

ΔΙΕΘΝΕΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΕΛΛΑΔΟΣ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ

ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΡΥΘΜΙΖΟΜΕΝΟΥ ΕΡΓΣΤΗΡΙΑΚΟΥ ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΟΥ ΜΕ
ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟ ΡΕΥΜΑΤΟΣ , ΠΑΡΟΧΗ ΤΑΣΗΣ ΕΞΟΔΟΥ 0 – 25 V ΚΑΙ ΡΕΥΜΑ ΕΞΟΔΟΥ 0 – 1,5
A

ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ Ε. ΔΑΣΚΑΛΟΠΟΥΛΟΣ

ΑΜ : 518034

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ : ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΙΟΡΔΑΝΗΣ ΚΙΟΣΚΕΡΙΔΗΣ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2026

ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΑΙ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΡΥΘΜΙΖΟΜΕΝΟΥ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΥ ΤΡΟΦΟΤΙΚΟΥ 0–25 V / 1,5 A ΜΕ LM317

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή
2. Στόχοι και Σκοπός
3. Θεωρητικό Υπόβαθρο
 - Γραμμικά Τροφοδοτικά
 - LM317 - Εφαρμογές και Λειτουργία
 - Ρύθμιση της τάσης και του Ρεύματος
4. Διερεύνηση συστήματος
 - Χαρακτηριστικά
 - Διάγραμμα
5. Ανάλυση Κυκλώματος
 - Φιλτράρισμα και Ανόρθωση
 - Ρύθμιση της τάσης με LM317
 - Ρύθμιση του ρεύματος με LM317
 - Ασφάλεια και Προστασία
6. Υλοποίηση και σχεδιασμός PCB

- Σχεδιασμός του Κυκλώματος
- Προσαρμογή Εξαρτημάτων
- Κατασκευή Πρόσοψης και Σχήμα Κουτιού

7.Δοκιμές και Μετρήσεις

- Ταξινόμηση Ρεύματος και Τάσης
- Μετρήσεις Θερμοκρασίας και Σταθερότητας

8. Σχόλια και Τεχνικοί Περιορισμοί

- Ισχύς Διάνυσης
- Θερμική Προστασία
- Περιορισμοί ως προς την Έξοδο

9.Λίστα Υλικών

10.Διαγράμματα και Σχήματα

11.Τελικά Συμπεράσματα

12.Βιβλιογραφία

13.Παραπτήματα

- Σχέδιο PCB
- Οδηγίες Χρήσης Τιμές Εξαρτημάτων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΓΕΝΙΑ

Η συνεχόμενη ανάπτυξη των ηλεκτρονικών συστημάτων σε συνδυασμό με την επαυξημένη χρήση ηλεκτρονικών διατάξεων σε εργαστηριακά πλαίσια ορίζουν απαραίτητη την ύπαρξη έμπιστων , σταθερών και δαπανηρών πηγών ρεύματος και τάσης .Ένα τροφοδοτικό του εργαστηρίου θεωρείται κύριο εργαλείο για την έρευνα , τον έλεγχο και την πρόοδο των ηλεκτρονικών κυκλωμάτων. Στην συγκεκριμένη

πτυχιακή εργασία εφαρμόζεται η σχεδίαση και η δημιουργία ενός ρυθμιζόμενου γραμμικού τροφοδοτικού 0-25 V / 1,5 A, το οποίο βασίζεται πάνω σε πλήρη LM317 , με επιλογή τον περιορισμό ρεύματος.

1.2 Σημασία των τροφοδοτικών του εργαστηρίου

Τα εργαστηριακά τροφοδοτικά είναι αναγκαία για :

- Ελέγχους ηλεκτρονικών κυκλωμάτων με επιτηρούμενη συνθήκη ρεύματος και τάσης.
- Ασφάλεια των κυκλωμάτων από υπερτάσεις και υπερρεύματα.
- Έρευνα πλήρων κυκλωμάτων και χαρακτηριστικών μηχανημάτων.
- Κατάλληλη εκπαίδευση εργαστηρίων ηλεκτρονικής για φοιτητές.

Η ικανότητα ρύθμισης της τάσης και ο περιορισμός του ρεύματος δίνουν την ικανότητα στον χρήστη να πειραματιστεί με ποικίλες συνθήκες λειτουργίας . Από την άλλη η σταθερότητα της εξόδου είναι απαραίτητη για την λεπτομερειακή μέτρηση. Επιπρόσθετα η επίγνωση της λειτουργίας και των περιορισμών αυτών στα τροφοδοτικά αποτελεί αναγκαίο κομμάτι της εκπαίδευσης ηλεκτρονικών μηχανικών.

1.3 Τύποι τροφοδοτικών

Οι δύο τύποι τροφοδοτικών:

Γραμμικά τροφοδοτικά (LINEAR)

- Διαθέτουν σταθερή τάση με την χρησιμοποίηση διόδων και ενεργών στοιχείων.
- Διακρίνονται για το χαμηλό θόρυβο και την υψηλή σταθερότητά τους.
- Λόγω της διάχυσης ισχύος διαθέτουν υποδεέστερη ενεργειακή απόδοση.

Μεταγωγικά τροφοδοτικά (SWITCHING)

- Μεγάλη ενεργειακή απόδοση.
- Υψηλότερος θόρυβος εξόδου και πιο σύνθετη σχεδίαση.

Η υπάρχουσα πτυχιακή εργασία επικεντρώνεται στα γραμμικά τροφοδοτικά, λόγω της απλότητας, της ορθότητας και της περιορισμένης ηλεκτρικής θορυβικότητας της τάσης εξόδου, πράγμα που τα καθορίζει κατάλληλα για χρήση εργαστηριακού σκοπού.

1.4 Σκοπός της εργασίας

Ο πρωταρχικός σκοπός της συγκεκριμένης εργασίας είναι η κατασκευή ενός άρτιου, ρυθμιζόμενου εργαστηριακού τροφοδοτικού με τις παρακάτω λεπτομέρειες:

- Ρύθμιση της τάσης από 0 μέχρι 25 V.
- Περιορισμό του ρεύματος μέχρι 1.5 A.
- Έξοδο σταθερή υπό φορτίο.
- Διαφύλαξη από υπερθέρμανση και από υπερρεύματα.

Η κατασκευή στηρίζεται στη χρήση δύο ολοκληρωμένων LM317, από τα οποία το ένα αξιοποιείται για την ρύθμιση της τάσης και το άλλο για τον περιορισμό του ρεύματος. Η επιλογή αυτή διευκολύνει την κατασκευή την σταθερότητα και την λιτότητα στην ρύθμιση και την προσαρμογή της συσκευής.

1.5 Δομή της εργασίας

Η πτυχιακή απαρτίζεται από κεφάλαια που περιλαμβάνουν θεωρητικό μέρος, ανάλυση του κυκλώματος, κατασκευή PCB, τεστ και μετρήσεις, παρατηρήσεις, υλικά που χρησιμοποιήθηκαν, καθώς σχήματα και τελικά συμπεράσματα. Το κάθε κεφάλαιο έχει δημιουργηθεί με τέτοιο τρόπο ώστε ο κάθε αναγνώστης να μπορεί να αντιληφθεί πλήρως τη λειτουργία και την σχεδίαση του τροφοδοτικού.

Κεφάλαια:

- Κεφάλαιο 1 : Εισαγωγή.
- Κεφάλαιο 2 : Στόχοι και Σκοπός, όπου περιγράφονται λεπτομερειακά όλες οι λειτουργικές προδιαγραφές καθώς και τα σχεδιαστικά κριτήρια.
- Κεφάλαιο 3 : Θεωρητικό Μέρος που απαρτίζεται από γραμμικά τροφοδοτικά, τη λειτουργία των LM317 και τα βασικά θεμέλια ρύθμισης ρεύματος και τάσης.

- Κεφάλαιο 4 : Αναλυτική Παρουσίαση Συστήματος , που διαθέτει όλα τα χαρακτηριστικά και το διάγραμμα μπλοκ.
- Κεφάλαιο 5 : Ανάλυση Κυκλώματος , με εκτεταμένη παρουσίαση των τμημάτων και των προστασιών του.
- Κεφάλαιο 6 : Δημιουργία και Οργάνωση PCB , που επιδεικνύει το στήσιμο εξαρτημάτων και την σύνθεση του τροφοδοτικού.
- Κεφάλαιο 7 : Μέτρηση και Δοκιμές , με εντελής αξιολόγηση της αποδοτικότητας.
- Κεφάλαιο 8 : Σημειώσεις και Τεχνικά Όρια.
- Κεφάλαιο 9 : Λίστα Υλικών. Κεφάλαιο 10 : Διαγράμματα και Σχήματα.
- Κεφάλαιο 11 : Βιβλιογραφία.
- Κεφάλαιο 12 : Παραρτήματα.

Με την ανάπτυξη των παραπάνω κεφαλαίων , η εργασία θα προσφέρει πλήρη κατανόηση της λειτουργίας , σχεδιασμού και εκτέλεσης ενός εργαστηριακού ρυθμιζόμενου τροφοδοτικού , περιλαμβάνοντας τόσο της πρακτικές όσο και τις θεωρητικές πλευρές.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΣΤΟΧΟΙ

2.1 Εισαγωγή

Το παρόν κεφάλαιο αναλύει το σκοπό και τους στόχους της παρούσας πτυχιακή εργασίας. Η κατασκευή ενός ρυθμιζόμενου εργαστηριακού τροφοδοτικού χρειάζεται επίγνωση των ηλεκτρονικών αρχών , προτίμηση κατάλληλων εξαρτημάτων και υλοποίηση ενός ασφαλούς και σταθερού συστήματος το οποίο παρέχει ισχύς. Το παρόν κεφάλαιο προσδιορίζει υπόβαθρο και τις λειτουργικές ανάγκες που οδήγησαν στον σχεδιασμό της συσκευής αυτής.

2.2 Σκοπός της Εργασίας

Ο κύριος στόχος της εργασίας είναι η υλοποίηση , ο σχεδιασμός και η εκτίμηση ενός τέτοιου γραμμικού ρυθμιζόμενου τροφοδοτικού, το οποίο διαθέτει σταθερή και μεταβαλλόμενη τάση 0-25 V DC , με μέγιστο ρεύμα εξόδου 1,5 A . Ταυτόχρονα να παρέχει την δυνατότητα ελέγχου του ρεύματος από τον χρήστη , έτσι ώστε να λειτουργεί τόσο ως πηγή σταθερού και ελεγχόμενου ρεύματος όσο και πηγή τάσης. Η

συσκευή σχεδιάζεται για εργαστηριακό σκοπό , με προορισμό την εκπαίδευση φοιτητών της ηλεκτρονικής και την δοκιμή ηλεκτρονικών διατάξεων με ελεγχόμενο και αξιόπιστο περιβάλλον.

2.3 Επιδιωκόμενοι Στόχοι

Προς επίτευξη του ανώτερου σκοπού ορίστηκαν οι εξής στόχοι:

- Ανάλυση και έρευνα των θεωρητικών αρχών της λειτουργίας των γραμμικών τροφοδοτικών , αλλά και των ιδιοτήτων ενός ολοκληρωμένου LM317.
- Σχεδιασμός του κυκλώματος ρύθμισης ρεύματος και τάσης , σύμφωνα με την αρχιτεκτονική δύο LM317 σε διασυνδεδεμένη διάταξη
- Επιλογή και υπολογισμός εξαρτημάτων , έτσι ώστε να εγγυηθεί η σωστή λειτουργία , κατάλληλη ψύξη και ασφάλεια από υπερφορτώσεις.
- Υλοποίηση πλακέτας τυπομένου κυκλώματος με συνιστώμενη τοποθέτηση και έλεγχο της θερμότητας.
- Έλεγχος και μέτρηση των ηλεκτρονικών χαρακτηριστικών της συσκευής , περιλαμβανομένων της ακρίβειας, της ασφάλειας και της σταθερότητας.
- Αποτίμηση της απόδοσης υπό καταστάσεις λειτουργίας και ανόμοια φορτία.
- Διατύπωση εγχειριδίου χρήσης και αναφορά αποτελεσμάτων με συγκρίσεις και μετρήσεις.

2.4 Επιβολή Ανάπτυξης

Η υλοποίηση ενός εργαστηριακού τροφοδοτικού τέτοιου τύπου εμφανίζει πρακτική και εκπαιδευτική αξία .Εκτός της λειτουργικότητάς του , η πτυχιακή συνεισφέρει στην κατανόηση των κύριων αρχών ηλεκτρονικού σχεδιασμού , στη χρήση οργάνων προσομοίωσης, στην εξέλιξη ικανοτήτων συναρμολόγησης και στην αφομοίωση φαινομένων όπως είναι η σταθεροποίηση της τάσης , η διαχείριση ρεύματος και η θερμική προσαρμογή.

Η πρόοδος τέτοιας δραστηριότητας δίνει την ευκαιρία στους φοιτητές :

- Να αφομοιώσουν την πράξη της εξισορρόπησης της τάσης με την θεωρία .

- Να λάβουν την απαραίτητη εμπειρία στην προτίμηση εξαρτημάτων με βάση των θερμικών και ηλεκτρικών κριτηρίων .
- Να εκτιμήσουν και να δοκιμάσουν κάτω υπό πραγματικές συνθήκες την αποδοτικότητα του κυκλώματος.

2.5 Πρότυπα Σχεδίασης

Για την επίτευξη του συγκεκριμένου έργου ορίστηκαν τα παρακάτω πρότυπα σχεδιασμού:

- Ακρίβεια Ρύθμιση της τάσης: $\pm 0,1$ V στην έξοδο.
- Σταθερότητα του ρεύματος : τροποποίηση μικρότερη από $\pm 2\%$ ολοκληρωμένου φορτίο.
- Ασφάλεια από υπερθερμάνσεις : αυτοματοποιημένος τερματισμός μέσω του εσωτερικού κυκλώματος του LM317.
- Προστασία Χρήστη : συγχώνευση θερμικής μόνωσης και προστασίας εισόδου.
- Απλοποίηση Κατασκευής : εφαρμογή προσιτών εξαρτημάτων και τυποποιημένων ICs.
- Ελάχιστο Κόστος : το πλήρες κόστος των εξαρτημάτων να περιοριστεί εντός προσεγγίσιμου ορίου , (κάπου στα 30 με 40 ευρώ).

2.6 Προσδοκώμενα Αποτελέσματα

Με την συμπλήρωση της εργασίας προβλέπονται τα εξής συμπεράσματα :

- Υλοποίηση ολοκληρωμένου λειτουργικού τροφοδοτικού 0-25 V / 1.5 A.
- Πραγματοποίηση σταθερότητας ρεύματος και τάσης μέσα στα προκαθορισμένα όρια.
- Πιστοποίηση δυνατότητας του LM317 να χρησιμοποιείται τόσο για τον έλεγχο του ρεύματος όσο και για την ρύθμιση της τάσης.
- Πειραματική επιβεβαίωση της θεωρίας λειτουργίας με χρήση μέσων μέτρησης.

- Επαλήθευση της αποδοτικότητας μέσω πινάκων μετρήσεων και γραφημάτων.

2.7 Εξαγωγή Κεφαλαίου

Το κεφάλαιο αυτό βοήθησε στην κατανόηση του σκοπού , τους επιμέρους στόχους και τις τεχνολογικές ανάγκες της εργασίας. Η κατασκευή ενός ρυθμιζόμενου τροφοδοτικού αποτελεί αξιοσημείωτη εφαρμογή σε θεωρητικό αλλά και πρακτικό επίπεδο . Στο παρακάτω κεφάλαιο θα επισημανθεί το θεωρητικό θεμέλιο που περιλαμβάνει τον σχεδιασμό και τη λειτουργία του συστήματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

3.1 Εισαγωγή

Το θεωρητικό θεμέλιο περιλαμβάνει την κατανόηση και το άρτιο σχεδιασμό ενός εργαστηριακού τροφοδοτικού .Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο αναπτύσσονται οι βασικές αρχές λειτουργίας των γραμμικών τροφοδοτικών , οι ιδιότητες του ολοκληρωμένου LM317 και οι θεμελιώδεις τεχνικές ρύθμισης ρεύματος και τάσης .

3.2 Γραμμικά Τροφοδοτικά

3.2.1 Έννοια

Τα γραμμικά τροφοδοτικά (LPS) διαθέτουν αμετάβλητη τάση εξόδου αξιοποιώντας στοιχεία ενεργά (ρυθμιστές, τρανζίστορ), αλλά και διόδους για την ρύθμιση και σταθεροποίηση της τάσης . Η ισορροπία της εξόδου πραγματοποιείται με την διαρκή σύγκριση της τάσης εξόδου με μια υπόδειξη και την αντίστοιχη ρύθμιση της πτώσης τάσης στο στοιχείο ρύθμισης.

3.2.2 Μειονεκτήματα και Πλεονεκτήματα

Πλεονεκτήματα:

- Ελάχιστος θόρυβος στην έξοδο.
- Αμετάβλητη και ακριβής τάση.
- Λιτός σχεδιασμός και διευκόλυνση στη συντήρηση.

Μειονεκτήματα:

- Αρκετά μεγάλο μέγεθος και αναγκαιότητα για ψύξη .
- Περιορισμένη ενεργειακή απόδοση λόγω διάδοσης την ισχύος.
- Περιοριστικότητα σε μεγάλα ρεύματα χωρίς τους παράλληλους ρυθμιστές.

3.3 Ολοκληρωμένος LM317

3.3.1 Ανάλυση

Ο LM317 είναι ένας ρυθμιζόμενος γραμμικός θετικός ρυθμιστής , ο οποίος διαθέτει παραγωγή έως 1,5 A συνεχούς ρεύματος. Η τάση εξόδου συντονίζεται μέσω του pin ADJ , με αμετάβλητη αναφορά 1,25 V ανάμεσα ADJ και OUT.

3.3.2 Χαρακτηριστικά

- Όριο εξόδου : 1,25 – 37 V (εξαρτάται από το κύκλωμα).
- Μέγιστο συνεχές ρεύμα : 1,5A.
- Ασφάλεια από θερμότητα και ενσωματωμένος περιορισμός ρεύματος.
- Απαιτούνται εξωτερικοί πυκνωτές και αντιστάσεις για τον έλεγχο της σταθερότητας.

3.3.3 Λειτουργία

Η λειτουργία στηρίζεται στη διατήρηση της σταθερής τάσης 1,25 V ανάμεσα των ακροδεκτών ADJ και OUT. Με την συνιστάμενη προτίμηση εξωτερικών αντιστάσεων , η τάση της εξόδου προσομοιώνεται σε κάθε τιμή εντός του αποδεκτού ορίου.

3.4 Ρύθμιση της Τάσης

Η ρύθμιση της τάσης εξόδου κατορθώνεται με την εγκατάσταση ενός συνδυασμού ποτενσιόμετρου - αντίστασης , ή δύο αντιστάσεων , έτσι ώστε η τάση εξόδου V_{out} να δίνεται από την παρακάτω σχέση :

$$V_{out} = V_{ref} * (1 + R2/R1) + I_{adj} * R2$$

όπου:

- $V_{ref} = 1,25 \text{ V}$
- R1, R2: εξωτερικές αντιστάσεις για ρύθμιση τάσης
- $I_{adj} \approx 50 \mu\text{A}$

3.5 Ρύθμιση του Ρεύματος

Το όριο του ρεύματος κατορθώνεται με την χρήση δευτέρου LM317 , που η πτώση της τάσης πάνω σε μια αντίσταση αναφοράς θερμοδοτεί την προστασία υπερρεύματος. Τη στιγμή που η πτώση της τάσης στην αντίσταση φτάσει στα 1,25 V , το LM317 ελέγχει το ρεύμα , διασφαλίζοντας ότι δεν ξεπεράσει το μέγιστο αποδεκτό όριο.

3.6 Αρχές σχεδιασμού

Ο σχεδιασμός ενός γραμμικού τροφοδοτικού προϋποθέτει :

- Προσδιορισμό μέγιστου ρεύματος εξόδου και μέγιστης τάσης .
- Προτίμηση κατάλληλης ανόρθωσης και μετασχηματιστή.
- Ορθή διαλογή ψύξης για LM317 και για τρανζίστορ.
- Προστασία από βραχυκύκλωμα, υπερθερμία και γενικότερη ενσωμάτωση ασφάλειας.
- Ενσωμάτωση φίλτρων για περιορισμό του θορύβου τάσης.

3.7 Περιορισμός ρεύματος

Η προστασία υπερρεύματος είναι αναγκαία για την ασφαλέστερη λειτουργία των τροφοδοτικών .Το LM317 έχει την δυνατότητα να δράσει σαν ρυθμιστής ρεύματος με εγκατάσταση αντίστασης ρεύματος (R1).

Ο υπολογισμός του ορίου τιμής του ρεύματος :

$$I_{lim} = R_{sense} V_{ref}$$

Παράδειγμα: Αν $R_{sense} = 0,82 \Omega$ και $V_{ref} = 1,25 \text{ V}$ τότε :

$$I_{lim} = 1,25 / 0,82 \approx 1,52 \text{ A}$$

Το κύκλωμα σταματάει ή περιορίζει το ρεύμα τη στιγμή που υπερβαίνεται το όριο.

3.8 Ripple και Φιλτράρισμα

Το ripple είναι η κυμάτωση στην έξοδο μετά την ανόρθωση AC σε DC . Περιορίζεται με τα εξής :

- Σημαντική χωρητικότητα των πυκνωτών του φίλτρου (για παράδειγμα 4700μF / 40 V).
- Γραμμική ρύθμιση του LM317

Τύπος υπολογισμού ripple :

$$V_r(pp) = I_{load} / f * C$$

Όπου :

- I_{load} : Ρεύμα φορτίου
- f ; Συχνότητα εισόδου 50 hz για AC
- C : Χωρητικότητα πυκνωτή

Παράδειγμα : Για $I_{load} = 1A$, $C = 4700\mu f$, $f = 50hz$

$$V_r(pp) = 1 / 504700 \cdot 10^{-6} \approx 4,25 V$$

Με τον LM317 το ripple στην έξοδο μειώνεται δραματικά .

3.9 Θερμική Διαχείριση

Η ισχύς που εξαπλώνεται από τον LM317 υπολογίζεται :

$$P_{lm317} = (V_{in} - V_{out}) * I_{load}$$

Η χρησιμοποίηση της ψύκτρας 2 K / W περιορίζει την θερμοκρασία IC . Η εντεταγμένη προστασία θερμοκρασίας σβήνει προσωρινά τον ρυθμιστή σε υπερθέρμανση.

3.10 Τελικά Συμπεράσματα Κεφαλαίου

Μέχρι στιγμής αναδείχθηκαν οι θεμελιώδεις αρχές των γραμμικών τροφοδοτικών , η λειτουργία του LM317 και οι τρόποι ρύθμισης της τάσης και του ρεύματος . Το θεωρητικό μέρος που έχει παρουσιαστεί ως τώρα θα χρησιμοποιηθεί στα παρακάτω

κεφάλαια για το σχεδιασμό PCB , την ανάλυση του κυκλώματος και την αξιολόγηση του τροφοδοτικού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΔΙΕΡΕΥΝΥΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

4.1 Τεχνικά Χαρακτηριστικά και Προδιαγραφές Λειτουργίας

Πριν από την ανάλυση των εξαρτημάτων , είναι αναγκαίο να προσδιοριστούν οι συνολικές προδιαγραφές καθώς και τα τεχνικά χαρακτηριστικά που καθορίζουν την σωστή λειτουργία ενός γραμμικού εργαστηριακού τροφοδοτικού ως ολοκληρωμένο σύστημα . Τα εξής χαρακτηριστικά προκύπτουν από τις δυνατότητες ενός ολοκληρωμένου σταθεροποιητή LM317 σε συνδυασμό με τις σχεδιαστικές παραμετροποιήσεις που εκτελούνται στην τρέχουσα μελέτη (όπως για παράδειγμα η χρήση βοηθητικής αρνητικής τάσης και η διάταξη περιορισμού του ρεύματος).

Στο παρακάτω πίνακάκι βρίσκονται συγκεντρωμένες οι βασικές ηλεκτρικές παράμετροι , οι οποίες συντελούν στην σωστή διάταξη για τροφοδοσία, την αποσφαλμάτωση και την δοκιμή αναλογικών και ψηφιακών ηλεκτρονικών κυκλωμάτων σε ένα εργαστηριακό περιβάλλον .

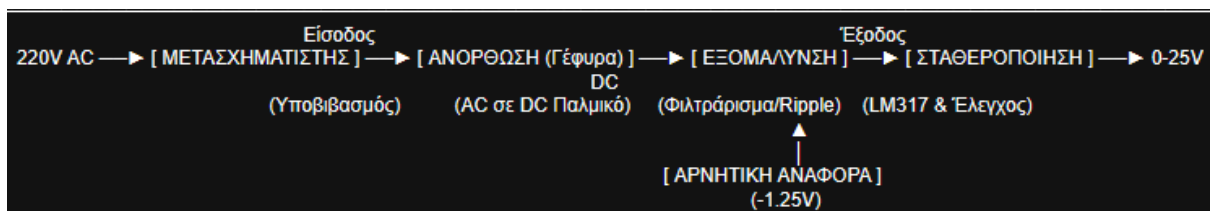
Πίνακας 4.1 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά συστήματος τροφοδοσίας και τεχνικές προδιαγραφές

| Παράμετρος Λειτουργίας | Ονομαστική Τιμή / Κατάσταση |
|---|--|
| Εύρος Τάσης Εξόδου (V _{out}) | 0 V - 25 V (Συνεχώς Ρυθμιζόμενη) |
| Εύρος Ρεύματος Εξόδου (I _{out}) | 0 A - 1,5 A (Συνεχώς Ρυθμιζόμενο Όριο) |
| Τάση Αναφοράς Ολοκληρωμένου V (ref) | 1,25 V (Εσωτερική) |
| Απόρριψη Κυμάτωσης (Ripple Rejection) | > 80 db |
| Μέγιστη Ισχύς Διάχυσης(PD , max) | 15 W (Ανά ολοκληρωμένο) |
| Μηχανισμός Προστασίας | Ενσωματωμένη Θερμική Διακοπή & Περιορισμός Βραχυκυκλώματος |
| Οπτική Ένδειξη Σφάλματος | Δίοδος LED (Κατάσταση CC - Constant Current) |

4.2 Δομή του Block Διαγράμματος και Αρχιτεκτονική

Για την ολοκληρωμένη αφομοίωση της ροής της ηλεκτρικής ισχύος και του τρόπου κατά τον οποίο η εναλλασσόμενη τάση του δικτύου εξελίσσεται μια πλήρως εξισορροπημένη και ρυθμιζόμενη τάση , χρησιμοποιείται η ανάλυση σε στάδιο δοκιμών blocks .

Η αρχιτεκτονική του συστήματος απαρτίζεται από πέντε συνδεδεμένα σημεία , τα οποία αναγράφονται στο παρακάτω διάγραμμα.



Σχήμα 4.2 Γενικό διάγραμμα των λειτουργιών σταδίων του ρυθμιζόμενου εργαστηριακού τροφοδοτικού.

4.3 Αναλυτική Περιγραφή των Λειτουργικών Σταδίων

Όπως αναγράφεται στο πάνω σχήμα 4.2 , η επεξεργασία του ηλεκτρικού σήματος έπεται μια ελεγχόμενη και γραμμική πορεία :

1. Στάδιο υποβιβασμού (Μετασχηματιστής): Το σήμα μπαίνει από το δίκτυο διανομής (220v V AC / 50Hz) και με την χρήση του μετασχηματιστή ισχύος , υποβιβάζεται σε μια εναλλασσόμενη και χαμηλή τάση , κατοχυρώνοντας με αυτό τον τρόπο την γαλβανική απομόνωση του χρήστη και του εργαστηριακού εξοπλισμού από την αυξημένη τάση .
2. Στάδιο Πλήρους Ανόρθωσης (Γέφυρα Graetz): Η μικρή εναλλασσόμενη τάση κατευθύνεται προς τη γέφυρα ανόρθωσης , όπου οι τέσσερις δίοδοι αναστρέφουν τον αρνητικό ημίκυμα , μεταμορφώνοντας το σήμα σε παλμικό συνεχές με συχνότητα διπλάσια (100Hz).
3. Στάδιο Εξομάλυνσης και Φιλτραρίσματος: Ο ογκώδης ηλεκτρολυτικός πυκνωτής C4 (4700μF) λειτουργεί ως πακέτο ενέργειας , συνδέοντας τα κενά της παλμικής τάσης και μικραίνοντας την υπολοιπόμενη κυμάτωση (ripple) σε ένα στάδιο περίπου(4.25 V υπό το μέγιστο φορτίο).
4. Στάδιο Ελέγχου και Σταθεροποίησης (IC1 και IC2) : Αυτό είναι το κέντρο ελέγχου του συστήματος . Το IC1 συντονίζει συνεχώς την ένταση του ρεύματος μέσω της αντίστασης R1 και το IC2 ρυθμίζει την τάση εξόδου με ακρίβεια , διαγράφοντας κάθε στίγμα ripple .
5. Βοηθητικό Στάδιο Αρνητικής Αναφοράς (-1.25V) : Γίνεται σύνδεση απευθείας στο στάδιο της σταθεροποίησης . Περιέχει το αρνητικό δυναμικό μέσω των διόδων 1N4148 καθώς και των πηγών του σταθερού ρεύματος με JFET BF256C , έτσι ώστε η τάση εξόδου να έχει την δυνατότητα να μηδενιστεί , ξεπερνώντας την εργοστασιακή πύλη του LM317 .

Ο συγκεκριμένος τρόπος σε σειρά (cascade) των σταδίων διασφαλίζει ότι το τροφοδοτικό θα λειτουργεί με ασφάλεια .Ακόμη και σε πιθανό σενάριο βραχυκυκλώματος στις μπόρνες εξόδου , η πορεία της πληροφορίας και του ρεύματος μέσα στο block αναφέρει ότι το στάδιο ελέγχου θα αντιδράσει κατευθείαν , ελαχιστοποιώντας το ρεύμα στα 1,5 A και ενεργοποιώντας την λυχνία LED , εμποδίζοντας την απώλεια της συσκευής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ

5.1 Στάδιο Ανόρθωσης , Εξομάλυνσης και Πρωτογενούς Φιλτραρίσματος

Το στάδιο μεταμόρφωσης της ηλεκτρικής ενέργειας αρχίζει από το δευτερεύον τύλιγμα του μετασχηματιστή ισχύος , ο οποίος επιφέρει εναλλασσόμενη τάση 24 V AC (ή 2 φορές 12V AC με μεσαία λήψη). Η συγκεκριμένη τάση εμφανίζει ημιτονοειδή μορφή και το μέγεθος της κορυφής της (Vpeak) βγαίνει με θεωρητικό τρόπο από την σχέση ενεργού τιμής (Vrms) με την ρίζα δύο όπως δίνεται στην παρακάτω σχέση :

$$V_{\text{peak}} = V_{\text{rms}} * \sqrt{2} = 24 \text{ V} * 1.4142 \approx 33.94 \text{ V}$$

Το συγκεκριμένο σήμα έρχεται στη γέφυρα ανόρθωσης B1 (Greatz , όπως η B80C1500 ή 4 διόδων ισχύος) . Η προτίμηση της συγκεκριμένης γέφυρας στηρίζεται σε δύο σημαντικές παραμέτρους :

1. Την μέγιστη ανάστροφη τάση λειτουργίας (Peak Inverse Voltage - PIV) , που πρέπει να ξεπερνά τα 50 V κατά πολύ
2. Το μέγιστο ρεύμα του ορθής πόλωσης , θα πρέπει να είναι ικανό να αντέχει συνεχόμενα τα 1.5 A του τροφοδοτικού χωρίς να κατευθύνεται σε θερμική κατάρρευση .

Κατά την πορεία της πλήρους ανόρθωσης , το ρεύμα εισέρχεται σε κάθε ημιπερίοδο δύο διόδους σε σειρά , δημιουργώντας μια μαζική πτώση τάσης του μεγέθους των 1.4 V (2* 0.7 V) . Επομένως , η αληθινή τάσης κορυφής που υπάρχει στην έξοδο της γέφυρας εμφανίζεται ως εξής :

$$V_{\text{max}} = 33.94 \text{ V} - 1.4 \text{ V} = 32.54 \text{ V}$$

Αυτή η παλμική συνεχόμενη τάση με συχνότητα 100 Hz , οδεύει στο στάδιο της εξομάλυνσης . Κύριο ρόλο εδώ έχει ο ηλεκτρολυτικός πυκνωτής C4 , με χωρητικότητα τα 4700μF και ονομαστική τάση λειτουργίας τα 40 V . Η προτίμηση της χωρητικότητας έγινε με βάση τον κανόνα σχεδίασης που θεσπίζει σχεδόν 2000μF έως 3000μF ανά Ampere ζητούμενου ρεύματος , έτσι ώστε να διασφαλίζει ελάχιστη κυμάτωση . Η ονομαστική τάση των 40 V επιφέρει μια αξιοσημείωτη ανοχή ασφάλειας (headroom) της τάξης των 23% έναντι των 32.54 V της κορυφής , αποφεύγοντας την διηλεκτρική διάσπαση του πυκνωτή σε συνθήκες μηδενικού φορτίου .

Επιπρόσθετα με τον C4 , εντάσσεται ο πυκνωτής πολυαστέρα C1 (100nF) καθώς και ο ηλεκτρολυτικός C2 (10μF) . Ο C1 είναι καθοριστικός για την σταθερότητα των συχνοτήτων RF . Εξαιτίας της επαγωγικής συμπεριφοράς που παρουσιάζουν οι μεγάλοι επαγωγικοί πυκνωτές στις μεγάλες συχνότητες (λόγω της επαγωγής και της εσωτερικής αντίστασης ESR) , ο C1 , που είναι πλαστικού φιλμ , εμφανίζει ελάχιστη σύνθετη αντίσταση στις υψηλές συχνότητες . Με το τρόπο αυτό φιλτράρει παρασιτικούς θορύβους που δημιουργούνται από το δίκτυο ή από γειτονικές διακοπτικές συσκευές , αποτρέποντας την είσοδό τους στα ολοκληρωμένα κυκλώματα σταθεροποίησης .

5.2 Μηχανισμός Σταθεροποίησης και Ρύθμισης Τάσης διαμέσου του LM317

Η φάση της ρύθμισης της τάσης πραγματοποιείται από το ολοκληρωμένο κύκλωμα IC2 (LM317). Ο LM317 είναι ένας μονολιθικός θετικός ρυθμιστής γραμμικής τάσης ,τριών

ακροδεκτών . Η εσωτερική αρχιτεκτονική του περιέχει μια πηγή τάσης αναφοράς διαάκενου ζώνης (bandgap reference) , ένα τρανζίστορ ισχύος διέλευσης του τύπου Darlington , το οποίο έχει την ικανότητα να επεξεργαστεί ρεύμα έως 1.5 A καθώς και έναν τελεστικό ενισχυτή σφάλματος.

Η θεμελιώδης αρχή της λειτουργίας του στηρίζεται στην συνεχή διατήρηση της σταθερής τάσης αναφοράς $V_{ref} = 1.25V$ μεταξύ του ακροδέκτη (Output) και του ακροδέκτη ρύθμισης (adjustment). Ο τελεστικός ενισχυτής σφάλματος του συστήματος επιβλέπει συνεχώς την διαφορά του δυναμικού ανάμεσα αυτών των δύο ακροδεκτών και τροποποιεί την αγωγιμότητα του τρανζίστορ ισχύος , ώστε η διαφορά να μένει αμετάκλητη στα 1.25V , παρά τις μεταβολές του φορτίου.

Στην κανονική συνδεσμολογία , η ελάχιστη τάση εξόδου είναι ίση με το $V_{ref} (1.25V)$. Για να πραγματοποιηθεί ο πλήρης μηδενισμός , στο κύκλωμα εντάσσεται μια διάταξη αρνητικής μετατόπισης . Αυτό γίνεται μέσω ενός βοηθητικού δικτύου που δημιουργεί σταθερή αρνητική τάση αναφοράς στα 1.25 V .Το συγκεκριμένο δίκτυο απαρτίζεται από τις διόδους πυριτίου D7 και D6 (1N4148) . Η κάθε diόδος , όταν τροφοδοτείται με ορθό ρεύμα , εμφανίζει μια σταθερή πτώση τάσης σχεδόν 0.62 V, πραγματοποιώντας ένα δυναμικό της τάξης 1.24 V έως 1.25V .

Για να διατηρείται αυτή η αρνητική τάση τελείως σταθερή και ανεξάρτητη από την τάση εξόδου , το ρεύμα που διαπερνά τις διόδους είναι αναγκαίο να είναι σταθερό .Πράγμα το οποίο πραγματοποιείται από τα Field Effect Transistors T1 και T3 (BF256C) . Τα JFET είναι πολωμένα με την πύλη , η οποία είναι βραχυκυκλωμένη στην πηγή μέσω της αντίστασης, δουλεύοντας στην περιοχή κόρου σαν πηγές σταθερού ρεύματος .

Η ρύθμιση της τάσης εξόδου πραγματοποιείται μέσω του γραμμικού ποτενσιομέτρου P1 (10kΩ) καθώς και της αντίστασης R2 . Η εξίσωση που αναλύει την τάση εξόδου , πέρνοντας υπόψη το ρεύμα του ακροδέκτη ρύθμισης ($I_{adj} \approx 50\mu A$) , είναι η παρακάτω :

$$V_{out} = V_{ref} \cdot \left(1 + \frac{P_1}{R_2} \right) + I_{adj} \cdot P_1 - V_{offset}$$

Κάθε φορά που το ποτενσιόμετρο P1 μηδενίζεται , το μέρος P1/P2 γίνεται 0 και η εξίσωση διαμορφώνεται ως εξής : $V_{out} = 1.25 V - 1.25 V = 0$. Ενώ η αντίσταση του P1 αυξάνεται , η τάση του ακροδέκτη adj μεγαλώνει , επιρρεάζοντας γραμμικά την τάση εξόδου έως το μέγιστο πλαίσιο των 25 V.

5.3 Μηχανισμός Ελέγχου και Δυναμικού Περιορισμού του Ρεύματος

Η ασφάλεια από την υπερένταση και ο έλεγχος του ρεύματος εξόδου μεταξύ 0A έως 1.5 A αντιπροσωπεύει το πιο σημαντικό κομμάτι σε ένα εργοστηριακό τροφοδοτικό. Στο

παρών κύκλωμα , η λειτουργία αυτή πραγματοποιείται απο το πρώτο ολοκληρωμένο κύκλωμα , το IC1 , το οποίο είναι εγκατεστημένο σε σειρά πριν από την φάση της ρύθμισης της τάσης , δρώντας ως προκαταρκτικός σταθεροποιητής του ρεύματος.

Η συγκεκριμένη ενέργεια βασίζεται στην ανάκρουση της τάσης επάνω στην αντίσταση αίσθησης R1 , η οποία έχει διαλεχθεί με ακρίβεια στα 0.82 Ω και είναι του τύπου ισχύος , έτσι ώστε να παρουσιάζει ανθεκτικότητα στην θερμική καταπόνηση . Ενώ σε συνδυασμό χρησιμοποιείται το ποτενσιόμετρο ρύθμισης ρεύματος (5kΩ).

Ολόκληρο το ρεύμα που απορροφάται από το εξωτερικό φορτίο υποχρεώνεται να περνάει μέσω της R1 . Κατά τον νόμο του Ohm , η διέλευση του ρεύματος δημιουργεί μια πτώση τάσης στα άκρα της . Καθώς η ένταση ρεύματος μεγαλώνει ώστε η πτώση τάσης επάνω στην αντίσταση R1 (ή ακόμα και στο συνδυασμό P2 και R1) , φτάσει την εσωτερική τάση αναφοράς της τάξης των 1.25 V , του IC1 , τότε το ίδιο τίθεται σε λειτουργία δυναμικά .

Σε αυτή τη φάση , το IC1 διακόπτει να λειτουργεί ως απλός αγωγός και ξεκινάει να ελαχιστοποιεί την τάση στον ακροδέκτη εξόδου του. Μικραίνοντας την τάση που εφοδιάζει την είσοδο του IC2 , μειώνεται αναγκαία και η τελική τάση στο φορτίο , αναγκάζοντας το ρεύμα να μένει αμετάβλητο και να μην ξεπερνάει το επιλεγόμενο μέτρο. Η σχέση που ορίζει το μέγιστο δυνατό ρεύμα στη διάταξη , καθώς το ποτενσιόμετρο P2 είναι βραχυκυκλωμένο δίνεται ως :

$$I_{max} = \frac{V_{ref}}{R_1} = \frac{1.25 \text{ V}}{0.82 \Omega} \approx 1.52 \text{ A}$$

Με την τοποθέτηση του ποτενσιόμετρου P2 σε σειρά , ο τελικός χρήστης τροποποιεί την ισοδύναμη αντίσταση του κυκλώματος ανάδρασης , αφήνοντας τον περιορισμό ρεύματος σε σημαντικά χαμηλότερες τιμές (μέχρι και λίγα mA) . Αυτή η λειτουργία Constant Current ασφαλίζει πλήρως το τροφοδοτικό , παρά την περίπτωση βραχυκυκλώματος , το ρεύμα δεν έχει καμία πιθανότητα να ξεπεράσει την προρυθμιζόμενη τιμή.

5.5 Στρατηγικές Προστασίας , Ασφάλειας και Θερμικής Επιτήρησης

Ένα σύστημα ισχύος εργαστηρίου είναι αναγκαίο πάντα να είναι φτιαγμένο να έχει την μέγιστη αντοχή σε εξαιρετικά δύσκολες συνθήκες λάθους χρήσης . Και για τον λόγο αυτό το κύκλωμα περιέχει τα τρία διαφορετικά στάδιο παθητικής και ενεργητικής προστασίας.

1. Κύκλωμα Ανάστροφης Εκτροπής Διόδων (D1, D2 , D9 , D10)

Οι γραμμικοί σταθεροποιητές εμφανίζουν ελάχιστη αντιχή στις ανάστροφες τάσεις . Εφόσον η τάση εξόδου του συστήματος γίνει μεγαλύτερη της τάσης εισόδου , οι εσωτερικές επαφές πυριτίου συντρίβονται. Το συγκεκριμένο είναι δυνατόν να γίνει στην περίπτωση απενεργοποίησης του τροφοδοτικού ενώ υπάρχουν μεγάλοι πυκνωτές οι οποίοι είναι φορτισμένοι στην έξοδο , ή στην περίπτωση της τροφοδότησης επαγωγικών φορτίων (όπως για παράδειγμα πηνία , ρελέ) , τα οποία στην διακοπή ρεύματος παράγουν ανάστροφη ηλεκτρεγερτική δύναμη .

Για την αποφυγή αυτού του προβλήματος , χρησιμοποιούνται οι δίοδοι προστασίας D1 , D9 (του τύπου 1N4007). Η δίοδος D1 είναι τοποθετημένη ανάστροφα πολωμένη ανάμεσα στην είσοδο και την έξοδο του IC1, ενώ η δίοδος D9 αντίστοιχα στο IC2. Σε ομαλές συθήκες οι δίοδοι δεν άγουν , προσφέροντας μια σταθερή διαδρομή χαμηλής αντίστασης (bypass) . Με αποτέλεσμα το ανάστροφα ρεύμα να μην περνάει από τα LM317 και με αποφορτίζεται με ασφάλεια.

2. LED Overload Indicator

Για την έγκαιρη ενημέρωση του τελικού χρήστη όσον αφορά την “υγεία” του τροφοδοτικού , έχει δημιουργηθεί ένα παράλληλο κύκλωμα ένδειξης το οποίο αποτελείται από το τρανζίστορ T2 (BC547), την κόκκινη δίοδο λυχνίας LED (D8), καθώς και τις αντιστάσεις περιορισμού του ρεύματος .

Το T2 είναι ένα συνηθισμένο τρανζίστορ NPN με μικρό σήμα , το οποίο λειτουργεί σαν ηλεκτρονικός διακόπτης. Η βάση του είναι συνδεδεμένη με τρόπο ώστε να εμποτεύει την συμπεριφορά του IC1 . Καθώς το τροφοδοτικό λειτουργεί στην συνηθισμένη του κατάσταση , τάση της βάσης του τρανζίστορ είναι μικρή , διατηρώντας το T2 στα πλαίσια της αποκοπής (δηλαδή ο διακόπτης ανοιχτός) , ενώ η δίοδος LED διατηρείται σβηστή .

Όταν το τροφοδοτικό έρθει σε κατάσταση βραχυκυκλώματος ή υπερφόρτωσης καθώς και ο περιορισμός ρεύματος ενεργοποιηθεί , η τάση παρουσιάζει έντονη μεταβλητότητα. Η βάση του T2 πολώνεται ορθά με τάση τάξης μεγαλύτερης των 0.7 V , υποχρεώνοντας το τρανζίστορ να τεθεί στην περιοχή κόρου (δηλαδή κλειστός διακόπτης). Το ρεύμα εισέρχεται πλέον στην κόκκινη δίοδο LED , η οποία ανάβει με έντονα , αναβοσβήνοντας προειδοποιητικά και δείχνοντας με αυτόν τον τρόπο ότι το κύκλωμα βρίσκεται σε περιορισμό.

3. Εσωτερική Θερμική Διακοπή

Το τελικό επίπεδο προστασίας βρίσκεται στο εσωτερικό του ίδιου του πυριτίου των LM317. Καθώς το τροφοδοτικό λειτουργεί σε χαμηλή τάση εξόδου (όπως για παράδειγμα τα 5 V) , με μέγιστο ρεύμα τα 1.5 A , η διαφορά τάσης στην είσοδο και την έξοδο είναι τεράστια ($32 - 5 = 27$ V) . Η ισχύς που αναλώνεται επάνω στο ολοκληρωμένο η οποία μετατρέπεται στην συνέχεια σε καθαρή θερμότητα δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$P_{loss} = 27 \text{ V} \cdot 1.5 \text{ A} = 40.5 \text{ W}$$

Αυτή η ισχύς λοιπόν ξεπερνάει το όριο των 15 Watt ελεύθερης διάχυσης του LM317. Εάν και εφόσον η εξωτερική ψύκτρα δεν είναι αρκετή για να διαχειριστεί την συγκεκριμένη θερμότητα, η θερμοκρασία του ημιαγωγού στην συνέχεια ξεκινάει να υπερβαίνει τα όρια σε επικίνδυνο βαθμό. Το LM317 περιέχει ένα εσωτερικό κύκλωμα θερμικής ασφάλειας. Όταν η θερμοκρασία της εσωτερικής επαφής περάσει τους 150 βαθμούς κελσίου, το κύκλωμα απενεργοποιεί με αυτόματο τρόπο το εσωτερικό τρανζίστορ ισχύος και κάνει την τάση εξόδου 0 V. Στη συνέχεια το κύκλωμα εξακολουθεί να είναι σε “κλειδωμένη κατάσταση” και ασφαλές και ανακάμπτει αυτόματα σε κανονική λειτουργία εάν και εφόσον η θερμοκρασία έρθει σε κανονικά επίπεδα, εμποδίζοντας έτσι την καταστροφή του τροφοδοτικού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ PCB

6.1 Σχεδιασμός Κυκλώματος Και Κανόνες Layout

Η μεταφορά από το θεωρητικό σχηματικό διάγραμμα στη δημιουργία πραγματικής πλακέτας τυπωμένου κυκλώματος (Printed Circuit Board ή αλλιώς PCB), είναι κομβικό βήμα στην μηχανική σχεδίαση. Στη συγκεκριμένη διάταξη, ο σχεδιασμός πραγματοποιείται σε Computed Aided Design (CAD) περιβάλλον, όπως είναι για παράδειγμα το Kicad ή το Altium Designer. Με τον τρόπο αυτό επιλέγεται αρχιτεκτονική μιας όψης (Single Sided PCB), με διαδρόμους χαλκού στην αποκάτω επιφάνεια (Bottom Layer), η οποία είναι πλέον και η πιο οικονομική λύση για εργαστηριακές κατασκευές αυτής της κλίμακας.

Στον σχεδιασμό των διαδρομών (traces), το πρώτο που παρατηρούμε είναι το πάχος των διαδρομών χαλκού (trace width). Λόγω του ότι το τροφοδοτικό είναι φτιαγμένο για συνεχές ρεύμα έως 1.5 A, οπότε οι γραμμές της κυρίας ισχύος (έξοδος μετασχηματιστή -> γέφυρα ανόρθωσης B1 -> πυκνωτής C4 -> ακροδέκτες των LM317) δεν γίνεται να είναι ψιλές. Αντιθέτως αν χρησιμοποιηθούν τυπικοί διάδρομοι σήματος (για παράδειγμα 10mils ή 0.25mm), η ωμική εσωτερική ωμική αντίσταση του χαλκού θα ρίξει την τάση και θα ανεβάσει υπερβολικά την θερμοκρασία λόγω Joule, με κίνδυνο την αποκόλληση ή και την πλήρη καταστροφή (κάψιμο) του διαδρόμου.

Σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα IPC 2152, για ρεύμα 1.5 A με πάχος χαλκού πλακέτας 1 oz / ft² (35 μm) και επιτρεπτή θερμοκρασία $\Delta T = 10$ βαθμούς κελσίου, το μικρότερο πλάτος των διαδρόμων ισχύος πρέπει να είναι στα 60mils (σχεδόν 1.5 mm). Για λόγους προστασίας και συρρίκνωσης των παρασιτικών αντιστάσεων, στην προκειμένη σχεδίαση οι διάδρομοι ισχύος διευρύνονται κοντά στα 80 mils έως και τα 100 mils (2.0mm έως 2.5mm). Αντιθέτως, οι διάδρομοι που μετακινούν σήματα ελέγχου μικρού

ρεύματος (όπως είναι για παράδειγμα οι συνδέσεις προς την βάση του τρανζίστορ T2 καθώς και οι ακροδέκτες ρύθμισης των διόδων 1N4148) είναι σχεδιασμένοι με πλάτος 20mils (0.5mm).

Μια άλλη σημαντική παράμετρος σχεδιασμού είναι και η απόσταση απομόνωσης ανάμεσα των διαδρόμων (Trace Clearance). Εξαιτίας του ότι η τάση στο εσωτερικό της πλακέτας φτάνει τα 32.5 V DC, διατηρείται μια μικρή απόσταση της τάξης των 0.5mm ανάμεσα των γειτονικών αγωγών για την αποφυγή φαινομένων ηλεκτρικής εκκένωσης (arcs) ή λαο διαρροών λόγω υγρασίας. Συνάμα, εφαρμόζεται η τεχνική του επιπέδου γείωσης (Ground Pour) σε όλο τον υπόλοιπο ελεύθερο χώρο της πλακέτας. Τα επίπεδα γείωσης μικραίνουν αρκετά την ηλεκτρική εμπέδηση της επιστροφής του ρεύματος, θωρακίζοντας το κύκλωμα από εξωτερικές ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές και βοηθώντας το στην παθητική επαγωγή της θερμότητας μέσω της επιφάνειας του χαλκού.

6.2 Χωροθέτηση και Προσαρμογή Εξαρτημάτων (Component Placement)

Η ορθή τοποθέτηση των εξαρτημάτων επάνω στην πλακέτα έπεται τη φυσική ροή του ηλεκτρικού σήματος (είσοδο προς την έξοδο) και επιτυγχάνεται με γνώμονα την μείωση του παρασιτικού θορύβου και την θερμική διαχείριση. Τα εξαρτήματα διαχωρίζονται σε τρεις ζώνες:

- Την ζώνη ισχύος AC
- Την ζώνη φιλτραρίσματος / σταθεροποίησης DC
- Την ζώνη ελέγχου χαμηλής ισχύος

Αρχικά τοποθετούνται οι σύνδεσμοι εισόδου (terminal blocks) οι οποίοι υποδέχονται τα καλώδια από τον μετασχηματιστή. Έπειτα από ελάχιστο κενό μπαίνει μια γέφυρα ανόρθωσης B1 και κατευθείαν μετά ο κύριος ηλεκτρολυτικός πυκνωτής C4. Ο μετριασμός της απόστασης ανάμεσα σε γέφυρα και πυκνωτή είναι αναγκαία, καθώς οι παλμοί ρεύματος στο παρόν σημείο έχουν αρκετά υψηλές κορυφές και οι σε απόσταση διάδρομοι θα λειτουργούσαν σαν κεραίες εκπομπής θορύβου 100Hz.

Μεγάλη προσοχή χρειάζεται στην προσαρμογή των πυκνωτών bypass C1 (100nF) καθώς και στον C3 (10nF). Όπως εξετάστηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, οι πυκνωτές αυτοί διασφαλίζουν από τυχόν υψίσυχνες ταλαντώσεις των ολοκληρωμένων. Για αποτελεσματικότητα, χρησιμοποιούνται σε ελάχιστη απόσταση (μικρότερη των 5mm) από τους ακροδέκτες εισόδου και εξόδου των IC1 και IC2. Οι διάδρομοι που ενώνουν τους πυκνωτές αυτούς με τον LM317 είναι σχεδιασμένοι όσο είναι δυνατόν πιο ευθείς και κοντοί, μειώνοντας με αυτόν τον τρόπο την παρασιτική επαγωγή (ESL).

Το πιο σημαντικό χωροταξικό θέμα έχει να κάνει με τα ολοκληρωμένα κυκλώματα IC1 και IC2 (LM317), αφού και τα δύο δημιουργούν θερμότητες μεγάλου μεγέθους. Τα ολοκληρωμένα προτιμούνται σε κέλυφος TO 220, το οποίο παρέχει μια μεταλλική πλάτη

με θέση για στήριξη ψύκτρας. Στο PCB τα δύο IC , μπαίνουν στο άκρο της πλακέτας σε ευθεία γραμμή . Η διάταξη αυτή δίνει στα εξαρτήματα την δυνατότητα να βιδωθούν σε δύο διαφορετικές ψύκτρες αλουμινίου ενδεδειγμένων διαστάσεων ή σε μια ενιαία εξωτερική μεγάλη ψύκτρα (με την βοήθεια μονωτικών φύλλων σιλικόνης ή μαίκας και πλαστικών δακτυλίων (bushings) , έτσι ώστε να παρακαμφθεί το ηλεκτρικό βραχυκύκλωμα ανάμεσα των μεταλλικών πλατών τους που είναι συνδεδεμένες εσωτερικά με τον ακροδέκτη εξόδου.

Τα JFET και οι αντιστάσεις του κυκλώματος αρνητικής αναφοράς (T1, T3, D6, και D7) βρίσκονται σε μία απομονωμένη περιοχή στην πλακέτα (όχι κοντά στις γραμμές υψηλού ρεύματος) , έτσι ώστε να μην έχουν επιρροή από τις θερμικές διακυμάνσεις των LM317 και διασφαλίζουν με αυτό τον τρόπο την σταθερότητα της τάσης των 1.25 V .

6.3 Κατασκευή Πρόσοψης και Κουτιού

Η τελική ολοκλήρωση του εργαστηριακού τροφοδοτικού προϋποθέτει την σωστή τοποθέτησή της σε ένα προστατευμένο εύχρηστο και εργονομικό περίβλημα . Για την συγκεκριμένη κατασκευή έχει επιλεγθεί ένα μεταλλικό ή σκληρό πλαστικό πλαίσιο ενδεδειγμένων διαστάσεων . Αυτό το πλαίσιο παρέχει μηχανική αντοχή , ασφάλεια προς τον χρήστη από τις τάσεις δικτύου καθώς και ηλεκτρομαγνητική θωράκιση (shielding).

Ο χώρος στο εσωτερικό του κουτιού συντονίζεται με μεγάλη προσοχή ως εξής :

- Ο μετασχηματιστής της ισχύος ο οποίος είναι το πιο βαρύ εξάρτημα , βιδώνεται απευθείας στην βάση του κουτιού στην πίσω μεριά , έτσι ώστε το κέντρο βάρους του να βρίσκεται χαμηλά .
- Η πλακέτα PCB εγκαθίσταται σε κεντρικό σημείο , υψωμένη από τον πυθμένα του πλαισίου με την βοήθεια πλαστικών ή χάλκινων αποστατών , εμποδίζοντας έτσι κάθε μορφής επαφής των κολλήσεων με το κουτί .
- Στην πίσω μεριά του πλαισίου γίνονται ανοίγματα τα οποία χρησιμοποιούνται για τον αερισμό ή μπορεί ακόμη και να εγκατασταθεί ψύκτρα αλουμινίου στην εξωτερική μεριά του.

Το μπροστινό μέρος (Front Panel) της κατασκευής γίνεται με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να παρέχεται εργονομία και ευκολία χρήσης από τον χρήστη κατά την διάρκεια εργαστηριακών πειραμάτων. Ενσωματώνονται επίσης τα παρακάτω στοιχεία ενδείξεων και ελέγχου :

- Διακόπτης ισχύος (S1) : Ένας διπολικός διακόπτης κατάστασης On /Off , ο οποίος διαχωρίζει τελείως την συσκευή από το δίκτυο των 220 V AC . Πλαισιώνεται από μία θήκη ασφάλειας (fuse holder) η οποία είναι προσβάσιμη από τον χρήστη για την ασφάλεια από τυχόν βραχυκυκλώματα στο κύκλωμα .
- Ποτενσιόμετρα Ρύθμισης (P1 και P2) : Εγκαθίστανται δύο περιστροφικά κουμπιά . Το πρώτο ρυθμίζει την τάση (από τα 0 έως τα 25 V) και το δεύτερο το ρεύμα (από το 0 μέχρι το 1.5 A) . Διαθέτουν φανερές επιγραφές Voltage και Current αντίστοιχα.
- Όργανα Μετρήσεων (Οθόνη / Panel Meter) : Τοποθετείται ένα ψηφιακό ή αναλογικό μέσο διπλής ένδειξης Βολτόμετρο / Αμπερόμετρο . Το παρόν όργανο συνδέεται εξολοκλήρου στις μπόρνες εξόδου και δίνει την δυνατότητα για παρακολούθηση των παραμέτρων λειτουργίας εκείνη την στιγμή που το τροφοδοτικό χρησιμοποιείται.
- Μπόρνες Εξόδου (Banana Jacks) : Διατίθενται δύο θηλυκές μπόρνες ασφάλειας τύπου μπανάνας 4mm . Η κόκκινη μπόρνα αντιστοιχεί στη θετική έξοδο (+V) και η μαύρη μπόρνα στην αρνητική έξοδο (GND/-V).
- LED Υπερφόρτωσης (Δίοδος D8) : Η κόκκινη δίοδος LED D8 τοποθετείται σε φανερό σημείο επάνω στην πρόσοψη , με ένδειξη “OVERLOAD / CC”, έτσι ώστε να γίνεται αμέσως αντιληπτή η ενεργοποίηση περιορισμού του ρεύματος.

Η ορθή καλωδίωση (cable management) από την πλακέτα με προορισμό τα εξαρτήματα της πρόσοψης επιτυγχάνεται με την χρήση ανθεκτικών σε κάμψη καλωδίων κατάλληλης διατομής (το λιγότερο 18 AWG στις γραμμές ισχύος). Τα καλώδια πλέκονται μεταξύ τους ή στερεώνονται με δεματικά (zip ties) για πρόληψη δημιουργίας παρασιτικού θορύβου και την διατήρηση της καθαρότητας στο εσωτερικό της κατασκευής .

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 : ΔΟΚΙΜΕΣ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

7.1 Ταξινόμηση και Ρύθμιση Ρεύματος και Τάσης (Line and Load Regulation)

Η διασφάλιση της ποιότητας και της αξιοπιστίας ενός εργαστηριακού τροφοδοτικού θεμελιώνεται στην πειραματική καταγραφή και ταξινόμηση της συμπεριφοράς του διαφορετικές συνθήκες εργασίας .Οι δύο πιο βασικοί δείκτες οι οποίοι καθορίζουν την δεξιότητα σταθεροποίησης ενός γραμμικού συστήματος είναι η ρύθμιση γραμμής και η ρύθμιση φορτίου.

7.1.1 Μελέτη και Υπολογισμός της Ρύθμισης Γραμμής

Η ρύθμιση γραμμής ορίζει την ικανότητα του σταθεροποιητή LM317 να διασφαλίζει σταθερή την τάση εξόδου απολύτως σταθερή , στην περίπτωση που εναλλασσόμενη τάση του δικτύου εισόδου εμφανίζει μεταβλητότητα (για παράδειγμα εξαιτίας πτώσεων της τάσης δικτύου της ΔΕΗ)

Για την συγκεκριμένη μέτρηση , το τροφοδοτικό συνδέεται πάνω σε έναν μεταβαλλόμενο μετασχηματιστή (Variac) , ο οποίος υποστηρίζει την μεταβολή της τάσης εισόδου. Η τιμή της ρύθμισης γραμμής δίνεται συχνά είτε ως ποσοστό επί τοις εκατό ανά Volt μεταβολή είτε ως απόλυτη μεταβολή τάσης και υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο :

$$\text{Line Regulation} = \frac{\Delta V_{out}}{\Delta V_{in}} \cdot 100\%$$

Στο κύκλωμα που έχουμε , εξαιτίας των συγκεκριμένων εργοστασιακών προδιαγραφών του LM317 , η ρύθμιση της τάσης γραμμής παραμένει στο εξαιρετικό επίπεδο των 0,01V. Αυτό συνεπάγεται ότι ανεξαρτήτως και αν η τάση εισόδου στον πυκνωτή C4 μεταβληθεί κατά 10 V , το τελικό στάδιο της τάσης που διαβάζει η συνδεδεμένη συσκευή κατά την έξοδο θα μεταβληθεί κατά 1.25 mV , δίνοντας έτσι την απόλυτη προστασία σε πιο ευαίσθητα ψηφιακά κυκλώματα.

7.1.2 Μελέτη και Υπολογισμός της ρύθμισης της τάσης Φορτίου

Η ρύθμιση της τάσης φορτίου είναι ίσως η πιο σημαντική παράμετρος για ένα εργαστηριακό τροφοδοτικό . Ορίζει την ικανότητα της διάταξης να διατηρεί σταθερή την τάση εξόδου, καθώς το ρεύμα που απαιτεί το φορτίο μεγαλώνει κατά την κατάσταση ηρεμίας (0 A) προς την μέγιστη ονομαστική τιμή (1.5 A) .

Στο ιδανικό τροφοδοτικό , η τάση θα έμενε αμετάβλητη . Στην ουσία , λόγω της εσωτερικής αντίστασης των διαδρομών χαλκού στο PCB και της περιορισμένης ταχύτητας απόκρισης του ενισχυτή σφάλματος LM317 , η τάση παρουσιάζει μια απειροελάχιστη πτώση . Η σχέση που αναλύει την ρύθμιση φορτίου είναι η παρακάτω :

$$\text{Load Regulation} = \frac{V_{NL} - V_{FL}}{V_{NL}} \cdot 100\%$$

V_{nl} : τάση χωρίς φορτίο

V_{fl} : τάση υπό πλήρες φορτίο 1.5 A

Στην διάρκεια των εργαστηριακών δοκιμών , με την χρήση ψηφιακών πολυμέτρων 4,5 ψηφίων και του τεχνητού φορτίου ,πέρνονται οι παρακάτω μετρήσεις στον Πίνακα , με ρύθμιση της τάσης στα 12 V.

| Ρεύμα Φορτίου (Iload) | Τάση Εξόδου (Vout) | Μεταβολή Τάσης (ΔVout) | Ποσοστιαία Απόκλιση (%) |
|------------------------|---------------------|-------------------------|-------------------------|
| 0.0 A (No load) | 12 .015 V | 0.00 V | 0.00 % |
| 0.5 A | 12.008 V | -0.007 V | - 0.058 % |
| 1.0 A | 11.984 V | -0.019 V | - 0.158 % |
| 1.5 A | 11. 976 V | -0.031 V | - 0.258 % |

Σχήμα 7.1 Καταγραφή ρύθμισης φορτίου και ποσοστιαίας απόκλισης.

Η ποσοστιαία απόκλιση υπολογίστηκε με βάση τον εξής τύπο :

$$\text{Error \%} = \frac{V_{out} - V_{NL}}{V_{NL}} \cdot 100\%.$$

Παρατηρούμε ότι και στο μέγιστο φορτίο 1.5 A , η απόκλιση από την ονομαστική τάση αναφοράς των 12 V μένει σημαντικά χαμηλή . Η τιμή αυτή είναι εντός των ορίων της θεωρητικής απόδοσης σε έναν γραμμικό σταθεροποιητή , πράγμα που δείχνει ότι η καλωδίωση , η θερμική απαγωγή και οι διάδρομοι του PCB είναι σε εξαιρετική

κατάσταση . Όποια ελάχιστη αύξηση της απόκλισης στα υψηλά ρεύματα είναι απολύτως αιτιολογημένη λόγω των ωμικών απωλειών των ακροδεκτών και των αγωγών .

7.2 Μετρήσεις Θερμοκρασίας και Θερμικής Σταθερότητας

Τα γραμμικά τροφοδοτικά εμφανίζουν ένα θεμελιώδες αρνητικό. Την παραγωγή μεγάλης ποσότητας θερμότητας , συν της περίσσειας ηλεκτρικής ισχύς η οποία καταναλώνεται πάνω στα ολοκληρωμένα στοιχεία ρύθμισης . Άρα , η μελέτη της θερμικής συμπεριφοράς και της σταθερότητας του συστήματος με το πέρασμα του χρόνου είναι εξαιρετικά σημαντικό για την αποτροπή καταστροφής λόγω θερμότητας.

7.2.1 Υπολογισμός Θερμικών Απωλειών Και Θερμικής Αντίστασης

Η ισχύς που γίνεται θερμότητα στο ολοκληρωμένο IC2 , καθορίζεται από την διαφορά της τάσης εισόδου / εξόδου και το ρεύμα . Η χειρότερη κατάσταση προκύπτει όταν η έξοδος ρυθμίζεται σε χαμηλή τάση (για παράδειγμα τα 5 V) , και το φορτίο απορροφά το μέγιστο ρεύμα 1.5 A . Με την DC τάση στην είσοδο στον C4 να είναι στα 32.5 V , η ισχύς απωλειών (Pd) είναι ως εξής :

$$P_D = (V_{in} - V_{out}) \cdot I_{load} = (32.5 \text{ V} - 5 \text{ V}) \cdot 1.5 \text{ A} = 41.25 \text{ W}$$

Τα 41.25 W της θερμότητας είναι αναγκαίο να περάσουν άμεσα προς το περιβάλλον . Η εσωτερική θερμική αντίσταση της επαφής πυριτίου προς το περιβάλλον για το κέλυφος TO 220 χωρίς ψύκτρα είναι : $R_{\theta JA} = 50$ βαθμοί κελσίου ανά watt. Το συγκεκριμένο σημαίνει πως χωρίς ψύκτρα, η θερμοκρασία του ολοκληρωμένου θα μπορούσε να μεγαλώσει κατά πάρα πολύ, δηλαδή :

$$\Delta T = 41.25 \text{ W} \cdot 50^\circ \text{C/W} = 2062.5^\circ \text{C}$$

Η τιμή αυτή θα κατέστρεφε το ολοκληρωμένο σε ελάχιστο χρονικό διάστημα , αν δεν περιείχε εσωτερικό σύστημα προστασίας. Για τον εξής λόγο , η χρήση μιας μεγάλης ψύκτρας αλουμινίου είναι απαραίτητη ($R_{\theta SA} \leq 1.5^\circ \text{C/W}$).

7.2.2 Πειραματικές Μετρήσεις Θερμοκρασίας σε Βάθος Χρόνου

Για την αποτίμηση της θερμικής σταθερότητας , το τροφοδοτικό μπαίνει σε λειτουργία υπό σταθερό φορτίο 1.0 A με τάση εξόδου 12 V .

- Ισχύς απωλειών : $(32.5 - 12) \cdot 1 = 20.5 \text{ W}$.

Με την βοήθεια του ψηφιακού πολυμέτρου το οποίο διαθέτει αισθητήρα επαφής που είναι στην μεταλλική πλάτη του LM317 , αναγράφεται η άνοδος της θερμοκρασίας στο χρονικό διάστημα της μίας ώρας . Η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι 25 ° C .

| Χρόνος Λειτουργίας (min) | Θερμοκρασία Ψύκτρας (°C) | Θερμοκρασία Επαφής LM317 (°C) | Κατάσταση Συστήματος |
|--------------------------|--------------------------|-------------------------------|---------------------------|
| 0 | 24.2 | 24.2 | Σταθερή Λειτουργία |
| 5 | 35.8 | 41.7 | Ταχεία Θερμική Μετάβαση |
| 15 | 52.4 | 59.3 | Θερμική Διάχυση |
| 30 | 60.1 | 68.6 | Προσέγγιση Ισορροπίας |
| 45 | 62.7 | 71.9 | Θερμική Ισορροπία |
| 60 | 63.4 | 72.6 | Απόλυτα Σταθερή Κατάσταση |

Σχήμα 7.2 Χρονική εξέλιξη θερμοκρασίας ολοκληρωμένου LM317

Όπως παρατηρείται στον Πίνακα 7.2, η θερμοκρασία του ολοκληρωμένου σταθεροποιείται μετά το 45ό λεπτό στους 71.9°C. Η επίτευξη αυτής της θερμικής ισορροπίας δείχνει ότι η ψύκτρα απάγει αποτελεσματικά τη θερμότητα στο περιβάλλον. Εφόσον η θερμοκρασία της επαφής παραμένει πολύ χαμηλότερα από το εργοστασιακό όριο ασφαλείας των 125°C μέχρι τους 150°C, το τροφοδοτικό μπορεί να λειτουργεί συνεχόμενα για ώρες χωρίς τον κίνδυνο ενεργοποίησης της θερμικής προστασίας ή αλλοίωσης των χαρακτηριστικών του.

7.2.3 Επίδραση της Θερμοκρασίας στη Σταθερότητα της Τάσης

Μια επίσης σημαντική παράμετρος η οποία εξετάστηκε στη διάρκεια της δοκιμής της μιας ώρας είναι το θερμικό Drift, που σημαίνει ότι η τάση εξόδου μεταβάλλεται καθώς ζεσταίνονται τα εξαρτήματα του τροφοδοτικού. Εξαιτίας του ότι η εσωτερική τάση αναφοράς bandgap του LM317 έχει ενσωματωμένη θερμική αντίσταση, η τάση εξόδου εμφάνισε μια απειροελάχιστη μεταβολή από 12 V στα 12.008 V την ώρα της θέρμανσης. Η σταθερότητα αυτή δείχνει ότι η βοηθητική αρνητική διάταξη των JFET και τις διόδους δρα με τέτοιο τρόπο, προσφέροντας σημαντική θερμική σταθερότητα, πράγμα που καθιστά το σύστημα ως απόλυτα ασφαλές για εργαστηριακές μετρήσεις σε βάθος χρόνου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 : ΣΧΟΛΙΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΟΙ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ

8.1 Ανάλυση Ισχύος Διαχύσης

Το καίριο ζήτημα σε κάθε γραμμικό τροφοδοτικό βρίσκεται στην διαχείριση της ισχύος η οποία απορρίπτεται ως θερμότητα. Στο συγκεκριμένο κύκλωμα, ο LM317 δεν λειτουργεί σαν διακόπτης (όπως για παράδειγμα στα τροφοδοτικά switching), αλλά αντιθέτως λειτουργεί σαν μεταβλητή αντίσταση που απορροφά την περιττή τάση.

Η ισχύς διάχυσης P_D είναι το γινόμενο της διαφοράς δυναμικού εισόδου / εξόδου επί το ρεύμα φορτίου. Την μέγιστη ισχύς διάχυσης την έχουμε όταν το τροφοδοτικό ρυθμίζεται στην πιο χαμηλή τάση εξόδου, ενώ παράλληλα το φορτίο επιβάλλει το μέγιστο ρεύμα. $V_{in} = 32 V$, $V_{out} = 1.25 V$, $I_{load} = 1.5 A$, έχουμε :

$$P_{D,max} = (32 V - 1.25 V) \cdot 1.5 A = 46.1 W$$

Η τιμή των 46.1 W αποτελεί το πιο κρίσιμο σημείο. Στην συγκεκριμένη κατάσταση εάν δεν χρησιμοποιηθεί ψύκτρα με θερμική αντίσταση $R_{\theta sa} < 1.5^\circ C / W$, η θερμοκρασία επαφής πυριτίου θα ανέβει στο μέγιστο. Άρα επομένως ο πρώτος τεχνικός περιορισμός της διάταξης είναι η θερμική της αντοχή. Η ψύκτρα μπορεί εύκολα να μεγαλώσει την ανοχή του συστήματος, αλλά στην χρήση εργαστηρίου, η παθητική επιφάνεια αλουμινίου είναι αποδοτικότερη εξαιτίας της απουσίας κραδασμών και θορύβου.

8.2 Θερμική Αξιοπιστία και Προστασία

Το ολοκληρωμένο LM317 περιέχει ένα εσωτερικό κύκλωμα , το οποίο λειτουργεί σαν «δικλείδα ασφαλείας». Στη διάρκεια της έρευνας, σημειώθηκε ότι το κύκλωμα αυτό λειτουργεί ιδανικά υπό συνθήκες βραχυκυκλώματος. Παρόλα αυτά , αξίζει να σημειωθεί ότι η συχνή ενεργοποίηση της θερμικής προστασίας δεν είναι συνιστάται. Κάθε φορά που το ολοκληρωμένο κλείνει λόγω υπερθέρμανσης, δημιουργούνται καταπονήσεις στο εσωτερικό του πυριτίου λόγω των απότομων θερμικών μεταβολών.

Σε επίπεδο μελλοντικής βελτίωσης, προτείνεται η προσθήκη ενός θερμικού διακόπτη επάνω στην ψύκτρα, ο οποίος μπορεί να ενεργοποιεί ένα ηχητικό σήμα ή να διακόπτει την τροφοδοσία εισόδου πριν το LM317 φτάσει στο ανεπιθύμητο όριο των 150° C. Αυτό θα αύξανε τον κύκλο ζωής του συστήματος και θα προσέφερε μια επιπλέον στάθμη προστασίας πέραν της εσωτερικής λειτουργίας του ημιαγωγού.

8.4 Περιορισμοί ως προς την Έξοδο και το Εύρος της Λειτουργίας

Στον σχεδιασμό της δοθέν διάταξης , καθορίστηκαν συγκεκριμένα όρια τα οποία ορίζουν το εύρος χρήσης της συσκευής. Είναι τα εξής :

1. Τάση εξόδου : Παρά την ύπαρξη του κυκλώματος αρνητικής αναφοράς στα -1.25V , η σταθερότητα της τάσης κάπου κοντά στα 0 V , εξαρτάται άμεσα από την ακρίβεια της τάσης αναφοράς των διόδων 1N4148. Σε πολύ χαμηλά ρεύματα μικρότερα από τα 10 mA, η τάση εξόδου μπορεί να παρουσιάσει μια απόκλιση της τάξης των μερικών mVolts εξαιτίας της ελάχιστης κατανάλωσης ρεύματος του LM317.
2. **Ρεύμα Εξόδου:** Το όριο των 1.5 A είναι το μέγιστο εργοστασιακό όριο στα ολοκληρωμένα. Η προσπάθεια άντλησης υψηλότερου ρεύματος θα καταλήξει στην ενεργοποίηση του περιοριστή ρεύματος IC1, ο οποίος θα «διακόψει» την τάση εξόδου, καθιστώντας το τροφοδοτικό ακατάλληλο για εφαρμογές που απαιτούν υψηλές αιχμές ρεύματος (inrush currents), όπως η εκκίνηση μεγάλων DC κινητήρων.
3. **Κυμάτωση (Ripple):** Παρά το αξιοσημείωτο φιλτράρισμα, ένα γραμμικό τροφοδοτικό δεν έχει την δυνατότητα να μηδενίσει τελείως το 100% του ripple. Σε περιβάλλοντα ευαίσθητων μετρήσεων RF “ραδιοσυχνοτήτων”, μπορεί να

Ζητηθεί ένα επιπλέον στάδιο φιλτραρίσματος LC στην έξοδο για να μικρύνει η κυμάτωση σε επίπεδα πιο κάτω των 500 μF .

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9 : ΛΙΣΤΑ ΥΛΙΚΩΝ

Στο κεφάλαιο αυτό δίνεται η λίστα των εξαρτημάτων η οποία χρησιμοποιήθηκε για την υλοποίηση του εργαστηριακού αυτού γραμμικού τροφοδοτικού. Η επιλογή βασίστηκε πλήρως στο πρωτότυπο σχέδιο , εξασφαλίζοντας πλήρως την λειτουργική συμβατότητα καθώς και την αξιοπιστία της διάταξης υπό των συνθηκών συνεχούς λειτουργίας.

9.1 Τεχνική Ανάλυση και Επιλογή υλικών

9.1.1 Παθητικά Στοιχεία

Η επιλογή των αντιστάσεων R1 και R9 (ισχύς 5 W) είναι κρίσιμη, καθώς είναι τα σημεία στα οποία δημιουργούνται οι πιο μεγάλες θερμικές απώλειες λόγω ροής του ρεύματος . Η εφαρμογή πυκνωτών ηλεκτρολυτικού τύπου με τάση 40 V ορίζει ικανοποιητικό περιθώριο προστασίας , δεδομένου ότι η τάση λειτουργίας μετά την ανόρθωση είναι κοντά στα 32 με 33 V DC .

9.1.2 Στοιχεία Ελέγχου και Ημιαγωγοί

Τα ολοκληρωμένα IC1 και IC2 αποτελούν τον πυρήνα της σταθεροποίησης. Η χρήση των JFET επιτρέπει τη δημιουργία πηγών σταθερού ρεύματος, οι οποίες κρίνονται απαραίτητες για τη διατήρηση της τάσης αναφοράς του κυκλώματος. Το τρανζίστορ **BC141** συμβάλει στην οδήγηση της ένδειξης σφάλματος LED παρέχοντας με αυτόν τον τρόπο μια οπτική ανατροφοδότηση στον τελικό χρήστη σε περίπτωση υπερφόρτωσης.

9.2 Λοιπά Υλικά Κατασκευής

Για την τελική λειτουργία του γραμμικού τροφοδοτικού , είναι αναγκαία τα παρακάτω :

- Μετασχηματιστής : Τύπου 2x 12 V / 2A ,καλύπτει τις απαιτήσεις ισχύος της διάταξης
- Συστήματα ασφαλείας : Διπολικός διακόπτης δικτύου , μεταγωγός επιλογής μέτρησης καθώς και ασφάλεια 300mAΤ η οποία είναι απαραίτητη για την προστασία του πρώτου πηνίου
- Θερμική διαχείριση: Ψύκτρα η οποία έχει θερμική αντίσταση 2K/W , που είναι απαραίτητη για την απομάκρυνση της θερμότητας από τα LM317
- Όργανα ελέγχου : Ψηφιακό ή και αναλογικό πολύμετρο στρεφόμενου πηνίου καθώς και θηλυκά βύσματα μπανάνας για την μεταξύ των φορτίων

9.3 Πίνακας Ηλεκτρονικών Στοιχείων

| Κατηγορία | Εξάρτημα | Τιμή / Τύπος |
|-----------------|-----------|------------------|
| Αντιστάσεις | R1 | 0.82 Ω / 5W |
| | R2, R5 | 1 kΩ |
| | R3, R4 | 10 kΩ |
| | R6 | 270 Ω |
| | R7, R8 | 120 Ω |
| | R9 | 1 kΩ / 5W |
| Ποτενσιόμετρα | P1 | 1 kΩ (Γραμμικό) |
| | P2 | 5 kΩ (Γραμμικό) |
| | P3 | 25 kΩ (Τρίμμερ) |
| | P4 | 500 kΩ (Τρίμμερ) |
| Πυκνωτές | C1 | 100 nF |
| | C2, C3 | 10 μF / 40V |
| | C4 | 4700 μF / 40V |
| | C5 | 1000 μF / 35V |
| | C6 | 100 μF / 40V |
| | Ημιαγωγοί | B1 |
| D1, D2, D9, D10 | | 1N4001 |

| | | |
|--|----------|----------------|
| | D3 - D7 | 1N4148 |
| | D8 | LED Κόκκινο |
| | T1, T3 | BF256C (JFET) |
| | T2 | BC141 (NPN) |
| | IC1, IC2 | LM317 (TO-220) |

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10 : Διαγράμματα και Σχήματα

10.1 Σχηματικό Διάγραμμα του Κυκλώματος

Το Σχήμα 1 απεικονίζει το πλήρες ηλεκτρονικό σχηματικό της διάταξης. Η ανάλυση του κυκλώματος αποτελείται από τα εξής λειτουργικά στάδια:

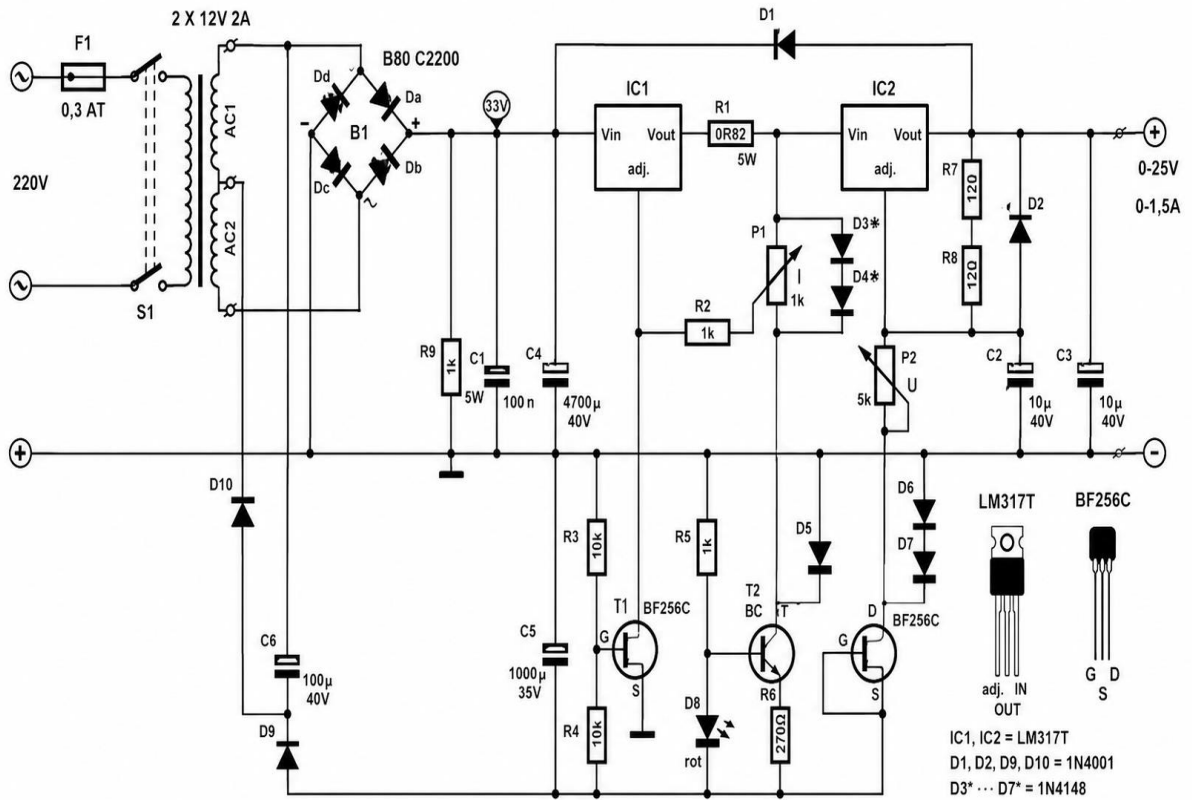
1. **Στάδιο Μετασχηματισμού και Ανόρθωσης:** Το στάδιο εισόδου περιλαμβάνει τον μετασχηματιστή 2x12V, τη γέφυρα ανόρθωσης B80C2200 και τον ηλεκτρολυτικό πυκνωτή εξομάλυνσης C4 (4700μF/40V), ο οποίος εξασφαλίζει τη μείωση της

κυμάτωσης της τάσης DC

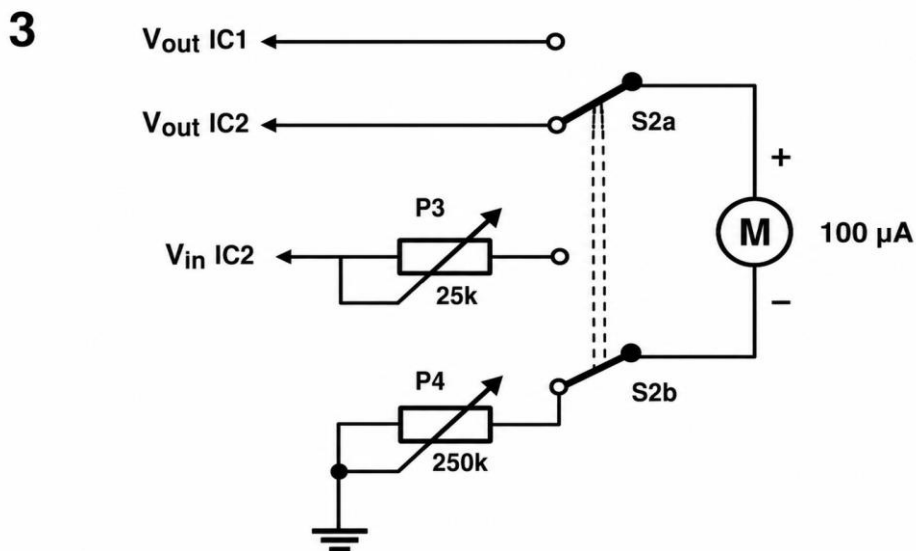
- 2. Στάδιο Περιορισμού Ρεύματος:** Πραγματοποιείται μέσω του ολοκληρωμένου σταθεροποιητή LM317 (IC1). Η αντίσταση R1 λειτουργεί ως αισθητήρας ρεύματος, ενεργοποιώντας τον περιορισμό καθώς το ρεύμα εξόδου υπερβεί την τιμή των 1.5A.
- 3. Στάδιο Σταθεροποίησης Τάσης:** Πραγματοποιείται από το δεύτερο ολοκληρωμένο LM317 . Μέσω του ποτενσιομέτρου P2 και της αρνητικής τάσης αναφοράς, επιτυγχάνεται η ακριβής ρύθμιση της τάσης εξόδου στο εύρος 0-25V.

10.2 Διάταξη Εξαρτημάτων στην Πλακέτα

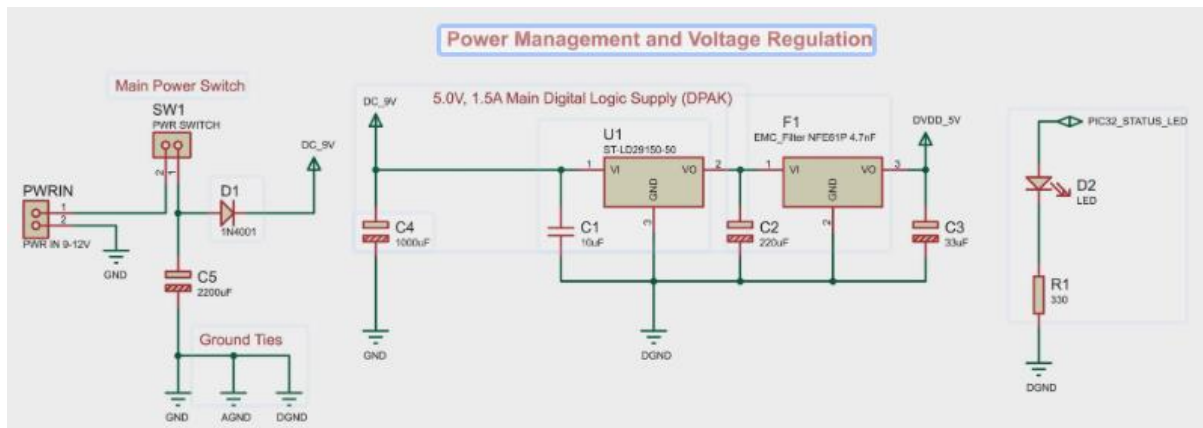
Ο προσδιορισμός της θέσης των εξαρτημάτων επάνω στην πλακέτα PCB ακολουθεί πιστά τον σχεδιασμό που στοχεύει στην μείωση των παρασιτικών επαγωγών και των ωμικών απωλειών . Σημαντική προσοχή έχει παρασχεθεί στην γειτνίαση των πυκνωτών του φιλτραρίσματος με τους ακροδέκτες εξόδου των IC1 και IC2 για την επίτευξη της σταθερότητας.



Σχήμα 10.1 Σχηματικό διάγραμμα του κυκλώματος.



Σχήμα 10.2 Σχηματικό σύνδεσης οργάνου ένδειξης μετρήσεων.



Σχήμα 10.3 Διάγραμμα μπλοκ λειτουργίας του τροφοδοτικού

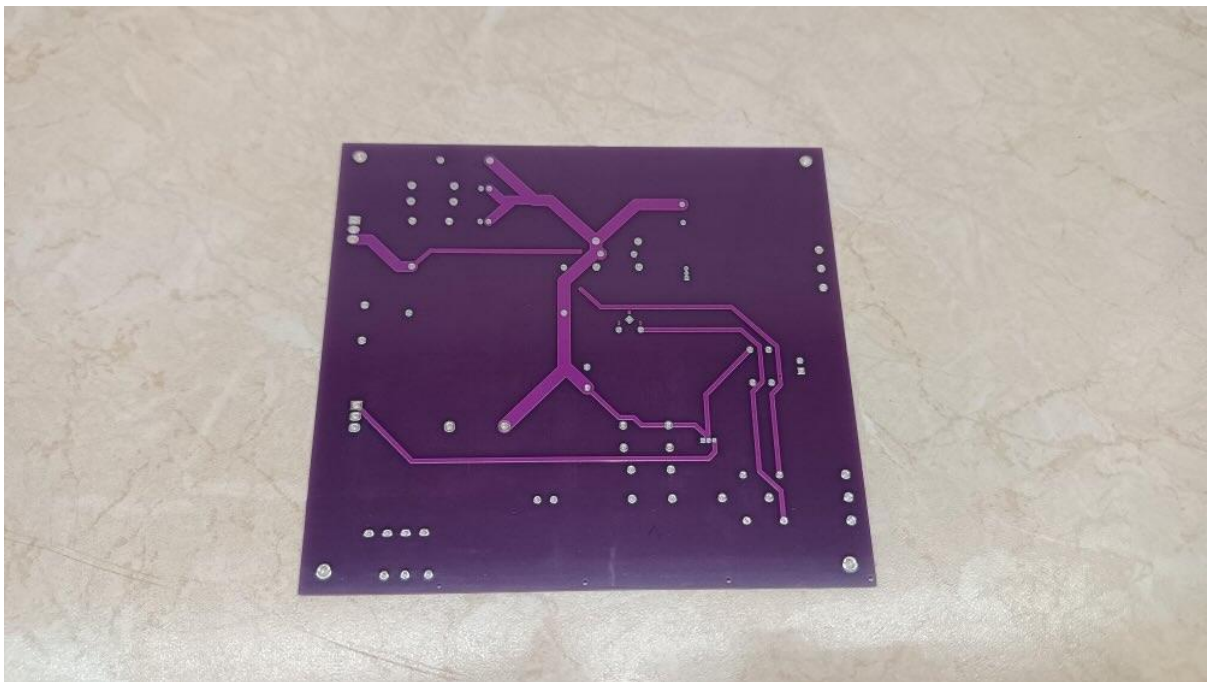
Το παρακάτω διάγραμμα περιγράφει ακριβώς τι συμβαίνει όταν ο χρήστης πατάει τον διακόπτη. Περιγράφει τις λογικές διαδικασίες και τις ενέργειες που χρειάζονται από τη στιγμή της ενεργοποίησης του διακόπτη δικτύου (S1) έως τη σταθεροποίηση της τάσης εξόδου. Είναι αναγκαίο για την κατανόηση της ιεραρχίας ενεργοποίησης των επιμέρους σταδίων.

1. [Ενεργοποίηση S1]
- 2) [Μετασχηματισμός σε 24V AC]
- 3)[Ανόρθωση σε DC]
- 4)[Ρύθμιση τάσης/ρεύματος από IC1 & IC2]
- 5) [Έξοδος στα βύσματα]

Διάγραμμα ροής λειτουργίας συστήματος.



Σχήμα 10.3 Πλακέτα του τροφοδοτικού με τοποθετημένα τα εξαρτήματα επάνω.



Σχήμα 10.4 Η αρχική κενή πλακέτα που χρησιμοποιείθηκε για το γραμμικό τροφοδοτικό.



Σχήμα 10.5 Η μία εκ των δύο όψεων του κουτιού που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή του τροφοδοτικού.



Σχήμα 10.6 Η άλλη όψη του κουτιού του τροφοδοτικού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11 : ΤΕΛΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η πτυχιακή αυτή εργασία στοχεύει στον σχεδιασμό, την ανάλυση και την υλοποίηση ενός εργαστηριακού τροφοδοτικού ρυθμιζόμενης τάσης (0-25V) και ρυθμιζόμενου περιορισμού ρεύματος (0-1.5A). Μέσω αυτής της διαδικασίας, επιτεύχθηκαν οι πρωταρχικοί στόχοι της μελέτης σε θεωρητικό όσο και σε πρακτικό επίπεδο.

11.1 Αξιολόγηση κατασκευής

Η ολοκληρωμένη διάταξη αντέδρασε πλήρως στις τεχνικές προδιαγραφές που είχαν τεθεί:

1. **Λειτουργική Αξιοπιστία:** Η χρήση των ολοκληρωμένων LM317 επιβεβαίωσε την αποτελεσματικότητα της λύσης στη σταθεροποίηση της τάσης και στον ακριβή έλεγχο του ρεύματος εξόδου, δίνοντας έτσι προστασία σε περίπτωση βραχυκυκλώματος ή υπερφόρτωσης.
2. **Ποιότητα Σήματος:** Η επιλογή της γέφυρας ανόρθωσης B80C2200 σε συνδυασμό με τον ηλεκτρολυτικό πυκνωτή των 4700μF διασφάλισε επαρκή εξομάλυνση, μειώνοντας τον θόρυβο στην έξοδο του τροφοδοτικού.
3. **Εργονομία:** Η ενσωμάτωση του αναλογικού οργάνου ένδειξης αδειοδοτεί τον έλεγχο των παραμέτρων λειτουργίας, μετατρέποντας τη συσκευή σε ένα χρήσιμο εργαλείο για κάθε ηλεκτρονικό εργαστήριο.

11.2 Συμπεράσματα και Προοπτικές

Η κατασκευή του τροφοδοτικού σχημάτισε μια ολοκληρωμένη άσκηση εφαρμοσμένης ηλεκτρονικής. Μέσω της μελέτης των διαγραμμάτων και της υλοποίησης της πλακέτας, κατέστη δυνατή η κατανόηση των κρίσιμων σταδίων της ανόρθωσης, του φιλτραρίσματος και της γραμμικής σταθεροποίησης τάσης.

Σε υποτιθέμενη μελλοντική αναβάθμιση της κατασκευής αυτής, θα είχαν την δυνατότητα να εξεταστούν οι εξής βελτιώσεις:

1. **Ψηφιοποίηση των ενδείξεων:** Αντικατάσταση του αναλογικού οργάνου με ψηφιακό βολτόμετρο/αμπερόμετρο για μεγαλύτερη ακρίβεια στις μετρήσεις.
2. **Αναβάθμιση ισχύος:** Χρήση μετασχηματιστή μεγαλύτερης έντασης και ενίσχυση της ψύξης με ενεργό σύστημα ανεμιστήρα, για τη δυνατότητα παροχής υψηλότερων ρευμάτων στην έξοδο.

3. **Προσθήκη ασφάλειας:** Ενσωμάτωση επιπλέον κυκλωμάτων ασφαλείας, όπως είναι ο θερμικός διακόπτης για την αποφυγή υπερθέρμανσης των ολοκληρωμένων.

11.3 Επίλογος

Συμπεραίνουμε ότι η ολοκλήρωση του εργαστηριακού τροφοδοτικού επαληθεύει τη λειτουργικότητα των κλασικών γραμμικών σταθεροποιητών και την αξία της ορθής σχεδιαστικής προσέγγισης. Το αποτέλεσμα προσφέρει ένα άρτιο και αξιόπιστο εργαλείο, ενώ η εμπειρία που αποκτήθηκε είναι αξιοσημείωτο εφόδιο για μελλοντικές ηλεκτρονικές εφαρμογές.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12: ΤΙΜΕΣ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΟΔΗΓΙΕΣ ΧΡΗΣΗΣ

12.1 Τιμές Εξαρτημάτων

| Εξάρτημα | Εκτιμώμενο Κόστος (ανά τεμάχιο) | Σύνολο |
|----------------------------|---------------------------------|------------------|
| Μετασχηματιστής 2x12V/2A | 12.00 € | 12.00 € |
| 2x Ολοκληρωμένα LM317T | 1.50 € | 3.00 € |
| Γέφυρα Ανόρθωσης B80C2200 | 2.00 € | 2.00 € |
| Πυκνωτής 4700μF/40V | 3.50 € | 3.50 € |
| Πυκνωτές (λοιποί) & Δίοδοι | 3.00 € | 3.00 € |
| Τρανζίστορ (BF256, BC141) | 3.00 € | 3.00 € |
| Ποτενσιόμετρα & Τρίμερ | 4.00 € | 4.00 € |
| Όργανο 100μΑ (αναλογικό) | 8.00 € | 8.00 € |
| Πλακέτα & Υλικά σύνδεσης | 5.00 € | 5.00 € |
| ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ | | ~ 43.50 € |

Σχήμα 12.1 Πίνακας τιμών των εξαρτημάτων.

12.2 Οδηγίες Χρήσης

Στο κεφάλαιο αυτό αναγράφονται οι βασικές οδηγίες για την ασφαλή λειτουργία του εργαστηριακού τροφοδοτικού .

- **Ενεργοποίηση:** Συνδέουμε τη συσκευή στο δίκτυο 220V και ενεργοποιούμε τον κεντρικό διακόπτη (S1). Η ένδειξη LED (D8) επιβεβαιώνει την τροφοδοσία του κυκλώματος.
- **Επιλογή Παραμέτρου:** Χρησιμοποιούμε τον μεταγωγέα (S2) για να διαλέξουμε αν το όργανο θα απεικονίζει την Τάση (V) ή την Ένταση (I).
- **Ρύθμιση Τάσης:** Περιστρέφουμε το ποτενσιόμετρο (P2) για να ορίσουμε την επιθυμητή τάση εξόδου στο εύρος 0-25V.
- **Περιορισμός Ρεύματος:** Το κύκλωμα προσφέρει αυτόματο περιορισμό έως 1.5A. Στην περίπτωση της υπερφόρτωσης, η τάση εξόδου θα μειωθεί αυτόματα για την ασφάλεια της συσκευής.
- **Απενεργοποίηση:** Μετά το πέρας της εργασίας, περιστρέφουμε το ποτενσιόμετρο στο ελάχιστο και απενεργοποιούμε τον διακόπτη S1.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 13 : ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1.Ελληνικά Ακαδημαϊκά Συγγράμματα

- **Χατζόπουλος, Α.** (2015). *Ηλεκτρονικά Ι: Ημιαγωγοί και Κυκλώματα*. Εκδόσεις Τζιόλα. (Ανάλυση ημιαγωγών και σταθεροποιητών).
- **Καρβούνης, Ε.** (2012). *Αναλογικά Ηλεκτρονικά: Θεωρία και Εφαρμογές*. Εκδόσεις Ιδρύματος Ευγενίδου. (Ανάλυση ανόρθωσης και φιλτραρίσματος).
- **Μπεργελές, Γ., & Ιωαννίδης, Ι.** (2018). *Ανάλυση και Σχεδίαση Ηλεκτρονικών Κυκλωμάτων*. Εκδόσεις Παπασωτηρίου. (Σχεδιασμός τροφοδοτικών χαμηλής τάσης).

- **Σεφέριαδης, Β.** (2010). *Βασικά Ηλεκτρονικά Κυκλώματα*. Εκδόσεις Σελίδα. (Εφαρμογές ολοκληρωμένων σταθεροποιητών).

2. Διεθνή Ακαδημαϊκά Συγγράμματα

- **Boylestad, R. L., & Nashelsky, L.** (2020). *Electronic Devices and Circuit Theory* (12η έκδ.). Pearson Education. (Θεμελιώδης βιβλιογραφία για την ανάλυση των LM317).
- **Horowitz, P., & Hill, W.** (2018). *The Art of Electronics* (3η έκδ.). Cambridge University Press. (Σύγγραμμα των ηλεκτρονικών για τον σχεδιασμό τροφοδοτικών εργαστηρίου).
- **Sedra, A. S., & Smith, K. C.** (2015). *Microelectronic Circuits*. Oxford University Press. (Θεωρητική τεκμηρίωση των κυκλωμάτων περιορισμού ρεύματος).

3. Τεχνικά Φύλλα Δεδομένων και Πρότυπα

- **Texas Instruments.** (2025). *LM317 Adjustable Linear Voltage Regulator – Data Sheet* (SLVS044Y).
- **Fairchild Semiconductor.** (2025). *BF256C/BC141 N-Channel JFET & Bipolar Transistor* – *Datasheets*.
- **International Rectifier.** (2024). *B80C2200 Bridge Rectifier Technical Specifications*.

