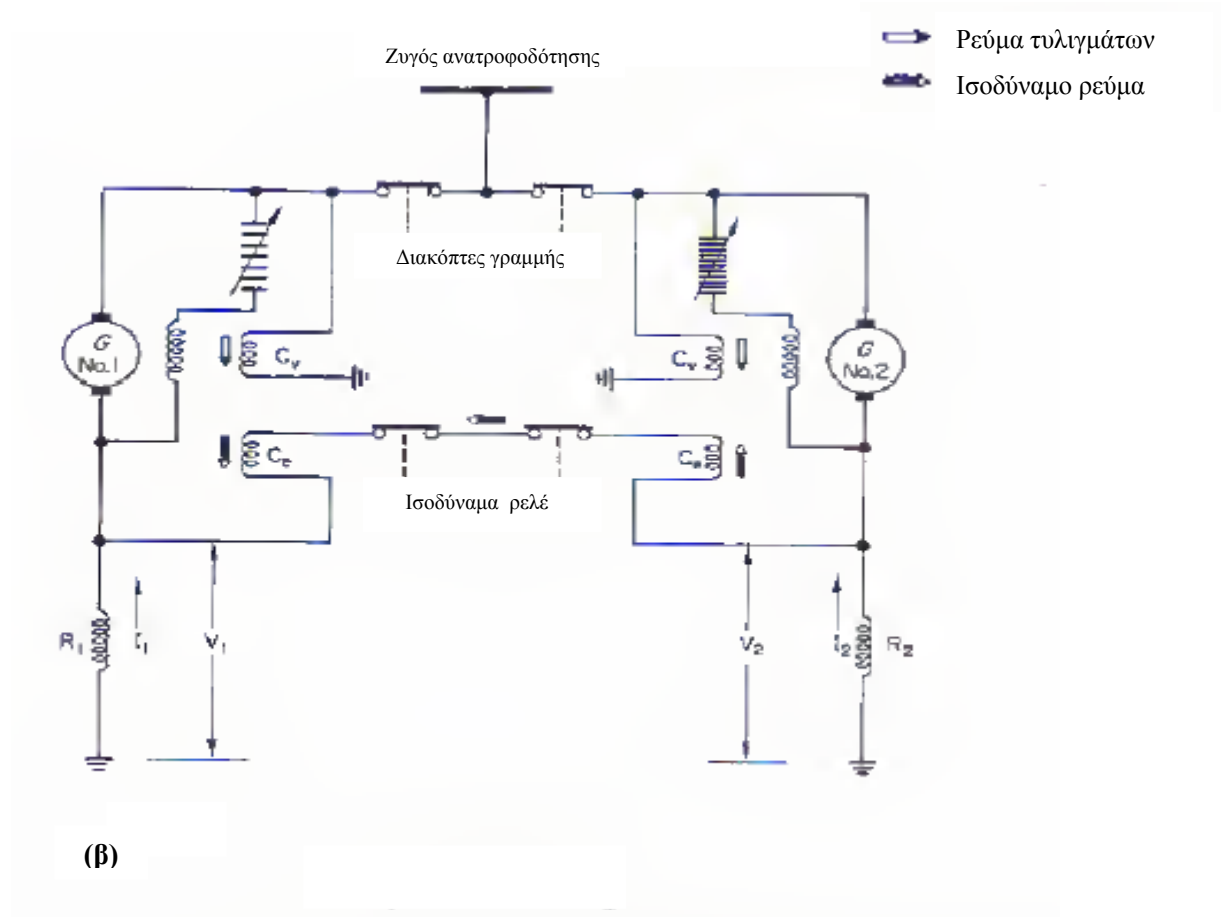
Η αρχή λειτουργίας όπως εφαρμόζεται σε ένα σύστημα δυο γεννητριών απεικονίζεται σε πολύ απλοποιημένη μορφή στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 3.4	Απλοποιημένο κύκλωμα Αρχή παράλληλης λειτουργίας
-----------	---

Οι γεννήτριες ελέγχονται με τη βοήθεια των ρυθμιστών τάσης, που αυτόματα αντισταθμίζουν τις διακυμάνσεις. Στην περίπτωση λειτουργίας της παράλληλης γεννήτριας, υπάρχει μια ανάγκη να συνδεθούν οι ρυθμιστές τάσης έτσι ώστε σε οποιαδήποτε άνιση φόρτιση των γεννητριών, να μπορούν να ρυθμιστούν με τη βοήθεια των αντίστοιχων αλλαγών στο ρεύμα του πεδίου.

Αυτό το χαρακτηριστικό της παραλληλίας είναι συχνότερα γνωστό ως κύκλωμα αντιστάθμισης, το οποίο παρέχει αδιάλειπτη ισχύ σε περίπτωση σοβαρής βλάβης του συστήματος και παρουσιάζεται στο παρακάτω αναλυτικό κύκλωμα.



Σχήμα 3.5	Αναλυτικό κύκλωμα Αρχή παράλληλης λειτουργίας
------------------	--

3.5 Μπαταρίες

Μέχρι στιγμής, τα συστήματα ηλεκτρικής παραγωγής έχουν περιγραφεί, για συνεχές και εναλλασσόμενο ρεύμα. Εντούτοις, δεν έχει περιγραφεί ένα σημαντικό στοιχείο που είναι η μπαταρία. Αυτή παρέχει αποτελεσματικά ένα ανεξάρτητο ηλεκτρικό μέσο αποθήκευσης των κύριων πηγών παραγωγής ρεύματος. Οι κύριοι σκοποί της είναι:

- Να βοηθήσει στην απόσβεση παροδικών φορτίων στο σύστημα συνεχούς τάσης.
- Να παρέχει ρεύμα κατά την εκκίνηση του συστήματος όταν δεν υπάρχει άλλη πηγή ενέργειας διαθέσιμη.
- Να παρέχει μια βραχυπρόθεσμη πηγή υψηλής ακεραιότητας κατά τη διάρκεια καταστάσεων έκτακτης ανάγκης μέχρι οι εφεδρικές πηγές ρεύματος να έρθουν και πάλι σε λειτουργία.

Η χωρητικότητα της μπαταρίας του αεροσκάφους είναι περιορισμένη και μετράται σε Αμπερώρια(Ah). Αυτή η παράμετρος περιγράφει αποτελεσματικά μια ποσότητα ρεύματος /ώρα ή μια μεγάλη χωρητικότητα.

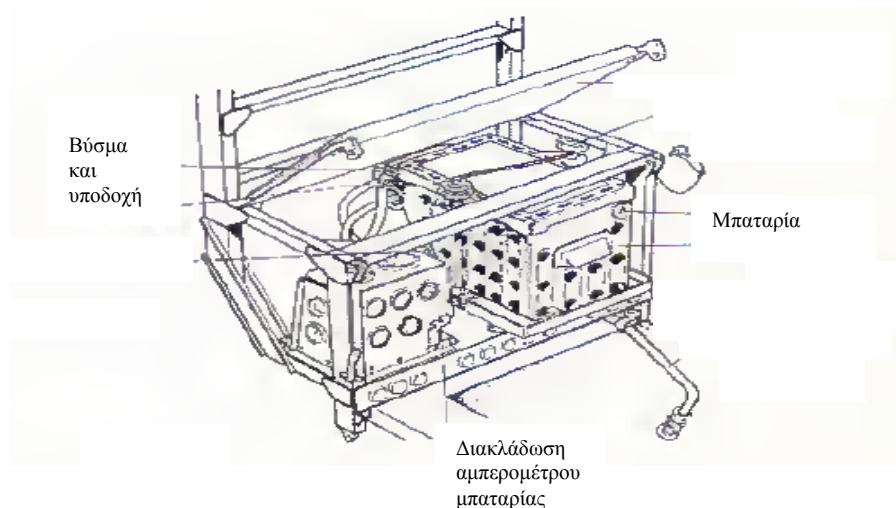
Τα περισσότερα σύγχρονα συστήματα αεροσκαφών χρησιμοποιούν τους φορτιστές μπαταριών για να διατηρήσουν την κατανάλωση των μπαταριών συγκρατημένα σε υψηλά επίπεδα κατά τη διάρκεια της κανονικής λειτουργίας του συστήματος, εξασφαλίζοντας έτσι μια λογική κατάσταση φόρτισης όπου απαιτείται η χρήση της μπαταρίας.

3.5.1 Τοποθεσία μπαταριών σε αεροσκάφος

Ανάλογα με το μέγεθος του αεροσκάφους και τις απαιτήσεις ισχύος για την ενεργοποίηση των κύριων λειτουργιών υπό συνθήκες έκτακτης ανάγκης, μπορεί να παρέχεται μία μόνο μπαταρία ή περισσότερες μπαταρίες. Όταν χρησιμοποιούνται περισσότερες μπαταρίες, βρίσκονται, πιο συχνά, σε παράλληλη σύνδεση αν και σε ορισμένους τύπους αεροσκαφών, χρησιμοποιείται μια σύνδεση σειράς, π.χ. δύο μπαταρίες 14 V σε σειρά, ενώ σε άλλες, γίνεται ρύθμιση της μεταγωγής για την αλλαγή από τη μία μέθοδο σύνδεσης σε άλλη.

Οι μπαταρίες έχουν τοποθετηθεί χωριστά για να παρέχουν επαρκή θερμότητα, εξαερισμό και προστασία της δομής του αεροσκάφους από διαβρωτικά στοιχεία. Ταυτόχρονα, οι μπαταρίες θα πρέπει να βρίσκονται όσο πιο κοντά στις κύριες μάρκες τροφοδότησης, προκειμένου να αποφευχθεί η χρήση της μεγάλων καλωδίων και επακόλουθης υψηλής αντίστασης.

Οι μπαταρίες συνήθως τοποθετημένες και είναι στερεωμένες σε ένα δίσκο στη δομή του αεροσκάφους. Οι μπαταρίες είναι καλά στερεωμένες και αγκυροβολημένες, έτσι ώστε σε περίπτωση προσγείωσης, να ελαχιστοποιείται ο κίνδυνος πυρκαγιάς.



Σχήμα 3.6	Τυπική εγκατάσταση μπαταρίας
------------------	-------------------------------------

3.5.2 Συνδέσεις μπαταρίας

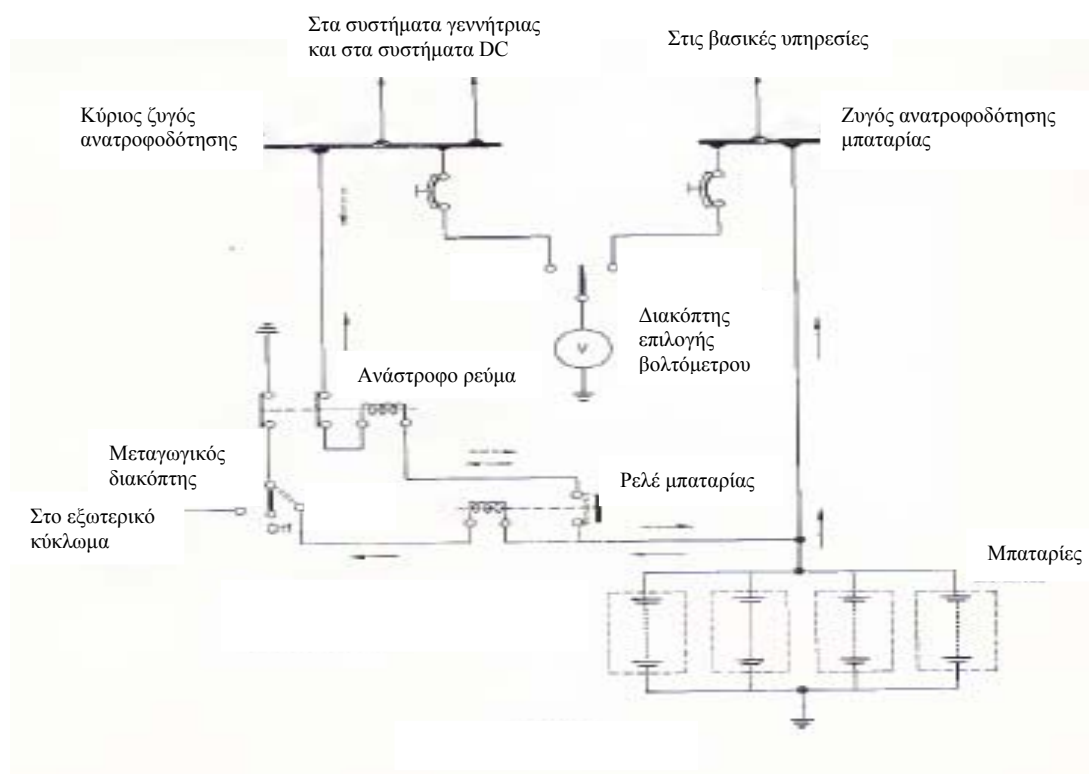
Η μέθοδος της σύνδεσης με τις αντίστοιχες μπαταρίες με τις μπάρες τροφοδότησης ή τα σημεία διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον τύπο μπαταρίας που χρησιμοποιείται και στο ηλεκτρικό σύστημα του αεροσκάφους. Η μέθοδος που χρησιμοποιείται συνηθέστερα είναι η σύνδεση τύπου πρίζας. Παρέχει την καλύτερη σύνδεση και, επιπλέον, προστατεύει τους πόλους της μπαταρίας και τις απολήξεις καλωδίων.

3.5.3 Τυπικά συστήματα μπαταριών

Τέσσερις μπαταρίες, παράλληλα συνδέονται άμεσα με ένα ζυγό μπαταρίας η οποία, σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης, παρέχει ισχύ για περιορισμένο χρονικό διάστημα σε βασικές λειτουργίες (υπηρεσίες) για τους επιβάτες, δηλαδή του ραδιοφώνου, του συναγερμού πυρκαγιάς και τα συστήματα πυρόσβεσης, το σύστημα πυξίδας, κλπ.

Οι άμεσες συνδέσεις διασφαλίζουν ότι η ισχύς της μπαταρίας είναι διαθέσιμη στο ζυγό ανά πάσα στιγμή. Οι μπαταρίες απαιτείται επίσης να συνδεθούν για να εξασφαλιστεί ότι διατηρούνται σε κατάσταση φόρτισης.

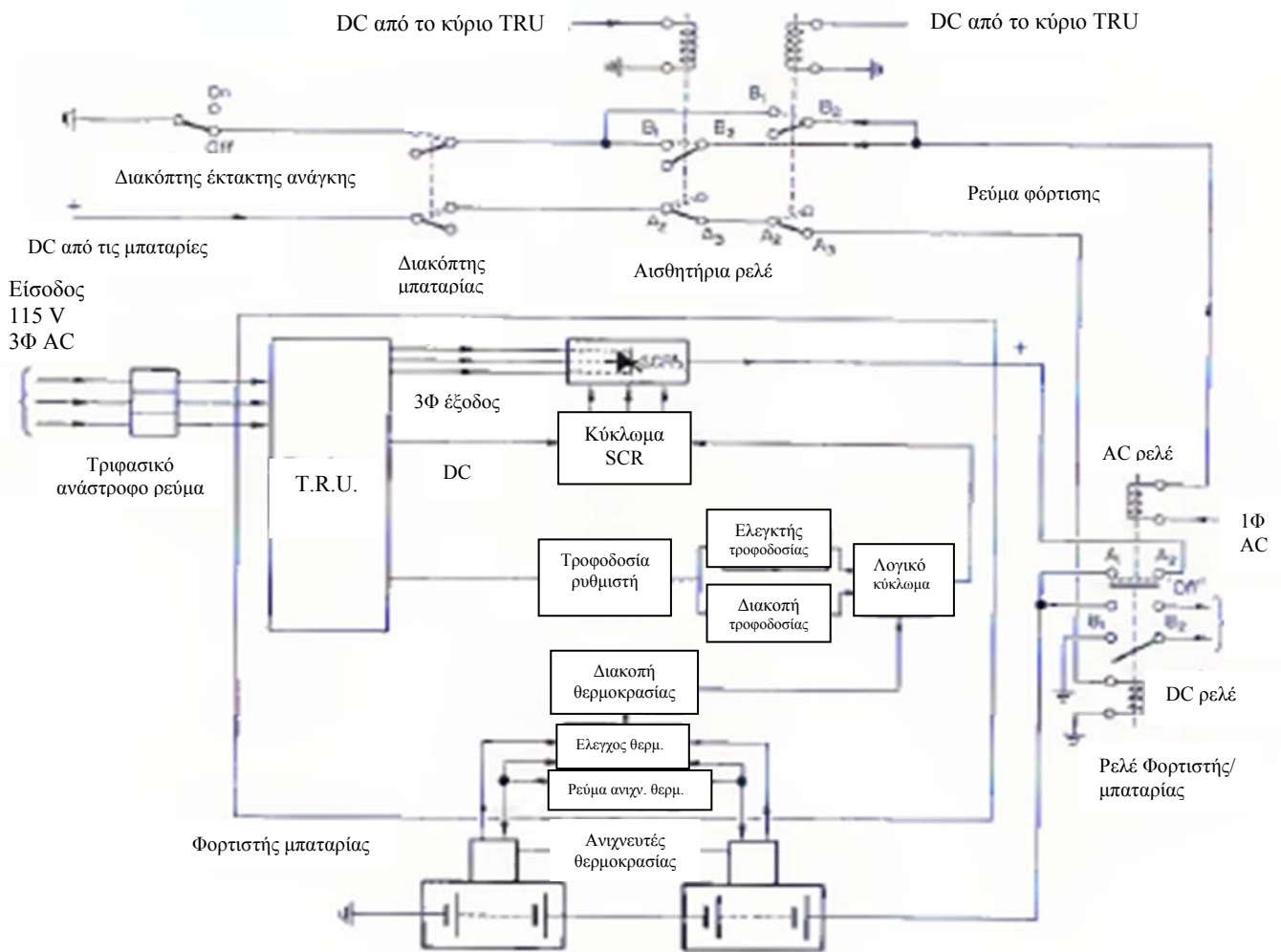
Το παρακάτω σχήμα δείχνει τη διάταξη του κυκλώματος για ένα σύστημα μπαταρίας που χρησιμοποιείται σε έναν τύπο επιβατηγού αεροσκάφους. Αυτό επιτυγχάνεται, με τη σύνδεση των μπαταριών με τον κύριο ζυγό μπαταρίας DC μέσω ενός ρελέ μπαταρίας, ενός διακόπτη επιλογής ισχύος και ενός διακόπτη ανάστροφου ρεύματος.



Σχήμα 3.7 **Κύκλωμα συστήματος μπαταρίας**

Υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας του συστήματος τροφοδοσίας Σ.Ρ., ο μεταγωγικός διακόπτης βρίσκεται στη θέση "μπαταρία" (σε ορισμένα αεροσκάφη, αυτό μπορεί να ονομαστεί η θέση "πτήση") και ρεύμα ρέει από τις μπαταρίες μέσω του πηνίου του ρελέ της μπαταρίας, το διακόπτη, και στη συνέχεια στη γείωση μέσω των επαφών του διακόπτη ανάστροφου ρεύματος. Η ροή ρεύματος μέσω του πηνίου του ρελέ το ενεργοποιεί, προκαλώντας τις επαφές να κλείσουν συνδέοντας έτσι τις μπαταρίες στο κύριο ζυγό μέσω του πηνίου και του δεύτερου σετ των επαφών του διακόπτη ανάστροφου ρεύματος. Οι λειτουργίες που συνδέονται με το κύριο ζυγό παρέχονται από τους κινητήρες και έτσι οι μπαταρίες θα πρέπει επίσης να τροφοδοτούνται με ρεύμα φόρτισης από την πηγή αυτή.

Υπό συνθήκες έκτακτης ανάγκης, π.χ. μια αποτυχία τροφοδοσίας του κινητήρα ή κύριου ζυγού, οι μπαταρίες πρέπει να απομονωθούν από το κύριο ζυγό αφού η συνολική χωρητικότητά τους δεν είναι αρκετή για να κρατήσει όλες τις υπηρεσίες σε λειτουργία. Ως εκ τούτου, ο μεταγωγικός διακόπτης ισχύος πρέπει να τεθεί στη θέση "off", απενεργοποιώντας έτσι το ρελέ της μπαταρίας. Οι μπαταρίες τότε παρέχουν τις απαραίτητες λειτουργίες(υπηρεσίες) για προκαθορισμένο χρονικό διάστημα, βάσει της χωρητικότητας της μπαταρίας και την κατανάλωση ρεύματος των βασικών λειτουργιών.



Σχήμα 3.8

Φόρτιση μπαταρίας

Το ανάστροφο ρεύμα του διακόπτη στο σύστημα του παραπάνω σχήματος είναι του ηλεκτρομαγνητικού τύπου και σκοπός του είναι να προστατεύει τις μπαταρίες από μεγάλη ροή ρεύματος από τον κύριο ζυγό. Εάν συμβεί αυτό, το ρεύμα αντιστρέφει το μαγνητικό πεδίο προκαλώντας τις κανονικά κλειστές επαφές να ανοίξουν, διακόπτοντας έτσι το κύκλωμα μεταξύ των μπαταριών και των κύριων ζυγών, και να απενεργοποιήσει το ρελέ της μπαταρίας.

Σε διάφορους τύπους επιβατηγών αεροσκαφών με στροβιλοκινητήρες σήμερα σε λειτουργία, το σύστημα μπαταριών ενσωματώνει μια ξεχωριστή μονάδα για τη διατήρηση των μπαταριών σε κατάσταση φόρτισης, και σε συνδυασμό με τους αισθητήρες θερμοκρασίας, η μονάδα επίσης απομονώνει αυτόματα το κύκλωμα φόρτισης κάθε φορά που υπάρχει μια τάση για υπερθέρμανση της μπαταρίας.

Σε αυτή τη συγκεκριμένη εφαρμογή του παραπάνω σχήματος, η απαιτούμενη έξοδος των 28 V επιτυγχάνεται με τη σύνδεση δύο μπαταριών 14 V σε σειρά.

Επιπλέον, οι μπαταρίες συνδέονται μόνο με το ζυγό της μπαταρίας κάθε φορά που η κανονική τροφοδοσία Σ.Ρ. δεν είναι διαθέσιμη (σε αυτή την περίπτωση από μονάδες μετασχηματιστή / ανορθωτή).

Η σύνδεση με το ζυγό και με τη μονάδα φόρτισης γίνεται αυτόματα μέσω ενός ρελέ "φορτιστή / μπαταρία" και αισθητήρια ρελέ.

Όταν η ισχύς είναι διαθέσιμη από το κύριο σύστημα παραγωγής, το συνεχές ρεύμα παρέχεται στον ζυγό της μπαταρίας από μία μονάδα μετασχηματιστή/ανορθωτή και, ταυτόχρονα, στα πηνία των αισθητήριων ρελέ. Με τα ρελέ ενεργοποιημένα, το κύκλωμα μέσω των επαφών A2-A3 διακόπτεται, ενώ τα κυκλώματα μέσω των επαφών B1-B2 ανοίγουν. Ο διακόπτης της μπαταρίας, ο οποίος ελέγχει τη λειτουργία του ρελέ φορτιστή/μπαταρία, είναι κλειστός στη θέση "batt" όταν η κύρια ηλεκτρική ενέργεια είναι διαθέσιμη και ο διακόπτης έκτακτης ανάγκης είναι κλειστός στη θέση "off".

Το ρελέ φορτιστή / μπαταρία είναι διπλού τύπου, το ένα ρελέ είναι λειτουργίας E.P. και το άλλο λειτουργίας Σ.Ρ. Το πηνίο του ρελέ εναλλασσόμενου ρεύματος τροφοδοτείται με ρεύμα από τη μία φάση της κύριας τριφασικής παροχής στο φορτιστή μπαταρίας και το ρελέ ενεργοποιείται από το ρεύμα που περνά στη γείωση μέσω των επαφών B1-B2 των αισθητήριων ρελέ, του διακόπτη της μπαταρίας και του διακόπτη έκτακτης ανάγκης. Με την ενεργοποίηση του ρελέ, κλείνει το ανώτερο σύνολο των επαφών A1-A2 για να συνδεθεί η DC θετική έξοδος από το φορτιστή μπαταρίας στις μπαταρίες, παρέχοντάς τους έτσι με ρεύμα φόρτισης.

Στην περίπτωση διακοπής ρεύματος, ο φορτιστής μπαταριών θα τεθεί εκτός λειτουργίας, το ρελέ του φορτιστή E.P. θα απενεργοποιηθεί προς τη θέση "off" και τα δύο ρελέ ανίχνευσης θα απενεργοποιηθούν επίσης, ανοίγοντας με τον τρόπο αυτό, τις επαφές B1-B2 και κλείνοντας τις επαφές A2-A3. Το κλείσιμο των επαφών A2-A3 επιτρέπει τώρα τη ροή ρεύματος απευθείας από τη μπαταρία στο πηνίο του ρελέ της μπαταρίας Σ.Ρ., το οποίο με την ενεργοποίησή του, θέτει σε λειτουργία το ρελέ E.P., κλείνοντας έτσι τις επαφές B1- B2 που συνδέουν τις μπαταρίες απευθείας στο ζυγό της μπαταρίας.

Η λειτουργία των επαφών του ρελέ της μπαταρίας είναι να συνδεθεί μια παροχή από το ζυγό της μπαταρίας στο ρελέ του κυκλώματος του προειδοποιητικού φωτός έκτακτης ανάγκης. Η μονάδα φόρτισης μετατρέπει την κύρια τριφασική παροχή 115/200 V AC σε μια ελεγχόμενη DC έξοδο με σταθερό ρεύμα και τάση, μέσω ενός μετασχηματιστή και ένα κύκλωμα ανορθωτή γέφυρας πλήρους κύματος.

Το ρεύμα φόρτισης περιορίζεται σε περίπου 65 A, και με σκοπό την παρακολούθηση αυτού και την τάση εξόδου ως συνάρτηση της θερμοκρασίας και τάσης της μπαταρίας, αισθητήρες θερμοκρασίας εντός των μπαταριών είναι συνδεδεμένα με το S.C.R. μέσω ενός κυκλώματος θερμοκρασίας και τάσης αναφοράς και ενός λογικού κυκλώματος. Έτσι, οποιαδήποτε κατάσταση υπερφόρτισης και υπερθέρμανσης και να συμβεί, ελέγχεται από μια τέτοια τιμή του ρεύματος του λογικού κυκλώματος προκαλώντας την S.C.R. να απενεργοποιήσει την τροφοδοσία του ρεύματος φόρτισης.

4. Εξοπλισμός μετατροπής ηλεκτρικής ενέργειας

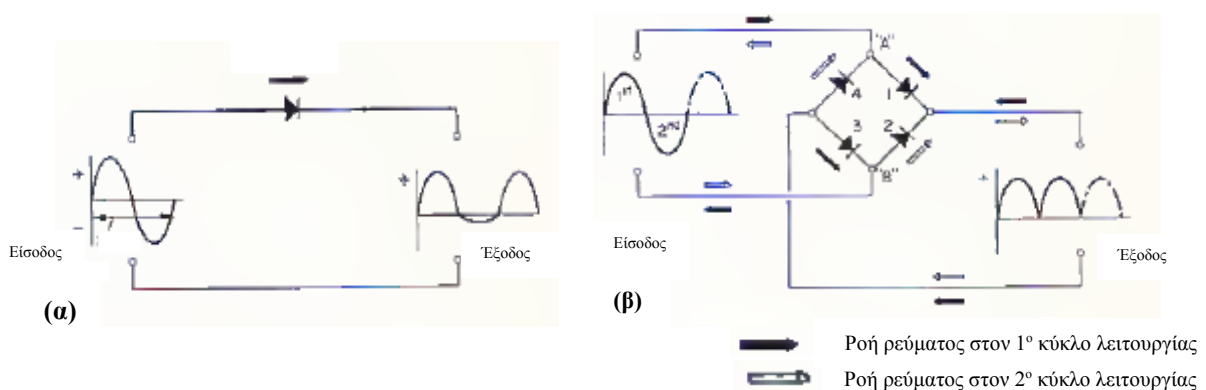
Στις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις αεροσκαφών, χρησιμοποιούνται διαφορετικοί τύποι εξοπλισμού ευρείας κατανάλωσης που απαιτούν διαφορετικά τροφοδοτικά από αυτά που παρέχονται από την κύρια γεννήτρια. Μπορεί επίσης να σημειωθεί ότι, ορισμένα τμήματα των κυκλωμάτων των εξοπλισμών απαιτούν διαφορετικούς τύπους παροχής ηλεκτρικού ρεύματος και διαφορετικά επίπεδα του ίδιου τρόπου τροφοδοσίας. Ως εκ τούτου, καθίσταται αναγκαία η χρήση όχι μόνο εξοπλισμού που θα μετατρέψει την ηλεκτρική ενέργεια από μια μορφή σε άλλη, αλλά και τον εξοπλισμό που θα μετατρέψει μια μορφή τροφοδοσίας σε μια υψηλότερη ή χαμηλότερη τιμή. Ο εξοπλισμός που απαιτείται για τη μετατροπή των κύριων τροφοδοτικών μπορεί γενικά να χωριστεί σε δύο βασικές κατηγορίες, τον στατικό και τον περιστροφικό.

4.1 Στατικός εξοπλισμός

4.1.1 Ανορθωτές

Η διαδικασία μετατροπής του εναλλασσομένου ρεύματος σε συνεχές είναι γνωστή ως διόρθωση και κάθε στατική συσκευή που χρησιμοποιείται για το σκοπό αυτό είναι γνωστή ως ανορθωτής.

Οι ανορθωτές χρησιμοποιούνται σε μονοφασικά και τριφασικά συστήματα παροχής και ανάλογα με τις απαιτήσεις μετατροπής ενός κυκλώματος ή συστήματος, μπορούν να διαταχθούν για να δώσουν είτε ανόρθωση μισού κύματος είτε πλήρους κύματος. Στην πρώτη διάταξη, η DC έξοδος είναι διαθέσιμη μόνο κατά τη διάρκεια εναλλαγής μισού κύκλου μιας AC εισόδου, ενώ στη δεύτερη, μια DC έξοδος είναι διαθέσιμη σε όλο τον κύκλο. Το κύκλωμα ενός δεύτερου κύματος μιας φάσης που φαίνεται στο παρακάτω σχήμα είναι το απλούστερο δυνατό κύκλωμα για έναν ανορθωτή.

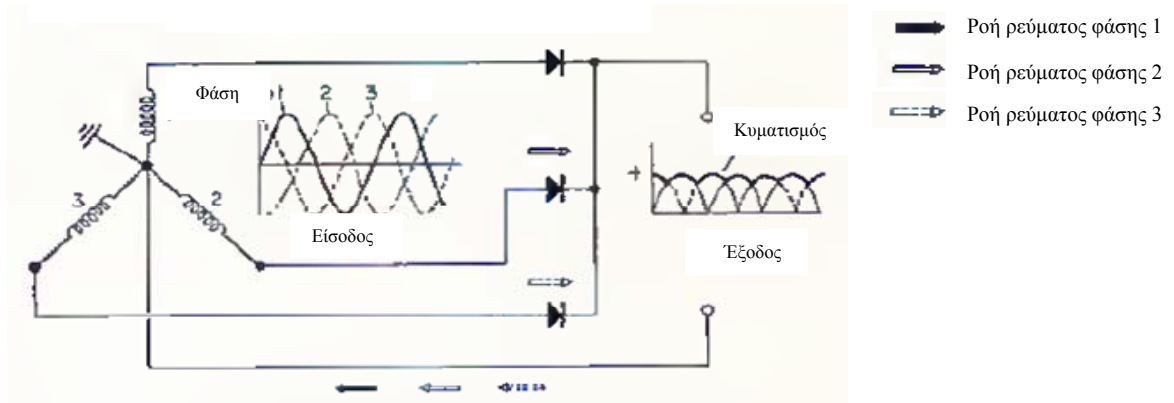


Σχήμα 4.1	Μονοφασική ανόρθωση (α) Μισού κύματος (β) Πλήρους κύματος
------------------	--

Η έξοδος από τον ενιαίο ανορθωτή είναι μια σειρά θετικών παλμών, ο αριθμός των οποίων είναι ίσος με τη συχνότητα της τάσης εισόδου.

Για μια μονοφασική εναλλασσόμενη τάση εισόδου διάρκειας ενός πλήρους κύκλου, χρησιμοποιείται μια σύνδεση γέφυρας ανορθωτή του σχήματος (β).

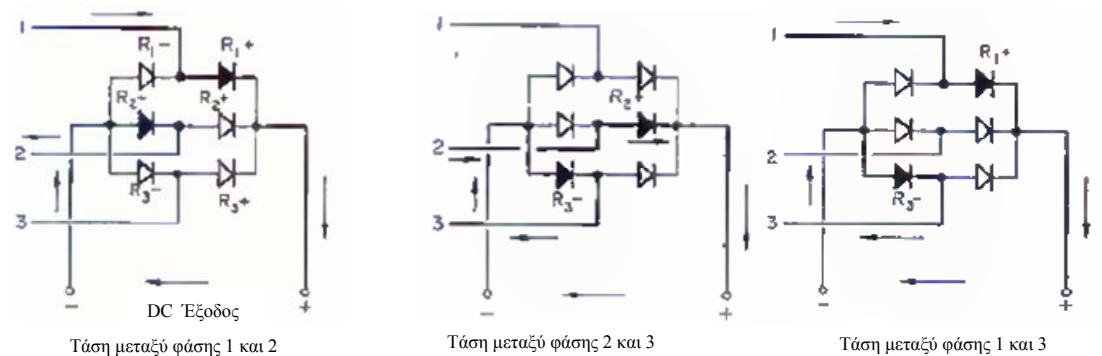
Για ανόρθωση μισού κύματος τριφασικού εναλλασσόμενου ρεύματος, το κύκλωμα αποτελείται από τρεις ανορθωτές με τον τρόπο που φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.

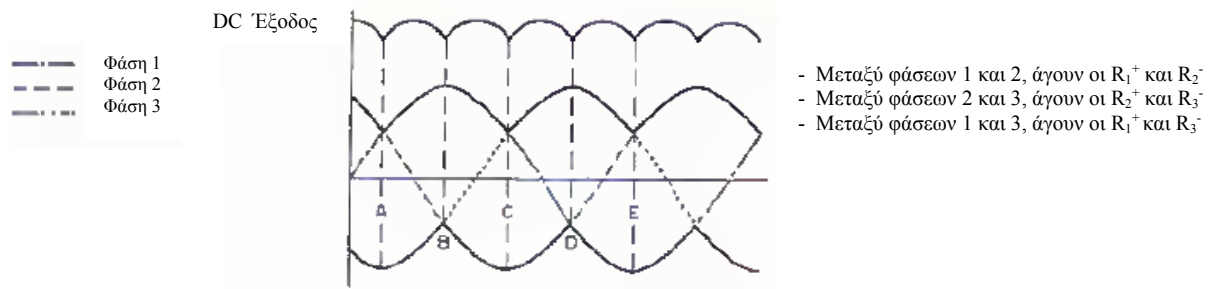


Σχήμα 4.2 Τριφασική ανόρθωση μισού κύματος

Αυτή η διάταξη είναι συγκρίσιμη με τρία κυκλώματα μονοφασικής ανόρθωσης, αλλά δεδομένου ότι οι θετικοί ημι-κύκλοι εισόδου που συμβαίνουν κατά χρονικά διαστήματα του ενός τρίτου του κύκλου (120 μοίρες), ο αριθμός των παλμών ή συχνότητα κυματισμών αυξάνει έως τρεις φορές την τροφοδοσία και έτσι σχηματίζεται μια πιο ομαλή κυματομορφή εξόδου.

Το παρακάτω σχήμα δείχνει τη διάταξη του κυκλώματος για την ανόρθωση πλήρους κύματος τριφασικού εναλλασσόμενου ρεύματος. Αυτή είναι ένας τύπος γέφυρας που χρησιμοποιείται συνήθως για διόρθωση τάσης σε αεροσκάφη.





Σχήμα 4.3 Λειτουργία γέφυρας ανόρθωσης πλήρους κύματος

Σε αυτόν τον τύπο κυκλώματος, μόνο δύο ανορθωτές άγουν ανά πάσα στιγμή· μία στη θετική πλευρά και η άλλη στην αρνητική πλευρά. Επίσης, η τάση που εφαρμόζεται στο δίκτυο της γέφυρας είναι εκείνη ανάμεσα σε δύο από τις φάσεις, δηλαδή την τάση δικτύου.

Τα σημεία "A" και "B" για τις τρεις καμπύλες της φασικής τάσης αντιπροσωπεύουν την τάση της γραμμής μεταξύ των φάσεων 1 και 2 της τροφοδοσίας και από το διάγραμμα του κυκλώματος φαίνεται ότι μόνο οι ανορθωτές R_1^+ και R_2^- θα άγουν. Από το "B" στο "C" η τάση της γραμμής αντιστοιχεί με εκείνη μεταξύ των φάσεων 1 και 3 και τώρα ο R_1^+ άγει σε συνδυασμό με τον R_3^- . Μεταξύ των σημείων "C" και "D" η τάση της γραμμής αντιστοιχεί σε εκείνη μεταξύ των φάσεων 2 και 3, έτσι ώστε ο ανορθωτής R_2^+ να άγει σε συνδυασμό με τον R_3^- .

Αυτή η διαδικασία συνεχίζεται μέσα από τις υπόλοιπες τρεις διαδρομές αγωγής, την αλληλουχία των σχετικών φάσεων και των ανορθωτών που άγουν. Η τάση εξόδου, η οποία καθορίζεται από την απόσταση μεταξύ των θετικών και αρνητικών κορυφών, αποτελείται από τις κορυφές των διαφορών τάσεων γραμμής για γωνίες φάσης 30 μοιρών σε κάθε πλευρά του μέγιστού τους.

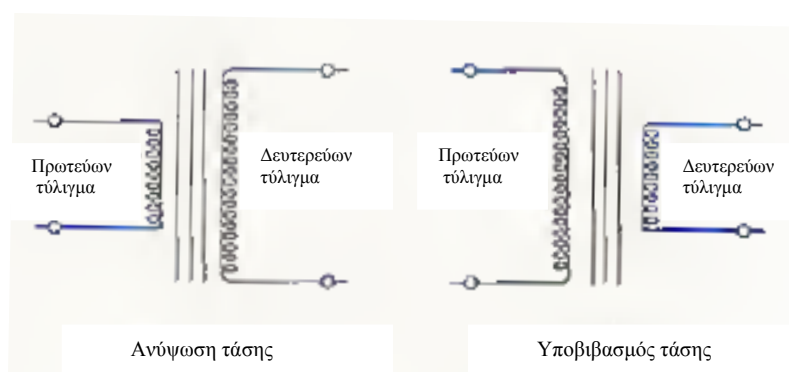
Δεδομένου ότι συμπεριλαμβάνονται τα αρνητικά ημικύκλια, τότε η συχνότητα κυματισμού της εξόδου του ανορθωτή γέφυρας είναι έξι φορές μεγαλύτερη από αυτή της AC εισόδου και έτσι παράγεται μια πιο ομαλή κυματομορφή.

4.1.2 Μετασχηματιστές

Ο μετασχηματιστής είναι μια συσκευή για τη μετατροπή εναλλασσόμενου ρεύματος μίας συχνότητας και τάσης σε εναλλασσόμενο ρεύμα με την ίδια συχνότητα, αλλά σε άλλη τάση. Αποτελείται από τρία κύρια μέρη:

- (i) ένα πυρήνα σιδήρου ο οποίος παρέχει ένα κύκλωμα χαμηλής μαγνητικής αντίστασης για ένα εναλλασσόμενο μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται από,
- (ii) ένα πρωτεύον τύλιγμα το οποίο συνδέεται με την κύρια πηγή τάσης και
- (iii) ένα δευτερεύον τύλιγμα που δέχεται ηλεκτρική ενέργεια με αμοιβαία επαγωγή από το πρωτεύον τύλιγμα και το παραδίδει στο δευτερεύον κύκλωμα.

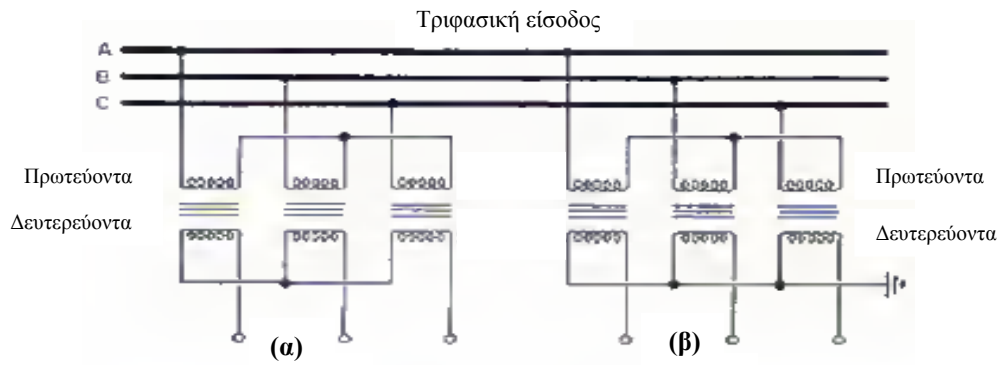
Υπάρχουν δύο κατηγορίες των μετασχηματιστών, μετασχηματιστές τάσης και μετασχηματιστές ρεύματος.



Σχήμα 4.4	Λειτουργία μετασχηματιστή
-----------	---------------------------

4.1.2.1 Μετασχηματιστές Τάσης

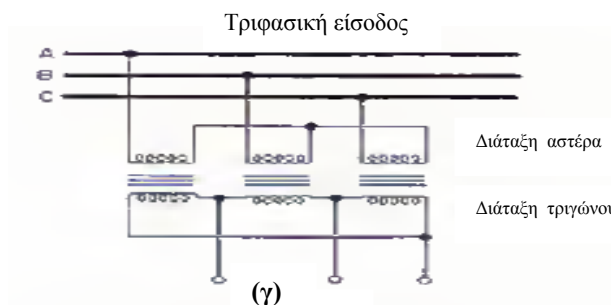
Οι μετασχηματιστές τάσης συνδέονται έτσι ώστε τα κύρια τυλίγματα να βρίσκονται παράλληλα με την τάση τροφοδοσίας· τα πρωτεύοντα τυλίγματα των μετασχηματιστών ρεύματος συνδέονται σε σειρά. Ένας μονοφασικός μετασχηματιστής είναι για τη μετατροπή της τάσης από μία μονοφασική παροχή ή από οποιαδήποτε μία φάση μιας τριφασικής παροχής. Ο μετασχηματισμός του τριφασικού εναλλασσόμενου ρεύματος μπορεί να πραγματοποιηθεί με τρεις ξεχωριστούς μονοφασικούς μετασχηματιστές, ή από έναν μόνο τριφασικό μετασχηματιστή. Οι μετασχηματιστές για τριφασικά κυκλώματα μπορούν να συνδεθούν σε έναν από τους πολλούς συνδυασμούς των συνδέσεων αστέρα και τριγώνου, ανάλογα με τις απαιτήσεις για το μετασχηματιστή.



Σχήμα 4.5.1	Συνδέσεις μετασχηματιστή σε αστέρα
-------------	------------------------------------

Όταν η σύνδεση αστέρα χρησιμοποιείται σε τριφασικούς μετασχηματιστές για τη λειτουργία τριφασικού εξοπλισμού, ο μετασχηματιστής μπορεί να συνδεθεί ως τριφασικό σύστημα (α). Εάν τα μονοφασικά φορτία πρέπει να τροφοδοτηθούν από μια τριφασική παροχή, είναι μερικές φορές δύσκολο να παραμείνουν σταθερά, και επομένως είναι απαραίτητο να παρέχεται ένα τέταρτο φορτίο έτσι ώστε οι συνδέσεις των φορτίων να μπορούν να γίνουν μεταξύ αυτού του φορτίου και οποιασδήποτε από τις τριφασικές γραμμές (β).

Η σύνδεση των ουδέτερων σημείων των δύο τυλιγμάτων αστέρα, μερικές φορές είναι ανεπιθύμητη, διότι αυτή παρέχει μια εξωτερική διαδρομή για τη ροή ορισμένων αρμονικών ρευμάτων τα οποία μπορούν να οδηγήσουν σε παρεμβολή με τον ραδιοφωνικό εξοπλισμό επικοινωνιών. Αυτό συνήθως μπορεί να ξεπεραστεί, συνδέοντας ένα από τα τυλίγματα των μετασχηματιστών σε διάταξη τριγώνου, για παράδειγμα, αν ο μετασχηματιστής παρέχει ένα μη μεταβλητό φορτίο, τότε το πρωτεύον τυλίγμα θα είναι σε διάταξη αστέρα και το δευτερεύον θα είναι σε διάταξη τριγώνου όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (γ).

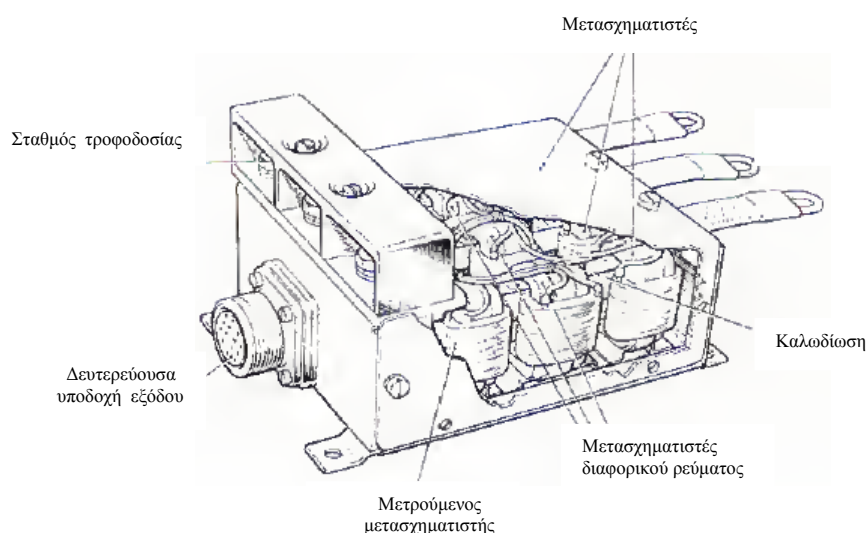


Σχήμα 4.5.2	Σύνδεση μετασχηματιστή σε αστέρα και τρίγωνο
-------------	--

4.1.2.2 Μετασχηματιστές Ρεύματος

Οι μετασχηματιστές ρεύματος χρησιμοποιούνται σε πολλές διατάξεις γεννητριών εναλλασσόμενου ρεύματος και συστήματα προστασίας σε συνδυασμό με τα αμπερόμετρα εναλλασσόμενου ρεύματος. Αυτοί οι μετασχηματιστές έχουν μια σχέση ρεύματος εισόδου / εξόδου η οποία είναι αντιστρόφως ανάλογη προς την αναλογία των σπειρών των πρωτεύοντων και δευτερευόντων τυλιγμάτων.

Η αρχή λειτουργίας τους είναι η ίδια με εκείνη ενός συμβατικού μετασχηματιστή. Σε ορισμένα συστήματα αεροσκαφών, ένας αριθμός μετασχηματιστών ρεύματος συνδυάζεται σε έναν ενιαίο. Ένα τέτοιο συγκρότημα απεικονίζεται παρακάτω.



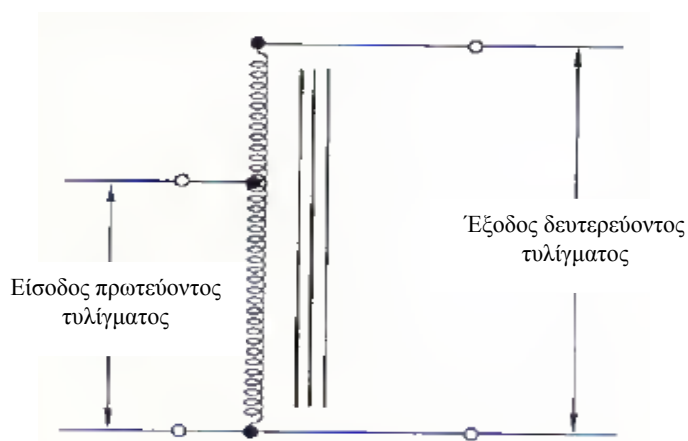
Σχήμα 4.6	Συγκρότημα μετασχηματιστών ρεύματος
------------------	--

Αποτελείται από επτά μετασχηματιστές οι οποίοι τροφοδοτούνται με τάση από πρωτεύοντα τυλίγματα μέσω των τριών σταθμών τροφοδοσίας και από τους μονωμένους ζυγούς τροφοδοσίας που διέρχονται από τους πυρήνες των μετασχηματιστών οι οποίοι είναι διατεταγμένοι σε τρεις σειρές. Σε αντίθεση με την πρακτική που ακολουθείται στους μετασχηματιστές τάσης, κάθε φορά που τα δευτερεύοντα τυλίγματα των μετασχηματιστών ρεύματος αποσυνδεθούν από τα κυκλώματα του φορτίου τους, οι ακροδέκτες πρέπει να είναι βραχυκυκλωμένοι μαζί. Αν δεν γίνει αυτό, μπορεί να αναπτυχθεί μια επικίνδυνη τάση η οποία μπορεί να είναι επιβλαβής για οποιονδήποτε έρθει κατά λάθος σε επαφή με τους ακροδέκτες, ή μπορεί ακόμη και να προκαλέσει ηλεκτρική βλάβη μεταξύ των τυλιγμάτων.

4.1.2.3 Αυτομετασχηματιστές

Σε εφαρμογές κυκλωμάτων, όπου κανονικά απαιτούνται μόνο ένας μικρός προβιβασμός ή υποβιβασμός της τάσης, χρησιμοποιείται ένας ειδικός τύπος μετασχηματιστή και αυτός είναι γνωστός ως αυτομετασχηματιστής.

Η διάταξη του κυκλώματός του παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα και για αυτό θα πρέπει να σημειωθεί ότι πιο αξιοσημείωτο χαρακτηριστικό του, είναι ότι αποτελείται από ένα ενιαίο τύλιγμα το οποίο αξιοποιείται για να σχηματιστούν τα πρωτεύοντα και τα δευτερεύοντα τμήματα.

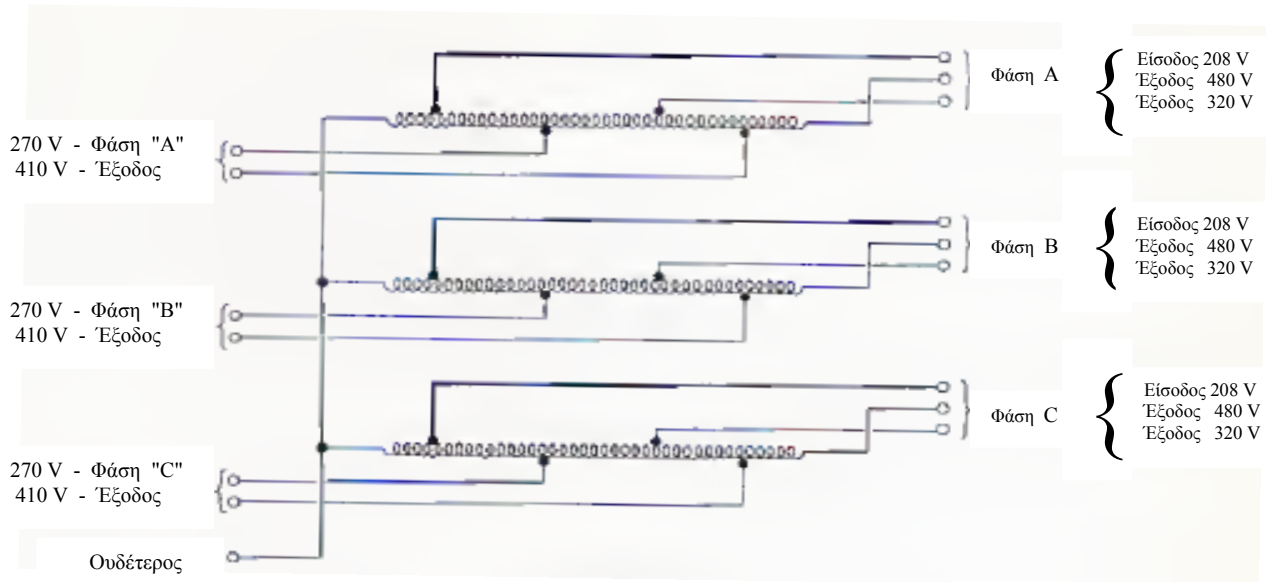


Σχήμα 4.7	Διάταξη κυκλώματος αυτομετασχηματιστή
-----------	---------------------------------------

Όταν εφαρμόζεται μία τάση στους ακροδέκτες, το ρεύμα θα ρέει διαμέσου του τμήματος των τυλιγμάτων και θα εκτείνεται ως αυτούς τους ακροδέκτες. Η μαγνητική ροή που οφείλεται σε αυτό το ρεύμα, θα ρέει διαμέσου του πυρήνα και ως εκ τούτου, θα συνδεθεί με το σύνολο του τυλίγματος. Αυτές οι σπείρες μεταξύ των πρωτευόντων ακροδεκτών, ενεργούν κατά τον ίδιο τρόπο όπως και στο πρωτεύον τύλιγμα ενός συμβατικού μετασχηματιστή, και έτσι παράγουν μία τάση αυτεπαγωγής αντίστροφη με την εφαρμοζόμενη τάση. Η τάση που επάγεται στις υπόλοιπες σπείρες του τυλίγματος θα είναι επιπρόσθετη, δίνοντας έτσι μια τάση εξόδου δευτερεύοντος τυλίγματος μεγαλύτερη από την εφαρμοζόμενη τάση. Όταν ένα κύκλωμα φορτίου συνδέεται με τους ακροδέκτες δευτερεύοντος τυλίγματος, ένα ρεύμα θα ρέει, λόγω της επαγόμενης τάσης, διαμέσου ολόκληρου του τυλίγματος και θα είναι αντίστροφο με το ρεύμα πρωτεύοντος τυλίγματος στους ακροδέκτες εισόδου. Δεδομένου ότι οι σπείρες μεταξύ των ακροδεκτών του πρωτεύοντος είναι κοινές για τα κυκλώματα εισόδου και εξόδου, μεταφέρουν όμοια τη διαφορά μεταξύ επαγόμενου ρεύματος και ρεύματος πρωτεύοντος τυλίγματος.

Οι αυτομετασχηματιστές μπορούν επίσης να σχεδιαστούν για χρήση σε κυκλώματα όπου απαιτείται τριφασική τάση σε διάφορα επίπεδα.

Η διάταξη κυκλώματος ενός συμβατικού μετασχηματιστή ανύψωσης τάσης εφαρμόζεται στο παρακάτω κύκλωμα.



Σχήμα 4.8 Διάταξη κυκλώματος τριφασικού αυτομετασχηματιστή

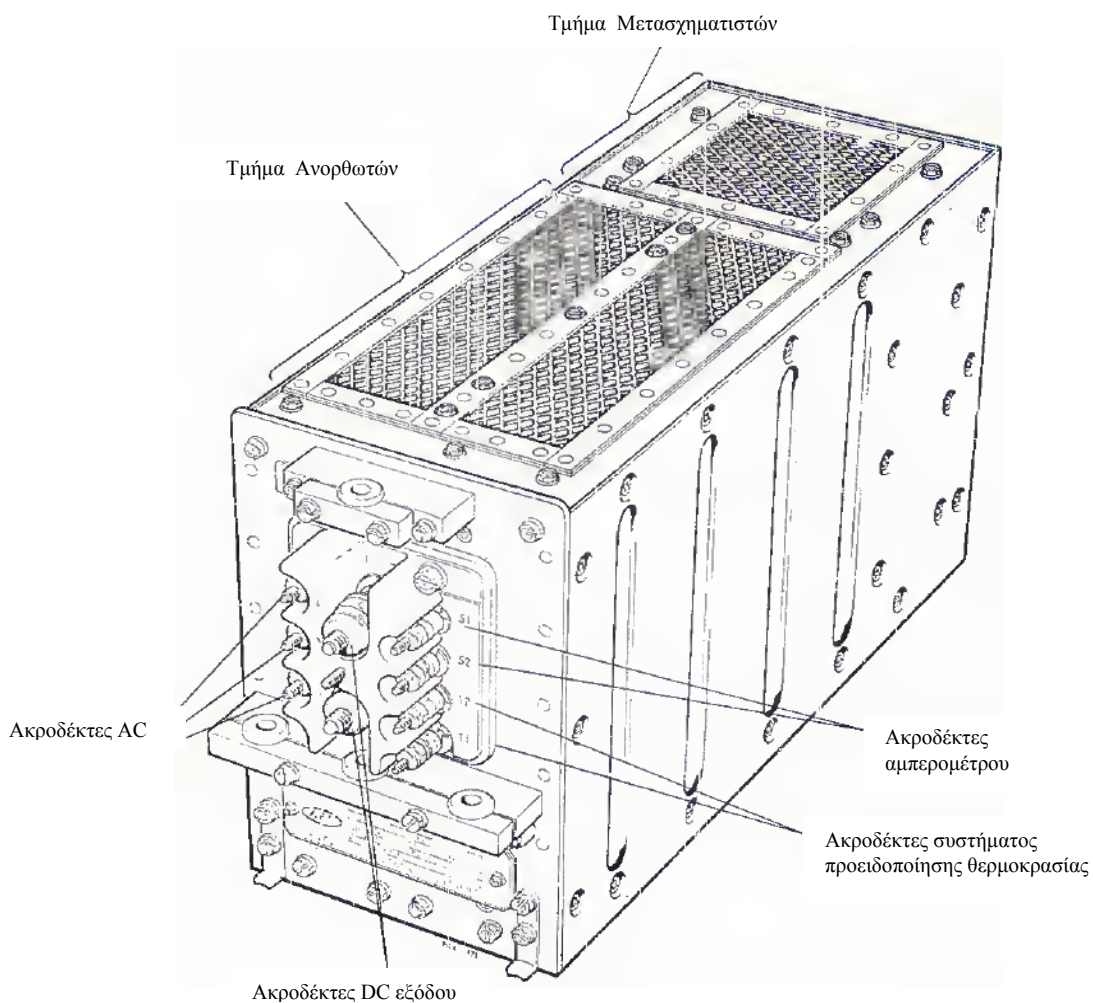
Τα τρία τυλίγματα συνδέονται σε αστέρα και τροφοδοτούνται με την τάση πρωτεύοντος τυλίγματος των 208 V από το σύστημα του εναλλάκτη.

Τα δευτερεύοντα τυλίγματα έχουν τέτοια διάταξη ώστε μέχρι τέσσερα επίπεδα τάσης εξόδου να μπορούν να χρησιμοποιηθούν.

4.1.3 Μονάδες Μετασχηματιστή-Ανορθωτή (T.R.U.)

Οι μονάδες μετασχηματιστή-ανορθωτή (T.R.U.) είναι συνδυασμοί των στατικών μετασχηματιστών και ανορθωτών και χρησιμοποιούνται σε κάποια συστήματα AC ως μονάδες δευτερεύουσας τροφοδοσίας, καθώς επίσης και ως κύριες μονάδες μετατροπής ενέργειας στα αεροσκάφη έχοντας διορθώσει τα συστήματα AC.

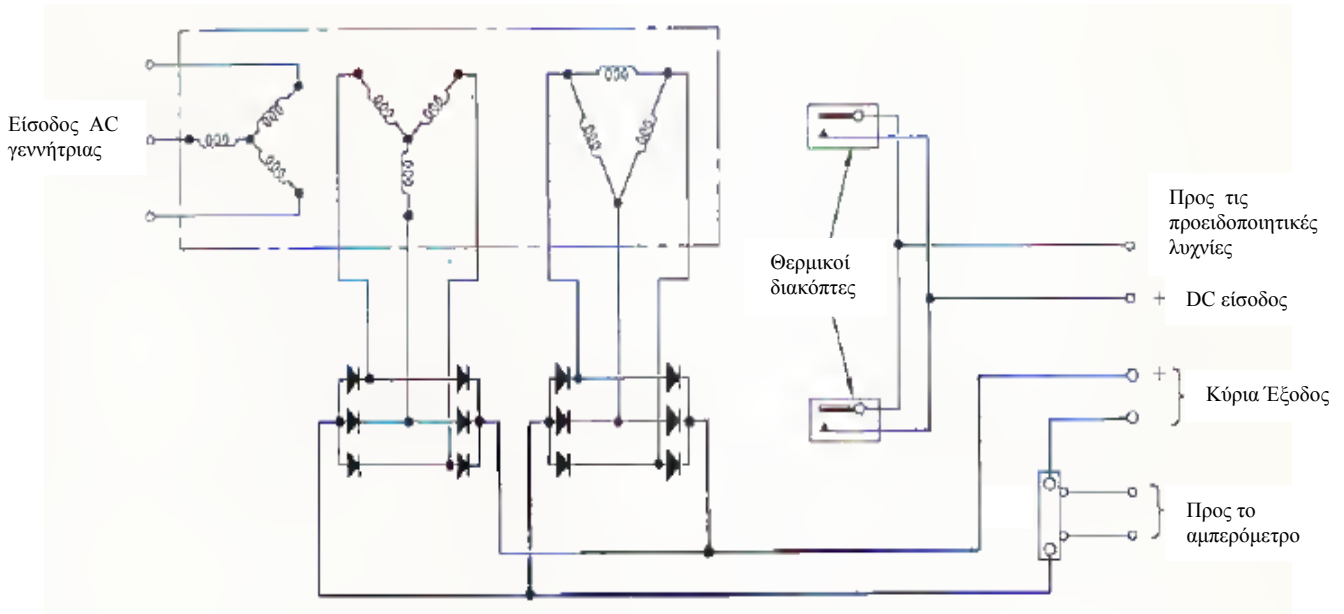
Το παρακάτω σχήμα απεικονίζει ένα T.R.U. σχεδιασμένο να λειτουργεί σε ρυθμιζόμενη τριφασική είσοδο των 200 V σε συχνότητα 400 Hz και να παρέχει μια DC έξοδο 11 A σε περίπου 26 V.



Σχήμα 4.9

Μονάδα Μετασχηματιστή-Ανορθωτή (T.R.U.)

Η διάταξη κυκλώματος του T.R.U. παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 4.10

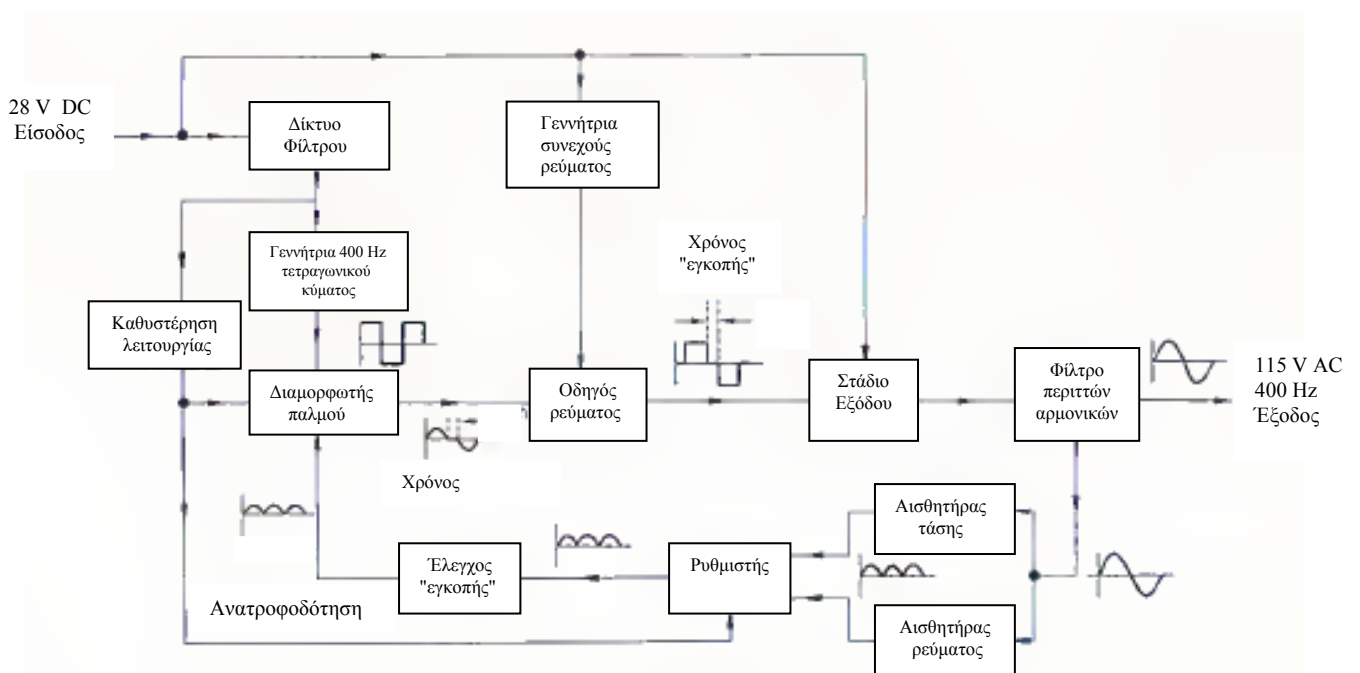
Διάταξη κυκλώματος T.R.U.

Η μονάδα αποτελείται από ένα μετασχηματιστή και δύο συγκροτήματα τριφασικής γέφυρας ανορθωτών που τοποθετούνται σε ξεχωριστά τμήματα του περιβλήματος. Ο μετασχηματιστής έχει το πρωτεύον τύλιγμα σε διάταξη αστέρα και τα δευτερεύοντα τυλίγματα σε διάταξη αστέρα και τριγώνου.

Κάθε δευτερεύον τύλιγμα συνδέεται σε συγκροτήματα γεφυρών ανορθωτών που αποτελούνται από έξι διόδους που συνδέονται παράλληλα. Ένα διακλαδιζόμενο αμπερόμετρο (πτώση τάσης 50 mV στα 100 A) συνδέεται στην πλευρά εξόδου των ανορθωτών για να επιτρέψει στο ρεύμα που λαμβάνεται από τους κύριους ακροδέκτες DC εξόδου να μετριοούνται στους βοηθητικούς ακροδέκτες του αμπερομέτρου. Αυτοί οι ακροδέκτες, μαζί με όλους τους άλλους που σχετίζονται με κυκλώματα εισόδου και εξόδου, ομαδοποιούνται σε ένα πάνελ στο ένα άκρο της μονάδας. Η ψύξη της μονάδας γίνεται μέσω πάνελ εξαερισμού και προκειμένου να δοθεί η προειδοποίηση των συνθηκών υπερθέρμανσης, παρέχονται θερμικοί διακόπτες στα συγκροτήματα των μετασχηματιστών/ανορθωτών και συνδέονται με ανεξάρτητες προειδοποιητικές λυχνίες. Οι διακόπτες παρέχονται με συνεχές ρεύμα από μια εξωτερική πηγή (κανονικά ένας εκ των ζυγών ανατροφοδότησης) και οι επαφές τους κλείνουν, όταν οι συνθήκες θερμοκρασίας στις αντίστοιχες τοποθεσίες τους αυξηθούν σε περίπου 150 °C έως 200 °C.

4.1.4 Στατικοί Μετατροπείς (Inverters)

Αυτοί οι μετατροπείς εκτελούν την ίδια λειτουργία μετατροπής όπως οι μηχανές περιστροφής, αλλά με τη βοήθεια των αρχών λειτουργίας των κυκλωμάτων στερεάς κατάστασης. Αυτοί χρησιμοποιούνται σε διάφορους τύπους αεροσκαφών, σε ορισμένες περιπτώσεις, ως μια κανονική πηγή εναλλασσομένου ρεύματος, αλλά συνήθως για να παρέχουν εναλλασσόμενο ρεύμα σε κατάσταση έκτακτης ανάγκης σε ορισμένα βασικά συστήματα όταν παρουσιαστεί βλάβη στην πηγή των 115V AC. Η λειτουργία ενός μετατροπέα που χρησιμοποιείται για τη μετατροπή τροφοδοσίας της μπαταρίας σε μονοφασική 115V AC παρουσιάζεται στο διάγραμμα του παρακάτω κυκλώματος.



Σχήμα 4.11 Αρχή λειτουργίας στατικού ανορθωτή

Το συνεχές ρεύμα παρέχεται σε κυκλώματα τρανζίστορ ενός δικτύου φίλτρου, ένα διαμορφωτή παλμού, μια γεννήτρια συνεχούς ρεύματος, το στάδιο οδήγησης του ρεύματος και το στάδιο εξόδου. Αφού οι οποιοσδήποτε μεταβολές στην είσοδο έχουν φιλτραριστεί ή εξομαλυνθεί, το συνεχές ρεύμα παρέχεται σε μια γεννήτρια τετραγωνικού κύματος η οποία συμβάλλει στη μετατροπή του πρώτου σταδίου του DC σε τετραγωνικού κύματος μορφή AC και στην απαιτούμενη συχνότητα λειτουργίας των 400 Hz. Η έξοδος αυτή στη συνέχεια τροφοδοτείται σε ένα κύκλωμα διαμορφωτή παλμού το οποίο ελέγχει το πλάτος παλμού του σήματος και αλλάζει τη μορφή του κύματός του πριν περάσει στο στάδιο οδήγησης του ρεύματος.

Θα πρέπει να σημειωθεί από το διάγραμμα ότι το συνεχές ρεύμα που απαιτείται για τη λειτουργία του διαμορφωτή παλμού τροφοδοτείται μέσω ενός κυκλώματος καθυστέρησης λειτουργίας. Ο λόγος για αυτό είναι να καθυστερήσει την έξοδο του διαμορφωτή παλμού προς το στάδιο οδήγησης του ρεύματος έως ότου η τάση έχει σταθεροποιηθεί. Ο οδηγός ρεύματος παρέχει μια συμμετρικά διαμορφωμένη έξοδο με πλάτος παλμού για τον έλεγχο της βαθμίδας εξόδου, το σήμα της οποίας έχει μια τετραγωνική μορφή. Ο οδηγός ρεύματος διαχωρίζεται κάθε φορά που η τάση πέφτει στο μηδέν, δηλαδή κατά τη διάρκεια του "χρόνου εγκοπής".

Το στάδιο εξόδου παράγει επίσης μια έξοδο τετραγωνικού κύματος, αλλά ενός μεταβλητού πλάτους παλμού. Αυτή η έξοδος τελικά τροφοδοτείται σε ένα κύκλωμα φίλτρου το οποίο μειώνει τις συνολικές περιττές αρμονικές ώστε να παράγεται μια έξοδος ημιτονοειδούς κύματος στην τάση και τη συχνότητα που απαιτείται για τη λειτουργία των συστημάτων που συνδέονται με το μετατροπέα.

Όπως και στην περίπτωση άλλων τύπων γεννητριών, η έξοδος ενός στατικού μετατροπέα πρέπει επίσης να διατηρείται εντός ορισμένων ορίων. Στο παραπάνω σχήμα, αυτό γίνεται με τη βοήθεια ενός αισθητήρα τάσης και ενός αισθητήρα ρεύματος, οι οποίοι παράγουν ένα σήμα ανατροφοδότησης διορθωμένου εναλλασσόμενου ρεύματος το οποίο ελέγχει το "χρόνο εγκοπής" της εξόδου του διαμορφωτή παλμού μέσω ενός ρυθμιστή κυκλώματος και ενός κυκλώματος ελέγχου "εγκοπής".

4.2 Περιστροφικός εξοπλισμός

Το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο στοιχείο αυτού του εξοπλισμού είναι η μηχανή που μετατρέπει το συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο και ονομάζεται "περιστροφικός μετατροπέας", "γεννήτρια(με μοτέρ)" και "μετατροπέας".

Και οι τρεις όροι εφαρμόζονται σε μηχανήματα τα οποία, αν και εκτελούν την ίδια λειτουργία, έχουν αρκετά διαφορετικά κατασκευαστικά και ηλεκτρικά χαρακτηριστικά κυκλώματος.

❖ Μετατροπέας

Αυτή είναι, εξ ορισμού, μια σύγχρονη μηχανή με ένα μόνο τύλιγμα οπλισμού και ένα συλλέκτη και δακτυλίου ολίσθησης για τη μετατροπή εναλλασσόμενου ρεύματος σε συνεχές και αντιστρόφως.

❖ Γεννήτριες (με μοτέρ)

Αυτές είναι ένας συνδυασμός από μία ή περισσότερες γεννήτριες άμεσα συνδεδεμένες με έναν ή περισσότερους κινητήρες, έτσι μια μονάδα περιλαμβάνει ουσιαστικά δύο ηλεκτρικά χωριστές μηχανές μηχανικά συζευγμένες. Μια μονάδα μετατροπής συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο χρησιμοποιείται σε έναν ή δύο τύπους αεροσκαφών για την δευτερεύουσα παροχή του εναλλασσόμενου ρεύματος.

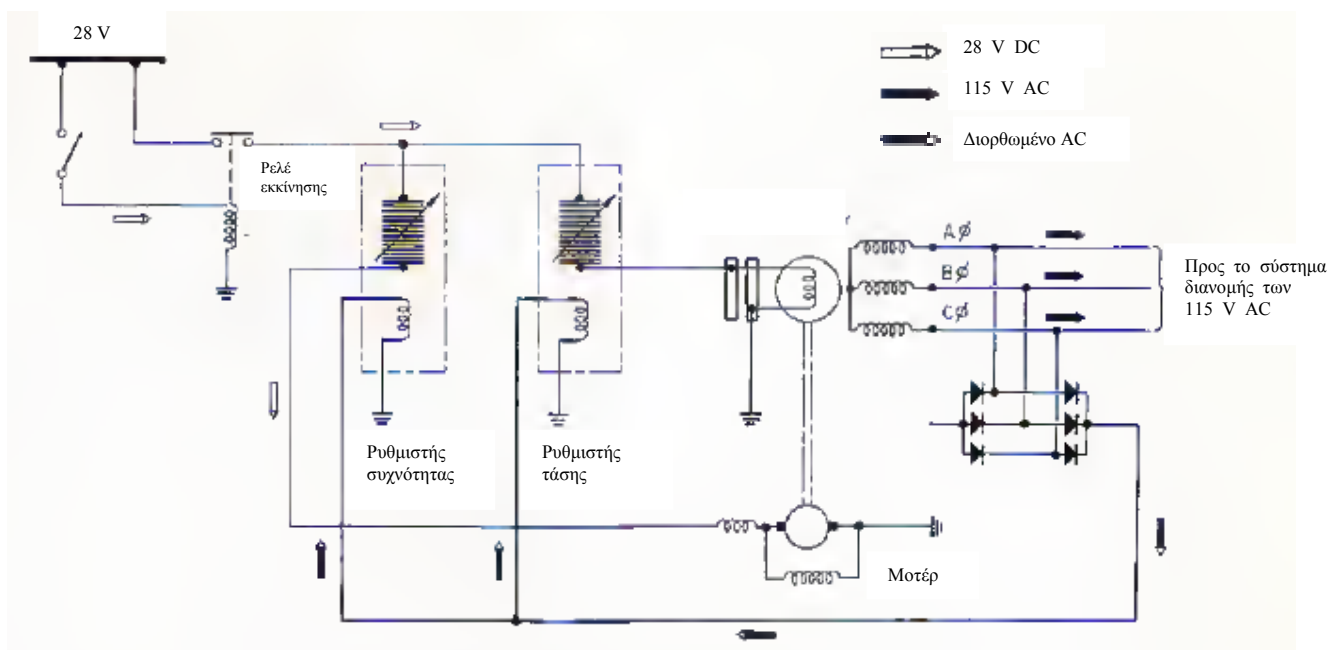
❖ Αντιστροφέας

Αυτός ο όρος είναι γενικά αποδεκτός για τύπους περιστροφικού μετατροπέα του συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο που έχει ένα ξεχωριστό DC οπλισμό και τυλίγματα του ρότορα εναλλασσόμενου ρεύματος τα οποία βρίσκεται στην ίδια θέση και μοιράζονται το ίδιο σύστημα. Το εναλλασσόμενο ρεύμα εξόδου προκύπτει από τον ρότορα μέσω των δακτυλίων ολίσθησης.

4.3 Ρύθμιση Τάσης και Συχνότητας

Η ρύθμιση της τάσης εξόδου και της συχνότητας μεταξύ των στενών ορίων είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας της λειτουργίας του μετατροπέα, καθώς και οι μέθοδοι ελέγχου είναι ποικίλες, αλλά, στις περισσότερες περιπτώσεις, βασίζονται σε αυτές που χρησιμοποιούνται στα συστήματα ελέγχου των γεννητριών συνεχούς και εναλλασσόμενου ρεύματος.

Το παρακάτω σχήμα δείχνει σε απλοποιημένη μορφή το κύκλωμα του συστήματος ελέγχου σχεδιασμένο για τη ρύθμιση της τάσης και της συχνότητας της γεννήτριας.



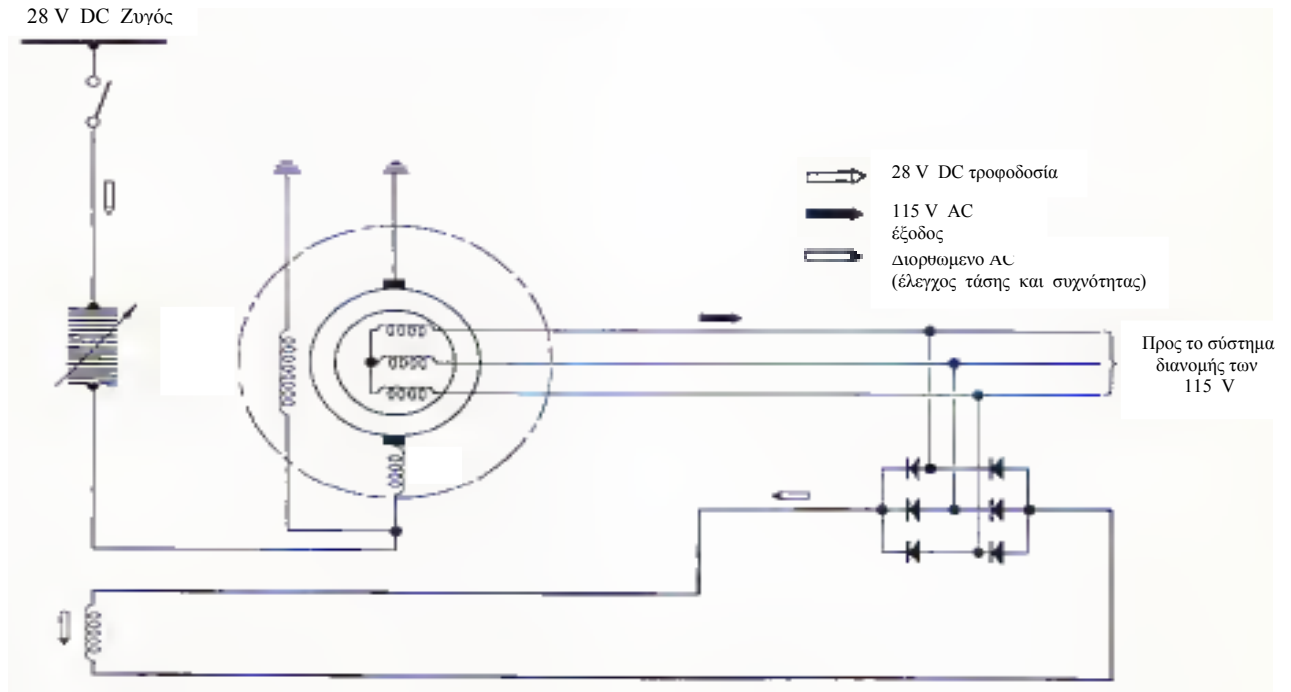
Σχήμα 4.12 Αρχή λειτουργίας στατικού μετατροπέα

Όταν η γεννήτρια είναι σε λειτουργία, το ρελέ εκκίνησης ενεργοποιείται και τροφοδοτείται με συνεχές ρεύμα, μέσω των επαφών του ρελέ, το σύστημα του μοτέρ καθώς και το τύλιγμα του δρομέα της γεννήτριας. Με αυτόν τον τρόπο, ο ρότορας κινεί τη γεννήτρια η οποία παράγει μια τριφασική έξοδο στο τύλιγμα του στάτη. Στο κύκλωμα του κινητήρα, γίνεται έλεγχος της συχνότητας λόγω του γεγονότος ότι η αντίσταση ελέγχει την ταχύτητα του μοτέρ και της γεννήτριας. Το πηνίο τάσης κάθε ρυθμιστή τροφοδοτείται με συνεχές ρεύμα από τους ανορθωτές συνδεδεμένο με μία φάση του στάτη της γεννήτριας.

Εάν κατά τη διάρκεια της λειτουργίας, η τάση εξόδου της γεννήτριας μεταβληθεί, τότε ένα αυξανόμενο ή ελαττωμένο ρεύμα θα ρέει στο πηνίο του ρυθμιστή τάσης για να ποικίλει η αντίσταση και η διέγερση της γεννήτριας, ώστε να αποκαταστήσει την τάση στην ονομαστική τιμή της. Ομοίως, εάν η συχνότητα εξόδου μεταβληθεί, ένα αυξανόμενο ή ελαττωμένο ρεύμα θα ρέει στη σπείρα του ρυθμιστή συχνότητας. Το αποτέλεσμα επιτυγχάνεται με τη βοήθεια ενός συμπυκνωτή και ενός πηνίου που συνδυάζονται για να σχηματίσουν ένα παράλληλα συντονισμένο κύκλωμα κατά το οποίο η συχνότητα προσδιορίζει την ποσότητα ρεύματος που ρέει. Στην περίπτωση αυτή, το ρεύμα του πηνίου μειώνεται καθώς αυξάνεται η συχνότητα και αυξάνεται καθώς μειώνεται η συχνότητα.

Δεδομένου ότι ο ρυθμιστής συχνότητας είναι σε σειρά με το διακλαδιζόμενο τύλιγμα του κινητήρα, γίνεται μια μεταβολή στην αντίσταση για να ρυθμίσει τη συχνότητα ελέγχοντας την ταχύτητα του μοτέρ και της γεννήτριας. Εάν συμβεί κάποια μεταβολή στην DC τροφοδοσία του κινητήρα, η αυξανόμενη ή ελαττωμένη ταχύτητα του κινητήρα θα οδηγήσει τόσο σε διακύμανση της τάσης και της συχνότητας εξόδου της γεννήτριας, έτσι ώστε και οι δύο ρυθμιστές να τεθούν ταυτόχρονα σε λειτουργία ώστε να διορθωθεί η μεταβολή αυτή.

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται το ελεγχόμενο κύκλωμα της γεννήτριας και αυτό είναι μια απλή εφαρμογή της αρχής ρυθμιστών.



Σχήμα 4.13	Σύστημα ελέγχου τάσης και συχνότητας ανορθωτή
------------	---

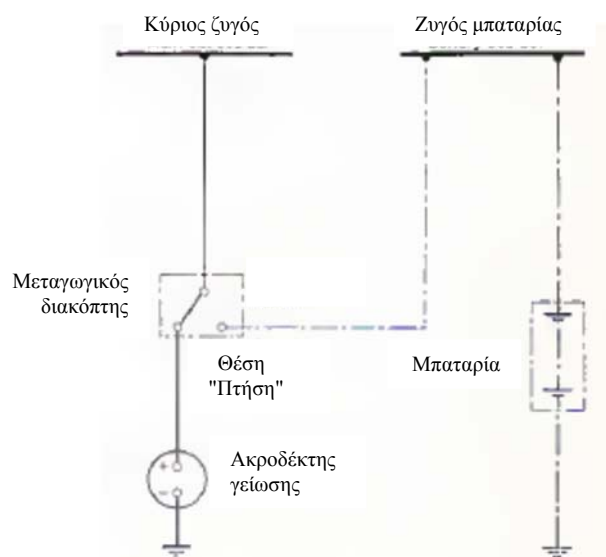
Το εναλλασσόμενο ρεύμα εξόδου ανορθώνεται και παρέχεται στο πηνίο του ρυθμιστή τάσης που μεταβάλλει την αντίσταση με τον συνήθη τρόπο και αυτό, με τη σειρά του, μεταβάλλοντας τη ροή ρεύματος για να κρατήσει τόσο την τάση όσο και τη συχνότητα της εναλλασσόμενης τάσης εξόδου εντός ορίων.

5. Επίγεια Τροφοδοσία Ηλεκτρικής Ενέργειας

Η ηλεκτρική ενέργεια απαιτείται για την εκκίνηση των κινητήρων, για τη λειτουργία ορισμένων υπηρεσιών στα αεροδρόμια όπως ο φωτισμός, καθώς και για τον έλεγχο των ηλεκτρικών συστημάτων κατά τη διάρκεια ελέγχων συντήρησης ρουτίνας. Οι μπαταρίες του αεροσκάφους είναι ένα μέσο για την παροχή της απαραίτητης ενέργειας και αν και είναι ικανές να πραγματοποιήσουν την εκκίνηση του κινητήρα, η χωρητικότητά τους δεν επιτρέπει τη χρήση τους σε ευρεία κλίμακα και για αυτό περιορίζονται στην παροχή ενέργειας υπό συνθήκες έκτακτης ανάγκης. Επομένως, είναι απαραίτητο να ενσωματώσουν ένα ξεχωριστό κύκλωμα μέσω του οποίου το ρεύμα μιας εξωτερικής μονάδας τροφοδοσίας μπορεί να ρέει στο σύστημα διανομής ζυγών του αεροσκάφους. Στην απλούστερη μορφή του, ένα σύστημα επίγειας τροφοδοσίας αποτελείται από μια υποδοχή που βρίσκεται στο αεροσκάφος σε ένα εύκολα προσβάσιμο σημείο και ένα διακόπτη για την ολοκλήρωση του κυκλώματος μεταξύ της μονάδας επίγειας τροφοδοσίας και του συστήματος των ζυγών. Εκτός από το σύστημα επίγειας τροφοδοσίας, ορισμένοι τύποι αεροσκαφών φέρουν ξεχωριστές μπαταρίες που μπορούν να τροφοδοτούν τα επίγεια συστήματα σε περίπτωση που μια μονάδα επίγειας τροφοδοσίας δεν είναι διαθέσιμη, προκειμένου να συντηρηθούν οι κύριες μπαταρίες για την εκκίνηση του κινητήρα.

5.1 Συστήματα DC

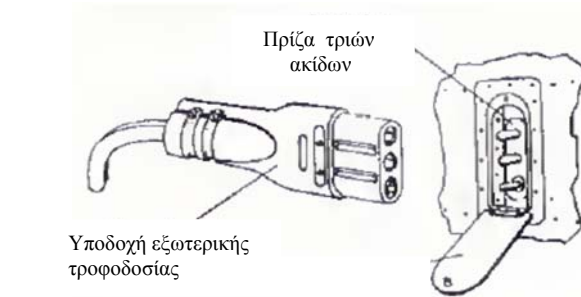
Ένα βασικό σύστημα για την παροχή συνεχούς ρεύματος φαίνεται στο παρακάτω σχήμα και από αυτό μπορεί επίσης να σημειωθεί πως, εκτός από την επίγεια παροχή ηλεκτρικού ρεύματος, η μπαταρία μπορεί να συνδέεται με το κύριο ζυγό, επιλέγοντας τη θέση "πτήση" του διακόπτη.



Σχήμα 5.1 Συμβατικό σύστημα γείωσης

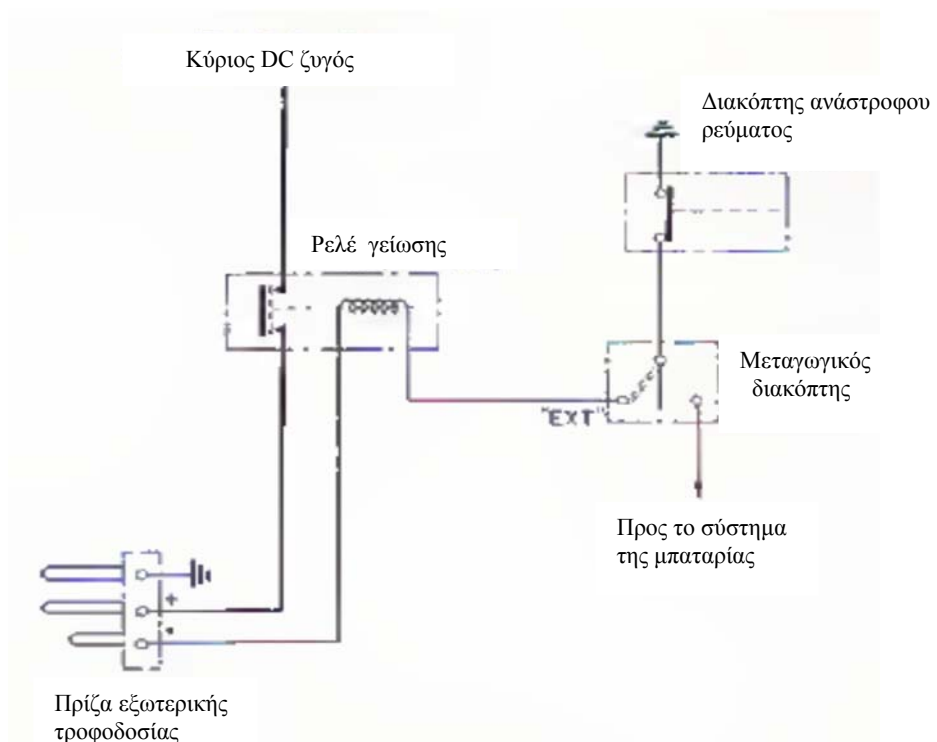
Αυτή είναι η θέση με την οποία επιλέγεται ο διακόπτης, όταν το αεροσκάφος βρίσκεται σε πτήση, αφού υπό αυτές τις συνθήκες, το σύστημα της γεννήτριας τροφοδοτεί τον κύριο ζυγό και η μπαταρία συνεχώς τροφοδοτείται με ρεύμα φόρτισης.

Η υποδοχή για την τροφοδοσία από τη γείωση παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 5.2 Πρίζα εξωτερικής τροφοδοσίας

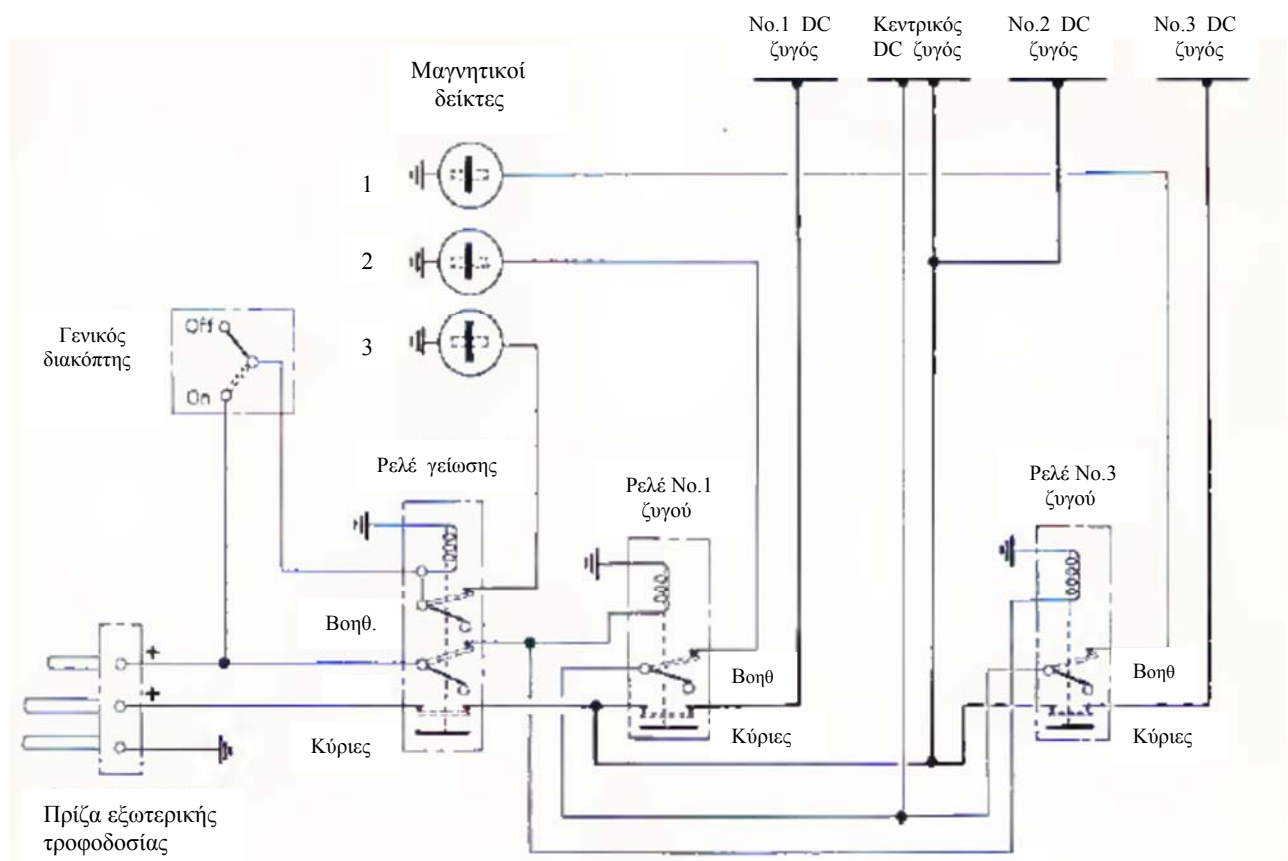
Ένα κύκλωμα που χρησιμοποιεί μία μονάδα βύσματος πολλαπλών ακίδων παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα και από αυτό θα πρέπει να σημειωθεί ότι η μικρή θετική ακίδα είναι συνδεδεμένη στο κύκλωμα πηνίου του ρελέ της γείωσης.



Σχήμα 5.3 Σύστημα εξωτερικής τροφοδοσίας με πρίζα πολλαπλών ακίδων

Ο λόγος για αυτό είναι ότι, σε περίπτωση που η πρίζα της εξωτερικής τροφοδοσίας αποσυνδεθεί με το κύκλωμα "ανοιχτό", το ρελέ της γείωσης θα απενεργοποιηθεί πριν οι κύριες ακίδες απεμπλακούν από την πρίζα. Αυτό εξασφαλίζει ότι η διακοπή της τροφοδοσίας πραγματοποιείται στις επαφές του ρελέ, αποτρέποντας το σχηματισμό τόξου στις κύριες ακίδες.

Σε ορισμένα αεροσκάφη, το συνεχές ρεύμα διανέμεται από ένα σύστημα πολλαπλών ζυγών και είναι απαραίτητο για ορισμένα συστήματα που συνδέονται με κάθε έναν από τις ζυγούς να λειτουργεί όταν το αεροσκάφος βρίσκεται στο έδαφος. Αυτό απαιτεί μια πιο εξελιγμένη διάταξη του συστήματος εξωτερικής τροφοδοσίας και το κύκλωμα μίας τέτοιας διάταξης παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 5.4	Σχεδιάγραμμα συστήματος εξωτερικής τροφοδοσίας πολλαπλών DC ζυγών
------------------	--

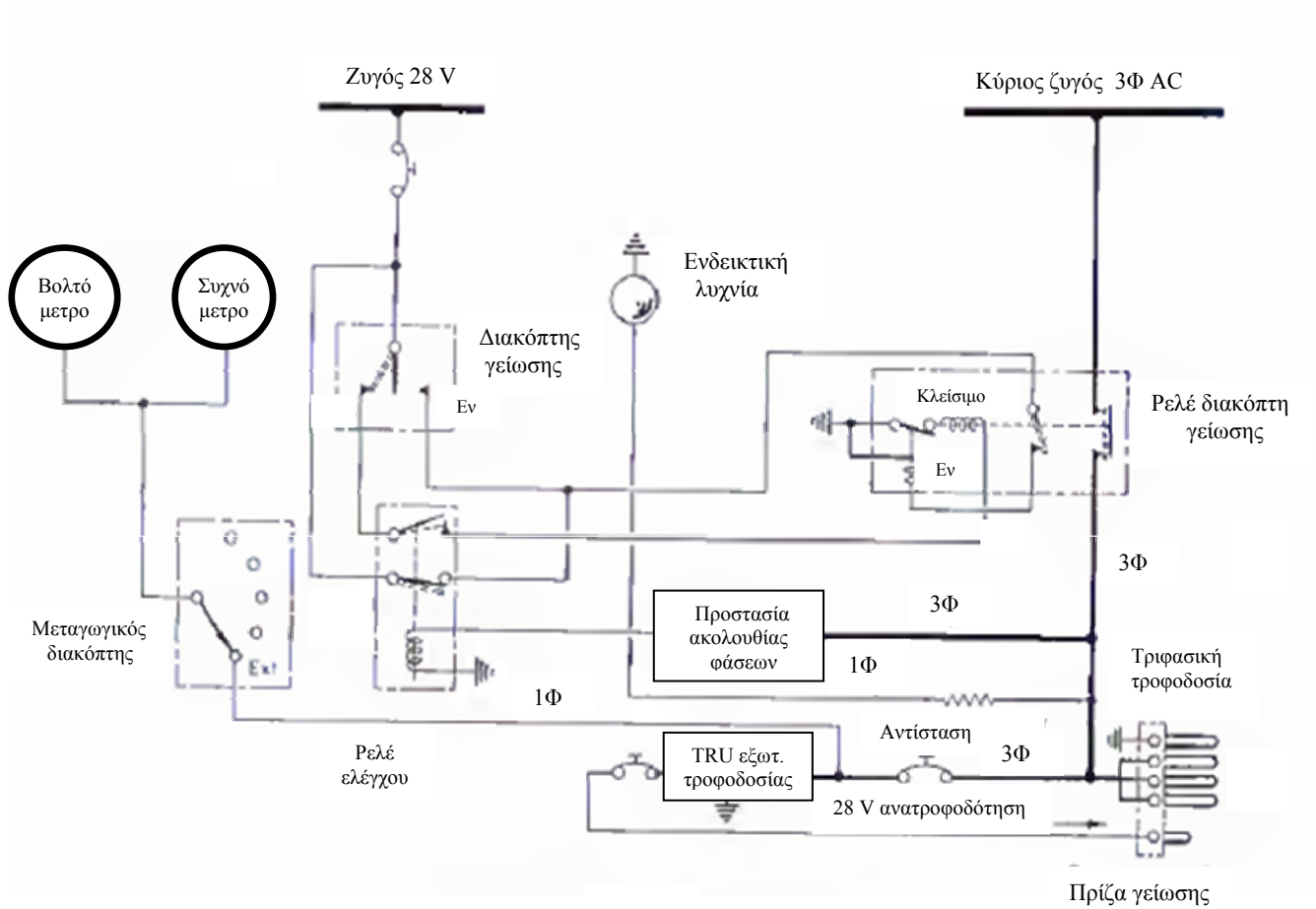
Εκτός από το ρελέ της γείωσης, παρέχονται οι επαφές για σύνδεση των ζυγών, μαζί με μαγνητικούς δείκτες που δείχνουν ότι όλες οι συνδέσεις έχουν πραγματοποιηθεί. Όταν η μονάδα τροφοδοσίας εξωτερικής τροφοδοσίας (GPU) συνδέεται με το αεροσκάφος και ο γενικός διακόπτης είναι "ανοιχτός", ενεργοποιεί το διακόπτη εξωτερικής τροφοδοσίας, κλείνοντας έτσι τις βοηθητικές και κύριες επαφές του.

Με ένα σύνολο βοηθητικών επαφών κλείνει ένα κύκλωμα με ένα μαγνητικό δείκτη που δείχνει τότε ότι η εξωτερική τροφοδοσία είναι συνδεδεμένη και στο "C", ένα δεύτερο σετ επαφών κλείνει κύκλωμα με το πηνίο των ρελέ Νο1 και Νο3, ενώ το τρίτο σετ επαφών συνδέεται απευθείας με την παροχή στον κύριο ζυγό και στο ζυγό Νο2. Όταν και οι δύο διακόπτες ενεργοποιούνται, οι κύριες επαφές τους συνδέουν την τροφοδοσία από το διακόπτη της εξωτερικής τροφοδοσίας στους αντίστοιχους ζυγούς τους. Ένδειξη ότι και οι δύο ζυγοί είναι συνδεδεμένοι με τη γείωση είναι ότι οι μαγνητικοί δείκτες "A" και "B" οι οποίοι ενεργοποιούνται από τον κύριο ζυγό μέσω των βοηθητικών επαφών του ρελέ.

5.2 Συστήματα AC

Σε αεροσκάφη που από την άποψη της ηλεκτρικής ενέργειας είναι κυρίως τύπου εναλλασσομένου ρεύματος, είναι σημαντικό για το σύστημα εξωτερικής τροφοδοσίας της εγκατάστασης να περιλαμβάνει ένα τμήμα μέσα από το οποίο μία εξωτερική πηγή εναλλασσομένου ρεύματος να μπορεί να τροφοδοτείται.

Οι ρυθμίσεις του κυκλώματος για τα κατάλληλα συστήματα ποικίλλουν μεταξύ των διαφόρων τύπων αεροσκαφών και η λειτουργία αυτού παρουσιάζεται στο κύκλωμα του παρακάτω σχήματος.



Σχήμα 5.5	Σχεδιάγραμμα συστήματος εξωτερικής τροφοδοσίας - Σύστημα AC
------------------	--

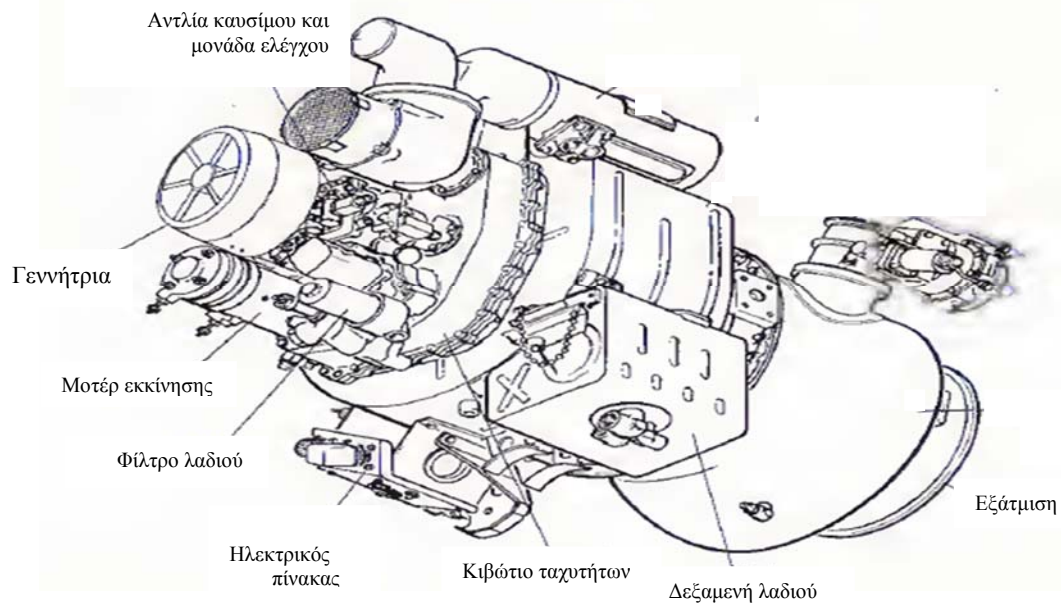
Όταν η εξωτερική τροφοδοσία είναι συνδεδεμένη στη πρίζα, μια τριφασική παροχή τροφοδοτείται στις κύριες επαφές του διακόπτη της εξωτερικής τροφοδοσίας, σε μια μονάδα μετασχηματιστή/ ανορθωτή (T.R.U.) και σε μια μονάδα προστασίας ακολουθίας των φάσεων. Το T.R.U. παρέχει την ανατροφοδότηση των 28V DC σε ένα κύκλωμα αυτοσυγκράτησης της επίγεια μονάδας τροφοδοσίας (GPU). Αν η ακολουθία φάσης είναι σωστή, τότε η μονάδα προστασίας κλείνει το κύκλωμα με το πηνίο του ρελέ ελέγχου, ενεργοποιώντας το. Μια μονοφασική παροχή τροφοδοτείται επίσης και ένα πορτοκαλί φως ανάβει για να δείξει ότι η εξωτερική τροφοδοσία συνδέεται με ένα βολτόμετρο και έναν μετρητή συχνότητας μέσω ενός διακόπτη επιλογής.

Το κύκλωμα ελέγχεται από ένα διακόπτη εξωτερικής τροφοδοσίας που συνδέεται με ένα ζυγό που τροφοδοτείται με 28V DC από το σύστημα μπαταρίας του αεροσκάφους. Όταν ο διακόπτης είναι κλειστός, το ρεύμα ρέει κατά μήκος των κύριων επαφών του ενεργοποιημένου ρελέ ελέγχου προς το πηνίο του διακόπτη εξωτερικής τροφοδοσίας, ενεργοποιώντας το έτσι ώστε να συνδέεται η εξωτερική τροφοδοσία με τον κύριο ζυγό τριφασικού εναλλασσόμενου ρεύματος. Η τροφοδοσία έχει διακοπεί με τη χρήση του διακόπτη της εξωτερικής τροφοδοσίας. Με αυτόν τον τρόπο, τροφοδοτείται το πηνίο του διακόπτη εξωτερικής τροφοδοσίας με μια παροχή συνεχούς ρεύματος, ανοίγοντας έτσι τις κύριες και βοηθητικές επαφές και απομονώνοντας την εξωτερική τροφοδοσία από τον κύριο ζυγό εναλλασσόμενου ρεύματος.

5.3 Εφεδρική μονάδα ισχύος (A.P.U.)

Τα αεροσκάφη είναι σχεδιασμένα έτσι ώστε αν είναι απαραίτητο, να είναι ανεξάρτητα του εξοπλισμού επίγεια υποστήριξης. Αυτό επιτυγχάνεται με την ενσωμάτωση μιας εφεδρικής μονάδας ισχύος (A.P.U.), η οποία, αφού ξεκινάει από το σύστημα της μπαταρίας του αεροσκάφους, παρέχει ρεύμα για την εκκίνηση του κινητήρα και τις άλλες υπηρεσίες που απαιτούν ηλεκτρικό ρεύμα.

Σε μερικές εγκαταστάσεις, το A.P.U. χρησιμοποιείται επίσης για την παροχή ρεύματος κατά την πτήση στην περίπτωση βλάβης ενός κινητήρα και για τη συμπλήρωση της παροχής αέρα στην καμπίνα κατά τη διάρκεια της απογείωσης και της ανόδου. Εκτός από αυτά τα αξεσουάρ απαραίτητα για τη λειτουργία του κινητήρα, το κιβώτιο ταχυτήτων είναι αυτό που βοηθά για την εκκίνηση της γεννήτριας που, ανάλογα με τον τύπο που απαιτείται για ένα συγκεκριμένο αεροσκάφος, μπορεί να παρέχει είτε συνεχές είτε εναλλασσόμενο ρεύμα. Ένας κινητήρας για την εκκίνηση του A.P.U. είναι επίσης ασφαλισμένος στο κιβώτιο ταχυτήτων και λειτουργεί μέσω του συστήματος μπαταρίας του αεροσκάφους.



Σχήμα 5.6	Εφεδρική μονάδα ισχύος (APU)
-----------	------------------------------

6. Καλωδιώσεις και Φωτισμός

Η ποσότητα των καλωδίων που απαιτούνται για ένα σύστημα διανομής εξαρτάται από το μέγεθος και την πολυπλοκότητα των συστημάτων. Ωστόσο, ανεξάρτητα από την ποσότητα, είναι σημαντικό ότι τα καλώδια τοποθετούνται σε ασφαλή σημεία μέσα στο αεροσκάφος ώστε να αποφεύγεται η παρεμβολή λήψης και μετάδοσης σημάτων του εξοπλισμού.

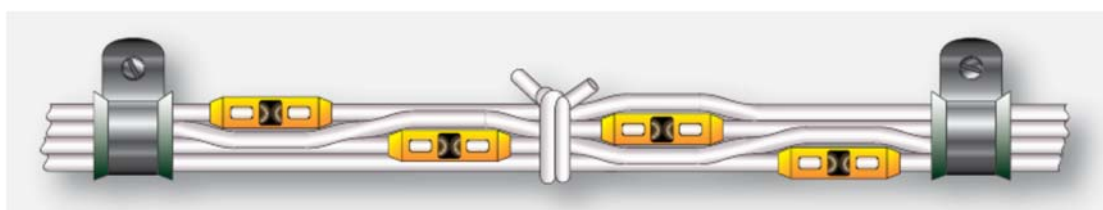
6.1 Μέθοδοι ομαδοποίησης καλωδίων

Διάφορες μέθοδοι υιοθετούνται, βασιζόμενοι επίσης στο μέγεθος και την πολυπλοκότητα, αλλά σε γενικές γραμμές, τα καλώδια μπορούν να καταταγούν σε δύο κύριες κατηγορίες ομαδοποίησης: παράλληλα και σε αγωγούς.

➤ **Παράλληλα :** Σε αυτήν τη μέθοδο, η διαδρομή των καλωδίων ξεκινά από και προς τον εξοπλισμό των καταναλωτών στα συγκεκριμένα τμήματα του αεροσκάφους, ομαδοποιούνται παράλληλα μεταξύ τους σε μια δέσμη και συνδέονται μεταξύ τους.

Η σύνθεση μιας δέσμης καλωδίων υπαγορεύεται από παράγοντες όπως η συνολική διάμετρος, οι συνθήκες θερμοκρασίας, δηλαδή η άνοδος της θερμοκρασίας των καλωδίων όταν λειτουργούν σε συνθήκες μέγιστου ρεύματος τους σε ποικίλες συνθήκες θερμοκρασίας περιβάλλοντος, τύπος ρεύματος :συνεχές ή εναλλασσόμενο, παρεμβολές που προκύπτουν από επαγωγικές ή μαγνητικές επιδράσεις, ο τύπος του κυκλώματος με το οποίο συνδέονται τα καλώδια.

Γύρω από τα καλώδια που μεταφέρουν συνεχές ρεύμα υπάρχουν μαγνητικά πεδία τα οποία θα πρέπει να συνδεθούν με τον εξοπλισμό στην περιοχή ενός μαγνητικού ανιχνευτή πυξίδας και είναι απαραίτητο για τα πεδία να εξαφανιστούν. Αυτό επιτυγχάνεται με τη μεταφορά των καλωδίων (φάσης, γείωσης-επιστροφής) και τη σύνδεση του καλωδίου γείωσης-επιστροφής σε ένα σημείο γείωσης που βρίσκεται σε μια συγκεκριμένη απόσταση ασφαλείας από το μαγνητικό ανιχνευτή της πυξίδας.

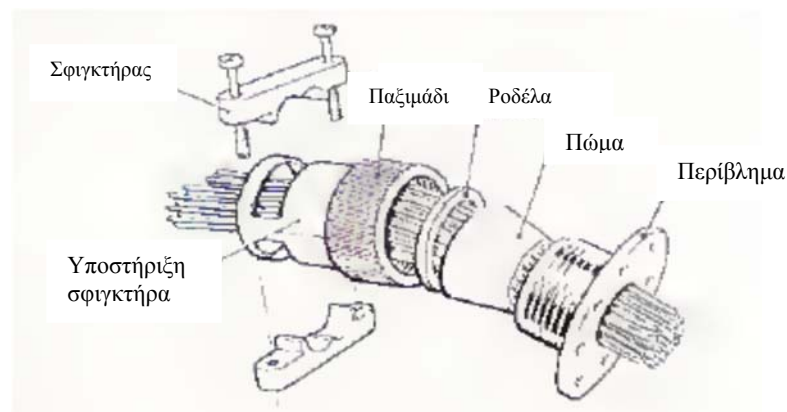


Σχήμα 6.1

Διάταξη καλωδίων παράλληλα

➤ **Σε αγωγούς** : Αυτή η μέθοδος είναι βασικά ίδια με εκείνη της παράλληλης ομαδοποίησης εκτός από το ότι οι δέσμες των καλωδίων ομαδοποιούνται σε αγωγούς οι οποίοι βρίσκονται μέσα στο αεροσκάφος. Σε ορισμένες εφαρμογές αυτής της μεθόδου, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας κύριος αγωγός που περιέχει πολλά κανάλια, όπου κάθε κανάλι υποστηρίζει μία δέσμη καλωδίων που αντιστοιχεί σε ένα συγκεκριμένο σύστημα καταναλωτή.

Στο αεροσκάφος, όπου υπάρχει πίεση, είναι σημαντικό για πολλά καλώδια να διέρχονται από διαφράγματα χωρίς να προκαλείται διαρροή του αέρα της καμπίνας. Αυτό επιτυγχάνεται με τη σφράγιση των αναγκαίων ανοιγμάτων. Ένα παράδειγμα αυτής της διάταξης των καλωδίων φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 6.2

Διάταξη καλωδίων σε αγωγούς

6.2 Κατηγορίες Καλωδίων

❖ **Καλώδια ανάφλεξης** : Αυτά τα καλώδια χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση των υψηλών τάσεων στο σύστημα ανάφλεξης του στροβιλοκινητήρα και είναι μονόκλιωνα καταλλήλως μονωμένα και περικλείονται από ένα μεταλλικό περίβλημα για την αποφυγή βλαβών. Ο αριθμός των καλωδίων που απαιτούνται για το σύστημα αντιστοιχεί σε εκείνον των βυσμάτων ανάφλεξης και έτσι δημιουργείται μια πλήρης καλωδίωση ανάφλεξης. Ανάλογα με τον τύπο της εγκατάστασης του κινητήρα, τα καλώδια μπορεί να περικλείονται από ένα μεταλλικό αγωγό ή μπορεί να είναι γυμνά. Τα καλώδια συνδέονται με τις σχετικές συνιστώσες του συστήματος με ειδικά εξαρτήματα που περιλαμβάνουν είτε μικρά ελατήρια ή περιβλήματα επαφής που προστατεύονται από το καλώδιο του αγωγού, τη μόνωση και από μια διάταξη σπειρωμάτων σύζευξης.

❖ **Καλώδια θερμοστοιχείου** : Αυτά τα καλώδια χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση των δεικτών θερμοκρασίας καυσαερίων των κινητήρων στους αντίστοιχους αισθητήρες θερμοστοιχείων τους. Τα αγωγία υλικά είναι συνήθως τα ίδια με εκείνα που επιλέγονται για τους αισθητήρες, δηλαδή, ο σίδηρος και ο χαλκός για θερμοστοιχεία των δεικτών θερμοκρασίας, χρώμιο και αλουμίνιο για τα θερμοστοιχεία των δεικτών θερμοκρασίας των καυσαερίων.

Στην περίπτωση των συστημάτων ένδειξης θερμοκρασίας, χρησιμοποιείται μόνο ένα θερμοστοιχείο. Για τη μέτρηση θερμοκρασίας καυσαερίων, απαιτείται ένας αριθμός θερμοστοιχείων να τοποθετηθούν κυκλικά και ως εκ τούτου είναι η συνήθης πρακτική, για να διατάσσονται τα καλώδια σε μορφή πλέγματος προσαρμοσμένα να ταιριάζουν σε μια συγκεκριμένη εγκατάσταση κινητήρα. Τα καλώδια τερματίζουν στον κινητήρα ή στο κουτί διακλάδωσης από το οποίο τα καλώδια εκτείνονται ως το δείκτη θερμοκρασίας. Το μονωτικό υλικό των καλωδίων επέκτασης είναι συνήθως τύπου πολυβινυλίου, δεδομένου ότι υπόκεινται σε χαμηλότερες θερμοκρασίες περιβάλλοντος από την καλωδίωση του κινητήρα.

❖ **Ομοαξονικά καλώδια**: Αυτά τα καλώδια περιέχουν δύο ή περισσότερους ξεχωριστούς αγωγούς. Το εσωτερικό του αγωγού μπορεί να είναι τύπου χάλκινου σύρματος και μπορεί να είναι απλό, επάργυρο ή ακόμη και επιχρυσωμένο σε ορισμένες εφαρμογές, ανάλογα με το βαθμό της αγωγιμότητας που απαιτείται. Οι υπόλοιποι αγωγοί βρίσκονται υπό τη μορφή σωλήνων, συνήθως από λεπτό πλέγμα συρμάτων. Εξωτερικά καλύμματα χρησιμεύουν για στεγάνωση των καλωδίων και την προστασία τους από υγρά, μηχανικές και ηλεκτρικές βλάβες. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για τα καλύμματα, κατασκευάζονται έτσι για να ταιριάζουν σε όλες τις μεταβαλλόμενες περιβαλλοντικές συνθήκες.

Τα ομοαξονικά καλώδια έχουν πολλά βασικά πλεονεκτήματα. Κατ' αρχήν, είναι θωρακισμένα έναντι ηλεκτροστατικών και μαγνητικών πεδίων. Ένα ηλεκτροστατικό πεδίο δεν εκτείνεται πέραν του εξωτερικού αγωγού και τα πεδία που οφείλονται στη ροή του ρεύματος των εσωτερικών και εξωτερικών αγωγών αλληλοεξουδετερώνονται. Δεύτερον, δεδομένου ότι τα ομοαξονικά καλώδια δεν εκπέμπουν, σημαίνει ότι δεν λαμβάνουν ενέργεια, ούτε και επηρεάζονται από άλλα ισχυρά πεδία. Επίσης, τα καλώδια αυτά χρησιμοποιούνται για υψηλές συχνότητες μετάδοσης στο αεροσκάφος (ραδιόφωνο/ραντάρ, σύστημα αντι-σύγκρουσης). Με αυτόν τον τρόπο, το αεροσκάφος μπορεί να χρησιμοποιεί μια σειρά από ραδιοσυχνότητες για να πλοηγηθεί στον προορισμό του και να επικοινωνεί με άλλα αεροσκάφη για τον έλεγχο της εναέριας κυκλοφορίας.

6.3 Γείωση καλωδίων

Οι θετικές έξοδοι της τροφοδοσίας των αεροσκαφών και οι θετικοί ακροδέκτες εισόδου των καταναλωτών είναι όλοι συνδεδεμένοι σε ζυγούς που είναι μονωμένοι από τη δομή του αεροσκάφους. Δεδομένου ότι στα περισσότερα αεροσκάφη, η δομή τους είναι από μέταλλο και από επαρκή μάζα ώστε να παραμένουν ηλεκτρικά ουδέτερα, μπορεί κι αυτή να λειτουργεί ως γείωση και έτσι παρέχει τη διαδρομή επιστροφής του ρεύματος. Έτσι, η παροχή ρεύματος και τα κυκλώματα κατανάλωσης μπορούν να ολοκληρωθούν με τη σύζευξη όλων των αρνητικών συνδέσεων με τη δομή σε διάφορα σημεία γείωσης, ο αριθμός και οι θέσεις των οποίων προβλέπεται κατά τρόπο κατάλληλο για το συγκεκριμένο τύπο αεροσκάφους. Αφού αυτό έχει ως αποτέλεσμα το μεγαλύτερο μέρος του καλωδίων που απαιτούνται για τα κυκλώματα να βρίσκονται στη θετική πλευρά μόνο, τότε μια τέτοια ηλεκτρική εγκατάσταση χαρακτηρίζεται ως μονοπολική με σύστημα επιστροφής-γείωσης. Για τα κυκλώματα παροχής εναλλασσόμενου ρεύματος, η μεταλλική δομή του αεροσκάφους χρησιμεύει επίσης ως σύνδεση για τον ουδέτερο.

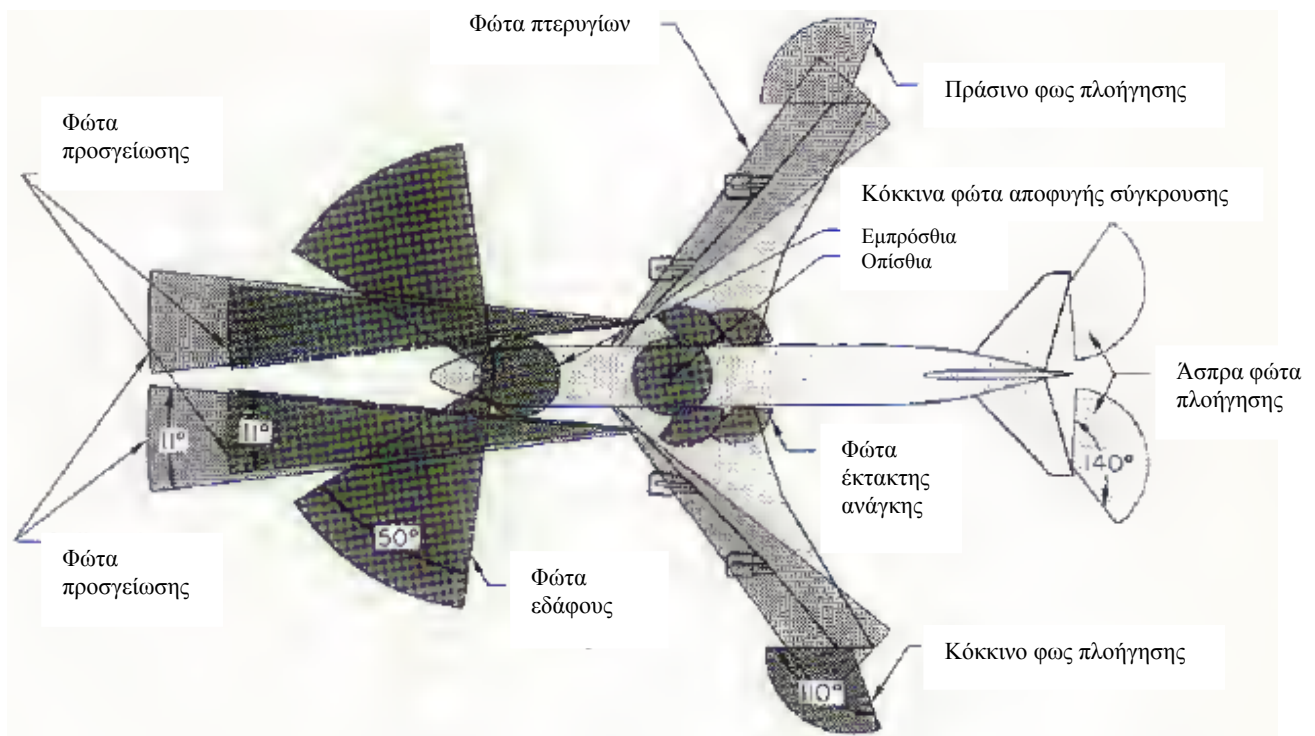
Οι συνδέσεις γείωσης για τις γεννήτριες, τους ανορθωτές-μετασχηματιστές, τις μπαταρίες, εξωτερικές υποδοχές ρεύματος και άλλα φορτία μεγάλου ρεύματος πρέπει να γίνονται με μεμονωμένα σημεία γείωσης που συνδέονται με τη δομή του αεροσκάφους. Αυτή η σύνδεση μαζί με τη δομή πρέπει να παρέχουν επαρκή αγωγιμότητα ώστε να μπορούν να διέρχονται κανονικά τα ρεύματα του συστήματος χωρίς να δημιουργούν μεγάλη πτώση τάσεως ή ζημιά στη δομή του αεροσκάφους.

6.4 Συστήματα φωτισμού αεροσκάφους

Τα συστήματα φωτισμού του αεροσκάφους παρέχουν φωτισμό τόσο για εσωτερική όσο και για εξωτερική χρήση. Τα φώτα στο εξωτερικό παρέχουν φωτισμό για τέτοιες λειτουργίες όπως η προσγείωση το βράδυ και η ασφάλεια από συγκρούσεις. Ο εσωτερικός φωτισμός παρέχει φωτισμό για τα όργανα, το πιλοτήριο, τις καμπίνες και άλλα τμήματα που καταλαμβάνονται από τα μέλη του πληρώματος και των επιβατών. Ορισμένα ειδικά φώτα, όπως τα φώτα ένδειξης και προειδοποίησης, υποδεικνύουν την κατάσταση λειτουργίας του εξοπλισμού.

6.4.1 Εξωτερικά φώτα

Τα φώτα πλοήγησης, αποφυγής, προσγείωσης και εδάφους είναι παραδείγματα εξωτερικού φωτισμού του αεροσκάφους. Μερικά φώτα απαιτούνται για νυχτερινή λειτουργία του αεροσκάφους.



Σχήμα 6.3

Διάταξη Εξωτερικού φωτισμού αεροσκάφους

- **Φώτα πλοήγησης**

Ένα αεροσκάφος που εκτελεί πτήση το βράδυ πρέπει να είναι εφοδιασμένο με φώτα πλοήγησης που πληρούν τις ελάχιστες προϋποθέσεις. Μια δέσμη φωτών πλοήγησης αποτελείται από ένα κόκκινο, ένα πράσινο και ένα λευκό φως. Σε ορισμένους τύπους αεροσκαφών, ένας διακόπτης στο πιλοτήριο χρησιμοποιείται ώστε τα φώτα πλοήγησης να φωτίζουν σταθερά ή να αναβοσβήνουν. Σε πολλά αεροσκάφη, κάθε μονάδα φωτός περιέχει μια λάμπα τοποθετημένη πάνω στην επιφάνεια του αεροσκάφους. Άλλοι τύποι μονάδων φωτός θέσης περιλαμβάνουν δύο λάμπες και συχνά τοποθετούνται στην επιφάνεια του αεροσκάφους.

Η τάση που απαιτείται για τα φώτα είναι συνήθως 28V DC αλλά σε αρκετά αεροσκάφη τύπου εξολοκλήρου εναλλασσόμενου ρεύματος, τα φώτα τροφοδοτούνται με 28V AC μέσω ενός μετασχηματιστή υποβιβασμού τάσης. Η λειτουργία των φωτών πλοήγησης και οι ρυθμίσεις του κυκλώματος τους, αποτελούν παράγοντες που υπαγορεύονται κυρίως από τους κανονισμούς που καθορίζονται για τη λειτουργία της πτήσης.

- **Φώτα αποφυγής σύγκρουσης**

Τα φώτα αποφυγής σύγκρουσης εκτελούν επίσης τη λειτουργία σήμανσης θέσης και σε συνδυασμό με τα φώτα πλοήγησης δίνουν σταθερές συνθήκες φωτισμού και επιτρέπει στη θέση ενός αεροσκάφους να καθορίζεται πιο εύκολα. Ένα σύστημα φωτισμού μπορεί να είναι του τύπου που εκπέμπει μια περιστρεφόμενη ακτίνα φωτός, ή τύπου φάρου από την οποία εκπέμπονται μικρής διάρκειας λάμψης φωτός υψηλής έντασης. Σε ορισμένους τύπους αεροσκαφών χρησιμοποιούνται και οι δύο αυτές μέθοδοι σε συνδυασμό.

❖ Φώτα περιστρεφόμενης ακτίνας φωτός: Αυτά τα φώτα αποτελούνται από έναν λαμπτήρα και ένα μοτέρ. Η τάση που απαιτείται για τη λειτουργία αυτού του τύπου φωτισμού είναι συνήθως 28V DC, αλλά διάφοροι άλλοι τύποι έχουν σχεδιαστεί για τη λειτουργία με AC τροφοδοσία, όπου ο κινητήρας απαιτεί 115 V AC και η μονάδα λαμπτήρων 28V AC μέσω ενός μετασχηματιστή υποβιβασμού. Η ταχύτητα του μοτέρ αυτής της μονάδας φωτισμού είναι τέτοια ώστε η μονάδα λαμπτήρων, ανάλογα με την περίπτωση στην οποία βρίσκεται, να λειτουργεί έτσι ώστε να δημιουργήσει μια δέσμη φωτός η οποία περιστρέφεται σε μία σταθερή συχνότητα. Τυπικές ταχύτητες είναι 40-45 στροφές / λεπτό δίνοντας μία συχνότητα 80-90 Hz / λεπτό.

❖ Φώτα μικρής διάρκειας λάμψης: Αυτός ο τύπος συστήματος φωτισμού βασίζεται στην αρχή ενός πυκνωτή εκφόρτισης. Ανάλογα με το μέγεθος του αεροσκάφους, αυτός ο τύπος φωτισμού μπορεί να εγκατασταθεί στα ακροπερύγια ή μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό ως σύστημα αποφυγής σύγκρουσης φωτισμού μικρής διάρκειας λάμψης υψηλής έντασης.

Η μονάδα φωτισμού συνδέεται σε μία μονάδα παροχής ρεύματος που ουσιαστικά αποτελείται από έναν πυκνωτή, ο οποίος μετατρέπει την τάση εισόδου των 28 V DC ή 115 V AC, ανάλογα με την περίπτωση μπορεί να βρίσκεται, σε μια υψηλή DC τάση εξόδου, συνήθως, 450V. Ο πυκνωτής φορτίζεται σε αυτήν την τάση και εκφορτώνεται περιοδικά μεταξύ δύο ηλεκτροδίων, όπου η ενέργεια που παράγει μια λάμψη φωτός υψηλής έντασης που έχει ένα χαρακτηριστικό λευκό-μπλε χρώμα. Μια τυπική συχνότητα συστήματος φωτισμού που αναβοσβήνει είναι 70 Hz / λεπτό.

- **Φώτα προσγείωσης και εδάφους**

Αυτά τα φώτα παρέχουν επαρκή φωτισμό για την προσγείωση ενός αεροσκάφους προς και από τους διαδρόμους και τερματικές περιοχές κατά τη νύχτα και άλλες φορές και επικρατούν κακές συνθήκες ορατότητας. Τα φώτα προσγείωσης είναι τοποθετημένα κατά τρόπο ώστε να φωτίζουν το διάδρομο αμέσως μπροστά από το αεροσκάφος. Κάθε φως μπορεί να ελέγχεται από ένα ρελέ, ή μπορεί να συνδεθεί απευθείας στο ηλεκτρικό κύκλωμα.

Η ονομαστική ισχύς των φώτων προσγείωσης είναι 600 W, και ανάλογα με το σχεδιασμό, η παροχή τάσης που απαιτείται για τη λειτουργία τους μπορεί να είναι είτε συνεχής στα 28V DC είτε εναλλασσόμενη στα 115V AC μέσω ενός μετασχηματιστή υποβιβασμού. Αντίστοιχα, η ονομαστική ισχύς των φώτων εδάφους είναι 250 W.

6.4.2 Εσωτερικά φώτα

Τα αεροσκάφη είναι εξοπλισμένα με εσωτερικό φωτισμό για να φωτίζει την καμπίνα. Το αεροσκάφος έχει ένα σύστημα φωτισμού που φωτίζει την καμπίνα, ένα ανεξάρτητο σύστημα φωτισμού για τους επιβάτες και ένα σύστημα φωτισμού έκτακτης ανάγκης στο πάτωμα του αεροσκάφους για να βοηθήσει τους επιβάτες του αεροσκάφους κατά τη διάρκεια μιας έκτακτης ανάγκης.

- **Φώτα ηλεκτροακτινοβολίας**

Αυτή η μορφή του φωτισμού χρησιμοποιείται στα αεροσκάφη ως σημεία πληροφόρησης των επιβατών και επίσης, σε ορισμένες περιπτώσεις, για το φωτισμό του οργάνων και των διακοπών. Αυτά τα φώτα χρειάζονται εναλλασσόμενο ρεύμα για τη λειτουργία. Η ένταση του φωτός εξαρτάται από την τάση και τη συχνότητα της τροφοδοσίας του εναλλασσόμενου ρεύματος.

- **Φωτισμός θαλάμου επιβατών**

Η τροφοδοσία που απαιτείται είναι συνεχούς ή εναλλασσόμενου ρεύματος ανάλογα με την περίπτωση και σε όλα τα αεροσκάφη, τα φώτα ελέγχονται από το πίνακα στο θάλαμο των επιβατών. Εκτός από τον κύριο φωτισμό της καμπίνας, τα φώτα παρέχονται επίσης για εξυπηρέτηση των επιβατών και είναι απαραίτητα για το φωτισμό των σημείων πληροφόρησης των επιβατών. Τα φώτα για αυτές τις ενδείξεις μπορεί να είναι του τύπου πυρακτώσεως ή, σε έναν αριθμό αεροσκαφών, του τύπου ηλεκτροακτινοβολίας. Τα φώτα αυτά θα ελέγχονται από διακόπτες στον πίνακα του πιλοτηρίου.

- **Φώτα έκτακτης ανάγκης**

Μια βασική απαίτηση όσον αφορά το φωτισμό είναι ότι θα πρέπει να παρέχεται ο επαρκής φωτισμός του πιλοτηρίου και των διαφόρων τμημάτων της καμπίνας, έξοδοι, καταπακτές, κλπ, υπό συνθήκες έκτακτης ανάγκης. Ο φωτισμός γίνεται συνήθως σε χαμηλότερο επίπεδο από εκείνο που προβλέπεται από τα τυποποιημένα συστήματα φωτισμού, δεδομένου ότι οι μονάδες φωτισμού τροφοδοτούνται απευθείας από μια μπαταρία έκτακτης ανάγκης ή τις μπαταρίες ή σε ορισμένες περιπτώσεις απευθείας από την μπαταρία του αεροσκάφους.

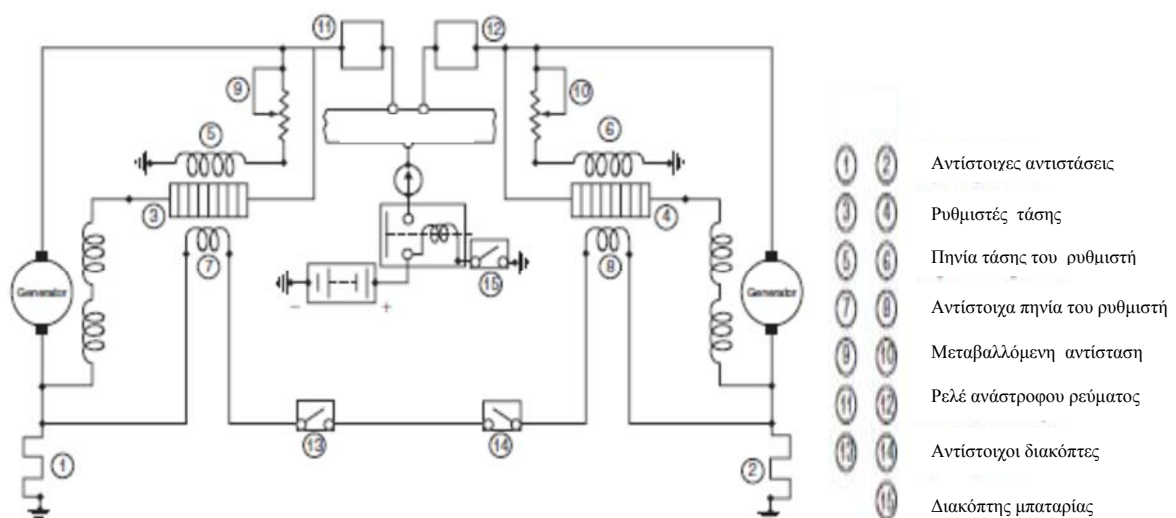
Υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας του αεροσκάφους, μια μπαταρία έκτακτης ανάγκης διατηρείται σε πλήρως φορτισμένη κατάσταση με βραδεία φόρτιση από το κεντρικό σύστημα ζυγών του αεροσκάφους. Ο κύριος έλεγχος των φώτων γίνεται μέσω ενός διακόπτη στον πίνακα του πιλοτηρίου.

7. Διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας

Για να γίνει το ρεύμα διαθέσιμο στους ακροδέκτες των συσκευών που καταναλώνουν ενέργεια, είναι απαραίτητη η διανομή σε όλο το αεροσκάφος. Ο ακριβής τρόπος με τον οποίο αυτό μπορεί να επιτευχθεί, εξαρτάται κυρίως από τον τύπο του αεροσκάφους, το ηλεκτρικό του σύστημα καθώς και τον αριθμό των καταναλώσεων. Για παράδειγμα, σε ένα μικρό αεροσκάφος, οι απαιτήσεις ηλεκτρικού ρεύματος μπορεί να περιορίζονται σε λίγες υπηρεσίες προς τους καταναλωτές και το ρεύμα μπορεί να διανέμεται μέσω μόνο μερικών χιλιομέτρων καλωδίων, ορισμένων ακροδεκτών, διακοπών ή ασφαλειών. Αντίθετα, σε ένα μεγάλο επιβατηγό αεροσκάφος απαιτούνται μίλια καλωδίων, μαζί με πολλούς ζυγούς κατανομής φορτίου, δίκτυα προστασίας, κουτιά διακλάδωσης και πίνακες ελέγχου.

7.1 Ζυγοί ανατροφοδότησης

Στους περισσότερους τύπους αεροσκαφών, η έξοδος από τις πηγές τροφοδοσίας είναι συνδεδεμένη με έναν ή περισσότερους αγωγούς μικρής αντίστασης γνωστοί ως ζυγοί ανατροφοδότησης. Αυτοί συνήθως βρίσκονται σε κουτιά διακλάδωσης ή πίνακες διανομής που βρίσκονται σε κεντρικά σημεία εντός του αεροσκάφους και συνδέονται με τα διάφορα κυκλώματα των καταναλωτών. Οι ζυγοί ποικίλλουν σε μορφή που εξαρτάται από τις μεθόδους που πρέπει να υιοθετηθούν όσον αφορά την εκπλήρωση των απαιτήσεων ηλεκτρικού ρεύματος ενός συγκεκριμένου τύπου αεροσκάφους. Σε ένα πολύ απλό σύστημα, οι ζυγοί μπορεί να έχουν τη μορφή μιας σειράς συνδεδεμένων ακροδεκτών, ενώ στα πιο πολύπλοκα συστήματα, οι κύριοι ζυγοί είναι παχιοί μεταλλικοί ράβδοι οι οποίοι μπορούν να συνδεθούν στην είσοδο και στην έξοδο της τροφοδοσίας. Οι ράβδοι είναι μονωμένοι και συνήθως παρέχονται με κάποια μορφή προστατευτικού καλύμματος.



Σχήμα 7.1

Σύστημα παράλληλων ζυγών τροφοδοσίας

7.2 Συστήματα διαχωρισμένων ζυγών

Η λειτουργία ενός συστήματος διανομής είναι πρωτίστως απλή, αλλά είναι περίπλοκο με το να πληρούνται επιπρόσθετες απαιτήσεις που αφορούν μια πηγή ενέργειας ή ένα σύστημα κατανάλωσης που λειτουργούν είτε χωριστά είτε από κοινού, υπό μη κανονικές συνθήκες.

Η παραγωγή ρεύματος βασίζεται σε δύο κύριες γεννήτριες AC (συνήθως 40 kVA για κάθε κινητήρα). Μια γεννήτρια APU (40 kVA) χρησιμοποιείται ως εφεδρική σε περίπτωση βλάβης της κύριας ενσωματωμένης γεννήτριας κίνησης (IDG). Η APU είναι συνήθως μια μονάδα σταθερής ταχύτητας (CSD) από μόνη της κι ως εκ τούτου, δεν απαιτείται η IDG για τη λειτουργία της.

Το πλεονέκτημα ενός συστήματος διαχωρισμένων ζυγών είναι ότι οι γεννήτριες δεν χρειάζεται να λειτουργούν στην ίδια ακριβώς συχνότητα και μπορεί να βρίσκονται εκτός φάσης μεταξύ τους.

Οι απαιτήσεις και οι μη κανονικές συνθήκες, μπορούν να χαρακτηριστούν με τρεις βασικούς τομείς :

1. Ο εξοπλισμός κατανάλωσης ρεύματος δεν πρέπει να στερηθεί του ρεύματος σε περίπτωση βλάβης της τροφοδοσίας, εκτός εάν η συνολική ζήτηση ηλεκτρικού ρεύματος υπερβαίνει τη διαθέσιμη τροφοδοσία.
2. Βλάβες στο σύστημα διανομής (π.χ. σφάλμα στο ρεύμα ή γείωσης σε ένα ζυγό) θα πρέπει να έχουν την ελάχιστη επίπτωση στη λειτουργία του συστήματος και θα πρέπει να αποτελεί τον ελάχιστο δυνατό κίνδυνο πυρκαγιάς.
3. Σφάλματα στον εξοπλισμό των καταναλωτών δεν πρέπει να θέτουν σε κίνδυνο την τροφοδοσία ρεύματος σε άλλες συσκευές.

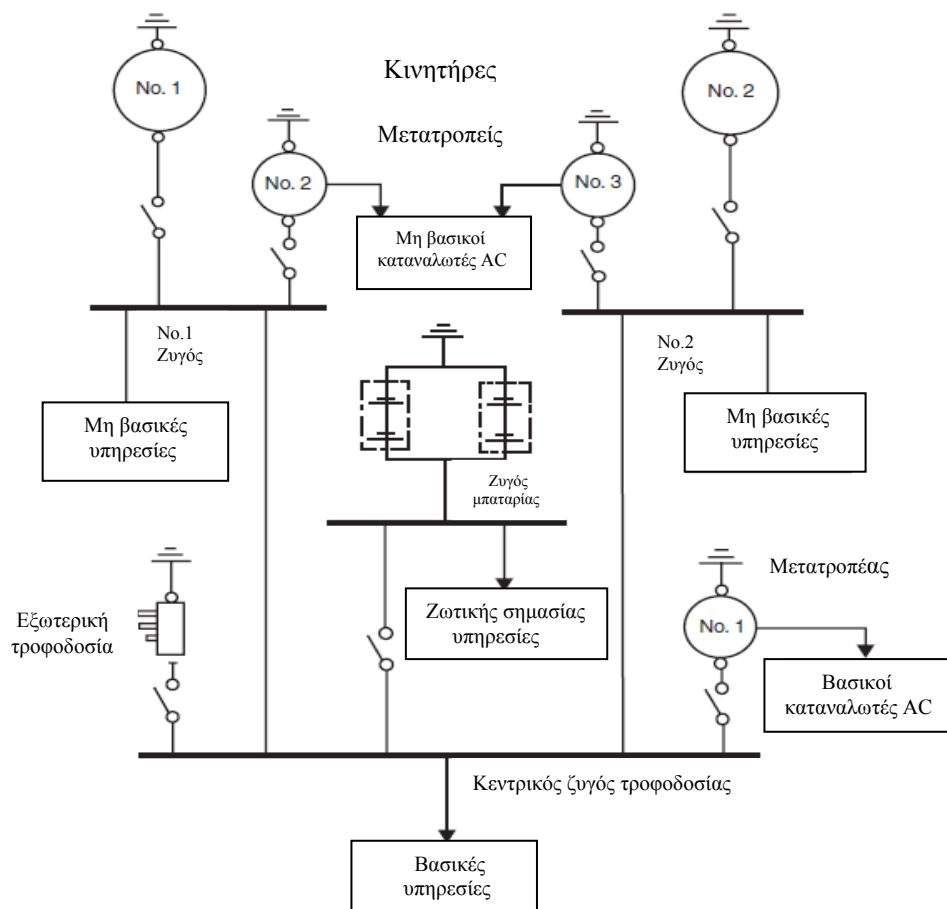
Οι απαιτήσεις αυτές πληρούνται με ένα συνδυασμένο τρόπο, παραλληλίζοντας δηλαδή τις γεννήτριες όπου απαιτείται, με την παροχή επαρκών συσκευών προστασίας κυκλωμάτων και κανονίζοντας οι ελαττωματικές γεννήτριες να απομονώνονται από το σύστημα διανομής. Η μέθοδος που χρησιμοποιείται είναι ο διαχωρισμός των ζυγών και των κυκλωμάτων διανομής σε τμήματα, προκειμένου να τροφοδοτούνται από διαφορετικές πηγές. Με την υιοθέτηση αυτής της μεθόδου, είναι σύνηθες να κατηγοριοποιούνται όλες οι υπηρεσίες των καταναλωτών σε:

ζωτικής σημασίας, απαραίτητες και μη απαραίτητες.

Ζωτικής σημασίας υπηρεσίες είναι εκείνες που απαιτούνται μετά από έκτακτη ανάγκη κατά την προσγείωση, π.χ. φωτισμού έκτακτης ανάγκης και λειτουργίας του διακόπτη των πυροσβεστήρων. Αυτές οι υπηρεσίες συνδέονται άμεσα με την μπαταρία.

Βασικές υπηρεσίες είναι εκείνες που απαιτούνται για τη διασφάλιση της ασφαλούς πτήσης σε κατάσταση έκτακτης ανάγκης κατά την πτήση. Συνδέονται με ζυγούς συνεχούς και εναλλασσόμενου ρεύματος με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορούν πάντοτε να τροφοδοτούνται από έναν κινητήρα ή από τις μπαταρίες.

Μη βασικές υπηρεσίες είναι εκείνες που μπορούν να απομονωθούν σε μια έκτακτη ανάγκη που αφορά τη διακοπή φορτίου κατά την πτήση και είναι συνδεδεμένες με ζυγούς συνεχούς και εναλλασσόμενου ρεύματος και ανάλογα με την περίπτωση, τροφοδοτούνται από έναν κινητήρα.



Σχήμα 7.2 **Σύστημα διαχωρισμένων ζυγών τροφοδοσίας**

Το παραπάνω σχήμα απεικονίζει σε πολύ απλοποιημένη μορφή, την εφαρμογή της ανωτέρω μεθόδου σε ένα σύστημα διανομής ρεύματος στο οποίο τα τροφοδοτικά είναι 28 V DC από τους κινητήρες, 115 V AC, 400 Hz από μετατροπείς, και 28 V DC από μπαταρίες. Κάθε κινητήρας έχει το δικό του ζυγό τροφοδοσίας στον οποίο είναι συνδεδεμένες οι μη βασικές υπηρεσίες προς τους καταναλωτές.

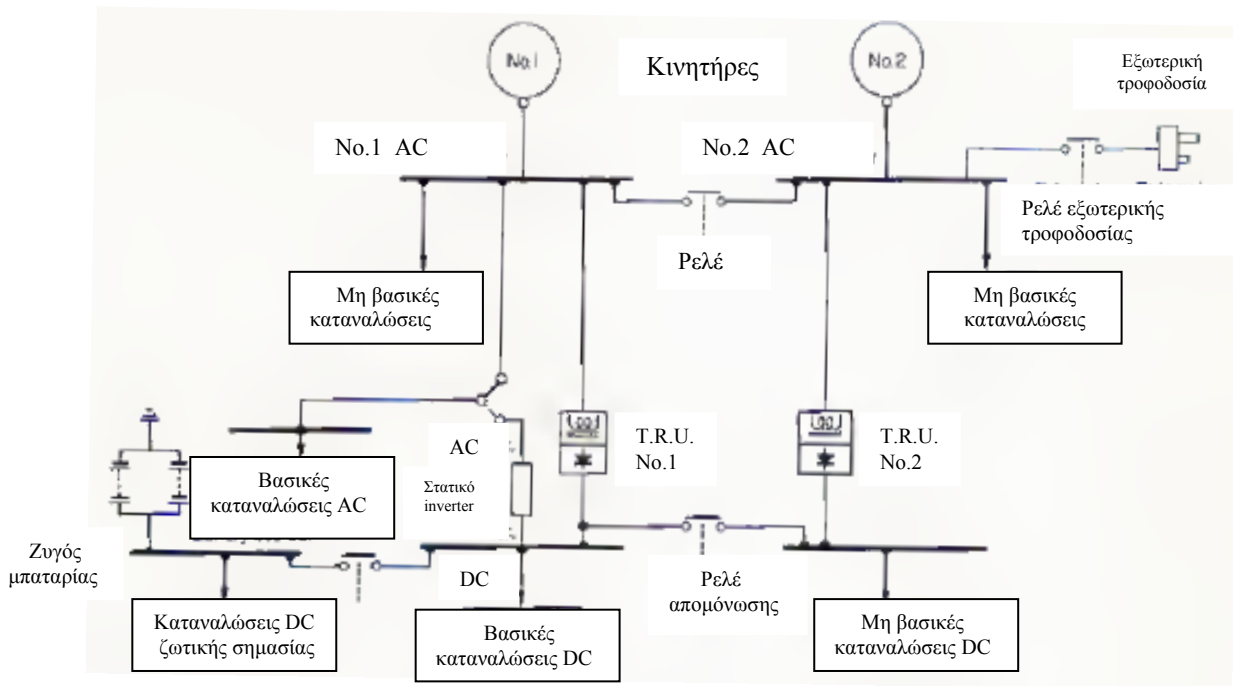
Και οι δύο ζυγοί με τη σειρά τους συνδέονται με ένα μόνο ζυγό που παρέχει ρεύμα στις βασικές υπηρεσίες. Έτσι, με τη λειτουργία δύο κινητήρων, τροφοδοτούνται όλες οι καταναλώσεις που απαιτούν συνεχές ρεύμα. Ο ζυγός των βασικών υπηρεσιών είναι επίσης συνδεδεμένος με το ζυγό της μπαταρίας εξασφαλίζοντας έτσι ότι οι μπαταρίες διατηρούνται σε φορτισμένη κατάσταση.

Σε περίπτωση βλάβης ενός κινητήρα, απομονώνεται αυτόματα από τους αντίστοιχους ζυγούς του και όλα τα φορτία των ζυγών στη συνέχεια αναλαμβάνονται από τη λειτουργική γεννήτρια. Εάν και οι δύο γεννήτριες αποτύχουν, οι μη βασικές υπηρεσίες (καταναλώσεις) δεν μπορούν πλέον να τροφοδοτούνται, αλλά οι μπαταρίες θα παρέχουν αυτόματα το ρεύμα στις βασικές υπηρεσίες ώστε αυτές να συνεχίσουν να βρίσκονται σε λειτουργία για ένα προκαθορισμένο χρονικό διάστημα που καθορίζεται με βάση τις απαιτήσεις του φορτίου των καταναλώσεων και την κατάσταση φόρτισης της μπαταρίας.

Για το συγκεκριμένο σύστημα του παραπάνω σχήματος, τα τροφοδοτικά για τους μετατροπείς λαμβάνονται από ζυγούς κατάλληλους για τη λειτουργία των καταναλωτών εναλλασσόμενου ρεύματος. Έτσι, οι βασικές καταναλώσεις εναλλασσόμενου ρεύματος λειτουργούν μέσω του μετατροπέα No.1 και έτσι τροφοδοτείται από τους ζυγούς των βασικών υπηρεσιών. Οι μετατροπείς No. 2 και No.3 τροφοδοτούν εναλλασσόμενο ρεύμα στις μη βασικές υπηρεσίες και έτσι τροφοδοτούνται με συνεχές ρεύμα από τους ζυγούς No.1 και No.2.

7.2.1 Σύστημα διαχωρισμένων ζυγών τροφοδοσίας (με AC πηγή τροφοδοσίας)

Το παρακάτω σχήμα απεικονίζει ένα άλλο παράδειγμα της μεθόδου διαχωρισμού ζυγών διανομής ηλεκτρικής ενέργειας και βασίζεται σε ένα αεροσκάφος που χρησιμοποιεί εναλλασσόμενο ρεύμα σταθερής συχνότητας καθώς η πρωταρχική πηγή συνεχούς και εναλλασσόμενου ρεύματος παράγεται μέσω μονάδων μετασχηματιστή-ανορθωτή (T.R.U.).



Σχήμα 7.3	Σύστημα διαχωρισμένων ζυγών τροφοδοσίας (με AC πηγή τροφοδοσίας)
------------------	---

Οι γεννήτριες παρέχουν τριφασικό ρεύμα μέσω ξεχωριστών καναλιών, στους δύο κύριους ζυγούς και αυτοί, με τη σειρά τους, τροφοδοτούν τα φορτία των μη βασικών καταναλώσεων και τα T.R.U. Τα βασικά AC φορτία τροφοδοτούνται από το ζυγό τροφοδοσίας που υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας είναι συνδεδεμένος μέσω ενός ρελέ μεταγωγής στον κύριο ζυγό No 1. Οι κύριοι ζυγοί κανονικά απομονώνονται ο ένας από τον άλλον, αλλά εάν η τροφοδοσία από οποιονδήποτε από τους κινητήρες σταματήσει, οι ζυγοί συνδέονται αυτόματα μεταξύ τους από την ενεργοποίηση του ρελέ και να λειτουργούν ως ένα, διατηρώντας έτσι την τροφοδοσία σε όλες τις καταναλώσεις και στα δύο T.R.U.

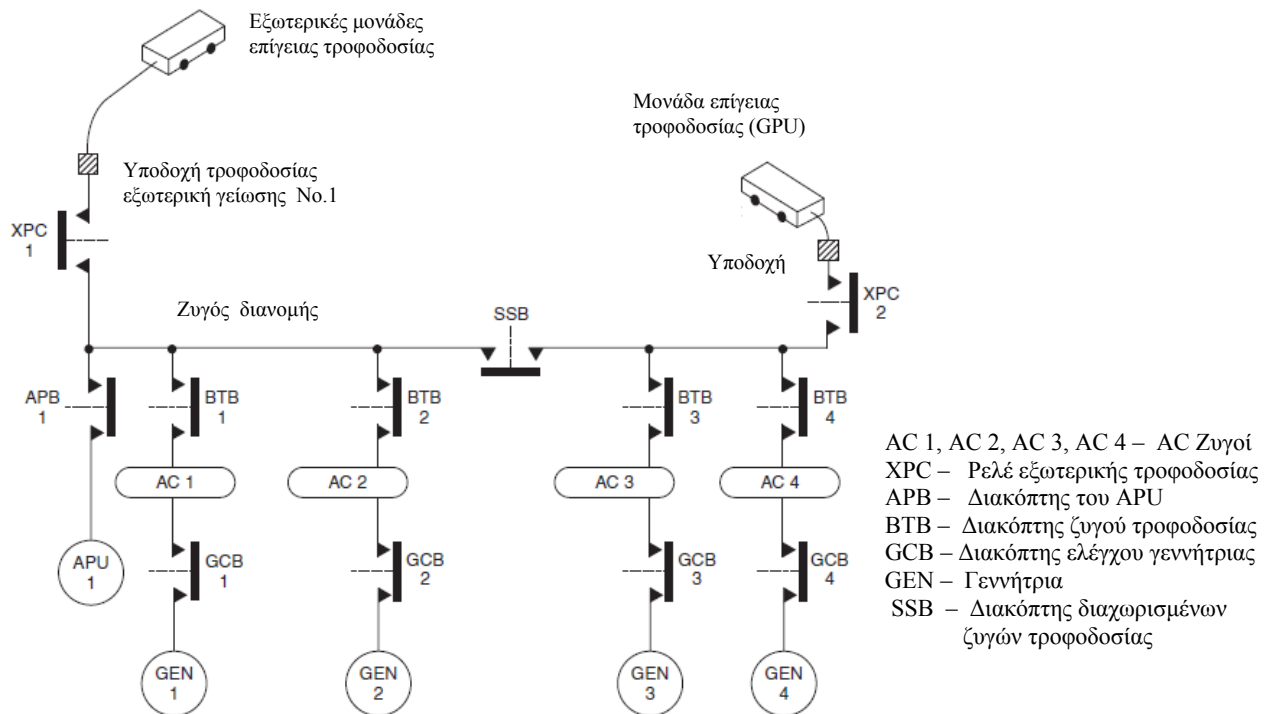
Αν, για οποιοδήποτε λόγο, το ρεύμα που παρέχεται από τις δύο γεννήτριες διακοπεί, οι μη βασικές καταναλώσεις θα απομονωθούν και το ρελέ μεταγωγής μεταξύ του κύριου ζυγού No 1 και του βασικού ζυγού, θα απενεργοποιηθεί αυτόματα και θα συνδέσει το βασικό ζυγό με τον στατικό μετατροπέα έκτακτης ανάγκης.

Η παροχή συνεχούς ρεύματος προέρχεται από ανεξάρτητα T.R.U. και από τις μπαταρίες. Το T.R.U. No 1 τροφοδοτεί τα βασικά φορτία και το T.R.U. No 2 τροφοδοτεί τα μη βασικά φορτία που συνδέονται με τον κύριο ζυγό DC : και οι δύο ζυγοί συνδέονται αυτόματα μέσω ενός ρελέ απομόνωσης.

Οι μπαταρίες συνδέονται άμεσα με το ζυγό της μπαταρίας και αυτή είναι συνδεδεμένη με το βασικό ζυγό. Στην περίπτωση που και οι δύο γεννήτριες έχουν βλάβη, ο κύριος ζυγός DC θα απομονωθεί από το βασικό ζυγό DC ο οποίος στη συνέχεια θα τροφοδοτείται αυτόματα από τις μπαταρίες για τη διατήρηση της λειτουργίας των βασικών καταναλωτών AC και DC.

7.3 Σύστημα παράλληλων ζυγών τροφοδοσίας (3 -4 κινητήρων)

Το σύστημα διανομής ηλεκτρικού ρεύματος σε μεγαλύτερο επιβατικό αεροσκάφος (με τρεις ή τέσσερις κινητήρες) βασίζονται σε ένα παράλληλο σύστημα διανομής φορτίου, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



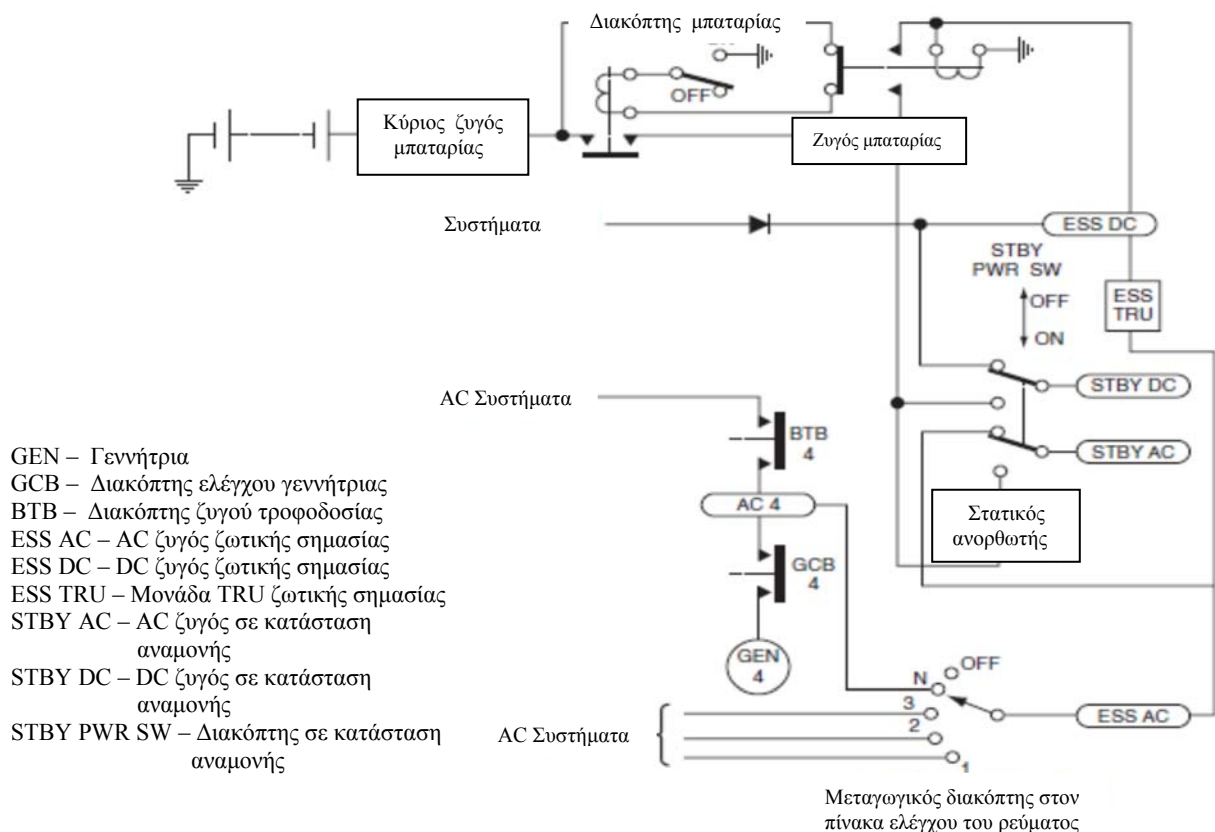
Σχήμα 7.4 Σύστημα διανομής παράλληλων φορτίων

Σε αυτή τη διάταξη, όλες οι γεννήτριες συνδέονται με το δικό τους ζυγό AC φορτίου και ένα ζυγό διανομής. Κάθε γεννήτρια μπορεί να τροφοδοτεί οποιοδήποτε ζυγό με φορτίο ώστε να παρέχεται ισοκατανομή στα φορτία. Όλες οι τάσεις των γεννητριών, οι συχνότητες και οι διαφορές φάσεων πρέπει να ελέγχονται λεπτομερώς. Οποιαδήποτε προσπάθεια να συνδεθούν οι γεννήτριες παράλληλα, πριν ικανοποιηθούν οι προϋποθέσεις, θα μπορούσε να οδηγήσει σε απώλεια ισχύος της γεννήτριας λόγω των μεγάλων ρευμάτων που κυκλοφορούν.

Σύμφωνα με το παραπάνω σχήμα, όταν τα τέσσερα GCB και BTB είναι κλειστά, τότε οι τέσσερις γεννήτριες είναι συγχρονισμένες και συνδεδεμένες με το ζυγό διανομής. Αν κάποια γεννήτρια δυσλειτουργεί, το GCB ανοίγει και έτσι η γεννήτρια απομονώνεται από το δικό της ζυγό(με φορτίο). Αυτός ο ζυγός τώρα τροφοδοτείται από τις υπόλοιπες γεννήτριες. Αν αυτός ο ζυγός υπερφορτωθεί, τότε απομονώνεται ανοίγοντας το GCB και BTB. Με περισσότερες από δύο δυσλειτουργίες της γεννήτριας, το φορτίο διακόπτεται άμεσα. Η εξωτερική τροφοδοσία μπορεί να διατεθεί από μία ή δύο μονάδες τροφοδοσίας. Το APU μπορεί επίσης να συνδεθεί στο ζυγό διανομής.

7.4 Πρωτεύων ρεύμα και ρεύμα σε κατάσταση αναμονής

Το πρωτεύων ρεύμα των 115 V AC παρέχεται ως μονοφασική τροφοδοσία και επιλέγεται από μία φάση ενός κύριου ζυγού. (Σε ένα τετρακινητήριο αεροσκάφος, η κανονική πηγή είναι ο κύριος AC ζυγός με τον αριθμό 4.)



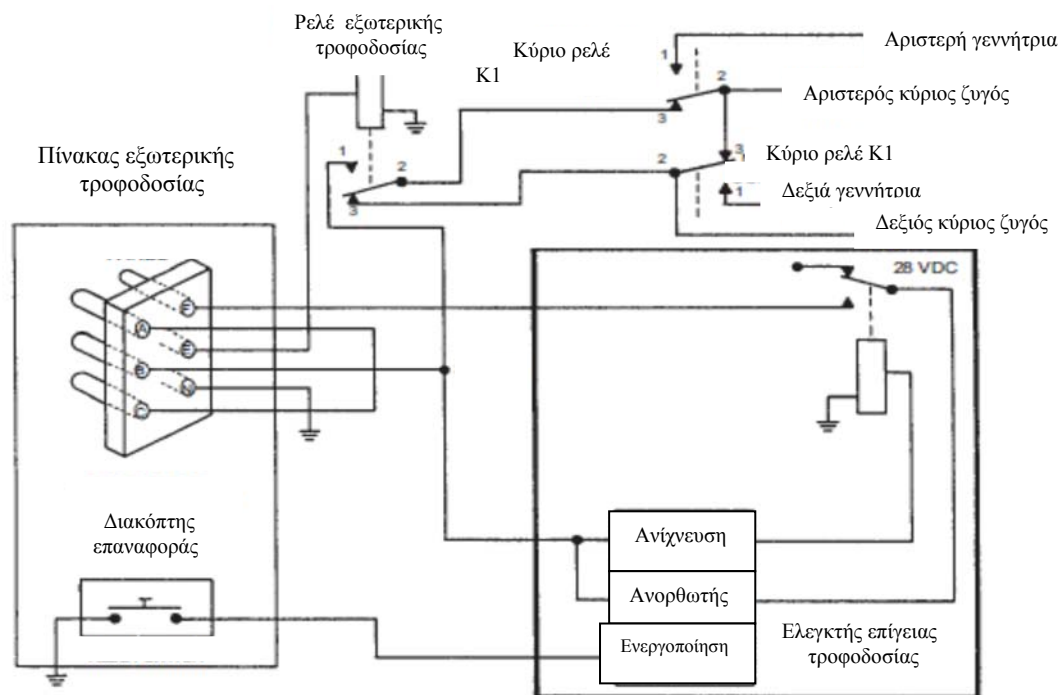
Σχήμα 7.5 Συστήματα AC/DC σε κατάσταση αναμονής

Εάν αυτή η κανονική πηγή δυσλειτουργεί, η τροφοδοσία διατηρείται επιλέγοντας ένα διαφορετικό κύριο ζυγό από τα υπόλοιπα συστήματα. Ο AC ζυγός σε κατάσταση αναμονής κανονικά τροφοδοτείται από τον πρωτεύων AC ζυγό. Αν αυτή η πηγή διακοπεί, ένας στατικός μετατροπέας (τροφοδοτείται από την κύρια μπαταρία) επιλέγεται για να παρέχει εφεδρικό εναλλασσόμενο ρεύμα.

Μερικά αεροσκάφη διακρίνονται λόγω των ζυγών της μπαταρίας και των εφεδρικών ζυγών μπαταρίας οι οποίοι συνδέονται άμεσα με την μπαταρία, δηλαδή χωρίς καμία μεταγωγή. Η ρύθμιση αυτή χωρίζει το ζυγό της μπαταρίας με απευθείας σύνδεση (στον εφεδρικό ζυγό της μπαταρίας) και ένας ενεργοποιημένος ζυγός μπαταρίας ελέγχεται από το διακόπτη της μπαταρίας. Το συνεχές ρεύμα προέρχεται από μια μονάδα μετασχηματιστή-ανορθωτή (TRU) που τροφοδοτείται από τον βασικό AC ζυγό. Το ρεύμα κατάστασης αναμονής των AC και DC ζυγών προέρχεται κανονικά από τις σχετικές βασικές τροφοδοσίες και όταν επιλεγεί ON, το AC και DC ρεύμα αναμονής παράγονται από ένα μετατροπέα και την μπαταρία, αντίστοιχα.

7.5 Εξωτερική τροφοδοσία

Το εξωτερικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας επιτρέπει την εφαρμογή του τριφασικού εναλλασσόμενου ρεύματος στο σύστημα διανομής των αεροσκαφών. Το ρεύμα από το εξωτερικό σύστημα οδηγείται στην οθόνη του επίγειου τροφοδοτικού (GPM) και στις απενεργοποιημένες επαφές του εξωτερικού ρελέ.



Σχήμα 7.6 **Λειτουργικό block διάγραμμα εξωτερικής AC τροφοδοσίας**

Το GPM εμποδίζει την εφαρμογή εξωτερικής τροφοδοσίας που βρίσκεται εκτός των επιτρεπόμενων ορίων. Αν μια υπόταση, υπέρταση, υποσυχνότητα, υπερσυχνότητα, ή ένα σφάλμα αντιστροφής φάσης εμφανιστεί, το GPM αποσυνδέει την εξωτερική τροφοδοσία από το σύστημα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας.

Όταν όλες οι παράμετροι βρίσκονται εντός των ορίων, το ρελέ του GPM ενεργοποιείται, με τροφοδοσία 28V DC από το μετασχηματιστή-ανορθωτή του GPM. Το ρεύμα στη συνέχεια ρέει και ενεργοποιείται το εξωτερικό ρελέ. Το τριφασικό ρεύμα του εξωτερικού ρελέ ρέει στη συνέχεια προς τον αριστερό AC ζυγό και προς το δεξιό AC ζυγό μέσω των αντίστοιχων επαφών τους. Το ρεύμα από τον αριστερό AC ζυγό ρέει προς το αριστερό TRU. Επίσης ρέει και προς τις απενεργοποιημένες επαφές των ρελέ μεταφοράς ισχύος προς όλους τους βασικούς AC ζυγούς και προς το μετασχηματιστή των 26V AC. Αυτός ο μετασχηματιστής, με τη σειρά του, τροφοδοτεί το όργανο των 26V AC. Ο δεξιός κύριος AC ζυγός τροφοδοτεί το δεξί TRU. Και τα αριστερά και τα δεξιά TRU παρέχουν ρεύμα σε όλους τους DC ζυγούς μέσω των αντίστοιχων ρελέ τους και των ρελέ μεταφοράς ισχύος.

Αφού οι κινητήρες του αεροσκάφους ξεκινήσουν και η αριστερή γεννήτρια τίθεται σε λειτουργία, το αριστερό κύριο ρελέ αποσυνδέει αυτόματα την εξωτερική τροφοδοσία.

- **Η φόρτιση της μπαταρίας**

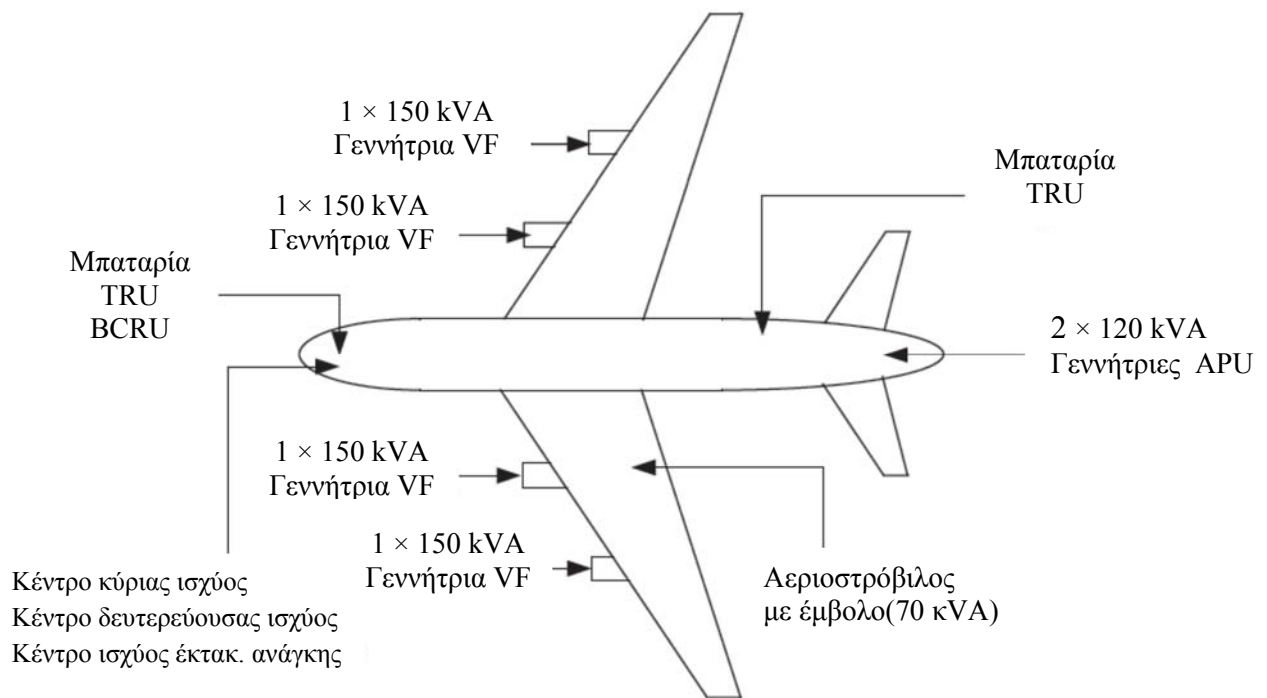
Ο φορτιστής της μπαταρίας του αεροσκάφους λειτουργεί με 115V AC, τριφασικό, 400Hz που παρέχεται από τον AC ζυγό επίγειας τροφοδοσίας. Μία πλήρως αποφορτισμένη μπαταρία μπορεί να επαναφορτιστεί σε περίπου 60-90 λεπτά. Ο φορτιστής μπαταρίας λειτουργεί σε μία από τις δύο λειτουργίες ανάλογα με το αν το αεροσκάφος τροφοδοτείται από μια εξωτερική πηγή τροφοδοσίας ή όχι.

Με το αεροσκάφος στο έδαφος, ο φορτιστής τροφοδοτείται από το ζυγό επίγειας τροφοδοσίας και παρέχει ένα σταθερό ρεύμα στην μπαταρία. Όταν η τελική τάση της μπαταρίας φτάσει σε ένα προκαθορισμένο επίπεδο (προσαρμοσμένο στη θερμοκρασία της μπαταρίας), η φόρτιση διακόπτεται αυτόματα. Όταν η εξωτερική τροφοδοσία δεν είναι διαθέσιμη, η μπαταρία φορτίζεται από τη μονάδα μετασχηματιστή-ανορθωτή (TRU) που παρέχει 28 V DC για να διατηρήσει τη φόρτιση της μπαταρίας και τα φορτία στο ζυγό της μπαταρίας. Οι αισθητήρες θερμοκρασίας της μπαταρίας αποτελούν μέρος του συστήματος φόρτισης για την αποφυγή βλαβών της μπαταρίας. Εάν η θερμοκρασία της μπαταρίας είναι εκτός του προκαθορισμένου εύρους (συνήθως -18 °C έως 60 °C), το κύκλωμα φόρτισης αποσυνδέεται.

7.7 Επισκόπηση συστήματος παραγωγής AC ηλεκτρικής ενέργειας Αεροσκάφους A380

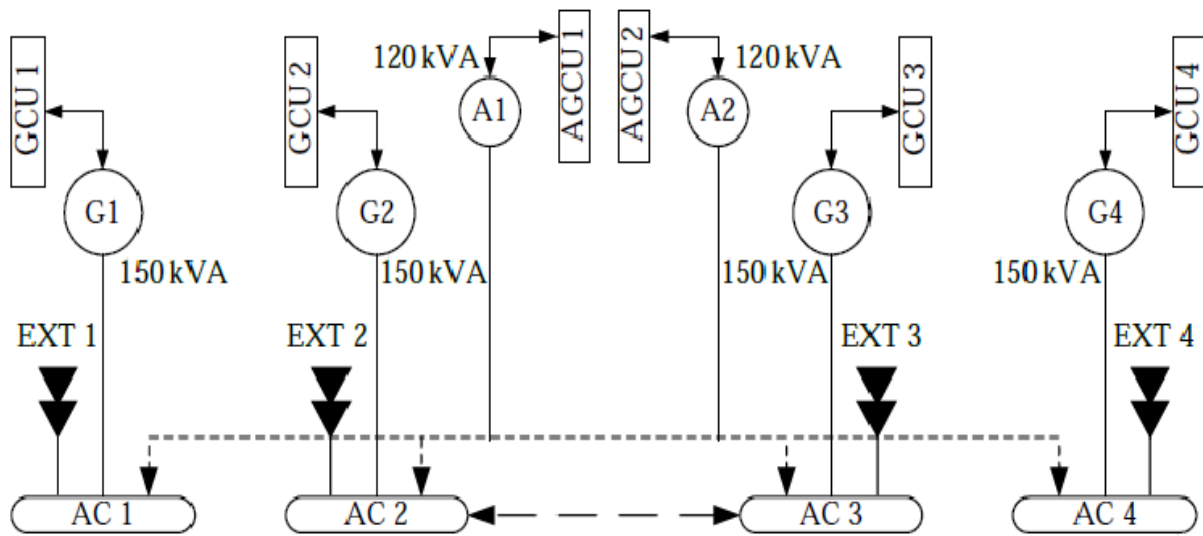
Τα βασικά χαρακτηριστικά των συστημάτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας του A380 είναι η εξής:

- 4 × Γεννήτριες 150 kVA VF (370-770 Hz). Οι γεννήτριες VF είναι αξιόπιστες αλλά δεν προσφέρουν δυνατότητα αδιάλειπτης ισχύος
- 2 × 120 kVA Γεννήτριες APU (CF) (ονομαστική συχνότητα 400 Hz)
- 4 × Εξωτερικές συνδέσεις ρεύματος (400 Hz) για την επίγεια τροφοδοσία
- 1 × 70 kVA Ram Air Turbine για χρήση έκτακτης ανάγκης



Σχήμα 7.8	Συστατικά μέρη του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας - A380
------------------	--

Η αρχιτεκτονική του συστήματος AC φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 7.9	Αρχιτεκτονική του συστήματος AC - A380
------------------	---

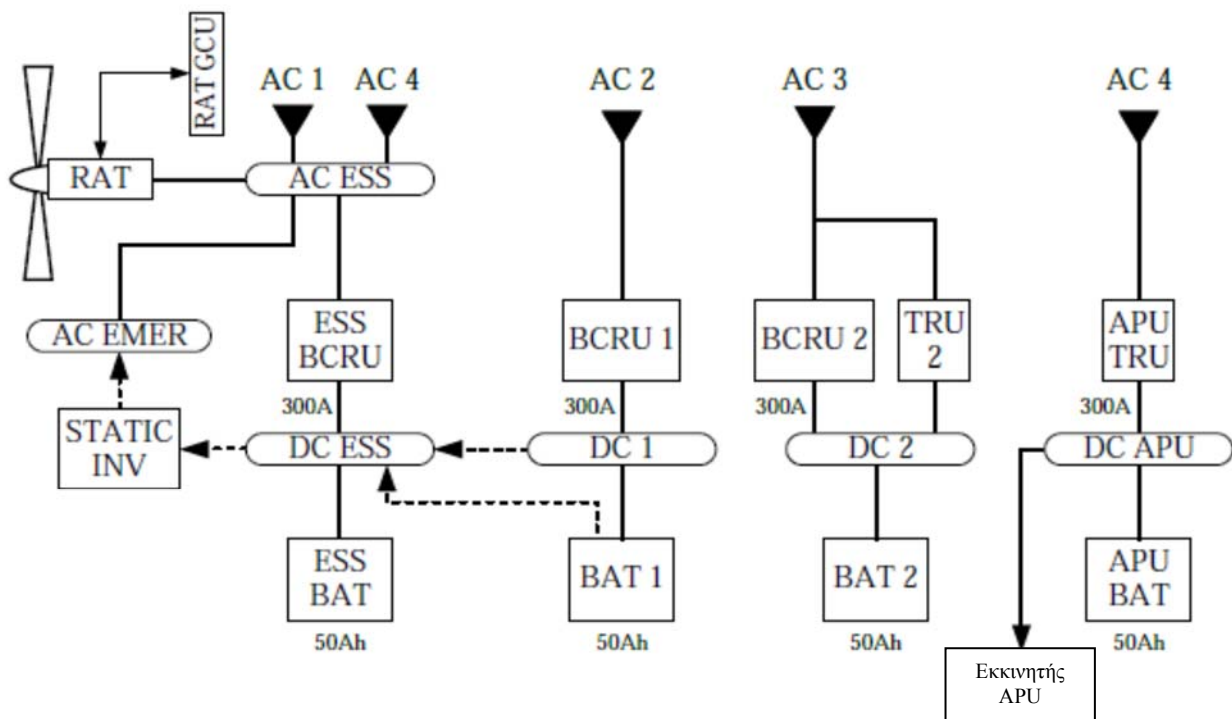
Καθεμία από τις κύριες γεννήτριες 150 kVA AC οδηγείται από το σχετικό κινητήρα. Οι δύο γεννήτριες APU οδηγούνται από την αντίστοιχη βοηθητική μονάδα ισχύος (APU). Κάθε κύρια γεννήτρια τροφοδοτεί τον κατάλληλο ζυγό AC υπό τον έλεγχο της μονάδας ελέγχου της γεννήτριας (GCU). Κάθε κύριος ζυγός AC μπορεί επίσης να δεχτεί μια είσοδο από την εξωτερική τροφοδοσία για τις δραστηριότητες συντήρησης και υποστήριξης στο έδαφος. Επειδή οι γεννήτριες των αεροσκαφών είναι μεταβλητής συχνότητας (VF) και η συχνότητα του εναλλασσόμενου ρεύματος εξαρτάται από την ταχύτητα του κατάλληλου κινητήρα, οι κύριοι AC ζυγοί δεν μπορούν να παραλληλιστούν.

- **Παραγωγή συνεχούς ρεύματος**

Τα βασικά χαρακτηριστικά της DC μετατροπής ισχύος και αποθήκευσης ενέργειας του συστήματος A380 περιγράφονται παρακάτω:

- 3 × Μονάδες Ρυθμιστή τάσης και φόρτισης μπαταρίας (BCRU) των 300A
Αυτές οι μονάδες είναι ουσιαστικά TRU με λειτουργία φόρτισης μπαταρίας
- 1 × TRU των 300A
- 3 × Μπαταρίες 50 Ah
- 1 × Στατικό Ανορθωτή

Το σύστημα DC παρέχει τη δυνατότητα αδιάλειπτης τροφοδοσίας επιτρέποντας έτσι βασικά συστήματα του αεροσκάφους να λειτουργούν χωρίς διακοπή ρεύματος κατά τη διάρκεια αλλαγών στην διαμόρφωση του συστήματος. Οι περισσότεροι υπολογιστές ελέγχου είναι υπό τάση συνεχούς ρεύματος και η χρήση των τεχνικών παραλληλισμού DC διευκολύνει την παροχή ρεύματος χωρίς διακοπή για αυτά τα κρίσιμα στοιχεία όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 7.10	Αρχιτεκτονική του συστήματος DC - A380
------------	--

Το σχήμα δείχνει πώς οι ζυγοί AC 1-4 (AC1 έως AC4) τροφοδοτούν τις κύριες μονάδες μετατροπής συνεχούς ρεύματος του συστήματος. Ο αεροστρόβιλος με έμβολο (RAT) τροφοδοτεί το ζυγό AC ζωτικής σημασίας όπως κάνουν οι κύριοι AC ζυγοί AC1 και AC4. Ο AC ζυγός ζωτικής σημασίας με τη σειρά του τροφοδοτεί ένα AC ζυγό έκτακτης ανάγκης ο οποίος μπορεί επίσης να τροφοδοτείται από το ζυγό DC ζωτικής σημασίας μέσω ενός στατικού μετατροπέα. Οι ζυγοί AC1 και AC4, AC2 και AC3 αντίστοιχα τροφοδοτούν τους δύο ζυγούς DC ζωτικής σημασίας, DC1 και DC2 που ρυθμίζονται με 28 V DC δεδομένου ότι τα BCRU είναι ουσιαστικά ρυθμιζόμενα TRU. Κάθε ένας από αυτούς τους ζυγούς έχει μια μπαταρία 50 Ah της οποίας η φόρτιση διατηρείται από τη λειτουργία φόρτισης του BCRU.

Για την εκκίνηση του APU, στο παραπάνω ειδικό υποσύστημα παρέχεται:

- 1 × TRU των 300A της APU
- 1 × TRU 50Ah της μπαταρίας

8. Διατάξεις προστασίας

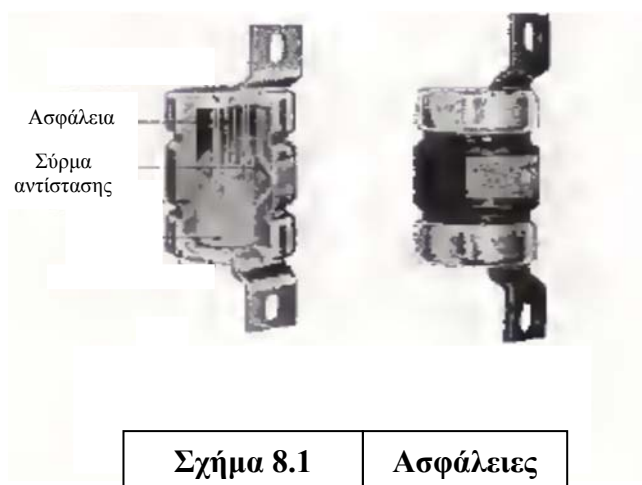
Σε περίπτωση βραχυκυκλώματος, υπερφόρτισης ή άλλη κατάσταση βλάβης που συμβαίνει στο κύκλωμα που σχηματίζεται από τα καλώδια και τα συστατικά ενός ηλεκτρικού συστήματος αεροσκάφους, είναι δυνατό να προκληθούν εκτεταμένες ζημιές. Επομένως, είναι απαραίτητη η παροχή διατάξεων στο δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας που έχει ως κοινό σκοπό την προστασία των κυκλωμάτων, των καλωδίων και των συστατικών τους. Οι συσκευές που συνήθως χρησιμοποιούνται είναι ασφάλειες, διακόπτες κυκλώματος και περιοριστές ρεύματος. Επιπλέον, οι άλλες συσκευές που παρέχονται, χρησιμεύουν ως προστασία έναντι τέτοιων συνθηκών σφάλματος όπως το αντίστροφο ρεύμα, υπέρταση, υπόταση, υπερσυχνότητα, υποσυχνότητα, ανισορροπία φάσεων, κ.λ.π. Αυτές οι συσκευές μπορεί γενικά να θεωρηθούν ως μέρος των κύριων συστημάτων παραγωγής ρεύματος και συγκεκριμένα εκείνες που σχετίζονται με την παραγωγή DC, κανονικά ενσωματώνονται στις μονάδες ελέγχου της γεννήτριας (GCU).

8.1 Μονάδες προστασίας

8.1.1 Ασφάλειες

Η κατασκευή και το ονομαστικό ρεύμα των ασφαλειών ποικίλουν, για να επιτρέπεται μια κατάλληλη επιλογή για ειδικές ηλεκτρικές εγκαταστάσεις και η κατάλληλη προστασία των ατομικών κυκλωμάτων.

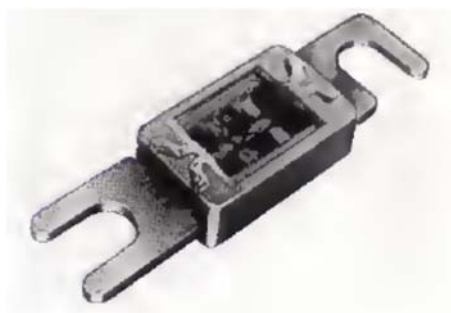
Τυπικά παραδείγματα των ασφαλειών που χρησιμοποιούνται σήμερα σε κυκλώματα, φαίνονται στο παρακάτω σχήμα:



Σε ορισμένα επιβατηγά αεροσκάφη, οι ασφάλειες είναι του τύπου που ενσωματώνουν μια λυχνία και μια αντίσταση, συνδεδεμένα με τέτοιο τρόπο ώστε η λυχνία να ανάβει όταν το μεταλλικό στοιχείο διασπαστεί.

8.1.2 Περιοριστές ρεύματος

Περιοριστές ρεύματος, όπως υποδηλώνει το όνομα, είναι σχεδιασμένοι για να περιορίζουν το ρεύμα σε κάποια προκαθορισμένη τιμή ρεύματος. Είναι επίσης θερμικά, αλλά σε αντίθεση με συνήθεις ασφάλειες έχουν υψηλό σημείο τήξης, έτσι ώστε τα χαρακτηριστικά (χρόνος, ρεύμα) τους επιτρέπουν να φέρουν ένα σημαντικό ρεύμα υπερφόρτωσης πριν από τη διάσπαση. Για το λόγο αυτό, η εφαρμογή τους περιορίζεται στην προστασία των μεγάλων κυκλωμάτων διανομής ρεύματος. Ένα τυπικός περιοριστής ρεύματος απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 8.2

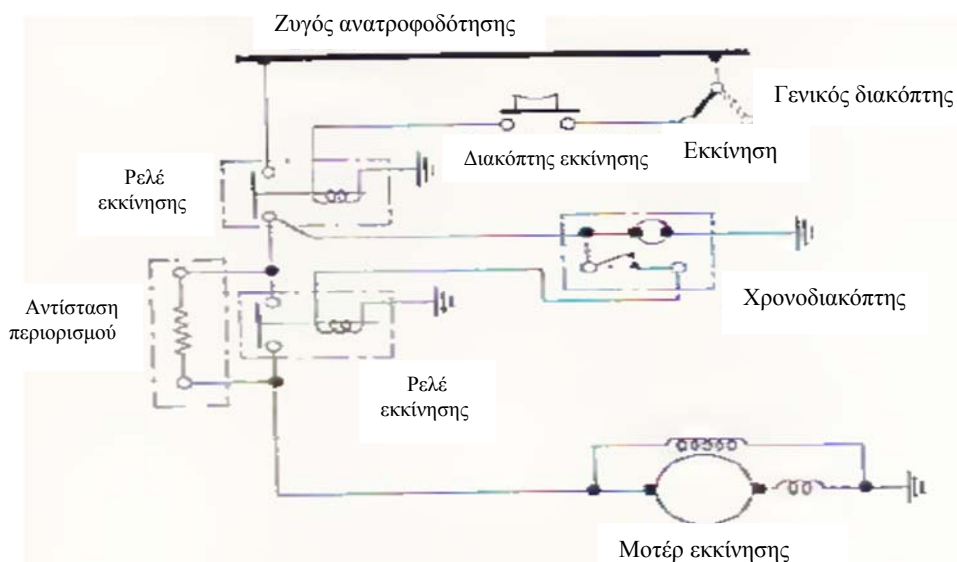
Περιοριστής ρεύματος

8.1.3 Αντιστάσεις περιορισμού ρεύματος

Αυτές οι αντιστάσεις παρέχουν μια άλλη μορφή προστασίας ιδιαίτερα στα κυκλώματα DC, όπου η απότομη αύξηση στο ρεύμα είναι πολύ υψηλή, όπως για παράδειγμα στη μίζα, στα κυκλώματα inverter, ή στα κυκλώματα που περιέχουν υψηλά χωρητικά φορτία. Όταν τέτοια κυκλώματα ενεργοποιούνται, επιβάλλουν απότομες αυξήσεις του ρεύματος τέτοιου μεγέθους ώστε να μειωθεί η τάση του πλήρους συστήματος για μία χρονική περίοδο, η διάρκεια της οποίας είναι συνάρτηση του χρόνου απόκρισης του ρεύματος και της τάσης του συστήματος. Επομένως, προκειμένου, να διατηρηθούν αυτές οι απότομες αυξήσεις του ρεύματος εντός των ορίων, τα αρχικά τμήματα των κατάλληλων κυκλωμάτων ενσωματώνουν μία αντίσταση που συνδέεται αυτόματα σε σειρά και στη συνέχεια βραχυκυκλώνεται, όταν το ρεύμα έχει μειωθεί σε μια ασφαλή τιμή.

Το παρακάτω σχήμα απεικονίζει την εφαρμογή μίας αντίστασης περιορισμού σε ένα κύκλωμα μίζας του κινητήρα με ενσωματωμένο χρονοδιακόπτη, όπου η αρχική ροή ρεύματος μπορεί να είναι τόσο υψηλή όσο τα 1500 A. Η αντίσταση είναι συνδεδεμένη στις επαφές ενός ρελέ βραχυκύκλωσης το οποίο ελέγχεται από τον χρονοδιακόπτη. Όταν ο διακόπτης της μίζας ανοίξει, το ρεύμα από το ζυγό ρέει μέσω του πηνίου του κύριου ρελέ, ενεργοποιώντας το.

Όταν οι επαφές του ρελέ κλείνουν, ολοκληρώνεται ένα κύκλωμα στον χρονοδιακόπτη του μοτέρ, και επίσης στη μίζα μέσω της αντίστασης περιορισμού, η οποία μειώνει έτσι το ρεύμα κορυφής και την αρχική ροπή εκκίνησης του μοτέρ. Μετά από ένα προκαθορισμένο χρονικό διάστημα, το οποίο επιτρέπει την αύξηση της ταχύτητας του μοτέρ, η ροπή του μηχανισμού εκκίνησης μειώνεται και μέσω του χρονοδιακόπτη, λειτουργεί μια σειρά επαφών που ολοκληρώνουν ένα κύκλωμα με το ρελέ βραχυκύκλωσης.



Σχήμα 8.3	Κύκλωμα περιοριστή ρεύματος
------------------	------------------------------------

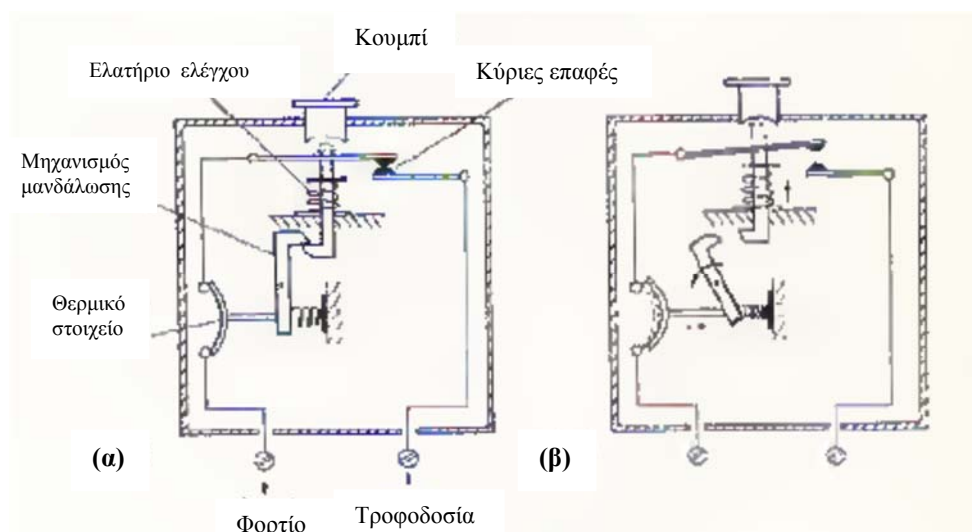
Όπως θα είναι σαφές από το παραπάνω σχήμα, με το ρελέ ενεργοποιημένο, το ρεύμα από τον ζυγό ρέει απευθείας στον εκκινητή, και η αντίσταση περιορισμού έχει βραχυκυκλωθεί. Όταν γίνει η εκκίνηση και ο κινητήρας φτάσει στο σημείο αυτό που ονομάζεται "αυτοτροφοδοτούμενη ταχύτητα", η παροχή ρεύματος στο κύκλωμα του εκκινητή στη συνέχεια διακόπτεται.

8.1.4 Διακόπτες κυκλώματος

Οι διακόπτες κυκλώματος, σε αντίθεση με τις ασφάλειες ή τους περιοριστές ρεύματος απομονώνουν τα ελαττωματικά κυκλώματα και τον εξοπλισμό με τη βοήθεια μιας συσκευής που ενεργοποιείται με τη θέρμανση ενός μεταλλικού στοιχείου μέσω του οποίου διέρχεται το ρεύμα σε έναν διακόπτη. Ως εκ τούτου, μπορεί να θεωρηθεί ως μια συνδυαστική ασφάλεια και ως διακόπτης.

Χρησιμοποιούνται για την προστασία των καλωδίων και των κατασκευαστικών στοιχείων και, δεδομένου ότι μπορεί να χρησιμοποιηθούν ξανά μετά την διαγραφή του σφάλματος, αποφεύγονται ορισμένα από τα προβλήματα αντικατάστασης που σχετίζονται με τις ασφάλειες και τους περιοριστές ρεύματος. Ο μηχανισμός δεν θα επιτρέψει στις επαφές του διακόπτη να είναι κλειστές, όταν υπάρχει ένα σφάλμα ρεύματος στο κύκλωμα.

Ο σχεδιασμός και η κατασκευή των διακοπών κυκλώματος ποικίλλει, αλλά σε γενικές γραμμές αποτελούνται από τρία κύρια μέρη: ένα μεταλλικό θερμικό στοιχείο, έναν διακόπτη τύπου επαφής και ένα μηχανισμό μανδάλωσης. Υπάρχει ακόμα ένα κουμπί για χειροκίνητη επαναφορά μετά την ενεργοποίηση και για χειροκίνητη απενεργοποίηση όταν απαιτείται η διακοπή της παροχής στο κύκλωμα του συστήματος. Η κατασκευή και η λειτουργία απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα:

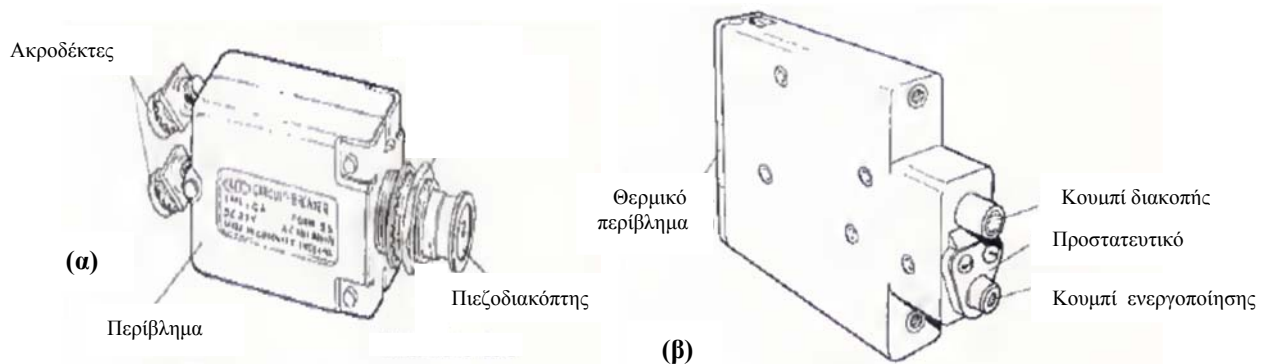


Σχήμα 8.4	Σχηματικό διάγραμμα λειτουργίας του διακόπτη κυκλώματος (α) Κλειστός (β) Σε κατάσταση λειτουργίας
-----------	---

Το ρεύμα ρέει μέσα από τις επαφές του διακόπτη και του θερμικού στοιχείου, τα οποία μεταφέρουν το ρεύμα που παρέχεται προς το φορτίο που προστατεύεται. Σε κανονικές τιμές ρεύματος, παράγεται θερμότητα στο θερμικό στοιχείο και μετά από μια αρχική αύξηση, η θερμοκρασία παραμένει σταθερή. Εάν το ρεύμα υπερβεί την κανονική τιμή λειτουργίας, λόγω βραχυκυκλώματος, η θερμοκρασία του στοιχείου αρχίζει να αυξάνεται και δεδομένου ότι τα μέταλλα που περιλαμβάνουν το θερμικό στοιχείο έχουν διαφορετικούς συντελεστές διαστολής, το στοιχείο παραμορφώνεται όπως φαίνεται στο σχήμα (β). Η παραμόρφωση γίνεται τελικά αρκετή ώστε να απελευθερώσει το μηχανισμό και να επιτρέψει στο ελατήριο ελέγχου να ανοίξει τις επαφές του διακόπτη, απομονώνοντας έτσι το φορτίο από την τροφοδοσία.

Η άνοδος της θερμοκρασίας και βαθμό παραμόρφωσης που παράγεται στο θερμικό στοιχείο είναι ανάλογη με την τιμή του ρεύματος και του χρόνου για τον οποίο εφαρμόζεται. Η θερμοκρασία περιβάλλοντος υπό τις οποίες ο διακόπτης λειτουργεί, επίσης, έχει μια επίδραση στη λειτουργία διακόπτη και αυτό, σε συνδυασμό με τις τιμές λειτουργίας του ρεύματος και τους χρόνους ενεργοποίησης, προέρχεται από χαρακτηριστικές καμπύλες που παρέχονται από τον κατασκευαστή. Αφού ο διακόπτης ενεργοποιηθεί, το μεταλλικό στοιχείο αρχίζει να επαναφέρεται και αφού έχει εκκαθαριστεί το σφάλμα, το κύκλωμα μπορεί και πάλι να ολοκληρωθεί πιέζοντας το διακόπτη. Με αυτόν τον τρόπο κλείνουν οι κύριες επαφές και επαναφέρεται ο διακόπτης στην αρχική του θέση.

Η εξωτερική εμφάνιση των δύο τυπικών μονοπολικών διακοπών μιας φάσης φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Ο διακόπτης κυκλώματος που φαίνεται στο (β) περιλαμβάνει έναν ξεχωριστό πιεζοδιακόπτη.



Σχήμα 8.5	Διακόπτες κυκλώματος (α) Απλός διακόπτης (β) Διακόπτης με χειροκίνητη
------------------	--

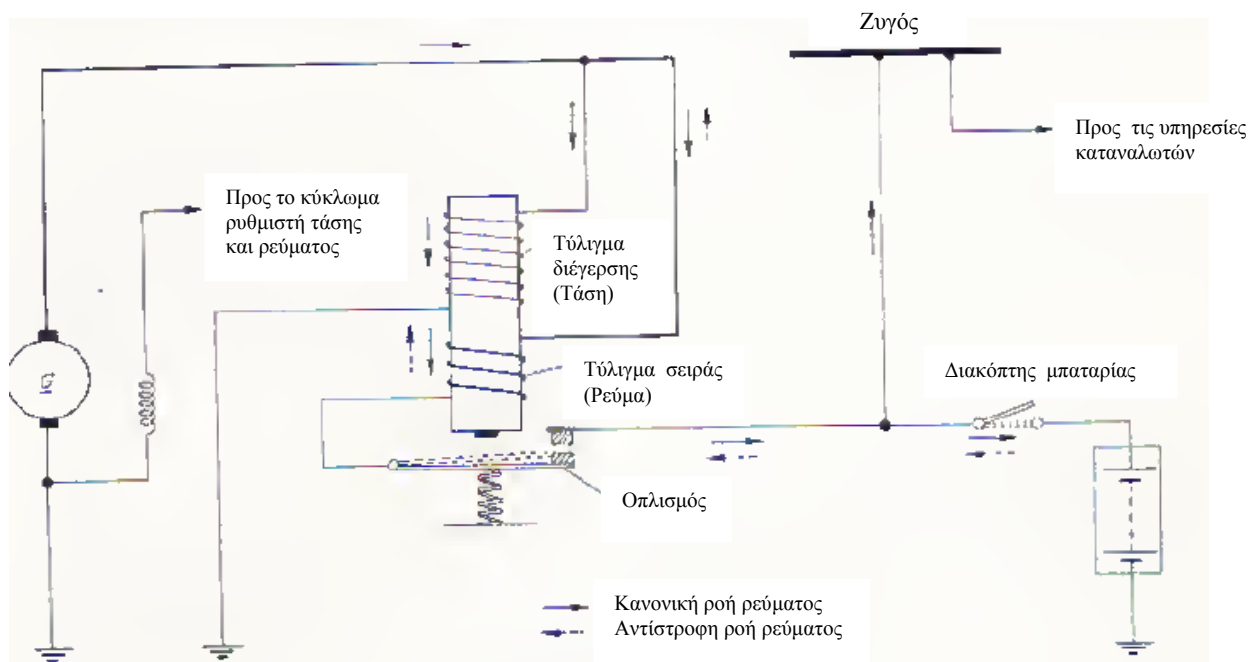
Στα κυκλώματα τριφασικού εναλλασσόμενου ρεύματος, χρησιμοποιούνται οι αυτόματοι τριπολικοί διακόπτες και οι μηχανισμοί τους είναι κατασκευασμένοι κατά τέτοιο τρόπο ώστε σε περίπτωση σφάλματος του ρεύματος σε οποιαδήποτε από τις τρεις φάσεις, και οι τρεις πόλοι θα ενεργοποιηθούν ταυτόχρονα. Παρόμοια ενεργοποίηση θα πραγματοποιηθεί αν συμβεί κάποια ανισορροπία φάσης που είναι αποτέλεσμα μιας φάσης που έχει γίνει ανοικτό κύκλωμα. Οι τρεις μηχανισμοί ενεργοποιούν έναν κοινό πιεζοδιακόπτη.

8.2 Προστασία έναντι ανάστροφου ρεύματος

Σε όλους τους τύπους των ηλεκτρικών συστημάτων, το ρεύμα ρέει από την πηγή τροφοδοσίας προς το σύστημα ζυγών διανομής και τέλος στον εξοπλισμό που το καταναλώνει, όπου η σύνδεση γίνεται από αυτόματες συσκευές όπως είναι οι ρυθμιστές τάσης, οι μονάδες ελέγχου και οι χειροκίνητοι διακόπτες. Υπό συνθήκες σφάλματος, ωστόσο, είναι δυνατό να αντιστραφεί η κατεύθυνση της ροής του ρεύματος και καθώς αυτό μπορεί να προκαλέσει βλάβες σε ένα κύκλωμα και στο σχετικό εξοπλισμό, είναι απαραίτητο να παρέχονται κάποια αυτόματα μέσα προστασίας. Για αυτό μπορούμε να θεωρήσουμε δύο μεθόδους που χρησιμοποιούνται συνήθως, δηλαδή το ρελέ ανάστροφου ρεύματος και το διακόπτη ανάστροφου ρεύματος.

8.2.1 Ρελέ ανάστροφου ρεύματος

Ένα ρελέ ανάστροφου ρεύματος χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο σε ένα σύστημα παραγωγής συνεχούς ρεύματος είτε ως ξεχωριστή μονάδα ή ως μέρος ενός ρυθμιστή τάσης. Η διάταξη του κυκλώματος, όπως εφαρμόζεται σε σύστημα τροφοδοσίας, χαρακτηριστικό των διαφόρων τύπων αεροσκαφών, φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 8.6	Λειτουργία ανάστροφου ρεύματος
------------------	---------------------------------------

Το ρελέ αποτελείται από δύο πηνία τυλιγμένα σε έναν πυρήνα, έναν οπλισμό και ένα συγκρότημα επαφών. Το τύλιγμα αποτελείται από πολλές στροφές λεπτού σύρματος που συνδέεται στα άκρα της γεννήτριας, έτσι ώστε η τάση να εφαρμόζεται ανά πάσα στιγμή. Το τύλιγμα σειράς που αποτελείται από μερικές στροφές του χοντρού σύρματος, είναι σε σειρά με την κύρια γραμμή τροφοδοσίας και είναι σχεδιασμένο για να μεταφέρει το σύνολο του ρεύματος της γραμμής. Το τύλιγμα συνδέεται επίσης με το συγκρότημα επαφών, το οποίο κάτω από στατικές συνθήκες, παραμένει σε ανοικτή θέση με τη βοήθεια ενός ελατηρίου.

Όταν η γεννήτρια αρχίζει να λειτουργεί και η τάση φτάνει σε μια τιμή που υπερβαίνει εκείνη της μπαταρίας, το τύλιγμα του ρελέ παράγει επαρκή μαγνητισμό στον πυρήνα για να προσελκύσει τον οπλισμό και έτσι να κλείσει τις επαφές. Έτσι, το ρελέ λειτουργεί ως αυτόματος διακόπτης για τη σύνδεση της γεννήτριας με το ζυγό, αλλά και με την μπαταρία έτσι ώστε να τροφοδοτείται με ρεύμα φόρτισης. Το πεδίο που παράγεται από το τύλιγμα σειράς βοηθά το πεδίο του τυλίγματος στο να διατηρεί τις επαφές κλειστές.

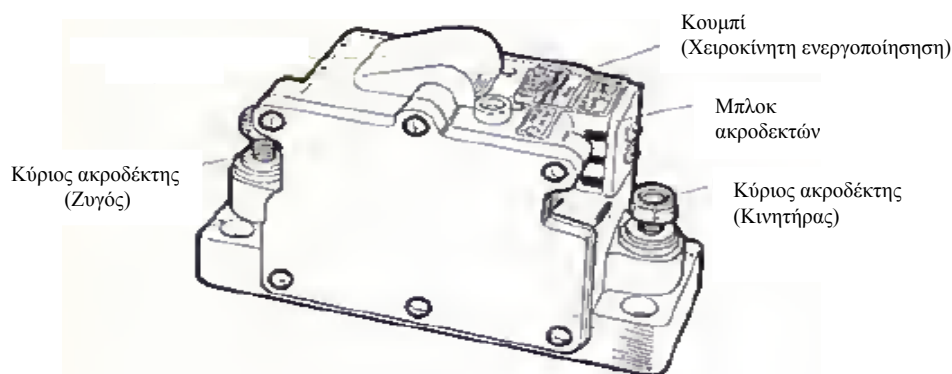
Όταν η γεννήτρια είναι έτοιμη να κλείσει ή αν συμβεί μια βλάβη στην έξοδο, τότε η τιμή της τάσης εξόδου μειώνεται κάτω από την τάση της μπαταρίας και υπάρχει μια στιγμιαία διακοπή του ρεύματος από την μπαταρία. Με άλλα λόγια, το κύκλωμα βρίσκεται σε μια κατάσταση ανάστροφου ρεύματος μέσω του ρελέ του τυλίγματος σειράς. Δεδομένου ότι αυτό προκαλεί επίσης μια αντιστροφή του μαγνητικού πεδίου του, το τύλιγμα διέγερσης θα αντιτίθεται με το τύλιγμα σειράς, μειώνοντας έτσι τη μαγνήτιση του πυρήνα μέχρι ο οπλισμός να ανοίξει τις επαφές.

Η γεννήτρια, ως εκ τούτου τίθεται εκτός λειτουργίας για την προστασία από τις βλάβες που θα προέκυπταν από την αποφόρτιση της μπαταρίας.

8.2.2 Διακόπτες ανάστροφου ρεύματος

Αυτοί οι διακόπτες έχουν σχεδιαστεί για την προστασία των συστημάτων παροχής ηλεκτρικού ρεύματος και των συνδεδεμένων κυκλωμάτων έναντι σφαλμάτων ρεύματος μεγέθους μεγαλύτερου από εκείνου που συμβαίνει η διακοπή της τροφοδοσίας. Επιπλέον, έχουν σχεδιαστεί για να παραμένουν σε κατάσταση "κλειδώματος" ώστε να διασφαλιστεί η πλήρης απομόνωση του κυκλώματος έως ότου εκκαθαριστεί το σφάλμα.

Ένα παράδειγμα ενός διακόπτη σχεδιασμένο για χρήση σε ένα σύστημα DC φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:

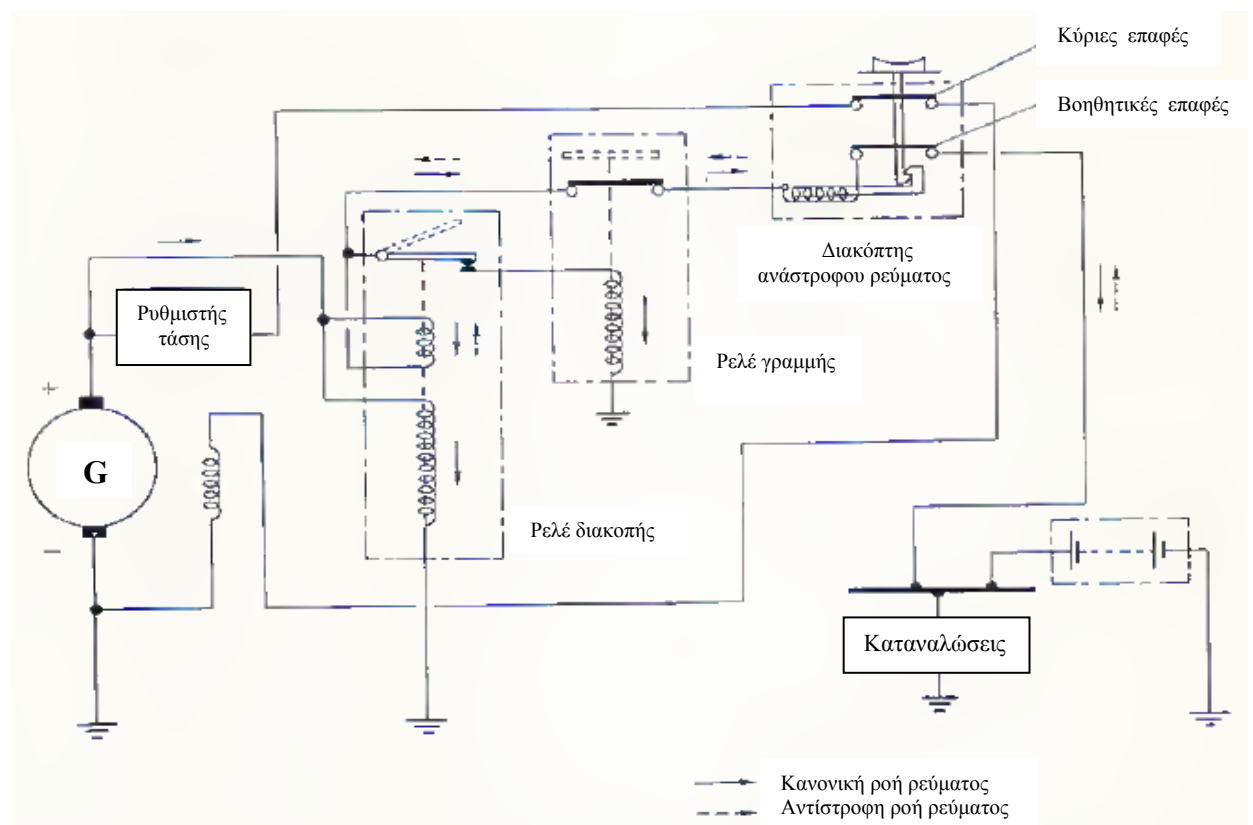


Σχήμα 8.7

Διακόπτης ανάστροφου ρεύματος

Αποτελείται από ένα μαγνήτη, του οποίου η ισχύς και η κατεύθυνση του πεδίου του ελέγχονται από ένα πηνίο που συνδέεται μεταξύ της θετικής εξόδου της γεννήτριας και του ζυγού μέσω ενός συγκροτήματος επαφών. Ένα βοηθητικό συγκρότημα επαφών επίσης συνδέεται σε σειρά με το τύλιγμα διέγερσης της γεννήτριας. Το άνοιγμα των δύο συγκροτημάτων επαφών ελέγχεται από ένα μηχανισμό μανδάλωσης που ενεργοποιείται από το μαγνήτη κάτω από συνθήκες ανάστροφου ρεύματος. Ομοίως με άλλους διακόπτες, η επαναφορά μετά από την ενεργοποίηση πρέπει να γίνει χειροκίνητα και αυτό επιτυγχάνεται με ένα μοχλό που επίσης ενεργοποιείται από τον μηχανισμό μανδάλωσης. Η χειροκίνητη ενεργοποίηση της μονάδας γίνεται με το πάτημα ενός κουμπιού δίπλα στο μοχλό επαναφοράς.

Το παρακάτω σχήμα βασίζεται στη διάταξη κυκλώματος ενός συστήματος DC που χρησιμοποιείται σε ένα συγκεκριμένο τύπο αεροσκάφους και είναι ένα παράδειγμα της εφαρμογής ενός διακόπτη ανάστροφου ρεύματος σε συνδυασμό με ένα ρελέ διακοπής τροφοδοσίας.



Σχήμα 8.8	Λειτουργία διακόπτη ανάστροφου ρεύματος
-----------	---

Σε αντίθεση με το κύκλωμα που φαίνεται στο σχήμα, το ρελέ ελέγχει τη λειτουργία ενός ρελέ γραμμής που συνδέεται σε σειρά με το πηνίο του διακόπτη ανάστροφου ρεύματος. Υπό κανονικές συνθήκες ροής ρεύματος, το κλείσιμο του ρελέ ενεργοποιεί το ρελέ γραμμής, οι επαφές των οποίων συνδέονται στην έξοδο της γεννήτριας με το ζυγό μέσω του πηνίου και τις κύριων επαφών του κανονικά κλειστού διακόπτη ανάστροφου ρεύματος. Το μαγνητικό πεδίο που δημιουργήθηκε από τη ροή ρεύματος υποστηρίζει το μαγνητικό πεδίο του μαγνήτη, διατηρώντας τις επαφές του διακόπτη στην κλειστή θέση. Το κύκλωμα του τυλίγματος διέγερσης της γεννήτριας τροφοδοτείται μέσω των βοηθητικών επαφών.

Όταν η γεννήτρια είναι έτοιμη να κλείσει, ή παρουσιαστεί βλάβη στην έξοδό της, το ανάστροφο ρεύμα που προκύπτει από την πτώση της τάσης εξόδου σε μια τιμή κάτω από εκείνη της μπαταρίας, ρέει μέσω του κυκλώματος και το ρελέ διακοπής λειτουργεί για να απενεργοποιήσει το ρελέ γραμμής το οποίο θέτει τη γεννήτρια εκτός λειτουργίας. Υπό αυτές τις συνθήκες, ο διακόπτης ανάστροφου ρεύματος θα παραμείνει κλειστός, αφού το μέγεθος του ρεύματος είναι πολύ χαμηλότερο από εκείνο στο οποίο ένας συγκεκριμένος τύπος διακόπτη κανονικά λειτουργεί (μερικά τυπικά εύρη είναι 200-250 A και 850-950 A).

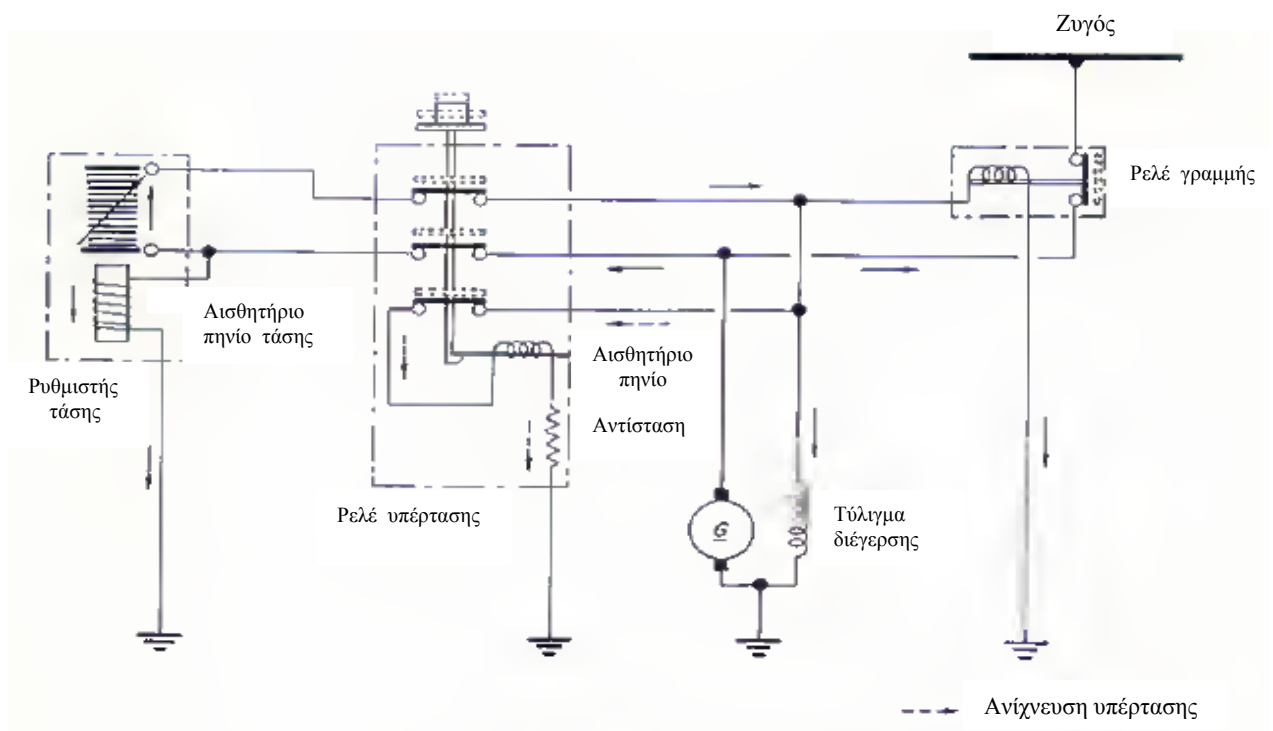
Σε περίπτωση που είτε το ρελέ διακοπής ή της το ρελέ γραμμής αποτύχει να ανοίξει υπό τις ανωτέρω συνθήκες μικρού μεγέθους ανάστροφου ρεύματος, το ανάστροφο ρεύμα θα ανατροφοδοτήσει τη γεννήτρια και εκτός από το ότι βοηθά την εκκίνηση της γεννήτριας, θα αντιστρέψει επίσης και την πολικότητα του πεδίου της γεννήτριας. Το ανάστροφο ρεύμα που διέρχεται μέσω του πηνίου του διακόπτη θα συνεχίσει να αυξάνεται στην προσπάθεια να ξεπεραστούν τα μηχανικά φορτία εξαιτίας της σύζευξης του κινητήρα και της γεννήτριας και έτσι το αυξανόμενο αντίστροφο πεδίο μειώνει την αντοχή του μαγνήτη. Όταν το ανάστροφο ρεύμα φτάνει σε μια προκαθορισμένη τιμή, το πεδίο του μαγνήτη εξουδετερώνεται και απωθείται, προκαλώντας τον μηχανισμό μανδάλωσης να απελευθερώσει τις κύριες και τις βοηθητικές επαφές για να απομονωθεί εντελώς η γεννήτρια από το ζυγό. Ο διακόπτης πρέπει να επαναφερθεί στην αρχική του θέση αφού το σφάλμα του κυκλώματος έχει εκκαθαριστεί.

8.3 Καταστάσεις υπέρτασης και υπότασης

8.3.1 Προστασία από υπέρταση

Μια κατάσταση υπέρτασης θα μπορούσε να προκύψει σε ένα ηλεκτρικό σύστημα αεροσκάφους σε περίπτωση βλάβης στο κύκλωμα διέγερσης όπως για παράδειγμα βλάβες εσωτερικής γείωσης των τυλιγμάτων διέγερσης ή ενός ανοιχτού κυκλώματος στις γραμμές ανίχνευσης του ρυθμιστή τάσης. Είναι, επομένως, αναγκαίες συσκευές για την προστασία του εξοπλισμού των καταναλωτών έναντι τάσεων υψηλότερων από εκείνες στις οποίες είναι συνήθως σχεδιασμένες να λειτουργούν. Οι μέθοδοι που υιοθετούνται, ποικίλλουν μεταξύ των συστημάτων των αεροσκαφών, σχετικά με το εάν παρέχουν συνεχές ή εναλλασσόμενο ρεύμα.

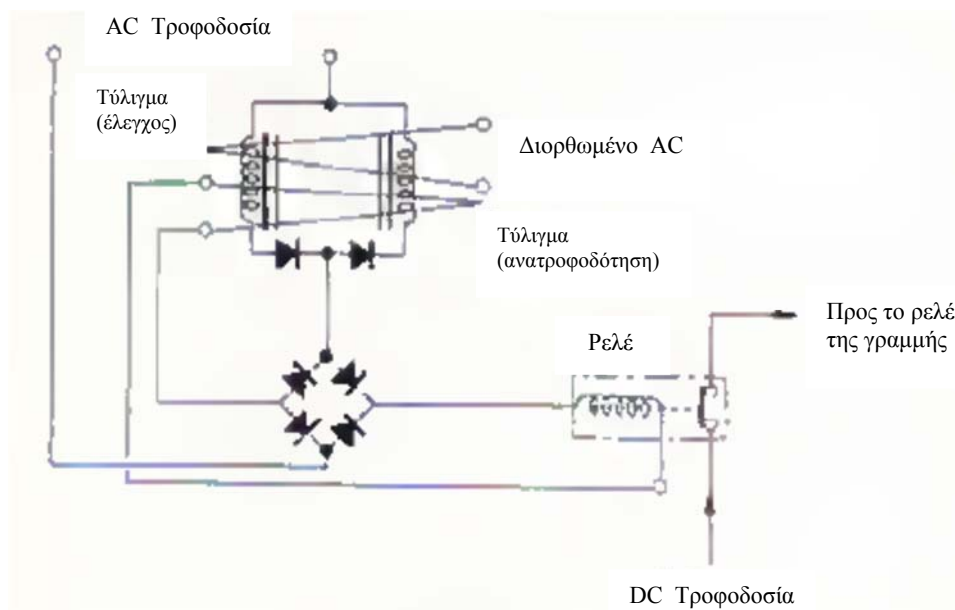
Ένα παράδειγμα μιας μεθόδου υπέρτασης του ρελέ που εφαρμόζεται σε ένα σύστημα DC φαίνεται παρακάτω.



Σχήμα 8.9	DC Σύστημα προστασίας από υπέρταση
-----------	------------------------------------

Ο ηλεκτρονόμος αποτελείται από έναν αριθμό επαφών που συνδέονται σε όλα τα βασικά κυκλώματα του συστήματος της γεννήτριας και μηχανικά συζευγμένο με ένα μηχανισμό μανδάλωσης. Αυτός ο μηχανισμός είναι ηλεκτρομαγνητικά ελεγχόμενος από ένα αισθητήριο πηνίο και ένα συγκρότημα οπλισμών, με το πηνίο συνδεδεμένο στο κύκλωμα του τυλίγματος διέγερσης της γεννήτριας και σε σειρά με μια αντίσταση, η τιμή της οποίας μειώνεται καθώς το ρεύμα που ρέει σε αυτήν αυξάνεται. Υπό κανονικές συνθήκες ρυθμιζόμενης τάσης, η αντίσταση του κυκλώματος του αισθητηρίου πηνίου είναι αρκετά υψηλή για να αποτρέψει το ρεύμα διέγερσης της γεννήτρια από την απελευθέρωση του μηχανισμού μανδάλωσης του ρελέ και έτσι οι επαφές παραμένουν κλειστές και η γεννήτρια παραμένει συνδεδεμένη με το ζυγό. Εάν, ωστόσο, προκύψει ένα ανοικτό κύκλωμα στη γραμμή του αισθητηρίου πηνίου του ρυθμιστή τάσης, το ρεύμα διέγερσης αυξάνεται και λόγω των αντιστρόφων χαρακτηριστικών της αντίστασης του αισθητηρίου πηνίου του ρελέ, το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο που έχει δημιουργηθεί από το πηνίο αναγκάζει το μηχανισμό μανδάλωσης να απελευθερώσει όλες τις επαφές του ρελέ στην ανοικτή θέση, απομονώνοντας έτσι το σύστημα από το ζυγό. Αφού έχει εκκαθαριστεί το σφάλμα, οι επαφές επαναφέρονται στην αρχική τους θέση πιέζοντας το κουμπί.

Το παρακάτω σχήμα απεικονίζει μία μέθοδο που χρησιμοποιείται σε ένα σύστημα μεταβλητής συχνότητας εναλλασσομένου ρεύματος, ο πλήρης έλεγχος των οποίων προβλέπεται με μαγνητικούς ενισχυτές.



Σχήμα 8.10	AC Σύστημα προστασίας από υπέρταση
-------------------	---

Η έξοδος της προστασίας από την υπέρταση του μαγνητικό ενισχυτή τροφοδοτείται σε ένα ανορθωτή γέφυρας και στο πηνίο του ρελέ μέσω ενός τυλίγματος ανατροφοδότησης. Οι κύριες επαφές του ρελέ συνδέονται στο διακοπόμενο κύκλωμα τροφοδοσίας DC με το ρελέ της γραμμής.

Υπό κανονικές συνθήκες τάσης εξόδου, η σύνθετη αντίσταση του μαγνητικού ενισχυτή είναι τέτοια ώστε η AC τάση εξόδου και το διορθωμένο AC μέσα από το πηνίο του ρελέ, διατηρούν το ρελέ στην απενεργοποιημένη κατάσταση. Όταν υπάρχει κατάσταση υπέρτασης, το ρεύμα μέσω του πηνίου του ρελέ αυξάνεται σε μια προκαθορισμένη τιμή και το άνοιγμα των επαφών του ρελέ διακόπτει την DC τροφοδοσία της επαφής γραμμή, η οποία τότε αποσυνδέει τη γεννήτρια από το ζυγό. Ταυτόχρονα, η κύρια μονάδα ελέγχου διακόπτει την τροφοδοσία του ρεύματος διέγερσης στη γεννήτρια, προκαλώντας την AC τάση εξόδου να φτάσει στο μηδέν. Το ρελέ επαναφέρεται στην αρχική του κατάσταση και αφού το σφάλμα έχει εκκαθαριστεί, η έξοδος της γεννήτριας μπορεί να αποκατασταθεί και να συνδεθεί με το ζυγό ύστερα από την εκτέλεση του κανονικού κύκλου εκκίνησης.

8.3.2 Προστασία από υπόταση

Υπόταση συμβαίνει κατά τη διάρκεια της λειτουργίας, όταν μια γεννήτρια κλείνει και η ροή ανάστροφου ρεύματος από το σύστημα στη γεννήτρια είναι φυσιολογική. Σε μία γεννήτρια DC, η προστασία από χαμηλή τάση δεν είναι απαραίτητη, δεδομένου ότι το ανάστροφο ρεύμα ανιχνεύεται και ελέγχεται από το ρελέ ανάστροφου ρεύματος. Είναι, ωστόσο, απαραίτητη, σε ένα σύστημα πολλαπλών γεννητριών με επιμερισμό του φορτίου και εφόσον το κύκλωμα επιμερισμού του φορτίου ενεργεί πάντα για να αυξηθεί η τάση μιας γεννήτριας που έχει υποστεί βλάβη, το κύκλωμα προστασίας από χαμηλή τάση ενσωματώνεται σε εκείνο του επιμερισμού του φορτίου. Ένα τυπικό κύκλωμα συνήθως περιλαμβάνει ένα πολωμένο ρελέ που αποσυνδέει το κύκλωμα επιμερισμού του φορτίου και στη συνέχεια επιτρέπει στο ρελέ ανάστροφου ρεύματος να αποσυνδέσει τη γεννήτρια από το ζυγό. Σε ένα σύστημα AC, μια κατάσταση υπότασης έχει ως αποτέλεσμα τον τετραγωνισμό του ρεύματος που καθυστερεί (σε φάση), ή της αέργου ισχύος, η οποία είναι το ισοδύναμο του ανάστροφου ρεύματος. Η προστατευτική λειτουργία εκτελείται από το κύκλωμα επιμερισμού του αντιδραστικού φορτίου του συστήματος τροφοδοσίας.

❖ Προστασία από υπερσυχνότητα και υποσυχνότητα

Η προστασία εναντίον αυτών των βλαβών ισχύει μόνο για σύστημα AC τροφοδοσίας και επηρεάζεται από το κύκλωμα επιμερισμού του πραγματικού φορτίου του συστήματος τροφοδοσίας.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Διαπιστώνεται ότι τα συστήματα διανομής των αεροσκαφών χρησιμοποιούν όλο και περισσότερο το ηλεκτρικό ρεύμα, κυρίως λόγω της εξέλιξης των ηλεκτροκινητήρων, των ηλεκτρονικών ισχύος και των μεθόδων αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, η απαίτηση ισχύος όλων αυτών των συστημάτων να αυξηθεί ραγδαία. Ο τρόπος με τον οποίο μπορεί να γίνει έλεγχος και διαχείριση του μεγάλου αριθμού ηλεκτρικών φορτίων αποτελεσματικά σε πραγματικό χρόνο, αποκτά όλο και μεγαλύτερη σημασία.

Όσον αφορά τις μεθόδους διανομής ισχύος, η κύρια διαφορά μεταξύ του συστήματος παραγωγής μεταβλητής συχνότητας (VF) και του συστήματος των 270V DC είναι η δυνατότητα παράλληλης λειτουργίας. Η ποιότητα τροφοδοσίας των 270V DC είναι καλύτερη από αυτή του συστήματος μεταβλητής συχνότητας (VF), αφού το πρώτο έχει τη δυνατότητα να παρέχει αδιάλειπτη ισχύ στα φορτία του αεροσκάφους. Ωστόσο, ορισμένα φορτία του αεροσκάφους εξακολουθούν να απαιτούν τροφοδοσία 115V AC ή 28V DC. Στο μέλλον, όμως, τα συστήματα των 270V DC θα χρησιμοποιούνται περισσότερο στα μοντέρνα αεροσκάφη λόγω της ανάγκης μείωσης του μεγέθους των αγωγών, ελαχιστοποίησης του βάρους, της πτώσης τάσης και της κατανάλωσης ισχύος.

Ακολούθως, μέσα από την ανάλυση του συστήματος διανομής, προκύπτει ότι στο σύστημα διαχωρισμένων ζυγών, οι γεννήτριες δεν χρειάζεται να λειτουργούν στην ίδια ακριβώς συχνότητα και μπορεί να βρίσκονται εκτός φάσης μεταξύ τους, επομένως δε χρειάζονται πολύπλοκα κυκλώματα για την προστασία τους. Αντίθετα, στο σύστημα παράλληλων ζυγών, οι γεννήτριες συνδέονται παράλληλα, σε ένα ζυγό διανομής, λειτουργούν στην ίδια συχνότητα και παρέχεται ισοκατανομή μεταξύ των φορτίων τους, όμως χρειάζονται πολύπλοκα και ακριβά κυκλώματα προστασίας. Συνεπώς, στα περισσότερα αεροσκάφη (2 κινητήρων) συστήματος μεταβλητής συχνότητας (VF), χρησιμοποιείται το σύστημα διαχωρισμένων ζυγών τροφοδοσίας.

Ο περιορισμός αυτής της μελέτης είναι ότι έχουν μελετηθεί μόνο τα συστατικά μέρη του ηλεκτρικού συστήματος και οι μέθοδοι διανομής ισχύος του αεροσκάφους. Ένα άλλο σημείο είναι ότι οι επιπτώσεις στην τιμή του φορτίου από την αλλαγή του τύπου τροφοδοσίας δεν έχει μελετηθεί σε αυτό το έργο. Ένας παράγοντας που θα πρέπει να ληφθεί υπόψη είναι ότι οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται σε αυτήν την εργασία είναι πιο πολύτιμες από τα αριθμητικά αποτελέσματα δεδομένου ότι είναι δύσκολο να ληφθούν τα ακριβή δεδομένα των μετρήσεων των φορτίων του αεροσκάφους.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Ian Moir, Allan Seabridge, Malcolm Jukes (2013), “Civil Avionics Systems”, 2nd Edition, Seabridge Systems Ltd., UK, Κεφ. 7
- [2] Ian Moir & Allan Seabridge (2008), “Aircraft Systems Mechanical, Electrical and avionics subsystems integration” (3rd Edition), John Wiley & Sons, Ltd., England
- [3] Nonresident Training Course (February 2002), “Aviation Electricity and Electronics - Power Generation and Distribution”, Navedtra 14323
- [4] E.H.J. Pallett, “Aircraft Electrical Systems”, TEng (CEI), AMRAeS, FSLAET
- [5] Encyclopedia of Aerospace Engineering (2010) John Wiley & Sons, Ltd. σελ. 4473 -4490
- [6] Mike Tooley and David Wyatt (2009), “Aircraft Electrical and Electronic Systems - Principles, operation and maintenance”, Elsevier Ltd., UK, Κεφ. 4,5,6,7,8
- [7] Haitham Abu-Rub, Mariusz Malinowski, Kamal Al-Haddad (2014), “Power Electronics for Renewable Energy Systems, Transportation and Industrial Applications”, Κεφ.12
- [8] Lloyd Dingle, Mike Tooley (2005), “Aircraft Engineering Principles”, Elsevier Ltd., Oxford, Κεφ. 5
- [9] Federal Aviation Administration (FAA) (2012), “Aircraft Electrical System” (Vol.1 - Κεφ. 9)
- [10] Cary R. Spitzer (2006), “The Avionics Handbook” (2nd Edition), Κεφ. 10
- [11] Ali Emadi, Mehrdad Ehsani (2001), “The Power Electronics Handbook”, Κεφ. 21.1 : “More-Electric Vehicles”
- [12] Ahmed Abdel-Hafez (2012), “Power Generation and Distribution System for a More Electric Aircraft-A Review”, Recent Advances in Aircraft technology, Dr. Ramesh Agarwal (Ed.), InTech
Διαθέσιμο από: <http://www.intechopen.com/books/recent-advances-in-aircraft-technology/more-electric-aircraft>
- [13] G.A. Earwicker, aircraft batteries and their behaviour on constant-potential charge, Convention on electrical equipment of aircraft 4th may, 1956
- [14] Airplane and Systems Descriptions, Section 7, Cessna Model 152
- [15] Cristian Anghel, “A novel start system for an Aircraft Auxiliary Power Unit”, Honeywell Engines & Systems Toronto, Canada
- [16] D. Izquierdo (2010), “Protection Devices for Aircraft Electrical Power Distribution Systems: State of the Art”, EADS Universidad Carlos III de Madrid
- [17] Reyad Mohamed Abdel-fadil (2013), “Electrical distribution power systems of modern civil aircrafts”, Aswan University
Διαθέσιμο από: <https://www.researchgate.net/publication/235932771>

- [18] Clément Pornet (2015), Electric Drives for Propulsion System of Transport Aircraft, Κεφ. 5 - Electric Drives for Propulsion System of Transport Aircraft
Διαθέσιμο από: <http://dx.doi.org/10.5772/61506>
- [19] Nexans, “Aircraft wires & cables”, Διαθέσιμο από: <http://www.nexans.com>
- [20] Thales Avionics Electrical Systems Catalog
Διαθέσιμο από: www.thalesgroup.com
- [21] Airbus Training, A320 Electrical System, Flight Control Operation Manual
Διαθέσιμο από: <http://www.airbus.com>
- [22] Airbus Training, A330 Electrical System, Flight Control Operation Manual
Διαθέσιμο από: <http://www.airbus.com>