

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Σχεδίαση και κατασκευή ρυθμιζόμενης διάταξης
τροφοδοσίας εναλλασσόμενης τάσης



Του φοιτητή :
Κεπαζάκης Αλέξανδρος

Επιβλέπων

Αρ. Μητρώου: 518055

**Όνοματεπώνυμο : Ιορδάνης
Κιοσκερίδης**

Τμήμα: Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων

Επιβλέπων Καθηγητής : Κιοσκερίδης Ιορδάνης

Ημερομηνία : 1/12/2025

Τίτλος Δ.Ε. Σχεδίαση και κατασκευή ρυθμιζόμενης διάταξης τροφοδοσίας εναλλασσόμενης τάσης

Κωδικός Δ.Ε. ...

Όνοματεπώνυμο φοιτητή : Αλέξανδρος Κεπαζάκης

Όνοματεπώνυμο εισηγητή : Ιορδάνης Κιοσκερίδης

Ημερομηνία ανάληψης Δ.Ε. :31/10/2025

Ημερομηνία περάτωσης Δ.Ε. : 31/5/2026

Βεβαιώνω ότι είμαι ο συγγραφέας αυτής της εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, έχω καταγράψει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών, εικόνων και κειμένου, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επιπλέον, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά, ειδικά ως διπλωματική εργασία, στο Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του ΔΙ.ΠΑ.Ε.

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή Κεπαζάκη Αλέξανδρου που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης, ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο Διεθνές Πανεπιστήμιο της Ελλάδος άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσης της εργασίας διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο της εργασίας, δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού, ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, πώληση, εμπορική χρήση, διανομή, έκδοση, μεταφόρτωση (downloading), ανάρτηση (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού.

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος, δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα, εκ μέρους του Τμήματος.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία πραγματεύεται τη μελέτη, τη σχεδίαση και την κατασκευή μιας ρυθμιζόμενης διάταξης τροφοδοσίας εναλλασσόμενης τάσης (AC). Στόχος της εργασίας είναι η ανάλυση των βασικών αρχών λειτουργίας των διατάξεων τροφοδοσίας, η κατανόηση των χαρακτηριστικών της εναλλασσόμενης τάσης και η πρακτική υλοποίηση ενός λειτουργικού και ασφαλούς τροφοδοτικού για εργαστηριακή χρήση.

Αρχικά παρουσιάζονται οι βασικές κατηγορίες τροφοδοτικών διατάξεων, οι αρχές λειτουργίας τους και τα κύρια χαρακτηριστικά τους. Γίνεται αναφορά στα τροφοδοτικά συνεχούς και εναλλασσόμενης τάσης, καθώς και στις διαφορές μεταξύ γραμμικών και διακοπτικών τροφοδοτικών. Παράλληλα αναλύονται θεμελιώδεις έννοιες της εναλλασσόμενης τάσης, όπως η κυματομορφή, η συχνότητα, η περίοδος και η ενεργός τιμή.

Στη συνέχεια εξετάζεται ο ρόλος των μετασχηματιστών στις διατάξεις τροφοδοσίας και παρουσιάζονται ζητήματα προστασίας και αξιοπιστίας, όπως προστασία υπέρτασης, υπέρτασης και θερμικής υπερφόρτωσης. Έμφαση δίνεται στην ασφάλεια του χρήστη και στη σταθερή λειτουργία της διάταξης.

Στο πρακτικό μέρος της εργασίας πραγματοποιήθηκε η σχεδίαση του κυκλώματος και της πλακέτας τυπωμένου κυκλώματος (PCB) με τη χρήση του λογισμικού EasyEDA. Επιλέχθηκαν τα κατάλληλα ηλεκτρονικά εξαρτήματα, δημιουργήθηκαν τα αρχεία κατασκευής και πραγματοποιήθηκε η συναρμολόγηση της διάταξης. Τέλος, πραγματοποιήθηκαν πειραματικές δοκιμές και μετρήσεις τάσης, ρεύματος και αντίστασης, με σκοπό την αξιολόγηση της λειτουργίας και της σταθερότητας του τροφοδοτικού.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η κατασκευασμένη διάταξη λειτουργεί ικανοποιητικά, παρουσιάζοντας σταθερή συμπεριφορά, κανονική θερμική λειτουργία και χαμηλό επίπεδο θορύβου κατά τη λειτουργία της. Η εργασία συνδυάζει θεωρητική ανάλυση και πρακτική υλοποίηση, προσφέροντας ολοκληρωμένη προσέγγιση στη μελέτη διατάξεων τροφοδοσίας εναλλασσόμενης τάσης.

Λέξεις-κλειδιά: τροφοδοτικό, εναλλασσόμενη τάση, AC, μετασχηματιστής, PCB, γραμμικό τροφοδοτικό, προστασία κυκλωμάτων.

Design and Construction of an Adjustable AC Power Supply Unit

Alexandros Kepazakis

ABSTRACT

This thesis focuses on the study, design and construction of an adjustable alternating current (AC) power supply unit. The main objective of the project is the analysis of the fundamental operating principles of power supply systems, the understanding of alternating voltage characteristics and the practical implementation of a functional and safe laboratory power supply.

Initially, the basic categories of power supply systems, their operating principles and their main characteristics are presented. Special reference is made to AC and DC power supplies, as well as to the differences between linear and switching power supplies. In addition, fundamental concepts of alternating voltage, such as waveform, frequency, period and RMS value, are analyzed.

Furthermore, the role of transformers in power supply systems is examined, while protection and reliability issues are discussed, including overcurrent protection, overvoltage protection and thermal protection. Particular emphasis is given to user safety and stable system operation.

In the practical part of the thesis, the circuit and printed circuit board (PCB) were designed using the EasyEDA software. Appropriate electronic components were selected, manufacturing files were created and the assembly of the device was completed. Finally, experimental tests and measurements of voltage, current and resistance were carried out in order to evaluate the operation and stability of the power supply.

The experimental results showed that the constructed device operates satisfactorily, presenting stable behavior, normal thermal operation and low noise levels during operation. The thesis combines theoretical analysis with practical implementation, providing a comprehensive approach to the study of alternating current power supply systems.

Keywords: power supply, alternating current, AC voltage, transformer, PCB, linear power supply, circuit protection

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	3
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ	7
1.1 Ορισμός και ρόλος των διατάξεων τροφοδοσίας	8
1.2 Λειτουργικές απαιτήσεις τροφοδοτικών σε ηλεκτρονικά συστήματα	9
1.3 Απαιτήσεις σύγχρονων συστημάτων	10
1.4 Ρόλος των διατάξεων τροφοδοσίας στα ηλεκτρονικά συστήματα	12
1.5 Γενική κατηγοριοποίηση τροφοδοτικών	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΤΡΟΦΟΤΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ	15
2.1 Γενική ταξινόμηση τροφοδοτικών διατάξεων	15
2.2 Τροφοδοτικά συνεχούς τάσης (DC)	17
2.3 Γραμμικά τροφοδοτικά	19
2.4 Διακοπτικά τροφοδοτικά (SMPS)	20
2.5 Σύγκριση βασικών κατηγοριών τροφοδοτικών	21
2.6 Κριτήρια επιλογής τροφοδοτικού ανά εφαρμογή	22
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - ΘΕΩΡΙΑ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΗΣ ΤΑΣΗΣ (AC)	24
3.1 Θεμελιώδεις έννοιες εναλλασσόμενης τάσης	24
3.2 Κυματομορφές εναλλασσόμενης τάσης	25
3.3 Περίοδος και συχνότητα	26
3.4 Ενεργός τιμή (RMS)	27
3.5 Φασική διαφορά	29
3.6 Σχέση θεωρίας εναλλασσόμενης τάσης με τις διατάξεις τροφοδοσίας AC	30
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΗΣ ΤΑΣΗΣ	31
4.1 Τροφοδοτικά εναλλασσόμενης τάσης (AC)	32
4.2 Βασικά χαρακτηριστικά τροφοδοτικών εναλλασσόμενης τάσης	33
4.3 Τυπική δομή διάταξης τροφοδοσίας εναλλασσόμενης τάσης	34
4.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα διατάξεων τροφοδοσίας εναλλασσόμενης τάσης	35
4.5 Περιοχές εφαρμογών διατάξεων τροφοδοσίας εναλλασσόμενης τάσης	36
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 - ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ ΣΕ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ	38
5.1 Γενική αρχή λειτουργίας μετασχηματιστή	38
5.2 Λόγος μετασχηματισμού και μεταβολή τάσης	39

5.3 Ισχύς και απόδοση μετασχηματιστών	41
5.4 Απώλειες και θερμική συμπεριφορά μετασχηματιστών	42
5.5 Ρόλος μετασχηματιστή σε διατάξεις τροφοδοσίας εναλλασσόμενης τάσης	43
5.6 Τύποι μετασχηματιστών σε εφαρμογές τροφοδοσίας	44
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 - Προστασία και αξιοπιστία διατάξεων τροφοδοσίας	45
6.1 Προστασία υπερέματος.....	46
6.2 Προστασία από υπέρταση	47
6.3 Θερμική προστασία	48
6.4 Ασφάλεια χρήστη και ηλεκτρική μόνωση	49
6.5 Αξιοπιστία και διάρκεια ζωής διατάξεων τροφοδοσίας.....	51
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 - ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΑΙ ΥΛΟΠΙΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ	52
7.1 Περιγραφή λειτουργίας κυκλώματος	53
7.2 Σχεδίαση κυκλώματος στο EasyEDA	54
7.3 Σχεδίαση πλακέτας τυπωμένου κυκλώματος (PCB).....	56
7.4 Επιλογή ηλεκτρονικών εξαρτημάτων	57
7.5 Δημιουργία αρχείων Gerber και προετοιμασία κατασκευής	58
7.6 Συναρμολόγηση και κατασκευή της διάταξης.....	59
7.7 Δοκιμές και Μετρήσεις	62
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	64
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	69

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η συνεχής και αξιόπιστη παροχή ηλεκτρικής ενέργειας αποτελεί θεμέλιο για τη λειτουργία των σύγχρονων ηλεκτρονικών και ηλεκτρικών συστημάτων. Η ποιότητα της τροφοδοσίας επηρεάζει άμεσα την απόδοση, τη σταθερότητα και τη διάρκεια ζωής των συσκευών, ενώ διακυμάνσεις ή αστοχίες μπορεί να προκαλέσουν δυσλειτουργίες ή ακόμη και καταστροφή εξαρτημάτων.

Οι διατάξεις τροφοδοσίας αποτελούν βασικό στοιχείο σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, από μικρές ηλεκτρονικές συσκευές έως σύνθετα βιομηχανικά συστήματα και εργαστηριακό εξοπλισμό. Ανάλογα με τις απαιτήσεις του φορτίου, η παρεχόμενη τάση μπορεί να είναι συνεχής (DC) ή εναλλασσόμενη (AC), σταθερή ή ρυθμιζόμενη. Κάθε τύπος τροφοδοτικού παρουσιάζει συγκεκριμένα πλεονεκτήματα και περιορισμούς, ενώ η σωστή επιλογή και σχεδιάσή του συμβάλλει καθοριστικά στην αξιόπιστη και αποδοτική λειτουργία του συστήματος.

Η παρούσα πτυχιακή εργασία επικεντρώνεται στη μελέτη, τη σχεδίαση και την κατασκευή μίας ρυθμιζόμενης διάταξης τροφοδοσίας εναλλασσόμενης τάσης (AC), με στόχο την παρουσίαση των βασικών αρχών λειτουργίας, των χαρακτηριστικών εξόδου και των μέτρων προστασίας που διασφαλίζουν την ασφαλή λειτουργία της. Η εργασία συνδυάζει τη θεωρητική ανάλυση των διατάξεων τροφοδοσίας με την πρακτική υλοποίηση της συγκεκριμένης διάταξης, προσφέροντας μία ολοκληρωμένη εικόνα της σημασίας και της λειτουργίας των τροφοδοτικών συστημάτων στα σύγχρονα ηλεκτρονικά περιβάλλοντα.

Η προσέγγιση που ακολουθείται ξεκινά από την παρουσίαση των βασικών αρχών και των κατηγοριών των τροφοδοτικών διατάξεων, συνεχίζεται με την ανάλυση της λειτουργίας των τροφοδοτικών εναλλασσόμενης τάσης και ολοκληρώνεται με την υλοποίηση και αξιολόγηση της ρυθμιζόμενης διάταξης, επιτυγχάνοντας τη σύνδεση θεωρίας και πράξης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ

1.1 Ορισμός και ρόλος των διατάξεων τροφοδοσίας

Οι διατάξεις τροφοδοσίας αποτελούν βασικό τμήμα κάθε ηλεκτρονικού ή ηλεκτρικού συστήματος, καθώς είναι υπεύθυνες για την παροχή της απαραίτητης ηλεκτρικής ενέργειας στο φορτίο με κατάλληλα χαρακτηριστικά τάσης και ρεύματος. Κύριος στόχος τους είναι η εξασφάλιση σταθερής και αξιόπιστης λειτουργίας των συστημάτων, ανεξάρτητα από μεταβολές της πηγής τροφοδοσίας ή του φορτίου.[1]

Κατά τη λειτουργία τους, οι διατάξεις τροφοδοσίας πραγματοποιούν συχνά μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας από μια μορφή σε άλλη, όπως από εναλλασσόμενη σε συνεχή τάση ή αντίστροφα, ανάλογα με τις απαιτήσεις της εφαρμογής. Η τάση εξόδου της διάταξης μπορεί να είναι σταθερή ή ρυθμιζόμενη και να αφορά είτε εναλλασσόμενη (AC) είτε συνεχή (DC) μορφή, ενώ ο έλεγχός της αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για τη σωστή λειτουργία των ηλεκτρονικών κυκλωμάτων.

Ένα ακόμα βασικό μέγεθος είναι το ρεύμα εξόδου, το οποίο εκφράζει το μέγιστο ρεύμα που μπορεί να παρέχει η διάταξη τροφοδοσίας χωρίς να προκληθεί υπερφόρτωση ή αστοχία. Το επιτρεπτό εύρος ρεύματος καθορίζει άμεσα το φορτίο που μπορεί να υποστηρίξει το σύστημα, καθώς και την αξιοπιστία της λειτουργίας του σε συνθήκες κανονικής χρήσης.

Η παρεχόμενη ηλεκτρική ισχύς αποτελεί επίσης βασική παράμετρο περιγραφής μιας διάταξης τροφοδοσίας και προκύπτει από το γινόμενο της τάσης και του ρεύματος εξόδου, σύμφωνα με τη σχέση:

$$P=V \cdot I [1]$$

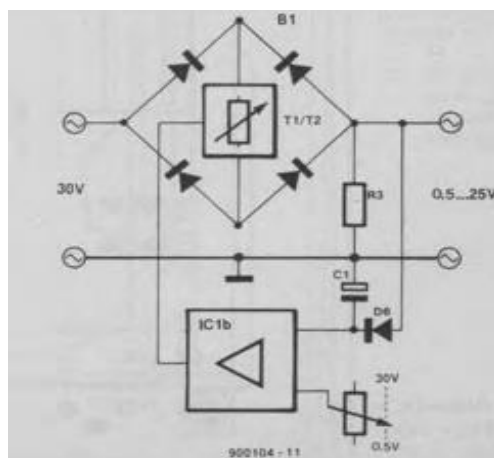
Όπου V είναι η τάση εξόδου και I το ρεύμα εξόδου.

Οι βασικές παράμετροι που χαρακτηρίζουν μια διάταξη τροφοδοσίας συνοψίζονται ως εξής:

- **Τάση εξόδου (V_{out}):** Μπορεί να είναι σταθερή ή ρυθμιζόμενη και να αφορά εναλλασσόμενη (AC) ή συνεχή (DC) τάση, ανάλογα με τις απαιτήσεις της εφαρμογής.
- **Ρεύμα εξόδου (I_{out}):** Το μέγιστο ρεύμα που μπορεί να παρέχει η διάταξη στο φορτίο χωρίς να επηρεάζεται η ασφαλής λειτουργία της.

- **Ισχύς εξόδου (P):** Η παρεχόμενη ηλεκτρική ισχύς, η οποία εξαρτάται από την τάση και το ρεύμα εξόδου, όπως περιγράφεται από τη σχέση $P = V \cdot I$.
- **Σταθερότητα:** Η ικανότητα της διάταξης να διατηρεί την τάση εξόδου σε προκαθορισμένα επίπεδα, ανεξάρτητα από μεταβολές της τάσης εισόδου ή του φορτίου.

Ιδιαίτερη σημασία παρουσιάζει και η σταθερότητα της διάταξης τροφοδοσίας, η οποία σε συνδυασμό με τα ενσωματωμένα μέτρα προστασίας, όπως προστασία υπερρεύματος, υπέρτασης και θερμική προστασία, συμβάλλει καθοριστικά στην ασφαλή και αξιόπιστη λειτουργία του συνολικού συστήματος.



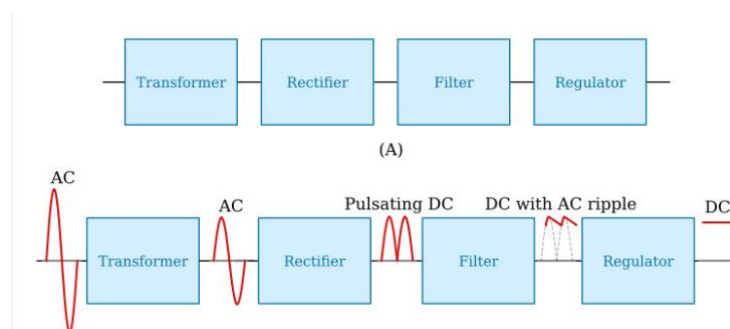
Σχήμα 1.1: Γενικό διάγραμμα του ρυθμιζόμενου τροφοδοτικού εναλλασσόμενης τάσης.

1.2 Λειτουργικές απαιτήσεις τροφοδοτικών σε ηλεκτρονικά συστήματα

- Τα τροφοδοτικά αποτελούν θεμελιώδες στοιχείο των ηλεκτρονικών συστημάτων, καθώς καθορίζουν άμεσα την αξιοπιστία, την απόδοση και την ασφάλεια των κυκλωμάτων. Η κύρια λειτουργία τους είναι η παροχή ενέργειας με κατάλληλα χαρακτηριστικά, ώστε τα ηλεκτρονικά συστήματα να λειτουργούν σωστά και σταθερά υπό μεταβαλλόμενες συνθήκες φορτίου ή διακυμάνσεις της πηγής τροφοδοσίας. [1]
- Η ομαλή λειτουργία των τροφοδοτικών συμβάλλει στην προστασία των κυκλωμάτων από φαινόμενα υπερρεύματος, υπέρτασεων ή βραχυκυκλωμάτων, μειώνοντας τον κίνδυνο βλάβης και διακοπής λειτουργίας. Επιπλέον, η τροφοδοσία πρέπει να διατηρεί τις παραμέτρους

λειτουργίας εντός ασφαλών ορίων, παρέχοντας αξιοπιστία και μακροχρόνια σταθερότητα για τα συστήματα που τροφοδοτεί.

- Σε σύγχρονα ηλεκτρονικά συστήματα, τα τροφοδοτικά οφείλουν να είναι ενεργειακά αποδοτικά, περιορίζοντας τις απώλειες και βελτιώνοντας τη συνολική απόδοση. Παράλληλα, πρέπει να προσαρμόζονται στις ανάγκες των φορτίων, υποστηρίζοντας δυνατότητες όπως ρυθμιζόμενη τάση εξόδου και επιλογή AC ή DC, ώστε να καλύπτονται διαφορετικά είδη συστημάτων, όπως υπολογιστές, Arduino, PLC και εκπαιδευτικά εργαστήρια.
- Οι βασικές λειτουργικές απαιτήσεις ενός τροφοδοτικού περιλαμβάνουν:
- **Σταθερότητα τάσης και ρεύματος:** Διασφάλιση ότι τα ηλεκτρονικά κυκλώματα λαμβάνουν σταθερά επίπεδα τροφοδοσίας ανεξαρτήτως μεταβολών στο φορτίο ή στην πηγή.
- **Ασφάλεια:** Προστασία από υπερρεύμα, υπερτάσεις, βραχυκυκλώματα και θερμικές υπερφορτώσεις.
- **Απόδοση:** Βελτιστοποίηση της ενεργειακής κατανάλωσης με περιορισμό απωλειών.
- **Ευελιξία:** Δυνατότητα προσαρμογής της τάσης ή του ρεύματος εξόδου ανάλογα με τις απαιτήσεις των φορτίων.
- **Συνέπεια και αξιοπιστία:** Μακροχρόνια λειτουργία χωρίς διακοπές ή φθορές, με δυνατότητα παρακολούθησης και συντήρησης.



Σχήμα 1.2: Γενικό block διάγραμμα τροφοδοτικού ηλεκτρονικού συστήματος με τα κύρια στάδια λειτουργίας (μετασχηματιστή, ανορθωτή, φίλτρο, ρυθμιστή κ.λπ.).

1.3 Απαιτήσεις σύγχρονων συστημάτων

Στα σύγχρονα ηλεκτρονικά συστήματα, οι διατάξεις τροφοδοσίας αντιμετωπίζουν αυξημένες απαιτήσεις λόγω της πολυπλοκότητας των κυκλωμάτων και της ευαισθησίας τους σε διακυμάνσεις τάσης και ρεύματος. Η σταθερή και ακριβής παροχή ισχύος αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για τη σωστή

λειτουργία και τη μακροχρόνια αξιοπιστία των συσκευών, ιδιαίτερα σε εφαρμογές όπως υπολογιστικά συστήματα, βιοϊατρικές συσκευές, μικροελεγκτές και βιομηχανικά PLC.

Η σταθερότητα της τάσης και του ρεύματος είναι θεμελιώδης. Οι διατάξεις τροφοδοσίας πρέπει να διατηρούν την τάση εξόδου εντός προκαθορισμένων ορίων, ανεξάρτητα από τις μεταβολές φορτίου ή της πηγής τροφοδοσίας. Ακόμη και μικρές αποκλίσεις μπορεί να επηρεάσουν την ακρίβεια σε ευαίσθητα κυκλώματα, όπως ψηφιακές πλατφόρμες, αισθητήρες υψηλής ακρίβειας ή συστήματα αυτοματισμού. Το σφάλμα τάσης, που υπολογίζει την απόκλιση της εξόδου από την ονομαστική τιμή, δίνεται από τον τύπο:

$$\Delta V(\%) = \frac{V_{out} - V_{nom}}{V_{nom}} \cdot 100$$

όπου V_{out} είναι η τάση εξόδου και V_{nom} η ονομαστική τάση. Η γνώση αυτού του σφάλματος είναι απαραίτητη για την εκτίμηση της απόδοσης του συστήματος υπό διαφορετικά φορτία, καθώς και για τον σχεδιασμό κυκλωμάτων με υψηλή ακρίβεια.

Η ασφάλεια των συστημάτων αποτελεί κρίσιμο παράγοντα. Οι σύγχρονες διατάξεις ενσωματώνουν προστασία από υπερρεύματα, υπερτάσεις και βραχυκυκλώματα. Επιπλέον, η θερμική προστασία αποτρέπει την υπερθέρμανση που θα μπορούσε να μειώσει την απόδοση ή να προκαλέσει μόνιμη βλάβη. Τα συστήματα αυτοπροστασίας διασφαλίζουν ότι η διάταξη τροφοδοσίας και συνδεδεμένα φορτία παραμένουν προστατευμένα σε οποιοδήποτε σενάριο αστοχίας.

Η ανθεκτικότητα και η αξιοπιστία είναι απαραίτητες για μακροχρόνια λειτουργία. Τα τροφοδοτικά πρέπει να διατηρούν σταθερές τις παραμέτρους εξόδου και σε ακραίες συνθήκες, όπως υψηλές θερμοκρασίες, ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές ή διακυμάνσεις δικτύου. Αυτή η ανθεκτικότητα εξασφαλίζει την λειτουργία των συστημάτων χωρίς απρόβλεπτες διακοπές ή φθορές.

Η ευελιξία και η προσαρμοστικότητα αποτελούν καθοριστικά χαρακτηριστικά για διαφορετικές εφαρμογές. Η δυνατότητα ρύθμισης της τάσης και του ρεύματος εξόδου ανάλογα με τις ανάγκες διαφορετικών φορτίων επιτρέπει προγραμματιζόμενες ή ρυθμιζόμενες λύσεις, ενώ παράλληλα διευκολύνει τη συμβατότητα με διαφορετικά πρότυπα και συσκευές.

Τέλος, η συμμόρφωση με διεθνή πρότυπα, όπως IEC και CE, διασφαλίζει την ασφάλεια, την αξιοπιστία και την συμβατότητα των συστημάτων σε ποικίλες εφαρμογές, από εργαστηριακά κυκλώματα χαμηλής ισχύος μέχρι βιομηχανικές εγκαταστάσεις μεγάλης ισχύος. Η τήρηση αυτών των προτύπων είναι απαραίτητη για την αξιολόγηση και πιστοποίηση των τροφοδοτικών. [2]



Σχήμα 1.3: Τροφοδοτικό Υπολογιστή Full Modular 80 Plus Gold 850W.

1.4 Ρόλος των διατάξεων τροφοδοσίας στα ηλεκτρονικά συστήματα

Οι διατάξεις τροφοδοσίας αποτελούν το θεμελιώδες στοιχείο που συνδέει την πηγή ηλεκτρικής ενέργειας με τα κυκλώματα ενός συστήματος. Ο ρόλος τους δεν περιορίζεται απλώς στην παροχή τάσης και ρεύματος. Η ποιότητα της τροφοδοσίας επηρεάζει άμεσα την αξιοπιστία, την απόδοση και τη διάρκεια ζωής των ηλεκτρονικών συσκευών.

Σε ενσωματωμένα συστήματα, όπως πλακέτες Arduino ή Raspberry Pi, η τροφοδοσία καθορίζει την ακρίβεια λειτουργίας των μικροελεγκτών και των αισθητήρων. Ασταθείς τάσεις ή θόρυβος μπορούν να προκαλέσουν απώλεια δεδομένων, επανεκκινήσεις ή λανθασμένη εκτέλεση εντολών. Σε αυτές τις περιπτώσεις, η τροφοδοσία πρέπει να προσφέρει σταθερή τάση και προστασία από βραχυκυκλώματα, διασφαλίζοντας την ομαλή λειτουργία του συστήματος.

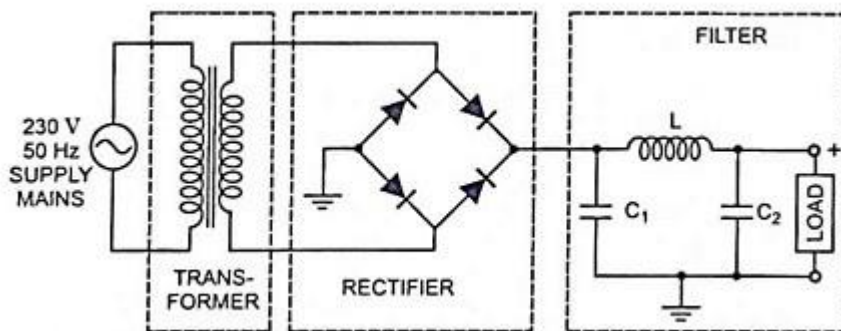
Σε βιομηχανικά συστήματα αυτοματισμού, όπως πίνακες ελέγχου με PLC συστήματα κίνησης ή CNC μηχανές, τα φορτία μεταβάλλονται δυναμικά κατά την λειτουργία. Οι διατάξεις τροφοδοσίας οφείλουν να ανταποκρίνονται άμεσα σε αυτές τις αλλαγές, διατηρώντας σταθερή την τάση εξόδου και περιορίζοντας φαινόμενα πτώσης τάσης ή υπερφόρτωσης. Επιπλέον, η ενσωμάτωση προστατευτικών

κυκλωμάτων, όπως υπέρταση ή θερμική προστασία εξασφαλίζει ότι τα συστήματα και οι χρήστες παραμένουν ασφαλείς

Αντίστοιχα, σε υπολογιστικά συστήματα, όπως προσωπικοί υπολογιστές ή διακομιστές, η τροφοδοσία πρέπει να παρέχει υψηλή αξιοπιστία και ικανότητα διαχείρισης μεταβαλλόμενων φορτίων, ώστε να αποφεύγονται απρόβλεπτες επανεκκινήσεις ή βλάβες υλικού. Σε εφαρμογές υψηλής ακρίβειας, όπως εργαστηριακά όργανα ή ιατρικές συσκευές, η σταθερότητα της τάσης και η προστασία από ηλεκτρικές διαταραχές καθορίζουν την ποιότητα των μετρήσεων και τη λειτουργία των συσκευών.

Πέρα από την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας, οι διατάξεις τροφοδοσίας επιτελούν και προστατευτικό ρόλο. Μέσω κατάλληλων κυκλωμάτων προστασίας, μπορούν να περιορίσουν τις επιπτώσεις υπερτάσεων, υπερρευσμάτων ή αιχμών τάσης που προέρχονται από το δίκτυο ή από εξωτερικές διαταραχές. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό σε βιομηχανικά και εργαστηριακά περιβάλλοντα, όπου οι ηλεκτρικές συνθήκες είναι συχνά ασταθείς και απαιτείται αυξημένο επίπεδο ασφάλειας για τον εξοπλισμό και τον χρήστη.

Συνολικά, οι διατάξεις τροφοδοσίας συνδυάζουν παροχή ενέργειας και προστασία. Η σωστή επιλογή και σχεδίαση τους εξασφαλίζει την ομαλή, αξιόπιστη και ασφαλή λειτουργία των συστημάτων, είτε πρόκειται για μικρές ενσωματωμένες πλακέτες είτε για βιομηχανικές εγκαταστάσεις μεγάλης ισχύος. Η τήρηση διεθνών προτύπων (IEC , CE) ενισχύει τη συμβατότητα και την ασφάλεια των εφαρμογών, καθιστώντας τις τροφοδοσίες απαραίτητο κομμάτι κάθε σύγχρονου ηλεκτρικού συστήματος.



Σχήμα 1.4 : Block διάγραμμα μη ρυθμιζόμενης διάταξης τροφοδοσίας με κύρια στάδια:

Μετασχηματιστή, ανορθωτή και φίλτρο.

1.5 Γενική κατηγοριοποίηση τροφοδοτικών

Οι διατάξεις τροφοδοσίας μπορούν να ταξινομηθούν ανάλογα με το είδος της τάσης που παρέχουν, τον τρόπο λειτουργίας τους και τις εφαρμογές για τις οποίες προορίζονται. Η κατηγοριοποίηση αυτή δεν είναι μόνο θεωρητική, αλλά αποτελεί ουσιαστικό εργαλείο για τον σχεδιασμό και την επιλογή της κατάλληλης διάταξης για κάθε ηλεκτρονικό σύστημα, εξασφαλίζοντας αξιοπιστία, σταθερότητα και ασφάλεια.

Τα τροφοδοτικά συνεχούς τάσης (DC) αποτελούν τη βάση για συστήματα που απαιτούν ακριβή και καθαρή τροφοδοσία. Αυτά χρησιμοποιούνται εκτενώς σε μικροελεγκτές, ενσωματωμένα συστήματα και ευαίσθητους αισθητήρες, όπου ακόμα και μικρές διακυμάνσεις της τάσης μπορούν να επηρεάσουν την ορθή λειτουργία των κυκλωμάτων. Για παράδειγμα, ένα τροφοδοτικό 5V/2A για Arduino ή Raspberry Pi πρέπει να παρέχει σταθερή τάση, ώστε οι μικροελεγκτές και οι συνδεδεμένες συσκευές να λειτουργούν σωστά.

Αντίθετα, τα τροφοδοτικά εναλλασσόμενης τάσης (AC) χρησιμοποιούνται κυρίως σε συσκευές που συνδέονται απευθείας στο δίκτυο, όπως κινητήρες, φωτιστικά ή βιομηχανικά μηχανήματα. Η τάση εξόδου παραμένει σε μορφή AC και συχνά απαιτείται η ικανότητα να τροφοδοτούν μεγάλα φορτία. Οι σύγχρονες διατάξεις AC διαθέτουν επίσης προστασία από υπερρεύματα και υπερτάσεις, εξασφαλίζοντας την ασφαλή λειτουργία του συνόλου του συστήματος.

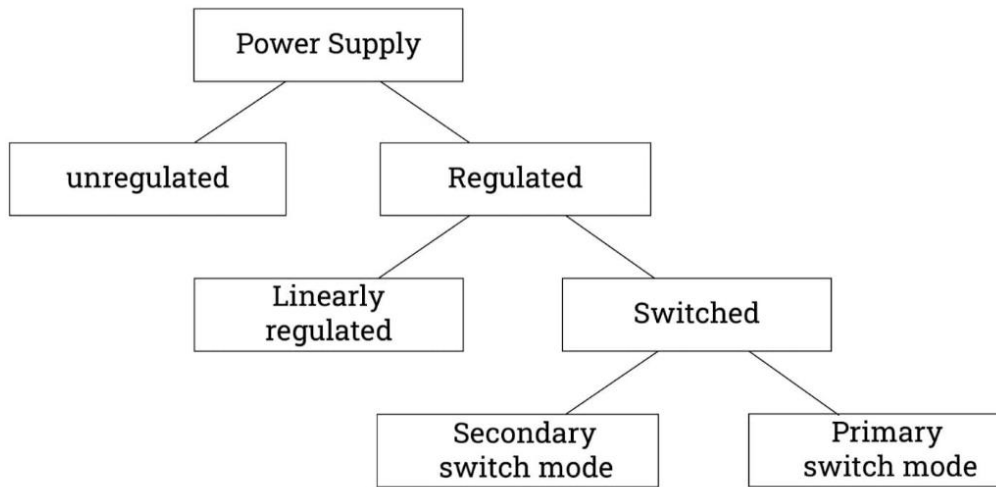
Τα γραμμικά τροφοδοτικά παρέχουν καθαρή τάση εξόδου και υψηλή ακρίβεια, χαρακτηριστικά που τα καθιστούν ιδανικά για εργαστηριακές εφαρμογές και ευαίσθητα κυκλώματα. Παράλληλα, η απλή τους αρχιτεκτονική συνεπάγεται μεγαλύτερες θερμικές απώλειες, γεγονός που απαιτεί προσεκτικό σχεδιασμό ψύξης. Τροφοδοτικά αυτού του τύπου συναντώνται συχνά σε εργαστηριακά κυκλώματα, όπου απαιτείται σταθερή τάση 0-30V για πειραματικές δοκιμές.

Η ανάγκη για υψηλή απόδοση και μικρότερο μέγεθος οδήγησε στην ανάπτυξη των διακοπτικών τροφοδοτικών (SMPS)[3]. Σε αυτά, η τάση μετατρέπεται και ρυθμίζεται μέσω διακοπτικών στοιχείων, όπως τρανζίστορ, προσφέροντας αποδοτική και αξιόπιστη τροφοδοσία. Τα SMPS χρησιμοποιούνται σε υπολογιστές, τηλεπικοινωνιακό εξοπλισμό και server racks, προσφέροντας σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τα παραδοσιακά γραμμικά τροφοδοτικά [3].

Τέλος, υπάρχουν ειδικές κατηγορίες τροφοδοτικών που καλύπτουν συγκεκριμένες ανάγκες, όπως ρυθμιζόμενα τροφοδοτικά που επιτρέπουν αλλαγή τάσης ή ρεύματος ανάλογα με το φορτίο, τροφοδοτικά πολλαπλής εξόδου για σύνθετα κυκλώματα και τροφοδοτικά μπαταρίας ή UPS που εξασφαλίζουν συνεχή λειτουργία σε περίπτωση διακοπής ρεύματος.

Η σωστή επιλογή και κατανόηση των διαφόρων τύπων τροφοδοτικών είναι απαραίτητη για την ομαλή, ασφαλή και αποτελεσματική λειτουργία οποιουδήποτε ηλεκτρονικού συστήματος. Η γνώση των χαρακτηριστικών κάθε κατηγορίας επιτρέπει στον μηχανικό να επιλέξει τη διάταξη που καλύπτει τις απαιτήσεις του φορτίου και εξασφαλίζει μακροχρόνια αξιοπιστία.

Types of Power Supply



Σχήμα 1.5: Γενική κατηγοριοποίηση διατάξεων τροφοδοσίας με βάση το είδος της παρεχόμενης τάσης και τον τρόπο λειτουργίας (AC, DC, γραμμικά και διακοπτικά τροφοδοτικά).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΤΡΟΦΟΤΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ

2.1 Γενική ταξινόμηση τροφοδοτικών διατάξεων

Οι διατάξεις τροφοδοσίας μπορούν να ταξινομηθούν με βάση διαφορετικά κριτήρια, όπως το είδος της τάσης εξόδου, τον τρόπο μετατροπής της ηλεκτρικής ενέργειας και την λειτουργική τους αρχιτεκτονική. Η ταξινόμηση αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική, καθώς επιτρέπει την κατανόηση των βασικών αρχών λειτουργίας κάθε τύπου τροφοδοτικού και διευκολύνει την επιλογή της κατάλληλης διάταξης ανάλογα με τις απαιτήσεις του εκάστοτε ηλεκτρονικού συστήματος .

Ένα από τα βασικότερα κριτήρια ταξινόμησης αφορά τη μορφή της τάσης εξόδου. Με βάση αυτό, τα τροφοδοτικά διακρίνονται σε διατάξεις συνεχούς τάσης (DC) και σε διατάξεις εναλλασσόμενης τάσης (AC). Τα τροφοδοτικά συνεχούς τάσης χρησιμοποιούνται κυρίως σε ηλεκτρονικά κυκλώματα χαμηλής και μέσης ισχύος, όπου απαιτείται σταθερή και καθαρή τροφοδοσία, ενώ τα τροφοδοτικά εναλλασσόμενης τάσης βρίσκουν εφαρμογή σε συστήματα που λειτουργούν απευθείας με AC τάση, όπως κινητήρες, φωτιστικά και βιομηχανικές εγκαταστάσεις.

Ένα δεύτερο σημαντικό κριτήριο αφορά τον τρόπο ρύθμισης και μετατροπής της τάσης. Με βάση αυτό, τα τροφοδοτικά χωρίζονται σε γραμμικά και διακοπτικά. Τα γραμμικά τροφοδοτικά χαρακτηρίζονται από απλή δομή και χαμηλό ηλεκτρικό θόρυβο, γεγονός που τα καθιστά κατάλληλα για εργαστηριακές και ευαίσθητες εφαρμογές. Ωστόσο, παρουσιάζουν χαμηλότερη ενεργειακή απόδοση λόγω αυξημένων θερμικών απωλειών. Αντίθετα, τα διακοπτικά τροφοδοτικά επιτυγχάνουν υψηλή απόδοση και μικρότερο όγκο, καθιστώντας τα κατάλληλα για σύγχρονες εφαρμογές, όπως υπολογιστικά συστήματα, τηλεπικοινωνιακό εξοπλισμό και βιομηχανικούς ελεγκτές.

Επιπλέον, οι διατάξεις τροφοδοσίας μπορούν να ταξινομηθούν ανάλογα με το αν η τάση εξόδου είναι σταθερή ή ρυθμιζόμενη. Τα ρυθμιζόμενα τροφοδοτικά επιτρέπουν την προσαρμογή της τάσης ή και του ρεύματος εξόδου στις απαιτήσεις του φορτίου, προσφέροντας μεγαλύτερη ευελιξία σε εφαρμογές ανάπτυξης, δοκιμών και εκπαίδευσης. Αντίθετα, τα σταθερά τροφοδοτικά παρέχουν προκαθορισμένες τιμές τάσης και χρησιμοποιούνται σε συστήματα με συγκεκριμένες και σταθερές απαιτήσεις λειτουργίας.

Τέλος, ιδιαίτερη κατηγορία αποτελούν τα τροφοδοτικά αδιάλειπτης παροχής ισχύος (UPS), τα οποία συνδυάζουν παροχή ενέργειας και εφεδρική λειτουργία σε περίπτωση διακοπής του δικτύου. Οι διατάξεις αυτές χρησιμοποιούνται κυρίως σε κρίσιμα συστήματα, όπως διακομιστές, βιομηχανικά συστήματα ελέγχου και ιατρικό εξοπλισμό, όπου η συνεχής λειτουργία είναι απαραίτητη.

Η γενική αυτή ταξινόμηση αποτελεί τη βάση για την αναλυτικότερη παρουσίαση των επιμέρους κατηγοριών τροφοδοτικών που ακολουθούν στις επόμενες υποενότητες. Μέσα από αυτήν, καθιστά σαφές ότι η επιλογή της κατάλληλης διάταξης τροφοδοσίας εξαρτάται άμεσα από τις απαιτήσεις του φορτίου, το περιβάλλον λειτουργίας και χαρακτηριστικά του συνολικού συστήματος.



Σχήμα 2.1: Ρυθμιζόμενο τροφοδοτικό εναλλασσόμενης τάσης τύπου μεταβλητού αυτομετασχηματιστή (Variac), που επιτρέπει συνεχή μεταβολή της τάσης εξόδου AC.

2.2 Τροφοδοτικά συνεχούς τάσης (DC)

Τα τροφοδοτικά συνεχούς τάσης (DC) αποτελούν βασικό στοιχείο των περισσότερων ηλεκτρονικών συστημάτων, καθώς η πλειονότητα των ηλεκτρονικών κυκλωμάτων και διατάξεων λειτουργεί με συνεχή τάση. Μικροελεγκτές, ψηφιακά ολοκληρωμένα κυκλώματα, αισθητήρες, αναλογικά στάδια ενίσχυσης και συστήματα ελέγχου απαιτούν σταθερή DC τροφοδοσία προκειμένου να λειτουργούν αξιόπιστα και με ακρίβεια.

Η ηλεκτρική ενέργεια που παρέχεται από το δίκτυο είναι εναλλασσόμενης μορφής (AC), γεγονός που καθιστά απαραίτητη τη μετατροπή της σε συνεχή τάση. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται μέσω διατάξεων τροφοδοσίας AC-DC, οι οποίες μετασχηματίζουν, ανορθώνουν, φιλτράρουν και ρυθμίζουν την τάση ώστε να καταστεί κατάλληλη για την τροφοδοσία ηλεκτρονικών φορτίων.[4]

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα της εικόνας 2.2, ένα τυπικό τροφοδοτικό συνεχούς τάσης αποτελείται από διαδοχικά στάδια, καθένα από τα οποία επιτελεί συγκεκριμένη λειτουργία. Αρχικά, η εναλλασσόμενη τάση του δικτύου οδηγείται σε μετασχηματιστή, ο οποίος προσαρμόζει το επίπεδο της

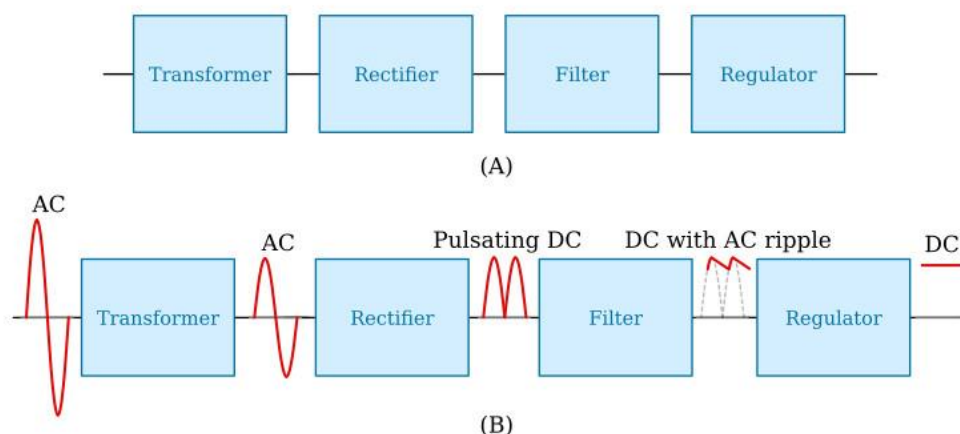
τάσης στα επιθυμητά όρια και παρέχει ηλεκτρική απομόνωση για λόγους ασφαλείας. Στη συνέχεια, η τάση εξόδου του μετασχηματιστή οδηγείται στο στάδιο της ανόρθωσης.

Η ανόρθωση πραγματοποιείται συνήθως μέσω διόδων και έχει ως σκοπό τη μετατροπή της εναλλασσόμενης τάσης σε παλμική συνεχή τάση. Ανάλογα με τη διάταξη, μπορεί να εφαρμοστεί ημιανόρθωση ή πλήρης ανόρθωση, με τη δεύτερη να χρησιμοποιείται ευρέως λόγω καλύτερης αξιοποίησης της ισχύος και μειωμένου κυματισμού στην έξοδο. Παρότι η ανόρθωση μετατρέπει την τάση σε μονοπολική μορφή, η έξοδος εξακολουθεί να περιέχει σημαντικές διακυμάνσεις .

Για τον λόγο αυτό ακολουθεί στάδιο φιλτραρίσματος, το οποίο στοχεύει στην μείωση του κυματισμού (ripple) της τάσης. Το φιλτράρισμα επιτυγχάνεται συνήθως με τη χρήση πυκνωτών η συνδυασμών παθητικών στοιχείων, οι οποίοι εξομαλύνουν την παλμική τάση και προσεγγίζουν μια πιο σταθερή DC μορφή. Η ποιότητα του φιλτραρίσματος επηρεάζει άμεσα την απόδοση και σταθερότητα της τροφοδοσίας, ιδιαίτερα σε ευαίσθητα ηλεκτρονικά κυκλώματα.

Το τελευταίο στάδιο ενός κλασικού DC τροφοδοτικού είναι η ρύθμιση της τάσης. Ο ρυθμιστής τάσης έχει ως στόχο τη διατήρηση της εξόδου σε σταθερό επίπεδο, ανεξάρτητα από μεταβολές στο φορτίο ή στην τάση εξόδου. Η ρύθμιση μπορεί να πραγματοποιείται με γραμμικούς ρυθμιστές ή με πιο αποδοτικές διακοπτικές τεχνικές, οι οποίες θα αναλυθούν σε επόμενες. Η σταθερότητα της τάσης εξόδου αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για την αξιόπιστη λειτουργία των ηλεκτρονικών συστημάτων.[4]

Τα τροφοδοτικά συνεχούς τάσης χρησιμοποιούνται ευρέως σε πληθώρα εφαρμογών, όπως ενσωματωμένα συστήματα, υπολογιστικά συστήματα, τηλεπικοινωνιακές διατάξεις και εργαστηριακά όργανα. Η σωστή σχεδίαση και επιλογή ενός DC τροφοδοτικού εξασφαλίζει τη μακροχρόνια λειτουργία των κυκλωμάτων, μειώνει τις πιθανότητες αστοχίας και συμβάλλει στη συνολική απόδοση και ασφάλεια του συστήματος.



Σχήμα 2.2: Block διάγραμμα τυπικής διάταξης τροφοδοτικού συνεχούς τάσης (AC–DC), με τα βασικά στάδια μετασχηματιστή, ανορθωτή, φίλτρου εξομάλυνσης και ρυθμιστή τάσης.

2.3 Γραμμικά τροφοδοτικά

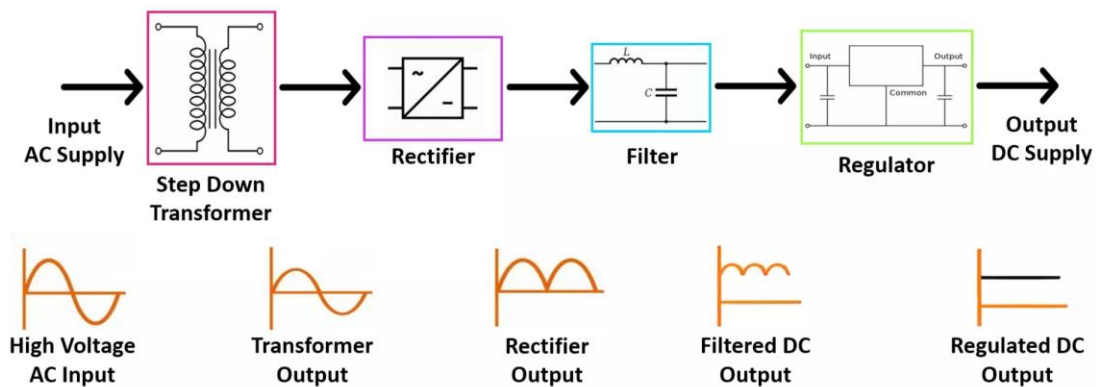
Τα γραμμικά τροφοδοτικά αποτελούν μία από τις παλαιότερες και πιο κλασικές μορφές διατάξεων τροφοδοσίας συνεχούς τάσης. Χαρακτηρίζονται από απλή αρχιτεκτονική και λειτουργούν με συνεχή έλεγχο της τάσης εξόδου μέσω γραμμικών στοιχείων, χωρίς τη χρήση διακοπτικών τεχνικών. Η απλότητα τους τα καθιστά ιδιαίτερα αξιόπιστα και εύκολα στην κατανόηση, γεγονός που εξηγεί την εκτεταμένη χρήση τους σε εργαστηριακές και εκπαιδευτικές εφαρμογές.

Η βασική δομή ενός γραμμικού τροφοδοτικού περιλαμβάνει τα στάδια μετασχηματιστή, ανορθωτή, φίλτρου εξομάλυνσης και γραμμικού ρυθμιστή τάσης. Σε αντίθεση με τα διακοπτικά τροφοδοτικά, ο γραμμικός ρυθμιστής λειτουργεί στην ενεργό περιοχή του, απορρίπτοντας την περίσσεια ισχύος υπό μορφή θερμότητας, ώστε να διατηρεί την τάση εξόδου σε σταθερό επίπεδο. Η μέθοδος αυτή προσφέρει υψηλή ποιότητα τάσης, αλλά συνοδεύεται από μειωμένη ενεργειακή απόδοση.

Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα των γραμμικών τροφοδοτικών είναι η πολύ χαμηλή στάθμη ηλεκτρικού θορύβου στην έξοδο. Η απουσία υψηλών συχνοτήτων διακοπής τα καθιστά ιδανικά για ευαίσθητα αναλογικά κυκλώματα, ενισχυτές εργαστηριακά όργανα και μετρητικές διατάξεις, όπου η καθαρότητα της τάσης είναι κρίσιμη. Επιπλέον, παρουσιάζουν σταθερή συμπεριφορά και προβλέψιμη λειτουργία, ακόμα και σε περιβάλλοντα με ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές.

Ωστόσο, τα γραμμικά τροφοδοτικά εμφανίζουν και σημαντικά μειονεκτήματα. Η ενεργειακή απόδοσή τους είναι χαμηλή, ιδιαίτερα όταν η διαφορά εισόδου και τάσης εξόδου είναι μεγάλη. Η περίσσεια ισχύος μετατρέπεται σε θερμότητα, γεγονός που απαιτεί τη χρήση ψηκτρών και αυξάνει τον όγκο και το βάρος της διάταξης. Αυτό περιορίζει τη χρήση τους σε εφαρμογές χαμηλής έως μέτριας ισχύος και το βάρος της διάταξης. Αυτό περιορίζει τη χρήση τους σε εφαρμογές χαμηλής έως μέτριας ισχύος και καθιστά τα γραμμικά τροφοδοτικά λιγότερο κατάλληλα για φορητές ή συμπαγείς συσκευές.

Παρά τους περιορισμούς αυτούς, τα γραμμικά τροφοδοτικά εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται ευρέως σε εργαστηριακά περιβάλλοντα, εκπαιδευτικά συστήματα και εφαρμογές όπου η σταθερότητα και η ποιότητα της τάσης εξόδου υπερέχουν της ενεργειακής απόδοσης. Η απλή δομή τους τα καθιστά επίσης ιδανικά για μελέτη και ανάλυση βασικών αρχών τροφοδοσίας, αποτελώντας θεμέλιο για την κατανόηση πιο σύνθετων διακοπτικών διατάξεων.



Linear Regulated Power Supply Block Diagram

Σχήμα 2.3: Block διάγραμμα γραμμικού τροφοδοτικού συνεχούς τάσης, με στάδια μετασχηματιστή, ανορθωτή, φίλτρου εξομάλυνσης και γραμμικού ρυθμιστή τάσης.

2.4 Διακοπτικά τροφοδοτικά (SMPS)

Τα διακοπτικά τροφοδοτικά, γνωστά και ως Switch Mode Power Supplies (SMPS), αποτελούν τη σύγχρονη και επικρατούσα μορφή διατάξεων τροφοδοσίας σε πλήθος ηλεκτρονικών και ηλεκτρικών εφαρμογών. Σε αντίθεση με τα γραμμικά τροφοδοτικά, τα SMPS βασίζονται στην διακοπτική λειτουργία ενεργών στοιχείων υψηλής συχνότητας, επιτυγχάνοντας σημαντικά υψηλότερη ενεργειακή απόδοση και μειωμένο μέγεθος και βάρος.

Η βασική αρχή λειτουργίας ενός διακοπτικού τροφοδοτικού στηρίζεται στην μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας μέσω γρήγορης διακοπής της τάσης με τη χρήση ημιαγωγικών στοιχείων, όπως τρανζίστορ ισχύος. Η τάση εισόδου αρχικά ανορθώνεται και στην συνέχεια μετατρέπεται σε παλμική μορφή υψηλής συχνότητας. Η παλμική αυτή τάση οδηγείται σε μετασχηματιστή υψηλής συχνότητας, ο οποίος επιτρέπει την προσαρμογή της τάσης με σημαντικά μικρότερες διαστάσεις σε σχέση με τους κλασικούς μετασχηματιστές.

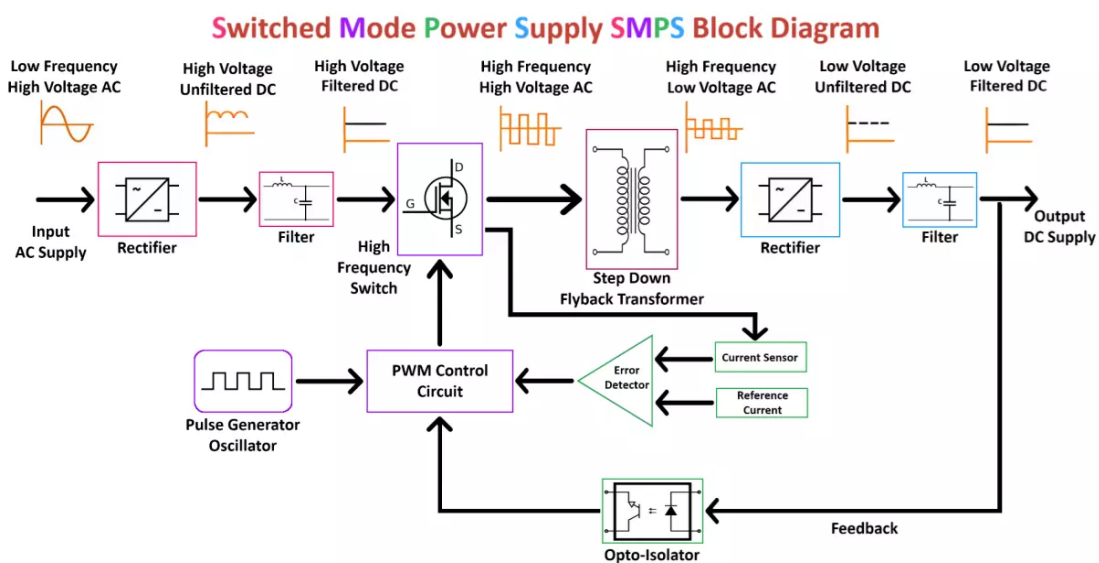
Στο στάδιο της εξόδου, τάση ανορθώνεται εκ νέου και φιλτράρεται ώστε να παραχθεί σταθερή συνεχής τάση. Η ρύθμιση της εξόδου επιτυγχάνεται μέσω συστημάτων ελέγχου ανάδρασης, τα οποία

μεταβάλλουν τον κύκλο λειτουργίας (Duty Cycle) της διακοπτικής λειτουργίας, διατηρώντας την τάση εξόδου εντός προκαθορισμένων ορίων ανεξάρτητα από τις μεταβολές του φορτίου ή της τάσης εισόδου.

Τα διακοπτικά τροφοδοτικά παρουσιάζουν σημαντικά πλεονεκτήματα σε σύγκριση με τα γραμμικά. Η υψηλή ενεργειακή απόδοση μειώνει τις θερμικές απώλειες και περιορίζει τις απαιτήσεις ψύξης, ενώ το μικρό τους μέγεθος τα καθιστά ιδανικά για σύγχρονες ηλεκτρονικές συσκευές, υπολογιστικά συστήματα και φορητές εφαρμογές. Για τον λόγο αυτό, χρησιμοποιούνται ευρέως σε τροφοδοτικά υπολογιστών, φορτιστές, τηλεπικοινωνιακό εξοπλισμό και βιομηχανικά συστήματα.

Ωστόσο, τα SMPS παρουσιάζουν και ορισμένα μειονεκτήματα. Η διακοπτική λειτουργία υψηλής συχνότητας εισάγει ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές και θόρυβο, γεγονός που απαιτεί πρόσθετα φίλτρα και προσεκτικό σχεδιασμό. Επιπλέον, η πολυπλοκότητα των κυκλωμάτων ελέγχου καθιστά τη σχεδίαση τους πιο απαιτητική σε σύγκριση με τα γραμμικά τροφοδοτικά.

Παρά τα μειονεκτήματα αυτά, τα διακοπτικά τροφοδοτικά αποτελούν σήμερα την κυρίαρχη επιλογή στις περισσότερες εφαρμογές, καθώς συνδυάζουν υψηλή απόδοση, ευελιξία και δυνατότητα τροφοδότησης ευρέος φάσματος φορτίων με αξιοπιστία και ασφάλεια.



Σχήμα 2.4: Block διάγραμμα διακοπτικού τροφοδοτικού (SMPS), με στάδια ανορθωτή, διακοπτικής βαθμίδας υψηλής συχνότητας, μετασχηματιστή, ανορθωτή εξόδου και κυκλώματος ανάδρασης.

2.5 Σύγκριση βασικών κατηγοριών τροφοδοτικών

Οι διαφορετικές κατηγορίες τροφοδοτικών που παρουσιάστηκαν στις προηγούμενες υποενότητες εμφανίζουν σημαντικές διαφορές ως προς τον τρόπο λειτουργίας, την απόδοση και τις εφαρμογές τους. Η σύγκριση μεταξύ τροφοδοτικών εναλλασσόμενης τάσης, συνεχούς τάσης, γραμμικών και διακοπτικών επιτρέπει την καλύτερη κατανόηση των πλεονεκτημάτων και των περιορισμών κάθε λύσης, διευκολύνοντας τη σωστή επιλογή τροφοδοσίας ανάλογα με τις απαιτήσεις του συστήματος.

Τα τροφοδοτικά εναλλασσόμενης τάσης (AC) χρησιμοποιούνται κυρίως για την προσαρμογή της τάσης του δικτύου και την τροφοδότηση φορτίων που λειτουργούν απευθείας με εναλλασσόμενη μορφή τάσης. Χαρακτηρίζονται από απλή δομή και υψηλή αξιοπιστία, ωστόσο δεν είναι κατάλληλα για την άμεση τροφοδότηση ηλεκτρονικών κυκλωμάτων που απαιτούν σταθερή DC τάση.

Αντίθετα, τα τροφοδοτικά συνεχούς τάσης (DC) αποτελούν βασικό στοιχείο των ηλεκτρονικών συστημάτων, καθώς παρέχουν την απαιτούμενη σταθερή τάση για τη λειτουργία ψηφιακών και αναλογικών κυκλωμάτων. Η ποιότητα της DC τάσης, ο κυματισμός και η σταθερότητα εξόδου καθορίζουν άμεσα την αξιοπιστία και την ακρίβεια του συστήματος.

Μεταξύ των DC τροφοδοτικών, τα γραμμικά τροφοδοτικά διακρίνονται για τη χαμηλή στάθμη θορύβου και την υψηλή ποιότητα τάσης εξόδου. Η απλή αρχιτεκτονική τους τα καθιστά ιδιαίτερα κατάλληλα για εργαστηριακές εφαρμογές, μετρητικά όργανα και ευαίσθητα αναλογικά κυκλώματα. Παράλληλα, η μειωμένη ενεργειακή απόδοση και οι αυξημένες θερμικές απώλειες περιορίζουν τη χρήση τους σε εφαρμογές χαμηλής έως μέτριας ισχύος.

Τα διακοπτικά τροφοδοτικά (SMPS), από την άλλη πλευρά, προσφέρουν υψηλή ενεργειακή απόδοση, μικρό όγκο και δυνατότητα λειτουργίας σε ευρύ φάσμα τάσεων εισόδου. Για τον λόγο αυτό αποτελούν τη βασική επιλογή σε σύγχρονες ηλεκτρονικές συσκευές, υπολογιστικές συστήματα και βιομηχανικές εφαρμογές. Η αυξημένη πολυπλοκότητα και ο ηλεκτρομαγνητικός θόρυβος που παράγουν απαιτούν προσεκτικό σχεδιασμό και χρήση κατάλληλων φίλτρων.

Συνεπώς, δεν υπάρχει μια “βέλτιστη” λύση τροφοδοσίας για όλες τις εφαρμογές. Η επιλογή του κατάλληλου τύπου τροφοδοτικού εξαρτάται από παράγοντες όπως η απαιτούμενη ισχύς, η ποιότητα της τάσης εξόδου, η ενεργειακή απόδοση, το μέγεθος και το περιβάλλον λειτουργίας. Η κατανόηση αυτών των διαφορών αποτελεί βασικό εργαλείο για τον μηχανικό ηλεκτρονικών συστημάτων και προϋπόθεση για τη σωστή σχεδίαση και υλοποίηση διατάξεων τροφοδοσίας.

2.6 Κριτήρια επιλογής τροφοδοτικού ανά εφαρμογή

Η επιλογή της κατάλληλης διάταξης τροφοδοσίας αποτελεί κρίσιμο στάδιο στον σχεδιασμό κάθε ηλεκτρονικού συστήματος, καθώς επηρεάζει άμεσα την απόδοση, την αξιοπιστία και την ασφάλεια της συνολικής εφαρμογής. Δεν υπάρχει μία ενιαία λύση που να καλύπτει όλες τις περιπτώσεις, καθώς οι απαιτήσεις διαφοροποιούνται ανάλογα με το είδος του φορτίου, το περιβάλλον λειτουργίας και τους περιορισμούς του συστήματος.

Ένα από τα βασικότερα κριτήρια επιλογής είναι το είδος της απαιτούμενης τάσης εξόδου. Συστήματα που λειτουργούν απευθείας με εναλλασσόμενη τάση, όπως κινητήρες, φωτιστικά σώματα η βιομηχανικά μηχανήματα, απαιτούν τροφοδοτικά AC με κατάλληλη προσαρμογή της τάσης. Αντίθετα, η πλειονότητα των ηλεκτρονικών κυκλωμάτων, όπως μικροελεγκτές, αισθητήρες και ψηφιακές διατάξεις, απαιτούν σταθερή συνεχόμενη τάση, γεγονός που καθιστά απαραίτητη τη χρήση τροφοδοτικών DC με επαρκή σταθερότητα και χαμηλό κυματισμό.

Εξίσου σημαντικός παράγοντας είναι η απαιτούμενη ισχύς και το μέγιστο ρεύμα εξόδου. Το τροφοδοτικό πρέπει να είναι σε θέση να καλύπτει τις ανάγκες του φορτίου όχι μόνο σε κανονική λειτουργία, αλλά και σε συνθήκες αιχμής, όπως κατά την εκκίνηση ή τη μεταβολή του φορτίου. Η επιλογή τροφοδοτικού με ανεπαρκή ισχύ μπορεί να οδηγήσει σε αστάθεια, πτώση τάσης ή ακόμη και βλάβη του συστήματος.

Η ποιότητα της τάσης εξόδου αποτελεί καθοριστικό κριτήριο σε ευαίσθητες εφαρμογές. Σε αναλογικά κυκλώματα, εργαστηριακά όργανα ή συστήματα υψηλής ακρίβειας, η χαμηλή στάθμη ηλεκτρικού θορύβου και ο περιορισμένος κυματισμός είναι ιδιαίτερα σημαντικά. Σε αυτές τις περιπτώσεις, τα γραμμικά τροφοδοτικά συχνά υπερέχουν, παρά τη χαμηλότερη ενεργειακή τους απόδοση. Αντίθετα, σε εφαρμογές όπου προτεραιότητα αποτελεί η υψηλή απόδοση και το μικρό μέγεθος, όπως σε υπολογιστικά ή φορητά συστήματα, τα διακοπτικά τροφοδοτικά αποτελούν την καταλληλότερη επιλογή.

Το περιβάλλον λειτουργίας παίζει επίσης σημαντικό ρόλο στην επιλογή τροφοδοτικού. Σε βιομηχανικά περιβάλλοντα, όπου επικρατούν υψηλές θερμοκρασίες, κραδασμοί και ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές, απαιτούνται τροφοδοτικά με αυξημένη ανθεκτικότητα και το ενσωματωμένα κυκλώματα προστασίας. Αντίστοιχα, εργαστηριακές ή εκπαιδευτικές εφαρμογές, η ευκολία ρύθμισης της τάσης και του ρεύματος, καθώς και η δυνατότητα παρακολούθησης των μεγεθών εξόδου, αποτελούν βασικά πλεονεκτήματα.

Τέλος, σημαντικό κριτήριο αποτελεί η ασφάλεια και συμμόρφωση με διεθνή πρότυπα. Η ύπαρξη προστασίας από υπερρεύματα, υπερτάσεις και θερμικές υπερφορτώσεις, καθώς και η πιστοποίηση

σύμφωνα με τα πρότυπα όπως IEC και CE, διασφαλίζουν την ασφαλή λειτουργία τόσο του συστήματος όσο και του χρήστη.

Συνεπώς, η επιλογή του κατάλληλου τροφοδοτικού προκύπτει από συνδυαστική αξιολόγηση τεχνικών και λειτουργικών παραμέτρων. Η σωστή αντιστοίχιση της διάταξης τροφοδοσίας στις απαιτήσεις της εκάστοτε εφαρμογής αποτελεί βασική προϋπόθεση για την αξιόπιστη και αποδοτική λειτουργία των ηλεκτρονικών συστημάτων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - ΘΕΩΡΙΑ ΕΝΑΛΛΑΣΟΜΕΝΗΣ ΤΑΣΗΣ (AC)

3.1 Θεμελιώδεις έννοιες εναλλασσόμενης τάσης

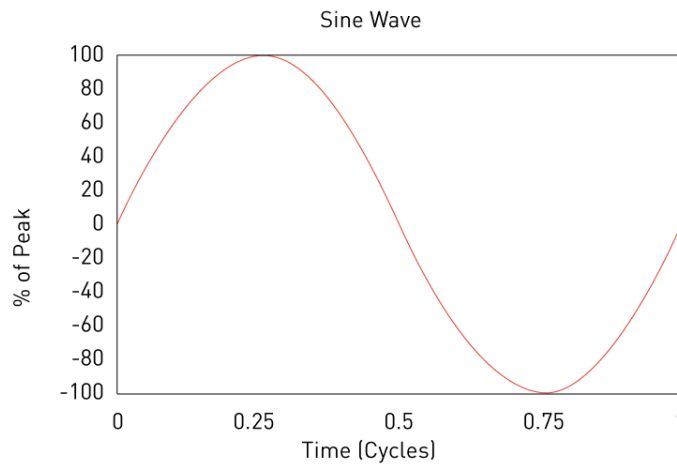
Η εναλλασσόμενη τάση (Alternating Current Voltage - AC) αποτελεί τη μορφή ηλεκτρικής τάσης κατά την οποία το μέτρο και η πολικότητα της μεταβάλλονται περιοδικά με τον χρόνο. Σε αντίθεση με τη συνεχή τάση, όπου η πολικότητα και το πλάτος παραμένουν σταθερά, η εναλλασσόμενη τάση μεταβάλλεται συνεχώς, γεγονός που επιτρέπει την αποδοτική μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις και την χρήση μετασχηματιστών.[4]

Η πιο συνηθισμένη μορφή εναλλασσόμενης τάσης είναι η ημιτονοειδής, η οποία παράγεται από ηλεκτρικές γεννήτριες στα συστήματα παραγωγής ενέργειας. Στα περισσότερα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας, η εναλλασσόμενη τάση χαρακτηρίζεται από σταθερή συχνότητα και πλάτος, με τυπική συχνότητα τα 50Hz στην Ευρώπη και τα 60Hz σε άλλες χώρες.[5]

Βασικό χαρακτηριστικό της εναλλασσόμενης τάσης είναι η περιοδικότητα της. Η τάση επαναλαμβάνει την ίδια μορφή σε ίσα χρονικά διαστήματα, γεγονός που επιτρέπει τη μαθηματική περιγραφή και ανάλυσή της. Η περιοδική αυτή συμπεριφορά καθιστά δυνατή την εισαγωγή εννοιών όπως η περίοδος, η συχνότητα, το πλάτος και η φάση, οι οποίες αποτελούν θεμελιώδη μεγέθη στη μελέτη των εναλλασσόμενων συστημάτων.[5]

Στα ηλεκτρονικά και ηλεκτρικά συστήματα, η εναλλασσόμενη τάση χρησιμοποιείται τόσο ως μορφή τροφοδοσίας όσο και ως ενδιάμεσο στάδιο μετατροπής. Στις διατάξεις τροφοδοσίας, η AC τάση του δικτύου μετασχηματίζεται, προσαρμόζεται ή μετατρέπεται η συνεχή τάση, ανάλογα με τις απαιτήσεις

του φορτίου. Η κατανόηση των βασικών χαρακτηριστικών της εναλλασσόμενης τάσης είναι επομένως απαραίτητη για τη σωστή ανάλυση και σχεδίαση τροφοδοτικών διατάξεων.



Σχήμα 3.1: Τυπική ημιτονοειδή κυματομορφή εναλλασσόμενης τάσης ως συνάρτηση του χρόνου.

3.2 Κυματομορφές εναλλασσόμενης τάσης

Η εναλλασσόμενη τάση μπορεί να εμφανιστεί με διάφορες μορφές κυματομορφής, ανάλογα με τον τρόπο παραγωγής της και την εφαρμογή στην οποία χρησιμοποιείται. Η κυματομορφή περιγράφει την μεταβολή της τάσης ως συνάρτηση του χρόνου και αποτελεί βασικό χαρακτηριστικό για την ανάλυση και τον σχεδιασμό ηλεκτρονικών και ηλεκτρικών συστημάτων.

Η ημιτονοειδής κυματομορφή αποτελεί τη σημαντικότερη και συνηθέστερη μορφή εναλλασσόμενης τάσης. Παράγεται από ηλεκτρικές γεννήτριες και χρησιμοποιείται στο σύνολο σχεδόν των δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας. Η ομαλή και συνεχή μεταβολή της την καθιστά ιδανικά για μεταφορά ισχύος, καθώς προκαλεί μικρότερες απώλειες και μειωμένες ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές. Μαθηματικά η ημιτονοειδής τάση περιγράφεται από την σχέση[5] :

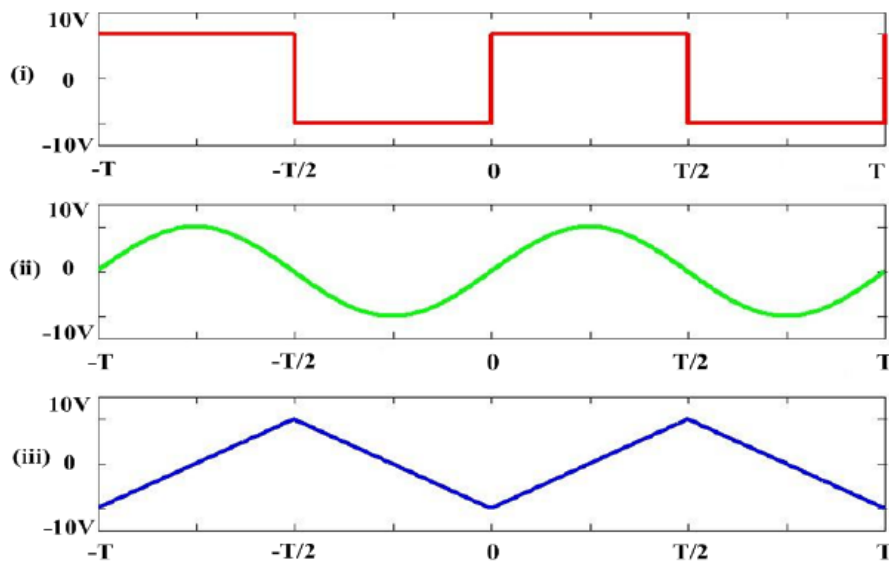
$$u(t)=V_m \sin(\omega t)$$

Όπου V_m είναι το μέγιστο πλάτος της τάσης και ω γωνιακή συχνότητα.

Εκτός από την ημιτονοειδή μορφή, συναντώνται και άλλες κυματομορφές εναλλασσόμενης τάσης, οι οποίες χρησιμοποιούνται κυρίως σε ηλεκτρονικά κυκλώματα και συστήματα ισχύος. Η τετραγωνική κυματομορφή χαρακτηρίζεται από απότομες μεταβολές μεταξύ θετικών και αρνητικών επιπέδων τάσης

και χρησιμοποιείται ευρέως σε ψηφιακά κυκλώματα, παλμογεννήτριες και διακοπτικές διατάξεις. Αντίστοιχα η τριγωνική κυματομορφή παρουσιάζει γραμμική αύξηση και μείωση της τάσης και χρησιμοποιείται σε κυκλώματα ελέγχου, ταλαντωτές και συστήματα διαμόρφωσης.

Η επιλογή της κατάλληλης κυματομορφής εξαρτάται από τις απαιτήσεις της εφαρμογής. Στις διατάξεις τροφοδοσίας, η ημιτονοειδής μορφή αποτελεί τη βασική είσοδο από το δίκτυο, ενώ οι υπόλοιπες κυματομορφές εμφανίζονται κυρίως σε ενδιάμεσα κυρίως στάδια επεξεργασίας ή ελέγχου της ισχύος. Η κατανόηση των χαρακτηριστικών κάθε κυματομορφής είναι απαραίτητη για την ανάλυση της συμπεριφοράς των κυκλωμάτων και τη σωστή σχεδίαση τροφοδοτικών διατάξεων.



Σχήμα 3.2: Βασικές κυματομορφές εναλλασσόμενης τάσης: (i) τετραγωνική, (ii) ημιτονοειδής και (iii) τριγωνική.

3.3 Περίοδος και συχνότητα

Η περιοδικότητα αποτελεί βασικό χαρακτηριστικό της εναλλασσόμενης τάσης και περιγράφει την επανάληψη της κυματομορφής σε ίσα χρονικά διαστήματα. Κάθε πλήρης επανάληψη της κυματομορφής ορίζεται ως ένας κύκλος και συνδέεται άμεσα με την έννοια της περιόδου και της συχνότητας.

Η περίοδος (T) ορίζεται ως ο χρόνος που απαιτείται για την ολοκλήρωση ενός πλήρους κύκλου της εναλλασσόμενης τάσης. Μετρείται σε δευτερόλεπτα (s) και αποτελεί βασικό μέγεθος για την ανάλυση

των χρονικών χαρακτηριστικών της κυματομορφής. Για παράδειγμα, σε μια ημιτονοειδή τάση, η περίοδος αντιστοιχεί στο χρονικό διάστημα μεταξύ δύο διαδοχικών ίδιων σημείων της κυματομορφής, όπως δύο διαδοχικών μέγιστων ή μηδενισμών με την ίδια φορά.

Η συχνότητα (f) εκφράζει τον αριθμό των κύκλων που πραγματοποιούνται ανά δευτερόλεπτο και μετρείται σε Hertz (Hz). Η συχνότητα αποτελεί το αντίστροφο της περιόδου και δίνεται από τη σχέση[5] :

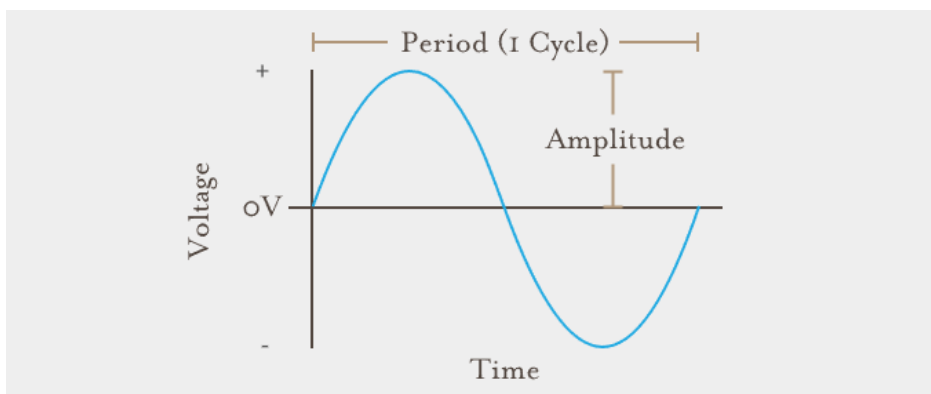
$$f = \frac{1}{T}$$

Αντίστοιχα, η περίοδος μπορεί να υπολογιστεί από τη συχνότητα ως :

$$T = \frac{1}{f}$$

Στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας, η συχνότητα της εναλλασσόμενης τάσης είναι σταθερή και καθορίζεται από το δίκτυο. Στην Ευρώπη η ονομαστική συχνότητα είναι 50Hz, ενώ σε άλλες χώρες, όπως στις Ηνωμένες Πολιτείες, χρησιμοποιείται συχνότητα 60Hz. Η σταθερότητα της συχνότητας είναι ιδιαίτερα σημαντική, καθώς επηρεάζει τη λειτουργία ηλεκτρικών μηχανών, μετασχηματιστών και διατάξεων τροφοδοσίας.

Στις διατάξεις τροφοδοσίας, η γνώση της περιόδου και της συχνότητας της εναλλασσόμενης τάσης εισόδου είναι απαραίτητη για τον σωστό σχεδιασμό των σταδίων μετασχηματισμού, ανορθώσεις και φίλτραρίσματος. Οι παράμετροι αυτές καθορίζουν τη συμπεριφορά των κυκλωμάτων και επηρεάζουν άμεσα την ποιότητα και τη σταθερότητα της παρεχόμενης ισχύος.



Σχήμα 3.3: Περίοδος και συχνότητα εναλλασσόμενης τάσης σε ημιτονοειδή κυματομορφή.

3.4 Ενεργός τιμή (RMS)

Η ενεργός τιμή (Root Mean Square - RMS) της εναλλασσόμενης τάσης αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα μεγέθη στην ανάλυση των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συστημάτων. Η έννοια της ενεργού τιμής χρησιμοποιείται ώστε η εναλλασσόμενη τάση να μπορεί να συγκριθεί άμεσα με μια ισοδύναμη συνεχή τάση ως προς το θερμικό και ενεργειακό της αποτέλεσμα.

Η ενεργός τιμή ορίζεται ως η τιμή της συνεχούς τάσης που, όταν εφαρμοστεί στο ίδιο φορτίο, παράγει την ίδια μέση ισχύ με την αντίστοιχη εναλλασσόμενη τάση. Με άλλα λόγια, η RMS τιμή εκφράζει την πραγματική “ικανότητα” της εναλλασσόμενης τάσης να μεταφέρει ισχύ στο φορτίο, γεγονός που την καθιστά ιδιαίτερα σημαντική σε διατάξεις τροφοδοσίας.

Για μια ημιτονοειδή εναλλασσόμενη τάση της μορφής

$$u(t) = V_m \sin(\omega t)$$

Η ενεργός τιμή της τάσης δίνεται από τη σχέση :

$$V_{rms} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$$

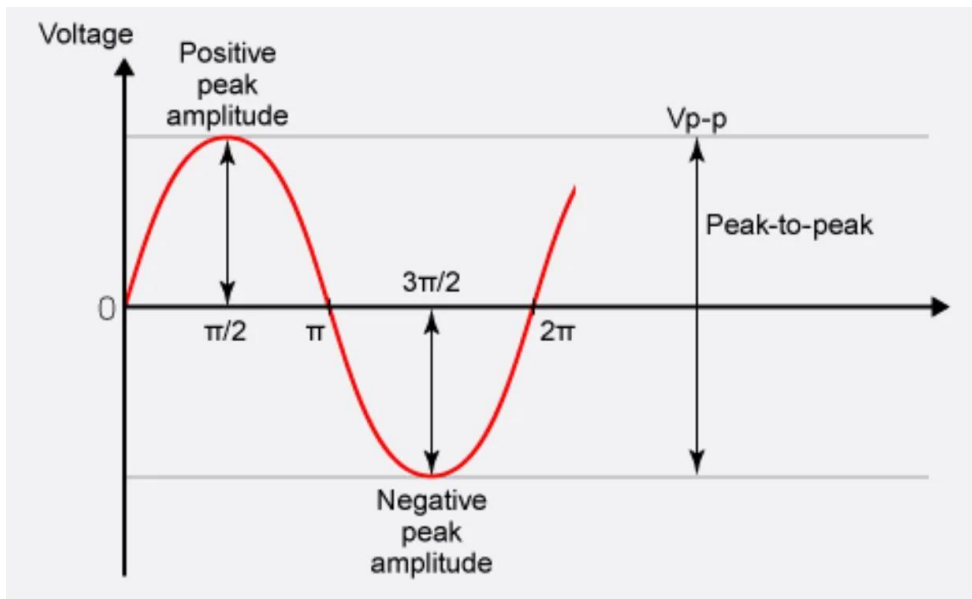
Όπου V_m είναι η μέγιστη (peak) τιμή της τάσης

Αντίστοιχα, για το ρεύμα ισχύει :

$$I_{rms} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

Η χρήση της ενεργού τιμής είναι καθοριστική, καθώς όλες οι ονομαστικές τιμές τάσης στα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας αναφέρονται σε RMS τιμές. Για παράδειγμα, η τάση του δικτύου στην Ευρώπη αναφέρεται ως 230 V AC, τιμή που αντιστοιχεί στην ενεργό τιμή της εναλλασσόμενης τάσης και όχι στη μέγιστη τιμή της κυματομορφής.

Στις διατάξεις τροφοδοσίας, η RMS τιμή της εναλλασσόμενης τάσης εισόδου αποτελεί βασική παράμετρο για τον σωστό σχεδιασμό του μετασχηματιστή, των στοιχείων ανορθώσεως και των κυκλωμάτων προστασίας. Η λανθασμένη εκτίμηση της ενεργού τιμής μπορεί να οδηγήσει σε υπερφόρτωση εξαρτημάτων, αυξημένες απώλειες ή μειωμένη αξιοπιστία του συστήματος. Για τον λόγο αυτό, η ενεργός τιμή χρησιμοποιείται ως βασικό μέγεθος αναφοράς στον σχεδιασμό και την ανάλυση των τροφοδοτικών διατάξεων.



Σχήμα 3.4: Χαρακτηριστικά μεγέθη ημιτονοειδούς εναλλασσόμενης τάσης: μέγιστη τιμή (peak), αρνητική μέγιστη τιμή και τιμή κορυφής-προς-κορυφή (peak-to-peak).

Από τη μέγιστη τιμή της τάσης προκύπτει η ενεργός τιμή (RMS), η οποία για ημιτονοειδή κυματομορφή δίνεται από τη σχέση $VRMS = \frac{Vm}{\sqrt{2}}$

3.5 Φασική διαφορά

Η φασική διαφορά αποτελεί βασική έννοια στην ανάλυση των εναλλασσόμενων μεγεθών και περιγράφει τη χρονική μετατόπιση μεταξύ δύο εναλλασσόμενων κυματομορφών ίδιας συχνότητας. Η φασική διαφορά εκφράζει το πόσο “μπροστά” ή “πίσω” βρίσκεται μια κυματομορφή σε σχέση με μια άλλη ως προς το χρόνο ή τη γωνία[5].

Για δύο ημιτονοειδείς τάσεις ίδιου πλάτους συχνότητας, η φασική διαφορά ορίζεται ως η διαφορά των γωνιών φάσης τους και συνήθως συμβολίζεται με το σύμβολο φ (φάση). Μαθηματικά, δύο εναλλασσόμενες τάσεις μπορούν να περιγραφούν ως :

$$u_1(t) = V_m \sin(\omega t)$$

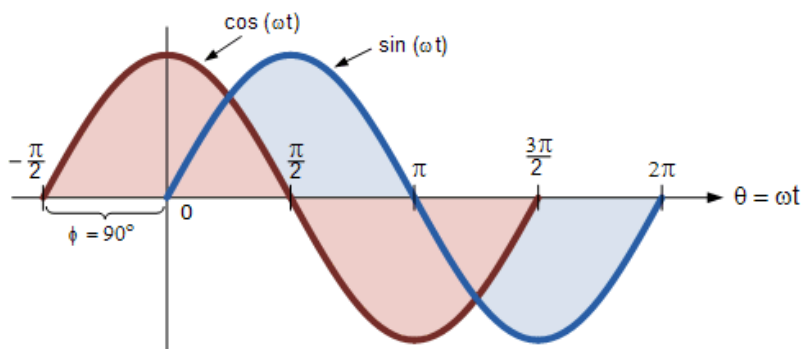
$$u_2(t) = V_m \sin(\omega t + \varphi)$$

Όπου φ είναι η φασική διαφορά μεταξύ των δύο κυματομορφών.

Όταν η φασική διαφορά είναι μηδενική ($\phi = 0$), οι κυματομορφές βρίσκονται σε φάση, δηλαδή τα μέγιστα, ελάχιστα και οι μηδενισμοί τους εμφανίζονται ταυτόχρονα. Αντίθετα, όταν $\phi \neq 0$, οι κυματομορφές είναι εκτός φάσης. Στην περίπτωση αυτή, μια κυματομορφή μπορεί να προηγείται χρονικά της άλλης(προπορευόμενη) ή να την ακολουθεί (καθυστερούμενη).

Η φασική διαφορά εμφανίζεται συχνά σε κυκλώματα εναλλασσόμενου ρεύματος που περιλαμβάνουν επαγωγικά ή χωρητικά στοιχεία. Για παράδειγμα, σε επαγωγικά φορτία το ρεύμα καθυστερεί ως προς την τάση, ενώ σε χωρητικά φορτία το ρεύμα προηγείται της τάσης. Το φαινόμενο αυτό επηρεάζει άμεσα τη μεταφορά ισχύος και την απόδοση των ηλεκτρικών συστημάτων.

Στις διατάξεις τροφοδοσίας εναλλασσόμενης τάσης, η κατανόηση της φασικής διαφοράς είναι σημαντική για την ανάλυση της συμπεριφοράς των μετασχηματιστών, των φίλτρων και των κυκλωμάτων ισχύος. Η παρουσία φασικής, μετατόπισης μπορεί να επηρεάσει την ενεργό ισχύ, τις απώλειες και τη συνολική απόδοση του συστήματος, γεγονός που καθιστά τη φασική διαφορά κρίσιμο παράγοντα στον σχεδιασμό και τη μελέτη τροφοδοτικών διατάξεων.



Σχήμα 3.5: Παράδειγμα φασικής διαφοράς μεταξύ δύο ημιτονοειδών κυματομορφών ίδιας συχνότητας, όπου η μία προηγείται χρονικά της άλλης.

3.6 Σχέση θεωρίας εναλλασσόμενης τάσης με τις διατάξεις τροφοδοσίας AC

Η θεωρία της εναλλασσόμενης τάσης αποτελεί βασικό υπόβαθρο για την κατανόηση και τον σωστό σχεδιασμό των διατάξεων τροφοδοσίας AC. Τα χαρακτηριστικά μεγέθη της εναλλασσόμενης τάσης, όπως η ενεργός τιμή (RMS), συχνότητα και η φασική σχέση μεταξύ τάσης και ρεύματος, επηρεάζουν

άμεσα τη λειτουργία και την απόδοση των τροφοδοτικών διατάξεων που χρησιμοποιούνται σε ηλεκτρονικά και ηλεκτρικά συστήματα.

Η ενεργός τιμή της τάσης (RMS) είναι το πιο κρίσιμο μέγεθος στις διατάξεις τροφοδοσίας AC, καθώς εκφράζει την ισοδύναμη συνεχή τάση που θα παρήγαγε το ίδιο θερμικό αποτέλεσμα σε ένα φορτίο. Στα τροφοδοτικά εναλλασσόμενης τάσης, οι ονομαστικές τιμές τάσης που αναφέρονται από τον κατασκευαστή βασίζονται στην ενεργό τιμή και όχι στη μέγιστη (peak). Για το λόγο αυτό, η γνώση και η σωστή χρήση της RMS τιμής είναι απαραίτητη για τον υπολογισμό της παρεχόμενης ισχύος και την επιλογή κατάλληλων φορτίων.

Η συχνότητα της εναλλασσόμενης τάσης επηρεάζει άμεσα τη συμπεριφορά των στοιχείων που χρησιμοποιούνται στις διατάξεις τροφοδοσίας. Στο ευρωπαϊκό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, συχνότητα είναι 50Hz, τιμή που καθορίζει τη σχεδίαση μετασχηματιστών, φίλτρων και κυκλωμάτων προστασίας. Μεταβολές στη συχνότητα μπορούν να οδηγήσουν σε αυξημένες απώλειες, κορεσμό μαγνητικών πυρήνων ή μειωμένη απόδοση της διάταξης τροφοδοσίας.

Ιδιαίτερη σημασία έχει και η φασική διαφορά μεταξύ τάσης και ρεύματος, ειδικά σε φορτία που δεν είναι καθαρά ωμικά. Σε επαγωγικά ή χωρητικά φορτία, η φασική μετατόπιση επηρεάζει την πραγματική ισχύ που καταναλώνεται, καθώς και τον συντελεστή ισχύος του συστήματος. Οι διατάξεις τροφοδοσίας AC πρέπει να είναι σχεδιασμένες ώστε να λειτουργούν αξιόπιστα ακόμη και σε συνθήκες όπου η φασική σχέση τάσης- ρεύματος μεταβάλλεται, όπως σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις ή συστήματα με κινητήρες.

Συνεπώς, η κατανόηση των βασικών εννοιών της εναλλασσόμενης τάσης δεν αποτελεί μόνο θεωρητική γνώση, αλλά πρακτικό εργαλείο για την μελέτη και τον σχεδιασμό τροφοδοτικών διατάξεων AC. Η θεωρία που παρουσιάστηκε στο παρόν κεφάλαιο δημιουργεί τη βάση για την ανάλυση των διατάξεων τροφοδοσίας εναλλασσόμενης τάσης που ακολουθεί στο επόμενο κεφάλαιο, όπου εξετάζονται τα χαρακτηριστικά, η δομή και η λειτουργία τους πραγματικές εφαρμογές.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ

ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΗΣ ΤΑΣΗΣ

Οι διατάξεις τροφοδοσίας εναλλασσόμενης τάσης αποτελούν βασικό στοιχείο πολλών ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συστημάτων, καθώς επιτρέπουν την παροχή AC τάσης με συγκεκριμένα και ελεγχόμενα χαρακτηριστικά συστημάτων, καθώς επιτρέπουν την παροχή AC τάσης δεν χρησιμοποιείται απευθείας από το δίκτυο, αλλά απαιτείται προσαρμογή του επιπέδου τάσης, της ισχύος και των συνθηκών ασφάλειας, ανάλογα με τις ανάγκες του συστήματος.

Σε αντίθεση με τις διατάξεις συνεχούς τάσης, τα τροφοδοτικά AC διατηρούν την εναλλασσόμενη μορφή της τάσης, μεταβάλλοντας κυρίως το πλάτος και την ισχύ της. Τέτοιες διατάξεις χρησιμοποιούνται σε εργαστηριακό εξοπλισμό, βιομηχανικά συστήματα, εκπαιδευτικές εφαρμογές και ηλεκτρικές εγκαταστάσεις, όπου απαιτείται αξιόπιστη και συχνά ρυθμιζόμενη εναλλασσόμενη τάση.

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται οι βασικές αρχές λειτουργίας των διατάξεων τροφοδοσίας εναλλασσόμενης τάσης, τα κύρια χαρακτηριστικά τους, καθώς και η γενική δομή τους. Η ανάλυση αυτή λειτουργεί ως θεωρητικό υπόβαθρο για το πρακτικό μέρος της εργασίας, στο οποίο εξετάζεται η υλοποίηση ρυθμιζόμενης τροφοδοσίας AC.

4.1 Τροφοδοτικά εναλλασσόμενης τάσης (AC)

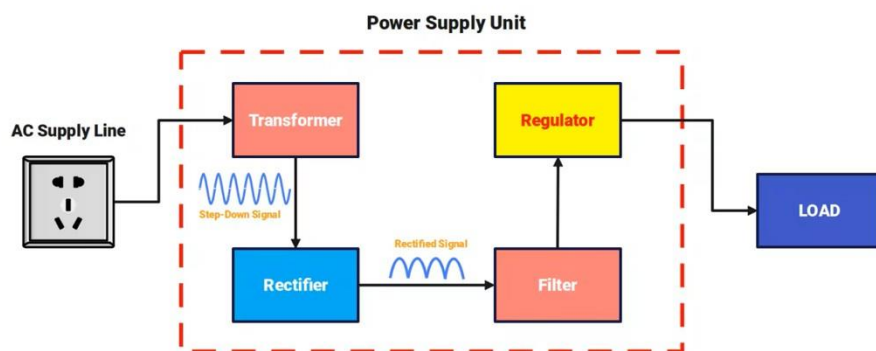
Τα τροφοδοτικά εναλλασσόμενης τάσης (AC) είναι διατάξεις που παρέχουν εναλλασσόμενη τάση στην έξοδό τους, διατηρώντας τη μορφή της κυματομορφής, ενώ προσαρμόζουν το πλάτος και την ισχύ σύμφωνα με τις απαιτήσεις του φορτίου. Η είσοδός τους προέρχεται συνήθως από το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ η έξοδος μπορεί να είναι σταθερή ή ρυθμιζόμενη, ανάλογα με τον σχεδιασμό της διάταξης.

Η κύρια λειτουργία ενός τροφοδοτικού AC είναι η ασφαλής και αξιόπιστη παροχή εναλλασσόμενης τάσης σε συσκευές και συστήματα που δεν μπορούν ή δεν πρέπει να συνδεθούν απευθείας στο δίκτυο. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της προσαρμογής της τάσης σε χαμηλότερα επίπεδα, της ηλεκτρικής απομόνωσης και της ενσωμάτωσης κατάλληλων μέτρων προστασίας.

Τα τροφοδοτικά εναλλασσόμενης τάσης χρησιμοποιούνται ευρέως σε εργαστηριακές διατάξεις, όπου απαιτείται μεταβαλλόμενη AC τάση για δοκιμές και μετρήσεις, καθώς και σε βιομηχανικά συστήματα που τροφοδοτούν κινητήρες, θερμαντικά στοιχεία ή άλλες AC συσκευές. Επιπλέον, συναντώνται σε

εκπαιδευτικά περιβάλλοντα, όπου η δυνατότητα ρύθμισης της τάσης επιτρέπει την ασφαλή μελέτη της συμπεριφοράς ηλεκτρικών φορτίων[1].

Η ποιότητα της παρεχόμενης εναλλασσόμενης τάσης αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για τη σωστή λειτουργία των φορτίων. Παράμετροι όπως η σταθερότητα της τάσης, η ακρίβεια της ρύθμισης και η αντοχή σε μεταβολές του φορτίου επηρεάζουν άμεσα την απόδοση και την αξιοπιστία του συστήματος. Για τον λόγο αυτό, τα σύγχρονα τροφοδοτικά AC ενσωματώνουν μηχανισμούς προστασίας και ελέγχου, ώστε να διασφαλίζεται η ασφαλής λειτουργία τόσο της διάταξης όσο και του συνδεδεμένου φορτίου.



Σχήμα 4.1: Γενική απεικόνιση διάταξης τροφοδοσίας εναλλασσόμενης τάσης και βασικών σταδίων λειτουργίας.

4.2 Βασικά χαρακτηριστικά τροφοδοτικών εναλλασσόμενης τάσης

Τα τροφοδοτικά εναλλασσόμενης τάσης παρουσιάζουν ορισμένα χαρακτηριστικά που διαφοροποιούν ουσιαστικά από τις διατάξεις συνεχούς τάσης και καθορίζουν τον τρόπο χρήσης τους σε πρακτικές εφαρμογές. Η βασική τους ιδιαιτερότητα είναι ότι η τάση εξόδου διατηρεί την εναλλασσόμενη μορφή της, ενώ μεταβάλλεται κυρίως το πλάτος και η διαθέσιμη ισχύς.

Κύριο χαρακτηριστικό ενός τροφοδοτικού AC είναι η ονομαστική ενεργός τιμή (RMS) της τάσης εξόδου, η οποία αποτελεί τη βασική τιμή αναφοράς για τη λειτουργία των φορτίων. Σε ρυθμιζόμενες διατάξεις, η ενεργός τιμή της εξόδου μπορεί να μεταβάλλεται εντός προκαθορισμένου εύρους, επιτρέποντας την τροφοδοσία διαφορετικών συσκευών με ασφάλεια και ακρίβεια.

Επιπλέον, ιδιαίτερη σημασία έχει η συχνότητα της τάσης εξόδου, η οποία στις περισσότερες περιπτώσεις παραμένει ίση με τη συχνότητα του δικτύου (50Hz). Η διατήρηση σταθερής συχνότητας είναι κρίσιμη, καθώς επηρεάζει άμεσα τη λειτουργία επαγωγικών φορτίων, μετασχηματιστών και ηλεκτρικών μηχανών που τροφοδοτούνται από τη διάταξη.

Ένα ακόμη χαρακτηριστικό των τροφοδοτικών εναλλασσόμενης τάσης είναι η ικανότητα παροχής ισχύος σε μεταβαλλόμενα φορτία. Σε πολλές εφαρμογές, όπως εργαστηριακές δοκιμές ή βιομηχανικά συστήματα, το φορτίο μπορεί να αλλάζει δυναμικά, απαιτώντας από τη διάταξη τροφοδοσίας να διατηρεί σταθερά τα βασικά χαρακτηριστικά της εξόδου χωρίς απότομες μεταβολές.

Τέλος, στα τροφοδοτικά AC ιδιαίτερο ρόλο παίζει η ηλεκτρική απομόνωση μεταξύ εισόδου και εξόδου, η οποία επιτυγχάνεται συνήθως μέσα μετασχηματιστή. Η απομόνωση αυτή αυξάνει την ασφάλεια του χρήστη και προστατεύει τόσο τη διάταξη όσο και το συνδεδεμένο φορτίο, στοιχείο ιδιαίτερα σημαντικό σε εργαστηριακές και εκπαιδευτικές εφαρμογές.

4.3 Τυπική δομή διάταξης τροφοδοσίας εναλλασσόμενης τάσης

Μια τυπική διάταξη τροφοδοσίας εναλλασσόμενης τάσης αποτελείται από διακριτά λειτουργικά στάδια, τα οποία συνεργάζονται ώστε να μεταφέρουν την ηλεκτρική ενέργεια από την πηγή προς το φορτίο με ελεγχόμενα και ασφαλή χαρακτηριστικά. Κάθε στάδιο επιτελεί συγκεκριμένο ρόλο, ενώ η σωστή αλληλεπίδραση τους καθορίζει τη συνολική απόδοση, σταθερότητα και αξιοπιστία της διάταξης.

Στο απλούστερο σενάριο, η διάταξη τροφοδοσίας AC περιλαμβάνει στάδια προσαρμογής τάσης, απομόνωσης και παροχής ισχύος προς το φορτίο. Ανάλογα με την εφαρμογή, μπορεί να ενσωματώνονται επιπλέον στοιχεία προστασίας ή ρύθμισης, χωρίς όμως να αλλοιώνεται η βασική αρχή λειτουργία.

Κεντρικό στοιχείο της δομής αποτελεί ο μετασχηματιστής, ο οποίος επιτρέπει την προσαρμογή της στάθμης της εναλλασσόμενης τάσης και την ηλεκτρική απομόνωση μεταξύ εισόδου και εξόδου. Η σχέση μεταξύ της ενεργού τάσης στο πρωτεύον και στο δευτερεύον τύλιγμα δίνεται από τη γνωστή σχέση :

$$\frac{V2_{RMS}}{V1_{RMS}} = \frac{N2}{N1}$$

Όπου $V_1 \text{ RMS}$ και $V_2 \text{ RMS}$ είναι οι ενεργές τάσεις εισόδου και εξόδου αντίστοιχα, και N_1 , N_2 ο αριθμός σπειρών των τυλιγμάτων. Η σχέση αυτή επιτρέπει τον ακριβή καθορισμό της τάσης εξόδου, ανάλογα με τις απαιτήσεις του φορτίου.

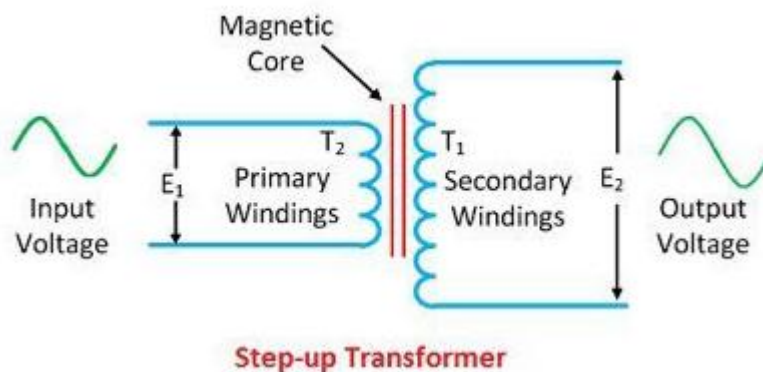
Η παρεχόμενη ισχύς προς το φορτίο σε διατάξεις εναλλασσόμενης τάσης εξαρτάται από τις ενεργές τιμές της τάσης και του ρεύματος και εκφράζεται από τη σχέση :

$$P = V_{\text{RMS}} \times I_{\text{RMS}}$$

Η γνώση της ισχύος είναι απαραίτητη για τον σωστό υπολογισμό της αντοχής των επιμέρους στοιχείων και για την αποφυγή υπερφόρτωσης της διάταξης.

Σε πολλές εφαρμογές, η διάταξη τροφοδοσίας AC περιλαμβάνει επίσης στοιχεία προστασίας, τα οποία παρεμβάλλονται πριν ή μετά το στάδιο μετασχηματισμού. Τέτοια στοιχεία είναι ασφάλειες, θερμικοί διακόπτες και προστασίες υπέρτασης, τα οποία περιορίζουν τις επιπτώσεις ανωμαλιών του δικτύου ή σφαλμάτων φορτίου.

Η συνολική λειτουργία της διάταξης βασίζεται στη σωστή επιλογή και διάταξη των παραπάνω σταδίων, ώστε η εναλλασσόμενη τάση εξόδου να είναι συμβατή με τις απαιτήσεις της εφαρμογής. Η τυπική αυτή δομή αποτελεί τη βάση πάνω στην οποία αναπτύσσονται πιο σύνθετες διατάξεις, όπως ρυθμιζόμενα η προστατευμένα τροφοδοτικά εναλλασσόμενης τάσης, που αναλύονται στα επόμενα κεφάλαια.



Σχήμα 4.3: Αρχή λειτουργίας μετασχηματιστή σε διάταξη τροφοδοσίας εναλλασσόμενης τάσης, με πρωτεύον και δευτερεύον τύλιγμα και μεταβολή της ενεργού τάσης εξόδου.

4.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα διατάξεων τροφοδοσίας εναλλασσόμενης τάσης

Οι διατάξεις τροφοδοσίας εναλλασσόμενης τάσης χρησιμοποιούνται ευρέως σε εφαρμογές όπου απαιτείται άμεση τροφοδότηση φορτίων AC ή ενδιάμεσο στάδιο πριν από μετατροπή σε συνεχή τάση. Η επιλογή τους βασίζεται τόσο στα τεχνικά χαρακτηριστικά όσο και στις απαιτήσεις της εφαρμογής.

Ένα βασικό πλεονέκτημα των τροφοδοτικών AC είναι η απλότητα της δομής τους. Η χρήση μετασχηματιστή επιτρέπει την εύκολη προσαρμογή της τάσης εξόδου χωρίς την ανάγκη σύνθετων ηλεκτρονικών κυκλωμάτων. Αυτό τα καθιστά αξιόπιστα και ανθεκτικά σε συνθήκες συνεχούς λειτουργίας, ιδιαίτερα σε βιομηχανικά περιβάλλοντα.

Επιπλέον, οι διατάξεις AC προσφέρουν υψηλή ηλεκτρική απομόνωση μεταξύ εισόδου και εξόδου, γεγονός που αυξάνει το επίπεδο ασφάλειας τόσο για τον εξοπλισμό όσο και για τον χρήστη. Η απομόνωση αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική σε εφαρμογές όπου το φορτίο συνδέεται άμεσα με ανθρώπινη αλληλεπίδραση ή με ευαίσθητα ηλεκτρονικά συστήματα.

Ένα ακόμα πλεονέκτημα είναι η δυνατότητα τροφοδότησης φορτίων υψηλής ισχύος, όπως κινητήρες, θερμαντικά στοιχεία και βιομηχανικά μηχανήματα. Τα τροφοδοτικά AC μπορούν να διαχειριστούν μεγάλα ρεύματα χωρίς την ανάγκη πολύπλοκων κυκλωμάτων ισχύος, γεγονός που τα καθιστά κατάλληλα για εφαρμογές βαριάς χρήσης[3].

Ωστόσο, οι διατάξεις τροφοδοσίας AC παρουσιάζουν και ορισμένους περιορισμούς. Ένα βασικό μειονέκτημα είναι η περιορισμένη ακρίβεια ρύθμισης της τάσης εξόδου, ιδιαίτερα σε απλές διατάξεις χωρίς ενεργό έλεγχο. Οι μεταβολές του φορτίου μπορούν να προκαλέσουν αποκλίσεις στην τάση, κάτι που δεν είναι αποδεκτό σε εφαρμογές υψηλής ακρίβειας.

Επιπλέον, τα τροφοδοτικά AC βασίζονται συχνά σε μετασχηματιστές χαμηλής συχνότητας, οι οποίοι έχουν μεγάλο όγκο και βάρος. Αυτό αυξάνει το συνολικό μέγεθος της διάταξης και περιορίζει τη χρήση τους σε φορητές ή συμπαγείς συσκευές.

Τέλος, σε περιπτώσεις όπου απαιτείται τελική τροφοδότηση συνεχούς τάσης, η χρήση AC τροφοδοτικού συνεπάγεται την ανάγκη πρόσθετων σταδίων μετατροπής, όπως ανορθωτές και φίλτρα. Αυτό αυξάνει την πολυπλοκότητα του συστήματος και τις συνολικές απώλειες ισχύος.

Συνολικά, οι διατάξεις τροφοδοσίας εναλλασσόμενης τάσης αποτελούν αξιόπιστη λύση για εφαρμογές που απαιτούν απλότητα, υψηλή ισχύ και ηλεκτρική απομόνωση, ενώ η χρήση τους πρέπει να αξιολογείται προσεκτικά σε περιπτώσεις όπου απαιτείται υψηλή ακρίβεια ή μικρό μέγεθος συσκευής.

4.5 Περιοχές εφαρμογών διατάξεων τροφοδοσίας εναλλασσόμενης τάσης

Οι διατάξεις τροφοδοσίας εναλλασσόμενης τάσης χρησιμοποιούνται σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, όπου απαιτείται άμεση παροχή AC ισχύος ή προσαρμογή της τάσης του δικτύου στις ανάγκες του φορτίου. Η ευελιξία και η απλότητα της δομής τους τις καθιστούν ιδιαίτερα δεδομένες τόσο σε βιομηχανικά όσο και σε εργαστηριακά και εκπαιδευτικά περιβάλλοντα.

Μία από τις βασικότερες εφαρμογές των τροφοδοτικών AC συναντάται στη βιομηχανία, όπου χρησιμοποιούνται για την τροφοδότηση ηλεκτροκινητήρων, συστημάτων αυτοματισμού και βιομηχανικού εξοπλισμού. Σε εγκαταστάσεις με γραμμές παραγωγής, αντλίες ή συστήματα μεταφοράς, απαιτείται σταθερή παροχή εναλλασσόμενης τάσης με δυνατότητα προσαρμογής του επιπέδου ισχύος, ώστε να εξασφαλίζεται η ομαλή λειτουργία των μηχανημάτων.

Σημαντική χρήση παρουσιάζουν επίσης σε εργαστηριακά και εκπαιδευτικά περιβάλλοντα. Ρυθμιζόμενα τροφοδοτικά AC χρησιμοποιούνται σε εργαστήρια ηλεκτρονικής και ηλεκτροτεχνίας για τη δοκιμή κυκλωμάτων, τη μελέτη μετασχηματιστών και την ανάλυση εναλλασσόμενων σημάτων. Σε αυτές τις εφαρμογές, η δυνατότητα ελέγχου της τάσης εξόδου επιτρέπει την ασφαλή διεξαγωγή πειραμάτων και τη βαθύτερη κατανόηση της συμπεριφοράς των κυκλωμάτων.

Στον τομέα των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων και του φωτισμού, οι διατάξεις τροφοδοσίας AC χρησιμοποιούνται για την προσαρμογή της τάσης σε ειδικές εφαρμογές, όπως συστήματα χαμηλής τάσης για φωτιστικά, τροφοδοσία μετασχηματιστών ασφάλειας και ειδικές εγκαταστάσεις χαμηλής ισχύος. Η χρήση μετασχηματιστών επιτρέπει τη μείωση της τάσης του δικτύου, αυξάνοντας την ασφάλεια και την αξιοπιστία των συστημάτων.

Επιπλέον, τροφοδοτικά AC χρησιμοποιούνται ως ενδιάμεσο στάδιο σε συστήματα που τελικά απαιτούν συνεχή τάση. Σε πολλές περιπτώσεις, η εναλλασσόμενη τάση του δικτύου μετασχηματίζεται αρχικά σε κατάλληλο επίπεδο AC και στη συνέχεια οδηγείται σε στάδια ανορθώσεως και ρύθμισης για την παραγωγή DC τάσης. Αυτή η προσέγγιση εφαρμόζεται σε πληθώρα ηλεκτρονικών συσκευών, όπως τροφοδοτικά υπολογιστών, φορτιστές και βιομηχανικά συστήματα ελέγχου.

Τέλος, σε εφαρμογές υψηλής ισχύος, όπως συστήματα διαμονής ενέργειας και υποσταθμοί, οι διατάξεις τροφοδοσίας εναλλασσόμενης τάσης παίζουν καθοριστικό ρόλο στη μεταφορά και την προσαρμογή της ηλεκτρικής ενέργειας. Η δυνατότητα μετασχηματισμού της τάσης επιτρέπει την αποδοτική μεταφορά ισχύος σε μεγάλες αποστάσεις και την ασφαλή παροχή ενέργειας στους τελικούς καταναλωτές.

Συνοψίζοντας, οι διατάξεις τροφοδοσίας AC αποτελούν βασικό στοιχείο σε πλήθος εφαρμογών, από απλά εργαστηριακά κυκλώματα έως σύνθετες βιομηχανικές εγκαταστάσεις, προσφέροντας ευελιξία, αξιοπιστία και προσαρμοστικότητα στις ανάγκες κάθε συστήματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 - ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ ΣΕ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ

5.1 Γενική αρχή λειτουργίας μετασχηματιστή

Ο μετασχηματιστής αποτελεί βασικό στοιχείο στις διατάξεις τροφοδοσίας εναλλασσόμενης τάσης και χρησιμοποιείται για τη μετατροπή των επιπέδων τάσης, καθώς και για την ηλεκτρική απομόνωση μεταξύ πηγής και φορτίου. Η λειτουργία του βασίζεται στο φαινόμενο της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής, σύμφωνα με το οποίο μια μεταβαλλόμενη μαγνητική ροή μπορεί να προκαλέσει την εμφάνιση τάσης σε έναν αγωγό[6].

Ένας τυπικός μετασχηματιστής αποτελείται από δύο πηνία, το πρωτεύον τύλιγμα και το δευτερεύον τύλιγμα, τα οποία είναι τοποθετημένα πάνω σε κοινό μαγνητικό πυρήνα[6]. Όταν στο πρωτεύον τύλιγμα εφαρμοστεί εναλλασσόμενη τάση, δημιουργείται μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο στον πυρήνα. Το μαγνητικό αυτό πεδίο επάγει τάση στο δευτερεύον τύλιγμα, χωρίς να υπάρχει άμεση ηλεκτρική σύνδεση μεταξύ των δύο κυκλωμάτων.

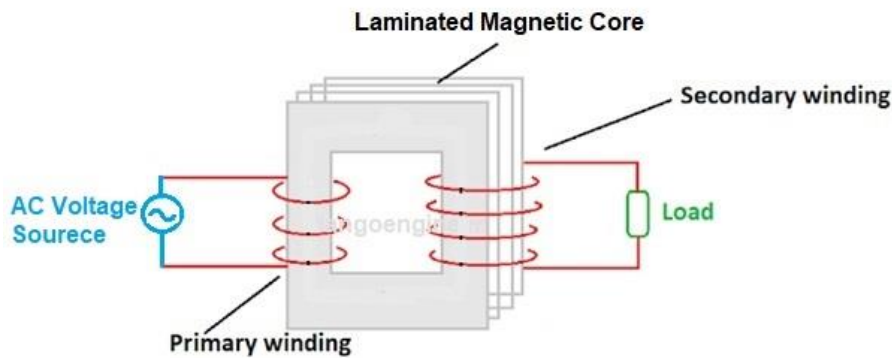
Η επαγόμενη τάση περιγράφεται από τον νόμο του Faraday, σύμφωνα με τη σχέση :

$$V = N \times \frac{d\Phi}{dt}$$

Όπου N είναι ο αριθμός των σπειρών και Φ η μαγνητική ροή. Η σχέση αυτή δείχνει ότι η τάση που επάγεται εξαρτάται άμεσα από τον ρυθμό μεταβολής της μαγνητικής ροής και τον αριθμό των σπειρών του τυλίγματος.

Η απουσία άμεσης αγωγίμης σύνδεσης προσφέρει σημαντικό πλεονέκτημα ασφάλειας, καθώς επιτυγχάνεται ηλεκτρική απομόνωση μεταξύ της πλευράς εισόδου και της πλευράς εξόδου. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό σε τροφοδοτικά, όπου η απομόνωση προστατεύει τόσο τον εξοπλισμό όσο και τον χρήστη από επικίνδυνες τάσεις του δικτύου.

Η λειτουργία του μετασχηματιστή είναι δυνατή μόνο με εναλλασσόμενο ρεύμα, καθώς απαιτείται μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο για την επαγωγή τάσης. Για τον λόγο αυτό, οι μετασχηματιστές χρησιμοποιούνται εκτενώς σε διατάξεις AC τροφοδοσίας και αποτελούν το πρώτο στάδιο προσαρμογής της τάσης του δικτύου πριν την περαιτέρω επεξεργασία ενέργειας.



Σχήμα 5.1: Αρχή λειτουργίας μετασχηματιστή με πρωτεύον και δευτερεύον τύλιγμα και κοινό μαγνητικό πυρήνα.

5.2 Λόγος μετασχηματισμού και μεταβολή τάσης

Ο λόγος μετασχηματισμού αποτελεί βασική παράμετρο στη λειτουργία ενός μετασχηματιστή και καθορίζει τη σχέση μεταξύ της τάσης εισόδου και της τάσης εξόδου. Η μεταβολή της τάσης επιτυγχάνεται μέσω της διαφοράς στον αριθμό των σπειρών του πρωτεύοντος και δευτερεύοντος τυλίγματος.

Σε ένα ιδανικό μετασχηματιστή, η σχέση μεταξύ των τάσεων στα δύο τυλίγματα δίνεται από την εξίσωση [6]:

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{N_2}{N_1}$$

Όπου :

- V_1 είναι η ενεργός τάση στο πρωτεύον τύλιγμα,
- V_2 είναι η ενεργός τάση στο δευτερεύον τύλιγμα,

- N1 είναι ο αριθμός σπειρών του πρωτεύοντος τυλίγματος,
- N2 είναι ο αριθμός σπειρών του δευτερεύοντος τυλίγματος.

Η παραπάνω σχέση δείχνει ότι η τάση εξόδου είναι ανάλογη του λόγου των σπειρών[6]. Αν το δευτερεύον τυλίγμα έχει περισσότερες σπείρες από το πρωτεύον, τότε η τάση εξόδου αυξάνεται και ο μετασχηματιστής λειτουργεί ως ανυψωτικός (set - up). Αντίθετα όταν το δευτερεύον τυλίγμα έχει λιγότερες σπείρες, η τάση εξόδου μειώνεται και ο μετασχηματιστής λειτουργεί ως υποβιβαστικός (set - down).

Ο λόγος μετασχηματισμού ορίζεται συνήθως ως :

$$k = \frac{N2}{N1}$$

Όπου k είναι ο συντελεστής μετασχηματισμού, Για τιμές $k > 1$ επιτυγχάνεται αύξηση τάσης, ενώ για $k < 1$ επιτυγχάνεται μείωση της τάσης[6].

Εκτός από τη μεταβολή της τάσης ο μετασχηματιστής επηρεάζει και το ρεύμα. Στον ιδανικό μετασχηματιστή, η σχέση των ρευμάτων δίνεται από :

$$\frac{I2}{I1} = \frac{N1}{N2}$$

Όπου :

- I1 είναι το ρεύμα στο πρωτεύον τυλίγμα
- I2 είναι το ρεύμα στο δευτερεύον τυλίγμα

Η σχέση αυτή δείχνει ότι όταν η τάση μειώνεται, το ρεύμα αυξάνεται αναλογικά, και αντίστροφα,. Αυτό επιτρέπει τη μεταφορά ηλεκτρικής ισχύος με μικρότερες απώλειες τάσεις και χαμηλά ρεύματα, κάτι που αξιοποιείται εκτενώς σε συστήματα διανομής ενέργειας .

Σε ιδανικές συνθήκες, η ισχύς στο πρωτεύον και το δευτερεύον τυλίγμα θεωρείται ίση :

$$P1 = P2$$

Η ισοδύναμη :

$$V1 \times I1 = V2 \times I2$$

Στην πράξη, λόγω απωλειών στον πυρήνα και στα τυλίγματα, η ισχύς εξόδου είναι ελαφρώς μικρότερη από την ισχύ εισόδου. Ωστόσο, οι παραπάνω σχέσεις αποτελούν τη βάση για τον υπολογισμό και το σχεδιασμό μετασχηματιστών σε διατάξεις τροφοδοσίας.

Η κατανόηση του λόγου μετασχηματισμού είναι κρίσιμη για την επιλογή του κατάλληλου μετασχηματιστή σε ένα τροφοδοτικό AC, καθώς καθορίζει άμεσα το επίπεδο της τάσης εξόδου και τη δυνατότητα τροφοδότησης του φορτίου με τα απαιτούμενα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά.

5.3 Ισχύς και απόδοση μετασχηματιστών

Η ισχύς και η απόδοση αποτελούν βασικά μεγέθη αξιολόγησης της λειτουργίας ενός μετασχηματιστή, ιδιαίτερα όταν χρησιμοποιούνται σε διατάξεις τροφοδοσίας. Σκοπός ενός μετασχηματιστή είναι η αποδοτική μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας από το πρωτεύον στο δευτερεύον τύλιγμα με τις μικρότερες δυνατές απώλειες.

Η ηλεκτρική ισχύς στο πρωτεύον και στο δευτερεύον τύλιγμα ορίζεται αντίστοιχα ως :

$$P1 = V1 \times I1$$

$$P2 = V2 \times I2$$

Όπου :

P1 είναι η ισχύς εισόδου,

P2 είναι η ισχύς εξόδου,

V1, V2 οι τάσεις πρωτεύοντος και δευτερεύοντος,

I1, I2 τα αντίστοιχα ρεύματα.

Σε έναν ιδανικό μετασχηματιστή θεωρείται ότι :

$$P1 = P2$$

Στην πράξη όμως, η ισχύς εξόδου είναι μικρότερη από την ισχύ εισόδου λόγω των απωλειών που εμφανίζονται κατά τη λειτουργία του.

Οι απώλειες αυτές διακρίνονται κυρίως σε απώλειες πυρήνα (δινορευμάτων και υστερήσεις) και απώλειες χαλκού στα τυλίγματα, οι οποίες σχετίζονται με την αντίσταση των αγωγών.

Η απόδοση ενός μετασχηματιστή ορίζεται ως ο λόγος της ισχύος εξόδου προς την ισχύ εισόδου και εκφράζεται συνήθως ως ποσοστό :

$$\eta = (P2 / P1) * 100\%$$

Η απόδοση αποτελεί κρίσιμο δείκτη ποιότητας, καθώς δείχνει πόσο αποτελεσματικά μεταφέρεται η ενέργεια από την είσοδο προς το φορτίο. Σε σύγχρονους μετασχηματιστές ισχύος καλής ποιότητας, η απόδοση μπορεί να ξεπερνά το 95%, ιδιαίτερα σε ονομαστικές συνθήκες λειτουργίας.

Η πραγματική απόδοση εξαρτάται από το φορτίο και τις συνθήκες λειτουργίας. Σε χαμηλά φορτία, οι σταθερές απώλειες του πυρήνα αποκτούν μεγαλύτερη σημασία, ενώ σε υψηλά φορτία αυξάνονται οι απώλειες στα τυλίγματα λόγω αυξημένου ρεύματος.

Για τις διατάξεις τροφοδοσίας, η επιλογή μετασχηματιστή με υψηλή απόδοση είναι σημαντική, καθώς μειώνει την κατανάλωση ενέργειας, περιορίζει τη θερμική καταπόνηση και αυξάνει τη συνολική αξιοπιστία του συστήματος. Ένας αποδοτικός μετασχηματιστής συμβάλλει επίσης στη σταθερότερη λειτουργία του τροφοδοτικού, ειδικά σε εφαρμογές συνεχούς λειτουργίας.

5.4 Απώλειες και θερμική συμπεριφορά μετασχηματιστών

Κατά τη λειτουργία ενός πραγματικού μετασχηματιστή εμφανίζονται αναπόφευκτα απώλειες ισχύος, οι οποίες μετατρέπονται κυρίως σε θερμότητα. Οι απώλειες αυτές επηρεάζουν άμεσα την απόδοση, τη θερμική καταπόνηση και τη διάρκεια ζωής του μετασχηματιστή, καθώς και τη συνολική αξιοπιστία της διάταξης τροφοδοσίας.

Οι απώλειες μπορούν να διακριθούν σε δύο βασικές κατηγορίες : απώλειες στα τυλίγματα και απώλειες στο μαγνητικό πυρήνα.

Οι απώλειες στα τυλίγματα, γνωστές και ως απώλειες χαλκού, οφείλονται στην ηλεκτρική αντίσταση των αγωγών των πηνίων. Καθώς το ρεύμα διέρχεται από τα τυλίγματα, προκαλείται απώλεια ισχύος που δίνεται από τη σχέση :

$$P_{cu} = I^2 \times R$$

Όπου I είναι το ρεύμα του τυλίγματος και R η αντίσταση του αγωγού. Οι απώλειες αυτές αυξάνονται σημαντικά με το φορτίο και αποτελούν κυρίαρχο παράγοντα σε υψηλά ρεύματα λειτουργίας.

Οι απώλειες στον πυρήνα εμφανίζονται ακόμη και όταν ο μετασχηματιστής λειτουργεί χωρίς φορτίο και σχετίζονται με τα μαγνητικά φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα στο υλικό του πυρήνα. Περιλαμβάνουν κυρίως απώλειες λόγω υστέρησης και απώλειες λόγω δινορευμάτων. Η χρήση

ελασματοποιημένων πυρήνων και κατάλληλων μαγνητικών υλικών μειώνει σημαντικά αυτά τα φαινόμενα και βελτιώνει τη συνολική απόδοση.

Η παραγόμενη θερμότητα από τις απώλειες οδηγεί σε αύξηση της θερμοκρασίας του μετασχηματιστή. Η υπερθέρμανση μπορεί να προκαλέσει υποβάθμιση της μόνωσης των τυλιγμάτων, μείωση της μηχανικής αντοχής των υλικών και, σε ακραίες περιπτώσεις, μόνιμη βλάβη της συσκευής.

Για τον λόγο αυτό, οι μετασχηματιστές σχεδιάζονται με κατάλληλες μεθόδους ψύξης, όπως φυσικός αερισμός, μεταλλικά περιβλήματα απαγωγής θερμότητας ή ακόμη και εξαναγκασμένη ψύξη με ανεμιστήρες σε εφαρμογές υψηλής ισχύος. Η σωστή θερμική διαχείριση είναι απαραίτητη για την σταθερή και ασφαλή λειτουργία των διατάξεων τροφοδοσίας.

Στις εφαρμογές τροφοδοτικών AC, η θερμική συμπεριφορά του μετασχηματιστή επηρεάζει άμεσα τη συνολική απόδοση του συστήματος. Ένας μετασχηματιστής που λειτουργεί εντός των θερμικών ορίων του παρουσιάζει μεγαλύτερη αξιοπιστία, μειωμένη πιθανότητα αστοχίας και αυξημένη διάρκεια ζωής.

5.5 Ρόλος μετασχηματιστή σε διατάξεις τροφοδοσίας εναλλασσόμενης τάσης

Ο μετασχηματιστής αποτελεί το βασικό δομικό στοιχείο στις περισσότερες διατάξεις τροφοδοσίας εναλλασσόμενης τάσης, καθώς επιτελεί κρίσιμες λειτουργίες που σχετίζονται τόσο με την προσαρμογή της τάσης όσο και με την ασφάλεια του συστήματος. Στα τροφοδοτικά AC, ο μετασχηματιστής τοποθετείται συνήθως στο πρώτο στάδιο μετά την είσοδο του δικτύου και καθορίζει τα βασικά ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της εξόδου.

Μια από τις σημαντικότερες λειτουργίες του μετασχηματιστή είναι η υποβίβαση ή ανύψωση της τάσης του δικτύου, ώστε αυτή να προσαρμόζεται στις απαιτήσεις του φορτίου. Για παράδειγμα, σε εργαστηριακά τροφοδοτικά AC, η τάση των 230V του δικτύου μειώνεται σε χαμηλότερα επίπεδα, όπως 12V, 24V ή 30V AC, επιτρέποντας την ασφαλή τροφοδότηση ηλεκτρονικών κυκλωμάτων και συσκευών.

Εξίσου σημαντικός είναι ο ρόλος της ηλεκτρικής απομόνωσης. Η απομόνωση μεταξύ πρωτεύοντος και δευτερεύοντος τυλίγματος προστατεύει το φορτίο και τον χρήστη από επικίνδυνες τάσεις του δικτύου. Σε εφαρμογές τροφοδοσίας, αυτό το χαρακτηριστικό θεωρείται απαραίτητο για τη συμμόρφωση με πρότυπα ασφαλείας και για τη μείωση του κινδύνου ηλεκτροπληξίας.

Ο μετασχηματιστής συμβάλλει επίσης στη σταθερότητα της λειτουργίας του τροφοδοτικού, καθώς περιορίζει τις απότομες μεταβολές της τάσης του δικτύου και μειώνει την επίδραση εξωτερικών διαταραχών. Αν και δεν αποτελεί ενεργό στοιχείο ρύθμισης, λειτουργεί ως παθητικό φίλτρο χαμηλών συχνοτήτων, βελτιώνοντας τη συνολική ποιότητα της παρεχόμενης τάσης.

Σε διατάξεις ρυθμιζόμενων τροφοδοτικών AC, ο μετασχηματιστής χρησιμοποιείται συχνά σε συνδυασμό με επιλογείς λήψεων (taps) ή μεταβλητούς μετασχηματιστές, επιτρέποντας τη μεταβολή της τάσης εξόδου σε προκαθορισμένα ή συνεχόμενα επίπεδα. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται ευελιξία στη ρύθμιση της τάσης χωρίς την ανάγκη σύνθετων ηλεκτρονικών κυκλωμάτων.

Τέλος, η σωστή επιλογή του μετασχηματιστή επηρεάζει άμεσα τη συνολική αξιοπιστία και απόδοση του τροφοδοτικού. Παράμετροι όπως η ονομαστική ισχύς, το ρεύμα εξόδου, η θερμική αντοχή και η ποιότητα μόνωσης πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τον σχεδιασμό μιας διάταξης τροφοδοσίας AC, ώστε το σύστημα να λειτουργεί με ασφάλεια και σταθερότητα σε βάθος χρόνου.

5.6 Τύποι μετασχηματιστών σε εφαρμογές τροφοδοσίας

Στις διατάξεις τροφοδοσίας χρησιμοποιούνται διαφορετικοί τύποι μετασχηματιστών, ανάλογα με τις απαιτήσεις ισχύος, τον διαθέσιμο χώρο, την απόδοση και το επίπεδο ηλεκτρικής απομόνωσης που απαιτείται. Η επιλογή του κατάλληλου τύπου μετασχηματιστή επηρεάζει άμεσα τη λειτουργικότητα, την αξιοπιστία και τη θερμική συμπεριφορά του τροφοδοτικού.

Ένας από τους πιο διαδεδομένους τύπους είναι ο μετασχηματιστής τύπου EI, ο οποίος αποτελείται από ελασματοποιημένο πυρήνα σε σχήμα E και I. χρησιμοποιείται ευρέως σε κλασικά γραμμικά τροφοδοτικά λόγω της απλής κατασκευής, της χαμηλής τιμής και της καλής μηχανικής αντοχής. Παρότι παρουσιάζει μεγαλύτερο όγκο και βάρος σε σχέση με άλλους τύπους, παραμένει αξιόπιστη λύση για εφαρμογές χαμηλής και μεσαίας ισχύος.

Ιδιαίτερα δημοφιλής σε σύγχρονες εφαρμογές είναι ο τοροειδής μετασχηματιστής (toroidal). Διαθέτει κυκλικό πυρήνα και προσφέρει αυξημένη απόδοση, μειωμένες απώλειες και χαμηλότερο ηλεκτρομαγνητικό θόρυβο. Επιπλέον, παρουσιάζει μικρότερο μέγεθος σε σχέση με μετασχηματιστές ίσης ισχύς τύπου EI, γεγονός που τον καθιστά ιδανικό για συμπαγή τροφοδοτικά και εργαστηριακές συσκευές υψηλής ποιότητας.

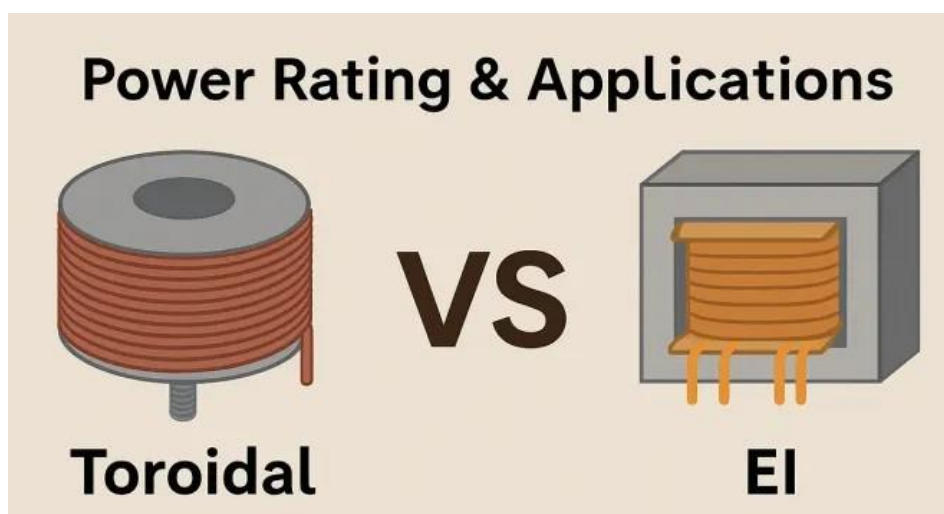
Σε εφαρμογές όπου απαιτείται μεταβολή της τάσης εξόδου χωρίς ηλεκτρονικά κυκλώματα ρύθμισης, χρησιμοποιούνται μεταβλητοί μετασχηματιστές (variac). Οι μετασχηματιστές αυτοί επιτρέπουν συνεχή

ρύθμιση της τάσης μέσω μηχανικού επιλογέα και χρησιμοποιούνται κυρίως σε εργαστήρια, δοκιμές εξοπλισμού και πειραματικές εφαρμογές. Ωστόσο, δεν προσφέρουν πλήρη ηλεκτρική απομόνωση, γεγονός που απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή κατά τη χρήση τους.

Μια ειδική κατηγορία αποτελεί ο αυτομετασχηματιστής όπου το πρωτεύον και το δευτερεύον τύλιγμα μοιράζονται κοινό αγωγό. Το πλεονέκτημα του είναι το μικρότερο μέγεθος και η υψηλότερη απόδοση, όμως η απουσία πλήρους ηλεκτρικής απομόνωσης περιορίζει τη χρήση του σε εφαρμογές όπου δεν απαιτείται αυξημένο επίπεδο ασφαλείας.

Τέλος, σε διατάξεις υψηλής συχνότητας και διακοπικά τροφοδοτικά χρησιμοποιούνται μετασχηματιστές φερρίτη, οι οποίοι λειτουργούν σε υψηλές συχνότητες και επιτρέπουν τη σημαντική μείωση του μεγέθους και του βάρους του συστήματος. Παρότι δεν αποτελούν τυπικό στοιχείο κλασικών AC τροφοδοτικών χαμηλής συχνότητας, έχουν ιδιαίτερη σημασία σε σύγχρονες ενεργειακά αποδοτικές εφαρμογές.

Συνολικά, η επιλογή του κατάλληλου τύπου μετασχηματιστή εξαρτάται από τις απαιτήσεις της εφαρμογής, όπως η ισχύς εξόδου, το επίπεδο ασφαλείας, οι θερμικές συνθήκες και ο διαθέσιμος χώρος. Στις διατάξεις τροφοδοσίας AC, η σωστή επιλογή μετασχηματιστή αποτελεί βασικό παράγοντα για τη σταθερή και ασφαλή λειτουργία του συστήματος[6].



Σχήμα 5.6: Σύγκριση τοροειδούς μετασχηματιστή και μετασχηματιστή τύπου EI που χρησιμοποιούνται σε διατάξεις τροφοδοσίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 - Προστασία και αξιοπιστία διατάξεων τροφοδοσίας

6.1 Προστασία υπερέματος

Η προστασία από υπερέματα αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους μηχανισμούς ασφάλειας στις διατάξεις τροφοδοσίας. Υπερέμα εμφανίζεται όταν το ρεύμα που διαρρέει το κύκλωμα υπερβαίνει την ονομαστική τιμή σχεδίασης, γεγονός που μπορεί να προκαλέσει υπερθέρμανση αγωγών, καταστροφή ηλεκτρονικών εξαρτημάτων και σοβαρό κίνδυνο πυρκαγιάς[2].

Οι κύριες αιτίες εμφάνισης υπερέματος περιλαμβάνουν βραχυκυκλώματα στο φορτίο, σφάλματα μόνωσης, απότομες μεταβολές φορτίου και αστοχίες εξαρτημάτων στο εσωτερικό του τροφοδοτικού. Σε τέτοιες περιπτώσεις, το τροφοδοτικό οφείλει να αντιδρά άμεσα, περιορίζοντας ή διακόπτοντας τη ροή του ρεύματος ώστε να αποτραπεί περαιτέρω βλάβη.

Η βασική αρχή προστασίας στηρίζεται στο γεγονός ότι η παραγόμενη θερμότητα σε έναν αγωγό είναι ανάλογη του τετραγώνου του ρεύματος, σύμφωνα με τη σχέση :

$$P = I^2 \times R$$

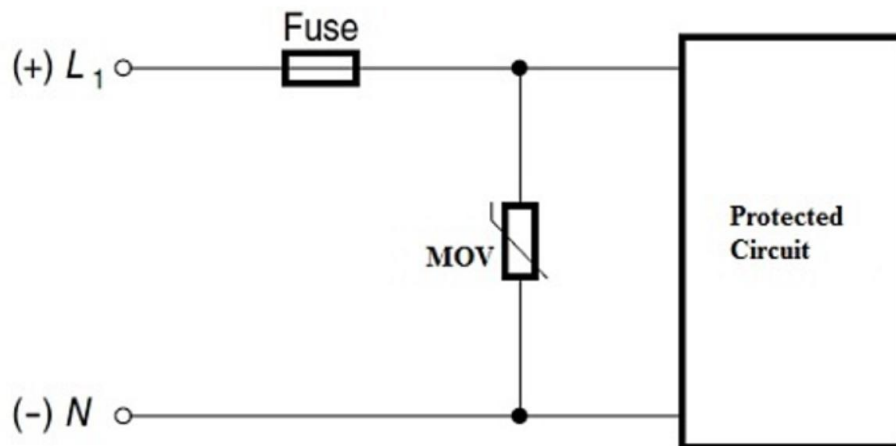
Όπου I είναι το ρεύμα και R η ηλεκτρική αντίσταση του αγωγού. Η αύξηση του ρεύματος οδηγεί σε απότομη αύξηση της θερμικής ισχύος, γεγονός που μπορεί να προκαλέσει υπερθέρμανση και καταστροφή των υλικών.

Στις διατάξεις τροφοδοσίας χρησιμοποιούνται διάφορες μέθοδοι προστασίας υπερέματος. Η πιο απλή και διαδεδομένη μορφή είναι η ασφάλεια τήξης (fuse), η οποία διακόπτει το κύκλωμα όταν το ρεύμα ξεπεράσει μια προκαθορισμένη τιμή. Σε πιο σύγχρονες διατάξεις, χρησιμοποιούνται ηλεκτρονικά κυκλώματα περιορισμού ρεύματος, τα οποία μειώνουν αυτόματα το ρεύμα εξόδου χωρίς πλήρη διακοπή της λειτουργίας.

Σε ρυθμιζόμενα και εργαστηριακά τροφοδοτικά εφαρμόζεται συχνά η λειτουργία περιορισμού ρεύματος (current limiting), όπου η τάση εξόδου μειώνεται αυτόματα ώστε το ρεύμα να παραμένει εντός ασφαλών ορίων. Αυτή η μέθοδος προστατεύει τόσο το φορτίο όσο και το ίδιο το τροφοδοτικό, επιτρέποντας ταυτόχρονα τη συνέχιση της λειτουργίας του συστήματος.

Η σωστή σχεδίαση της προστασίας υπερέματος είναι ιδιαίτερα σημαντική σε τροφοδοτικά AC και σε εφαρμογές υψηλής ισχύος, όπου τα ρεύματα είναι μεγάλα και οι θερμικές καταπονήσεις έντονες. Ένα

αξιόπιστο σύστημα προστασίας αυξάνει σημαντικά τη διάρκεια ζωής του εξοπλισμού και μειώνει τον κίνδυνο σοβαρών αστοχιών.



Σχήμα 6.2: Διάταξη προστασίας υπέρτασης σε τροφοδοτικό, με χρήση προστατευτικού στοιχείου μεταβατικών υπερτάσεων (π.χ. MOV/TVS), το οποίο εξασφαλίζει απορρόφηση αιχμών και προστασία του φορτίου.

6.2 Προστασία από υπέρταση

Οι υπερτάσεις αποτελούν μία από τις σημαντικότερες αιτίες βλαβών σε διατάξεις τροφοδοσίας και ηλεκτρονικά συστήματα. Μπορούν να προκληθούν από αιχμές τάσης στο ηλεκτρικό δίκτυο, κεραυνικά φαινόμενα απότομες μεταβολές φορτίου ή διακοπτικές διεργασίες σε γειτονικά κυκλώματα. Οι στιγμιαίες αυτές αυξήσεις της τάσης, ακόμη και αν έχουν μικρή χρονική διάρκεια, είναι ικανές να προκαλέσουν καταστροφή ευαίσθητων ηλεκτρονικών εξαρτημάτων.

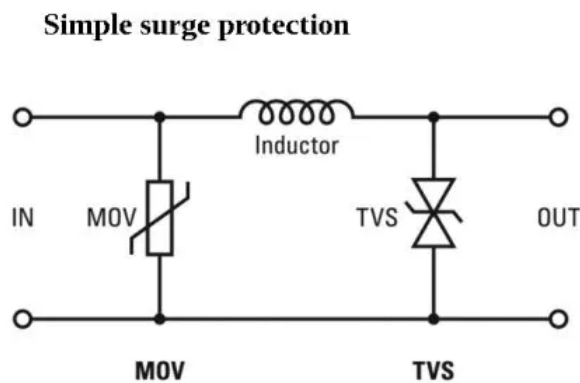
Για τον περιορισμό των υπερτάσεων χρησιμοποιούνται ειδικά κυκλώματα και προστατευτικά στοιχεία, τα οποία λειτουργούν ως μηχανισμοί απορρόφησης ή εκτροπής της περίσσειας ενέργειας. Ένα από τα πιο διαδεδομένα στοιχεία είναι οι βαρίστορ (MOV – Metal Oxide Varistor). Οι βαρίστορ παρουσιάζουν υψηλή αντίσταση σε κανονικές τάσεις λειτουργίας, ενώ όταν η τάση ξεπεράσει ένα προκαθορισμένο όριο, η αντίσταση τους μειώνεται απότομα και διοχετεύουν το ρεύμα προς τη γείωση, προστατεύοντας το κύκλωμα.

Εκτός από τους MOV, χρησιμοποιούνται και διόδοι καταστολής μεταβατικών υπερτάσεων (TVS diodes), οι οποίες προσφέρουν ταχύτερη απόκριση και υψηλή ακρίβεια περιορισμού της τάσης. Οι TVS

είναι ιδιαίτερα κατάλληλες για την προστασία ευαίσθητων ηλεκτρονικών κυκλωμάτων και γραμμών χαμηλής τάσης.

Στις διατάξεις τροφοδοσίας AC, τα κυκλώματα προστασίας υπέρτασης τοποθετούνται συνήθως στην είσοδο του συστήματος, πριν τον μετασχηματιστή ή το κύριο κύκλωμα επεξεργασίας ισχύος. Με αυτόν τον τρόπο οι αιχμές τάσης περιορίζονται πριν φτάσουν στα εσωτερικά στάδια του τροφοδοτικού, μειώνοντας τον κίνδυνο μόνιμων βλαβών.

Η σωστή επιλογή στοιχείων προστασίας υπέρτασης βασίζεται στην ονομαστική τάση λειτουργίας, στη μέγιστη επιτρεπτή ενέργεια που μπορούν να απορροφήσουν και στον χρόνο απόκρισης. Ένα καλά σχεδιασμένο κύκλωμα υπέρτασης αυξάνει σημαντικά τη διάρκεια ζωής της διάταξης τροφοδοσίας και βελτιώνει τη συνολική αξιοπιστία του συστήματος.



Σχήμα 6.2: Απλό κύκλωμα προστασίας υπέρτασης σε διάταξη τροφοδοσίας με χρήση MOV, TVS διόδου και πηνίου για τον περιορισμό παροδικών αιχμών τάσης και ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών.

6.3 Θερμική προστασία

Η θερμική προστασία αποτελεί βασικό στοιχείο ασφαλείας στις διατάξεις τροφοδοσίας, καθώς η υπερβολική αύξηση της θερμοκρασίας μπορεί να προκαλέσει σοβαρές βλάβες στα ηλεκτρονικά εξαρτήματα και να μειώσει σημαντικά τη διάρκεια ζωής του συστήματος. Η θερμική καταπόνηση εμφανίζεται κυρίως σε συνθήκες υψηλού φορτίου, ανεπαρκούς ψύξης ή παρατεταμένης λειτουργίας του τροφοδοτικού.

Κατά τη λειτουργία ενός τροφοδοτικού, διάφορα εξαρτήματα όπως μετασχηματιστές, τρανζίστορ ισχύος, σταθεροποιητές τάσης και ανορθωτικές διατάξεις μετατρέπουν μέρος της ηλεκτρικής ενέργειας σε θερμότητα. Αν η παραγόμενη θερμότητα δεν απομακρυνθεί αποτελεσματικά, η θερμοκρασία των εξαρτημάτων αυξάνεται πέρα από τα επιτρεπτά όρια λειτουργίας, οδηγώντας σε μείωση της απόδοσης ή ακόμη και σε μόνιμη καταστροφή.

Για την αποφυγή τέτοιων φαινομένων χρησιμοποιούνται συστήματα θερμικής προστασίας και απαγωγής θερμότητας. Μία από τις πιο συνηθισμένες μεθόδους είναι η χρήση ψηκτρών (heatsinks), οι οποίες αυξάνουν την επιφάνεια απαγωγής θερμότητας προς το περιβάλλον. Σε εφαρμογές μεγαλύτερης ισχύος χρησιμοποιούνται ανεμιστήρες ή συστήματα εξαναγκασμένης ψύξης, ώστε να επιτυγχάνεται αποτελεσματικότερη απομάκρυνση της θερμότητας.

Επιπλέον, σε πολλά τροφοδοτικά ενσωματώνονται θερμικοί διακόπτες ή αισθητήρες θερμοκρασίας, οι οποίοι παρακολουθούν τη θερμοκρασία λειτουργίας των κρίσιμων εξαρτημάτων. Όταν η θερμοκρασία ξεπεράσει ένα προκαθορισμένο όριο, το κύκλωμα προστασίας μπορεί να περιορίσει την ισχύ εξόδου ή να διακόψει προσωρινά τη λειτουργία του τροφοδοτικού μέχρι να επανέλθει η θερμοκρασία σε ασφαλή επίπεδα.

Η ανάγκη θερμικής προστασίας είναι ιδιαίτερα σημαντική σε τροφοδοτικά συνεχούς λειτουργίας ή σε εφαρμογές υψηλής ισχύος, όπου η παραγόμενη θερμότητα είναι αυξημένη. Η σωστή θερμική διαχείριση βελτιώνει τη σταθερότητα λειτουργίας, μειώνει την πιθανότητα αστοχίας και συμβάλει στη συνολική αξιοπιστία της διάταξης τροφοδοσίας.



Σχήμα 6.3: Σύστημα θερμικής διαχείρισης με χρήση ψήκτρας σε διάταξη τροφοδοσίας για τη διατήρηση ασφαλών θερμοκρασιών λειτουργίας.

6.4 Ασφάλεια χρήστη και ηλεκτρική μόνωση

Η ασφάλεια του χρήστη αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες κατά τον σχεδιασμό και τη λειτουργία διατάξεων τροφοδοσίας. Τα τροφοδοτικά συνδέονται άμεσα με το ηλεκτρικό δίκτυο και, σε περίπτωση ανεπαρκούς προστασίας ή αστοχίας μόνωσης, μπορούν να δημιουργήσουν επικίνδυνες συνθήκες για τον χρήστη και τον εξοπλισμό[2].

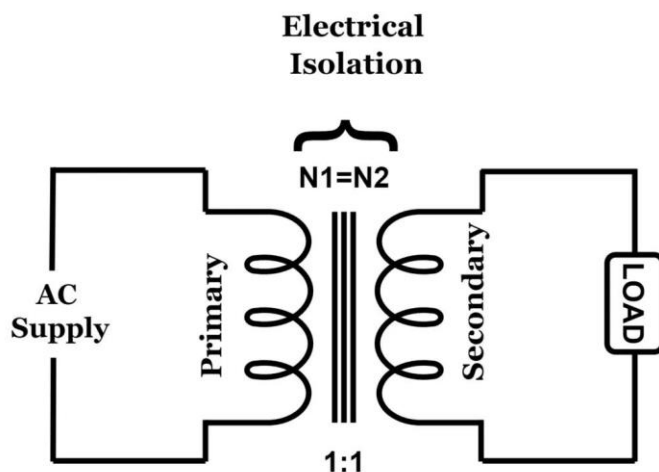
Η ηλεκτρική μόνωση χρησιμοποιείται για τον διαχωρισμό αγωγίμων τμημάτων διαφορετικού δυναμικού και αποτρέπει τη μεταφορά επικίνδυνων τάσεων προς το φορτίο ή το εξωτερικό περιβάλλον της συσκευής. Στις περισσότερες διατάξεις τροφοδοσίας AC, η απομόνωση επιτυγχάνεται κυρίως μέσω του μετασχηματιστή, ο οποίος διαχωρίζει ηλεκτρικά το πρωτεύον από το δευτερεύον κύκλωμα.

Εκτός από τη μόνωση μεταξύ κυκλωμάτων, ιδιαίτερη σημασία έχει και η προστασία έναντι ηλεκτροπληξίας. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται γειώσεις προστασίας, μονωτικά υλικά υψηλής αντοχής και ασφαλή περιβλήματα που αποτρέπουν την άμεση επαφή του χρήστη με αγωγίμα στοιχεία υπό τάση.

Σε πολλές διατάξεις τροφοδοσίας εφαρμόζονται επίσης ασφάλειες διαρροής και φίλτρα ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών (EMI filters), τα οποία περιορίζουν ανεπιθύμητα ρεύματα και βελτιώνουν τη συνολική ηλεκτρική ασφάλεια του συστήματος. Η σωστή γείωση και η χρήση κατάλληλων μονωτικών αποστάσεων στην πλακέτα αποτελούν βασικές απαιτήσεις κατά τη σχεδίαση ενός ασφαλούς τροφοδοτικού.

Η αξιοπιστία της μόνωσης επηρεάζεται σημαντικά από τη θερμοκρασία, την υγρασία και τη γήρανση των υλικών. Για τον λόγο αυτό, οι διατάξεις τροφοδοσίας σχεδιάζονται σύμφωνα με διεθνή πρότυπα ασφαλείας, τα οποία καθορίζουν ελάχιστες αποστάσεις μόνωσης, επίπεδα προστασίας και διαδικασίες ελέγχου.

Η σωστή εφαρμογή μέτρων ηλεκτρικής ασφαλείας και μόνωσης αυξάνει τη συνολική αξιοπιστία της διάταξης τροφοδοσίας και μειώνει σημαντικά τον κίνδυνο ατυχημάτων ή καταστροφής εξοπλισμού κατά τη λειτουργία.



Σχήμα 6.4: Παράδειγμα ηλεκτρικής απομόνωσης και γείωσης σε διάταξη τροφοδοσίας για την προστασία του χρήστη και του εξοπλισμού από επικίνδυνες τάσεις.

6.5 Αξιοπιστία και διάρκεια ζωής διατάξεων τροφοδοσίας

Η αξιοπιστία αποτελεί βασικό χαρακτηριστικό κάθε διάταξης τροφοδοσίας, καθώς καθορίζει τη δυνατότητα συνεχούς και ασφαλούς λειτουργίας του συστήματος για μεγάλο χρονικό διάστημα χωρίς εμφάνιση αστοχιών. Σε ηλεκτρονικά και ηλεκτρικά συστήματα, η σταθερότητα της τροφοδοσίας είναι απαραίτητη για τη σωστή λειτουργία όλων των επιμέρους κυκλωμάτων και συσκευών.

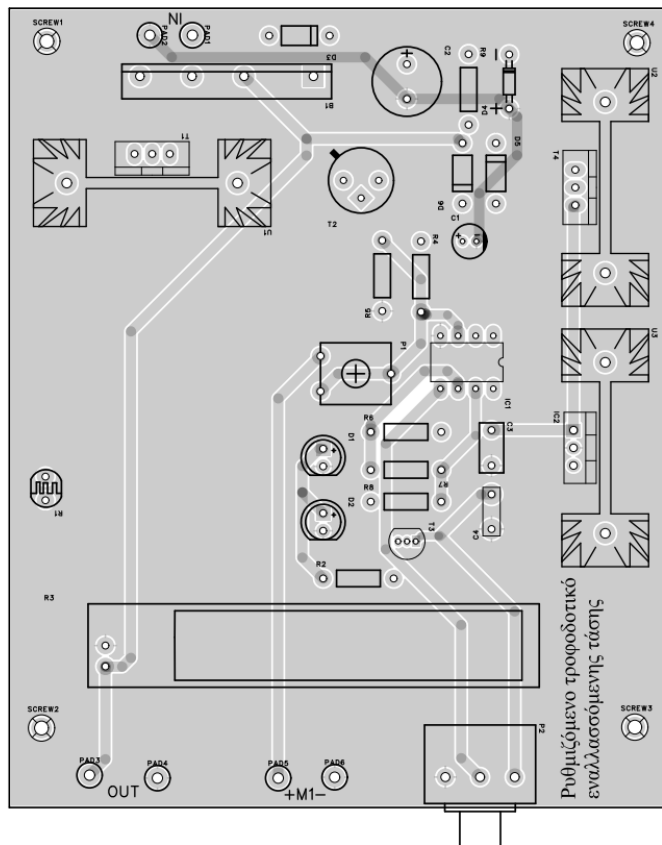
Η διάρκεια ζωής ενός τροφοδοτικού επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες όπως η ποιότητα των εξαρτημάτων, οι θερμικές καταπονήσεις, οι διακυμάνσεις του δικτύου και οι συνθήκες λειτουργίας. Υψηλές θερμοκρασίες, υπερφορτώσεις και συνεχείς μεταβολές τάσης μπορούν να επιταχύνουν τη γήρανση των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων και να μειώσουν σημαντικά την αξιοπιστία του συστήματος.

Ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο παίζει η σωστή θερμική διαχείριση, καθώς η αυξημένη θερμοκρασία αποτελεί έναν από τους κυριότερους παράγοντες φθοράς σε μετασχηματιστές, πυκνωτές και ημιαγωγικά στοιχεία ισχύος. Η χρήση κατάλληλων συστημάτων ψύξης και η λειτουργία εντός των επιτρεπτών ορίων θερμοκρασίας συμβάλουν σημαντικά στην αύξηση της διάρκειας ζωής της διάταξης.

Επιπλέον, η αξιοπιστία ενός τροφοδοτικού βελτιώνεται μέσω της χρήσης συστημάτων προστασίας, όπως προστασία υπερέυματος, υπέρτασης και θερμικής υπερφόρτωσης. Τα κυκλώματα αυτά περιορίζουν την πιθανότητα σοβαρών βλαβών και προστατεύουν τόσο το τροφοδοτικό όσο και το φορτίο από μη φυσιολογικές συνθήκες λειτουργίας.

Η ποιότητα κατασκευής της πλακέτας και η σωστή τοποθέτηση των εξαρτημάτων επηρεάζουν επίσης σημαντικά τη μακροχρόνια λειτουργία του συστήματος. Κατά τον σχεδιασμό ενός τροφοδοτικού πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι αποστάσεις μόνωσης, η επαρκής διατομή των αγωγών της πλακέτας και η σωστή διάταξη των εξαρτημάτων, ώστε να μειώνονται οι θερμικές και ηλεκτρικές καταπονήσεις.

Στις σύγχρονες διατάξεις τροφοδοσίας, η υψηλή αξιοπιστία αποτελεί βασική απαίτηση τόσο σε οικιακές όσο και σε βιομηχανικές εφαρμογές. Ένα αξιόπιστο τροφοδοτικό προσφέρει σταθερή λειτουργία, μειωμένη πιθανότητα αστοχίας και αυξημένη διάρκεια ζωής, συμβάλλοντας στη συνολική ασφάλεια και αποδοτικότητα του ηλεκτρικού συστήματος.



Σχήμα 6.5: Σχεδίαση της πλακέτας του τροφοδοτικού σε περιβάλλον EasyEDA, με έμφαση στη σωστή διάταξη εξαρτημάτων, στις αποστάσεις μόνωσης και στην αξιοπιστία της διαταξης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 - ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΑΙ ΥΛΟΠΙΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ

Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται η πρακτική υλοποίηση της διάταξης τροφοδοσίας εναλλασσόμενης τάσης που μελετήθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια. Περιγράφεται η διαδικασία σχεδίασης του κυκλώματος, η ανάπτυξη της πλακέτας τυπωμένου κυκλώματος (PCB), η επιλογή των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων και η κατασκευή της διάταξης.

Η σχεδίαση της πλακέτας πραγματοποιήθηκε με χρήση του λογισμικού EasyEDA, μέσω του οποίου έγινε η δημιουργία του ηλεκτρονικού σχεδίου και ανάπτυξη του PCB layout. Στην συνέχεια πραγματοποιήθηκε η κατασκευή και συναρμολόγηση της πλακέτας, με στόχο την υλοποίηση ενός λειτουργικού και αξιόπιστου τροφοδοτικού AC.

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται επίσης τα βασικά χαρακτηριστικά της κατασκευής, καθώς και η λειτουργία της διάταξης υπό πραγματικές συνθήκες λειτουργίας.

7.1 Περιγραφή λειτουργίας κυκλώματος

Η διάταξη που υλοποιήθηκε αποτελεί ένα ρυθμιζόμενο τροφοδοτικό εναλλασσόμενης τάσης (AC), το οποίο επιτρέπει τη ρύθμιση της τάσης εξόδου σε χαμηλά επίπεδα εναλλασσόμενης τάσης για εργαστηριακές και εκπαιδευτικές εφαρμογές. Το κύκλωμα βασίστηκε σε υπάρχον ηλεκτρονικό σχέδιο ρυθμιζόμενου AC τροφοδοτικού, το οποίο επανασχεδιάστηκε και προσαρμόστηκε σε περιβάλλον EasyEDA για την ανάπτυξη της πλακέτας τυπωμένου κυκλώματος (PCB).

Η τροφοδοσία του κυκλώματος πραγματοποιείται από το ηλεκτρικό δίκτυο μέσω μετασχηματιστή ασφαλείας 28V / 1A, ο οποίος χρησιμοποιήθηκε αντί μετασχηματιστή 30V / 1A λόγω διαθεσιμότητας εξαρτημάτων. Ο μετασχηματιστής εξασφαλίζει την απομόνωση του κυκλώματος από το δίκτυο και παρέχει χαμηλότερη εναλλασσόμενη τάση κατάλληλη για την περαιτέρω λειτουργία της διάταξης.

Η ρύθμιση της τάσης εξόδου πραγματοποιείται μέσω ηλεκτρονικού κυκλώματος ανάδρασης, το οποίο ελέγχει συνεχώς την τιμή της τάσης και προσαρμόζει τη λειτουργία του κυκλώματος ώστε να

επιτυγχάνεται η επιθυμητή έξοδος. Βασικό στοιχείο του συστήματος ελέγχου αποτελεί ο τελεστικός ενισχυτής TLC272, ο οποίος λειτουργεί ως συγκριτής και ρυθμιστικός ενισχυτής.

Η τάση εξόδου του τροφοδοτικού ανορθώνεται και οδηγείται σε κύκλωμα δειγματοληψίας, όπου συγκρίνεται με την επιθυμητή τιμή που καθορίζεται μέσω ποτενσιόμετρου ρύθμισης. Αν παρουσιαστεί απόκλιση μεταξύ πραγματικής και επιθυμητής τάσης, ο τελεστικός ενισχυτής μεταβάλλει κατάλληλα το σήμα ελέγχου του κυκλώματος επιτυγχάνοντας δυναμική ρύθμιση της εξόδου.

Για την απομόνωση και τον έλεγχο του κυκλώματος χρησιμοποιείται διάταξη οπτοζεύκτη με φωτοαντίσταση (LDR) και LEDs. Η μεταβολή της φωτεινότητας των LEDs επηρεάζει την αντίσταση της φωτοαντίστασης, επιτρέποντας τον έλεγχο του ρεύματος οδήγησης του τρανζίστορ ισχύος και κατά συνέπεια της εναλλασσόμενης τάσης εξόδου. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται ηλεκτρονικά ελεγχόμενη ρύθμιση της AC τάσης.

Το κύκλωμα περιλαμβάνει επίσης βοηθητικό στάδιο σταθεροποιημένης συνεχούς τάσης με χρήση ανορθωτικής διάταξης, zener διόδου και σταθεροποιητή τάσης 7812, το οποίο χρησιμοποιείται για την τροφοδοσία του κυκλώματος ελέγχου και των ηλεκτρονικών στοιχείων χαμηλής τάσης.

Για λόγους ασφαλείας, η διάταξη περιλαμβάνει διπολικό διακόπτη δικτύου, ασφάλεια προστασίας και μονωμένη βάση ασφαλείας. Παράλληλα, χρησιμοποιούνται ψήκτρες στα στοιχεία ισχύος και στα κυκλώματα σταθεροποίησης, με στόχο τη βελτίωση της θερμικής συμπεριφοράς και την ασφαλή λειτουργία του συστήματος.

Η σχεδίαση της πλακέτας πραγματοποιήθηκε σε περιβάλλον EasyEDA, όπου αναπτύχθηκε νέο PCB layout βασισμένο στο αρχικό κύκλωμα. Κατά τη σχεδίαση πραγματοποιήθηκαν βελτιώσεις, όπως η προσθήκη ground plane και η αύξηση του μεγέθους των pads, με στόχο την καλύτερη γείωση, την ευκολότερη συγκόλληση και τη βελτίωση της συνολικής αξιοπιστίας της κατασκευής.

7.2 Σχεδίαση κυκλώματος στο EasyEDA

Η σχεδίαση του ηλεκτρονικού κυκλώματος πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό EasyEDA, το οποίο χρησιμοποιήθηκε για τη δημιουργία του schematic και την προετοιμασία της διάταξης για την ανάπτυξη της πλακέτας τυπωμένου κυκλώματος (PCB). Το EasyEDA επιλέχθηκε λόγω της ευκολίας χρήσης της ενσωματωμένης βιβλιοθήκης ηλεκτρονικών εξαρτημάτων και της δυνατότητας άμεσης μετάβασης από το ηλεκτρονικό σχέδιο στο PCB layout[7].

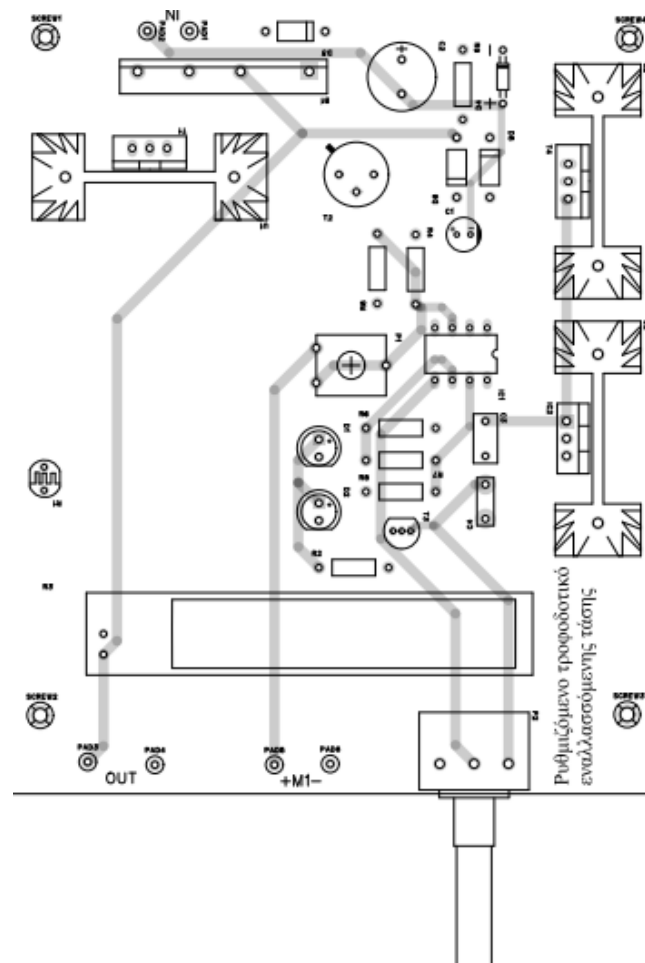
Αρχικά πραγματοποιήθηκε η μεταφορά του αρχικού κυκλώματος του ρυθμιζόμενου τροφοδοτικού εναλλασσόμενης τάσης στο περιβάλλον σχεδίασης του EasyEDA. Το schematic περιλαμβάνει όλα τα

βασικά τμήματα της διάταξης, όπως τον μετασχηματιστή, το κύκλωμα ρύθμισης, τον τελεστικό ενισχυτή TLC272, τα τρανζίστορ ελέγχου, τις προστατευτικές διατάξεις και τα στοιχεία τροφοδοσίας του κυκλώματος ελέγχου.

Κατά την σχεδίαση πραγματοποιήθηκε επιλογή κατάλληλων ηλεκτρονικών συμβόλων και footprints για όλα τα εξαρτήματα, ώστε να εξασφαλιστεί η σωστή αντιστοίχιση μεταξύ schematic και PCB. Ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε στα στοιχεία ισχύος και στα εξαρτήματα που απαιτούν υψύξη, ώστε να υπάρχει επαρκής χώρος τοποθέτησης και σωστή διάταξη πάνω στην πλακέτα.

Μετά την ολοκλήρωση του schematic πραγματοποιήθηκε έλεγχος των ηλεκτρονικών συνδέσεων και επιβεβαίωση της σωστής συνδεσμολογίας του κυκλώματος πριν την ανάπτυξη του PCB layout[7]. Η διαδικασία αυτή ήταν σημαντική για την αποφυγή σφαλμάτων κατά τη σχεδίαση της πλακέτας και τη μελλοντική κατασκευή της διάταξης.

Η χρήση του EasyEDA επέτρεψε την οργανωμένη ανάπτυξη του κυκλώματος και τη βελτιστοποίηση της σχεδίασης πριν τη μετάβαση στο στάδιο του PCB[7]. Παράλληλα, διευκολύνθηκε η δημιουργία των απαραίτητων αρχείων παραγωγής για την κατασκευή της πλακέτας.



Σχήμα 7.1: Σχεδίαση της διάταξης του ρυθμιζόμενου τροφοδοτικού εναλλασσόμενης τάσης στο περιβάλλον EasyEDA, με τη διάταξη των εξαρτημάτων και τις βασικές διαδρομές του PCB.

7.3 Σχεδίαση πλακέτας τυπωμένου κυκλώματος (PCB)

Μετά την ολοκλήρωση του ηλεκτρονικού σχεδίου πραγματοποιήθηκε η ανάπτυξη της πλακέτας τυπωμένου κυκλώματος (PCB) στο περιβάλλον EasyEDA. Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει τη διάταξη των footprints των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων, τη δημιουργία των αγωγικών διαδρομών και τη βελτιστοποίηση της σχεδίασης με στόχο την ασφαλή και αξιόπιστη λειτουργία του τροφοδοτικού.

Η πλακέτα σχεδιάστηκε ως PCB δύο επιπέδων (2-layer PCB), επιτρέποντας καλύτερη οργάνωση των ηλεκτρικών συνδέσεων και ευκολότερη ανάπτυξη των διαδρομών του κυκλώματος. Η χρήση δύο επιπέδων συνέβαλε στη μείωση διασταυρώσεων μεταξύ αγωγικών γραμμών και στη συνολικά πιο οργανωμένη σχεδίαση της πλακέτας.

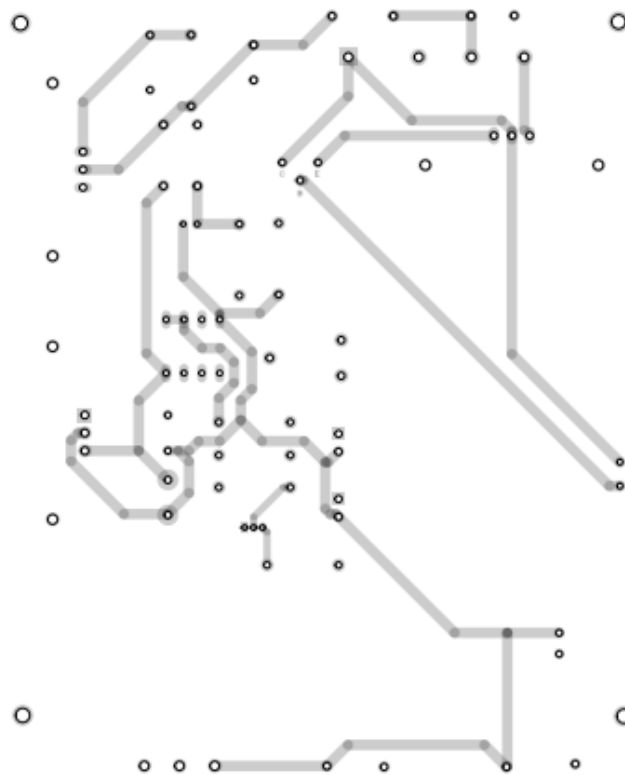
Κατά τη σχεδίαση του PCB δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή στις διαδρομές ισχύος και στις περιοχές όπου διέρχονται μεγαλύτερα ρεύματα. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκαν φαρδύτερες αγωγικές διαδρομές στα τμήματα τροφοδοσίας και στα κυκλώματα ισχύος, με στόχο τη μείωση απωλειών και τη βελτίωση της ηλεκτρικής και θερμικής συμπεριφοράς της πλακέτας.

Επιπλέον, πραγματοποιήθηκε χρήση ground plane για τη βελτίωση της γείωσης και τη μείωση ηλεκτρικών παρεμβολών και θορύβου. Η χρήση ενιαίας επιφάνειας γείωσης συμβάλλει στη σταθερότερη λειτουργία του κυκλώματος και στη βελτίωση της συνολικής αξιοπιστίας της διάταξης.

Ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε επίσης στο μέγεθος των pads των εξαρτημάτων, τα οποία αυξήθηκαν σε σχέση με την αρχική σχεδίαση. Η επιλογή αυτή διευκολύνει τη μελλοντική διαδικασία συγκόλλησης, βελτιώνει τη μηχανική αντοχή των συνδέσεων και μειώνει την πιθανότητα κατασκευαστικών προβλημάτων κατά τη συναρμολόγηση της πλακέτας.

Κατά το σχεδιασμό της διάταξης των footprints λήφθηκε υπόψη η μελλοντική τοποθέτηση των στοιχείων ισχύος, των συνδέσμων και των ψηκτρών, ώστε να εξασφαλίζεται επαρκής χώρος και καλύτερη θερμική συμπεριφορά της διάταξης μετά την κατασκευή.

Μετά την ολοκλήρωση της σχεδίασης πραγματοποιήθηκε εξαγωγή των απαραίτητων αρχείων παραγωγής Gerber, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή της πλακέτας από εξωτερική υπηρεσία παραγωγής PCB.



Σχήμα 7.2: Αγώγιμες διαδρομές της πλακέτας του ρυθμιζόμενου τροφοδοτικού όπως σχεδιάστηκαν στο περιβάλλον EasyEDA πριν την παραγωγή του PCB.

7.4 Επιλογή ηλεκτρονικών εξαρτημάτων

Η επιλογή των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων της διάταξης πραγματοποιήθηκε με βάση τις απαιτήσεις λειτουργίας του ρυθμιζόμενου τροφοδοτικού, τη διαθεσιμότητα των εξαρτημάτων στην αγορά και τη συμβατότητα με τη σχεδίαση της πλακέτας τυπωμένου κυκλώματος. Ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε στα στοιχεία ισχύος, στα κυκλώματα προστασίας και στα εξαρτήματα που επηρεάζουν τη σταθερότητα και την αξιοπιστία της λειτουργίας.

Για την τροφοδοσία της διάταξης χρησιμοποιήθηκε μετασχηματιστής ασφάλειας 28V/ 1A, ο οποίος επιλέχθηκε λόγω διαθεσιμότητας αντί του αρχικού μετασχηματιστή 30V / 1A που προτεινόταν στο αρχικό κύκλωμα. Ο μετασχηματιστής παρέχει ηλεκτρική απομόνωση από το δίκτυο και την απαραίτητη εναλλασσόμενη τάση για τη λειτουργία του κυκλώματος.

Βασικό στοιχείο του κυκλώματος ελέγχου αποτελεί ο τελεστικός ενισχυτής TLC272, ο οποίος χρησιμοποιείται για τη σύγκριση και ρύθμιση της τάσης εξόδου μέσω του βρόχου ανάδρασης. Η επιλογή του συγκεκριμένου ολοκληρωμένου κυκλώματος έγινε λόγω της δυνατότητας λειτουργίας του

σε εφαρμογές χαμηλής ισχύος και της κατάλληλης συμπεριφοράς του σε κυκλώματα αναλογικού ελέγχου.

Για τη λειτουργία σταθεροποιημένης συνεχούς τάσης στο κύκλωμα ελέγχου χρησιμοποιήθηκε ο σταθεροποιητής τάσης 7812, ο οποίος παρέχει σταθερή τάση 12V στα ηλεκτρονικά τμήματα χαμηλής τάσης της διάταξης. Παράλληλα χρησιμοποιήθηκαν ανορθωτικές διόδους τύπου 1N4001, zener διάδος 33V και γέφυρα ανορθωτή για τη δημιουργία και σταθεροποίηση των απαραίτητων τάσεων λειτουργίας.

Στη βαθμίδα ελέγχου χρησιμοποιήθηκαν τρανζίστορ BC141 και BC550B, τα οποία συμμετέχουν στον έλεγχο της τάσης εξόδου και στη λειτουργία του κυκλώματος ανάδρασης. Επιπλέον, για την υλοποίηση του οπτοζεύκτη χρησιμοποιήθηκαν LEDs και φωτοαντίσταση (LDR), επιτρέποντας ηλεκτρικά ελεγχόμενη μεταβολή της αντίστασης και κατά συνέπεια της τάσης εξόδου του τροφοδοτικού.

Για τη ρύθμιση της εξόδου χρησιμοποιήθηκαν ποτενσιόμετρα μεταβλητής αντίστασης, ενώ για την ένδειξη της τάσης εξόδου προβλέφθηκε όργανο κινητού πηνίου 100μΑ. Η διάταξη περιλαμβάνει επίσης διπολικό διακόπτη δικτύου, μονωμένη βάση ασφάλειας και ασφάλεια προστασίας 160mA, με στόχο την ασφαλέστερη λειτουργία του κυκλώματος και την προστασία από υπερφόρτωση ή βραχυκύκλωμα.

Ιδιαίτερη σημασία δόθηκε και στη θερμική διαχείριση της διάταξης. Για τον λόγο αυτό επιλέχθηκαν κατάλληλες ψήκτρες για τα στοιχεία ισχύος και τα κυκλώματα σταθεροποίησης, ώστε να εξασφαλίζεται ασφαλής λειτουργίας και καλύτερη απαγωγή θερμότητας κατά τη λειτουργία του τροφοδοτικού.

Η επιλογή των εξαρτημάτων πραγματοποιήθηκε με στόχο την αξιόπιστη λειτουργία, την ευκολία κατασκευής και τη συμβατότητα με τη σχεδίαση της πλακέτας PCB που αναπτύχθηκε στο περιβάλλον EasyEDA.

7.5 Δημιουργία αρχείων Gerber και προετοιμασία κατασκευής

Μετά την ολοκλήρωση της σχεδίασης της πλακέτας πραγματοποιήθηκε η δημιουργία των αρχείων παραγωγής Gerber μέσω του περιβάλλοντος EasyEDA. Τα αρχεία Gerber αποτελούν το βασικό πρότυπο που χρησιμοποιείται στη βιομηχανική κατασκευή πλακετών τυπωμένου κυκλώματος και περιλαμβάνουν όλες τις απαραίτητες πληροφορίες για την παραγωγή του PCB[7].

Η διαδικασία εξαγωγής περιλάμβανε τη δημιουργία αρχείων για τα αγωγή επίπεδα της πλακέτας, τις οπές διάτρησης (drill files), το solder mask, το silkscreen και περίγραμμα της πλακέτας. Τα αρχεία αυτά

συγκεντρώθηκαν σε μορφή συμπιεσμένου φακέλου και χρησιμοποιήθηκαν για την αποστολή της σχεδίασης σε υπηρεσία κατασκευής PCB.

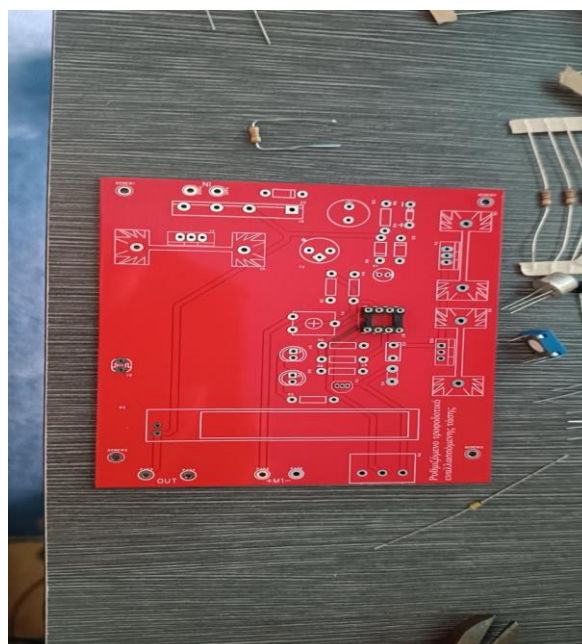
Πριν την εξαγωγή των Gerber files πραγματοποιήθηκε έλεγχος της σχεδίασης της πλακέτας, ώστε να επιβεβαιωθεί η σωστή σύνδεση των διαδρομών, η ορθή τοποθέτηση των footprints και η συμβατότητα των επιπέδων της πλακέτας με τη διαδικασία παραγωγής[7]. Ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε στις αποστάσεις μεταξύ αγωγίμων διαδρομών, στα σημεία συγκόλλησης και στις περιοχές διέλευσης μεγαλύτερων ρευμάτων.

Η πλακέτα ως PCB δύο επιπέδων και προετοιμάστηκε για κατασκευή μέσω εξωτερικής υπηρεσίας παραγωγής πλακετών. Η διαδικασία αυτή επιτρέπει την παραγωγή πλακέτας με μεγαλύτερη ακρίβεια, καλύτερη ποιότητα κατασκευής και αυξημένη αξιοπιστία σε σχέση με χειροποίητες μεθόδους ανάπτυξης PCB.

Η δημιουργία των Gerber files αποτέλεσε το τελικό στάδιο της ψηφιακής σχεδίασης της διάταξης πριν την κατασκευή της πλακέτας και τη μελλοντική συναρμολόγηση του κυκλώματος.

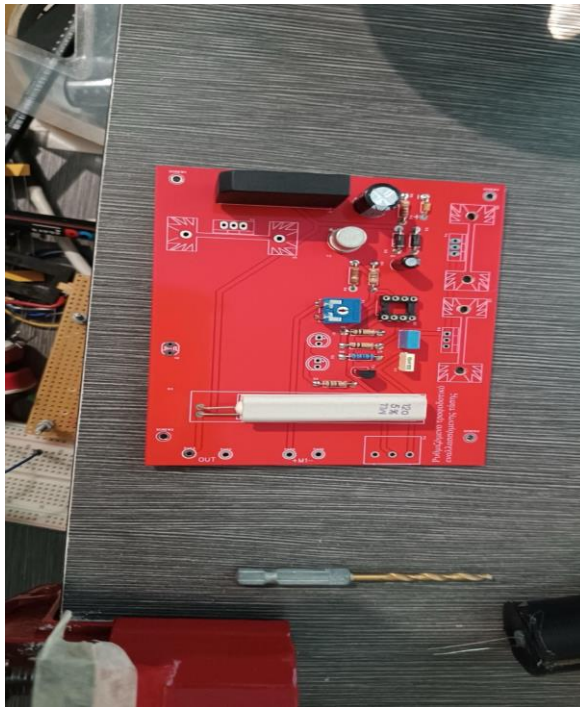
7.6 Συναρμολόγηση και κατασκευή της διάταξης

Μετά την παραλαβή της πλακέτας τυπωμένου κυκλώματος πραγματοποιήθηκε η συναρμολόγηση της διάταξης και η τοποθέτηση των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων πάνω στο PCB. Η διαδικασία περιλάμβανε τη συγκόλληση των εξαρτημάτων, την εγκατάσταση των στοιχείων ισχύος και τη σύνδεση των καλωδίων τροφοδοσίας και εξόδου.



Σχήμα 7.3 : κατασκευασμένη πλακέτα τυπωμένου κυκλώματος πριν τη συναρμολόγηση των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων.

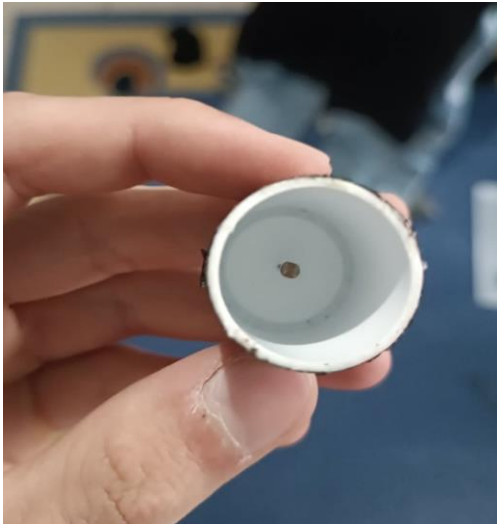
Κατά την συναρμολόγηση χρησιμοποιήθηκαν όλα τα εξαρτήματα που προβλέπονται από το αρχικό κύκλωμα, συμπεριλαμβανομένων των τρανζίστορ, του τελεστικού ενισχυτή, των στοιχείων προστασίας, των ποτενσιόμετρων και του μετασχηματιστή τροφοδοσίας. Ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε στις κολλήσεις των στοιχείων ισχύος και στις συνδέσεις τροφοδοσίας, ώστε να εξασφαλιστεί η ασφαλής και αξιόπιστη λειτουργία της διάταξης.



Σχήμα 7.4 : Συναρμολόγηση και τοποθέτηση των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων πάνω στην πλακέτα του τροφοδοτικού.

Κατά την υλοποίηση της διάταξης πραγματοποιήθηκαν ορισμένες τροποποιήσεις και κατασκευαστικές παρεμβάσεις με στόχο τη σωστή και σταθερή λειτουργία του κυκλώματος.

Συγκεκριμένα, για την κατασκευή του οπτοζεύκτη χρησιμοποιήθηκε αυτοσχέδια διάταξη LED και φωτοαντίσταση (LDR), η οποία τοποθετήθηκε μέσα σε πλαστικό περίβλημα ώστε να περιοριστεί η επίδραση εξωτερικού φωτισμού. Εξωτερικά εφαρμόστηκε μαύρη μονωτική ταινία για τη βελτίωση της οπτικής απομόνωσης και τη σταθερότερη λειτουργία του κυκλώματος ανάδρασης.



Σχήμα 7.5 : κατασκευή του οπτοζεύκτη με χρήση LED, φωτοαντίστασης και πλαστικού περιβλήματος για απομόνωση από τον εξωτερικό φωτισμό.

Κατά την εγκατάσταση της πλακέτας στο περίβλημα της διάταξης διαπιστώθηκε ότι τα σημεία στήριξης του PCB δεν συνέπιπταν με τις διαθέσιμες θέσεις στερέωσης του κουτιού. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκε μεταλλική βάση στήριξης, η οποία προσαρμόστηκε μεταξύ της πλακέτας και του περιβλήματος ώστε να επιτευχθεί ασφαλής μηχανική στερέωση της διάταξης.

Η διάταξη τοποθετήθηκε σε πλαστικό περίβλημα, το οποίο παρέχει ηλεκτρική μόνωση και αυξημένη ασφάλεια κατά τη λειτουργία του τροφοδοτικού. Για την τροφοδοσία του κυκλώματος χρησιμοποιήθηκε απευθείας καλώδιο σύνδεσης με το ηλεκτρικό δίκτυο, αντί υποδοχής τύπου IEC, λόγω περιορισμένης διαθεσιμότητας υλικών και για λόγους πρακτικής υλοποίησης της κατασκευής.



Σχήμα 7.6 : τοποθέτηση της πλακέτας και του μετασχηματιστή στο εσωτερικό του περιβλήματος κατά τη διαδικασία συναρμολόγησης της διάταξης.

Για την απαγωγή θερμότητας από τα στοιχεία ισχύος χρησιμοποιήθηκαν κατάλληλες ψήκτρες αλουμινίου, οι οποίες τοποθετήθηκαν στα τρανζίστορ ισχύος ώστε να εξασφαλιστεί ασφαλής λειτουργία και αποτελεσματική θερμική διαχείριση της διάταξης.



Σχήμα 7.7 : Τοποθέτηση ψήκτρων αλουμινίου στα στοιχεία ισχύος της διάταξης για την απαγωγή της παραγόμενης θερμότητας.

7.7 Δοκιμές και Μετρήσεις

Μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής πραγματοποιήθηκαν δοκιμές λειτουργίας και μετρήσεις της διάταξης, με σκοπό την επιβεβαίωση της σωστής λειτουργίας του ρυθμιζόμενου τροφοδοτικού εναλλασσόμενης τάσης. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με χρήση ψηφιακού πολύμετρου και με σύνδεση φορτίου στην έξοδο της διάταξης.

Αρχικά πραγματοποιήθηκε μέτρηση της τάσης εξόδου χωρίς φορτίο. Κατά τη διάρκεια της μέτρησης καταγράφηκε τάση περίπου 22.6V AC στην έξοδο του τροφοδοτικού, επιβεβαιώνοντας τη σωστή λειτουργία του κυκλώματος τροφοδοσίας και της διάταξης ρύθμισης.



Σχήμα 7.8 : Μέτρηση της τάσης εξόδου του ρυθμιζόμενου τροφοδοτικού με χρήση ψηφιακού πολύμετρου.

Στην συνέχεια πραγματοποιήθηκε δοκιμή λειτουργίας με σύνδεση αντίστασης φορτίου ισχύος 5W και ονομαστικής τιμής περίπου 1kΩ. Κατά τη διάρκεια της δοκιμής επιβεβαιώθηκε η σωστή λειτουργία της διάταξης υπό φορτίο και η δυνατότητα τροφοδότησης εξωτερικού κυκλώματος.



Σχήμα 7.9 : Δοκιμή λειτουργίας του τροφοδοτικού με σύνδεση αντίστασης φορτίου 5W/1kΩ

Παράλληλα πραγματοποιήθηκε μέτρηση της αντίστασης φορτίου, όπου καταγράφηκε τιμή περίπου 993Ω, τιμή που βρίσκεται εντός των αναμενόμενων ορίων λειτουργίας του εξαρτήματος.



Σχήμα 7.10 : Μέτρηση της αντίστασης φορτίου με χρήση ψηφιακού πολύμετρου.

Κατά τη διάρκεια των δοκιμών πραγματοποιήθηκε επίσης έλεγχος της θερμικής συμπεριφοράς των στοιχείων ισχύος και των ψηκτρών αλουμινίου. Οι ψήκτρες παρουσίασαν φυσιολογική θερμοκρασία λειτουργίας και συνέβαλαν αποτελεσματικά στην απαγωγή θερμότητας από τα στοιχεία ισχύος. Επιπλέον, η λειτουργία της διάταξης ήταν σχεδόν αθόρυβη κατά τη λειτουργία.

Παρότι παρατηρήθηκαν μικρές αστάθειες στην έξοδο της διάταξης, η συνολική λειτουργία του τροφοδοτικού κρίθηκε ικανοποιητική και επιβεβαιώθηκε η επιτυχημένη λειτουργία της κατασκευής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία είχε ως αντικείμενο τη μελέτη, σχεδίαση και κατασκευή ρυθμιζόμενης διάταξης τροφοδοσίας εναλλασσόμενης τάσης. Κατά τη διάρκεια της εργασίας πραγματοποιήθηκε θεωρητική ανάλυση των βασικών αρχών λειτουργίας των διατάξεων τροφοδοσίας, της εναλλασσόμενης τάσης, των μετασχηματιστών και των κυκλωμάτων προστασίας.

Στο πρακτικό μέρος της εργασίας πραγματοποιήθηκε η σχεδίαση του ηλεκτρονικού κυκλώματος και της πλακέτας τυπωμένου κυκλώματος μέσω λογισμικού EasyEDA. Στην συνέχεια κατασκευάστηκε η πλακέτα PCB και πραγματοποιήθηκε η συναρμολόγηση των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων, των στοιχείων και των κυκλωμάτων ελέγχου.

Ιδιαίτερη σημασία δόθηκε στην ανάπτυξη του κυκλώματος ανάδρασης και στην κατασκευή αυτοσχέδιου οπτοζεύκτη με χρήση LED και φωτοαντίστασης, με στόχο τη βελτίωση της απομόνωσης και της λειτουργικής σταθερότητας της διάταξης.

Μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής πραγματοποιήθηκαν δοκιμές λειτουργίας και μετρήσεις της τάσης εξόδου, μέσω των οποίων επιβεβαιώθηκε η σωστή λειτουργία της διάταξης. Παρότι παρατηρήθηκαν μικρές αστάθειες κατά τη λειτουργία, η συνολική συμπεριφορά του τροφοδοτικού κρίθηκε ικανοποιητική και επιτεύχθηκαν οι βασικοί στόχοι της εργασίας.

Μέσα από την υλοποίηση της εργασίας αποκτήθηκε σημαντική εμπειρία στη σχεδίαση ηλεκτρονικών κυκλωμάτων, στη δημιουργία PCB, στη συναρμολόγηση διατάξεων ισχύος και στη διαδικασία δοκιμών και μετρήσεων ηλεκτρονικών συστημάτων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] «Ρυθμιζόμενο τροφοδοτικό εναλλασσόμενης τάσης», εκπαιδευτικό άρθρο/σημειώσεις εργαστηρίου, σ. 25–27.
- [2] Texas Instruments, “TLC272 Dual Operational Amplifier Datasheet”.
- [3] STMicroelectronics, “L7812 Voltage Regulator Datasheet”.
- [4] ON Semiconductor, “1N4001 Rectifier Diode Datasheet”.
- [5] EasyEDA, “Online PCB Design Platform”. [Online]. Available: <https://easyeda.com>
- [6] JLCPCB, “PCB Manufacturing Services”. [Online]. Available: <https://jlcpcb.com>
- [7] Horowitz P., Hill W., “The Art of Electronics”, Cambridge University Press.
- [8] Sedra A., Smith K., “Microelectronic Circuits”, Oxford University Press.

