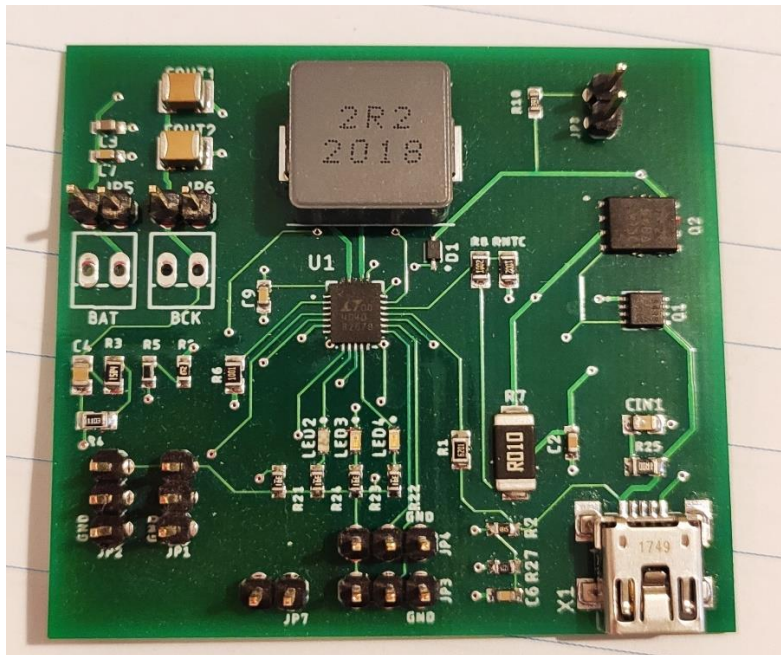




ΔΙΕΘΝΕΣ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
«ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΑΙ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ UPS ΠΟΛΥ
ΜΙΚΡΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΓΙΑ ΧΡΗΣΗ ΣΤΗΝ ΟΙΚΙΑΚΗ
ΤΗΛΕΦΩΝΙΑ»



Του φοιτητή
Αθανασιάδη Νικολάου
Αρ. Μητρώου: 513006

Επιβλέπων
Κιοσκερίδης Ιορδάνης
Βαθμίδα Καθηγητής

Ημερομηνία 14/1/2020

Τίτλος Π.Ε “Σχεδίαση και υλοποίηση UPS πολύ μικρής ισχύος για χρήση στην οικιακή τηλεφωνία”

Κωδικός Π.Ε. 19113

Όνοματεπώνυμο φοιτητή Αθανασιάδης Νικόλαος

Όνοματεπώνυμο εισηγητή Κιοσκερίδης Ιορδάνης

Ημερομηνία ανάληψης Π.Ε. 25/11/2019

Ημερομηνία περάτωσης Π.Ε. 14/1/2021

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 πτυχιακή εργασία, στο Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του ΔΙ.ΠΑ.Ε.

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή Αθανασιάδη Νικόλαου 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 πτυχιακής 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.

«Αφιέρωση»

Η παρούσα εργασία είναι αφιερωμένη στον πατέρα μου που δίνει καθημερινά τη δική του μάχη για ζωή και στην οικογένεια μου.

Πρόλογος

Έχουμε φτάσει ως ανθρωπότητα στο σημείο να εξαρτόμαστε σε πολύ μεγάλο βαθμό από διάφορες ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές στην καθημερινότητα μας άρα είναι φυσικό επακόλουθο να εξαρτόμαστε και από τον ηλεκτρισμό. Η αύξηση των απαιτήσεων μας για ηλεκτρική ενέργεια, είτε για επαγγελματικούς σκοπούς είτε για οικιακή χρήση, έχει οδηγήσει να θεωρούμε τον ηλεκτρισμό βασικό αγαθό. Ως τέτοιο βασικότατο στοιχείο, κάθε απώλεια του ηλεκτρισμού μπορεί να προκαλέσει σωρεία προβλημάτων. Για αυτό έχουμε προβεί στην κατασκευή συσκευών αδιάλειπτης παροχής ισχύος ή αλλιώς UPS. Οι συσκευές αυτές είναι υπεύθυνες να παρέχουν την απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια σε περίπτωση απώλειας της τάσης παροχής από το δίκτυο στο οποίο βρισκόμαστε.

Τα τροφοδοτικά, πέρα από κατασκευές μεγάλης σημασίας, είναι και πολύ βασικά για οποιονδήποτε ασχολείται με τα ηλεκτρονικά. Το συγκεκριμένο τροφοδοτικό που θα δούμε σε αυτήν την εργασία είναι σχεδιασμένο για απλή οικιακή χρήση. Για αυτό η κατασκευή έγινε με απλά υλικά χωρίς ιδιαίτερο κόστος. Η λειτουργία του όμως είναι ελεγχόμενη και μας διασφαλίζει την αδιάλειπτη λειτουργία της συσκευής που θα επιλέξουμε να τροφοδοτήσουμε.

Περίληψη

Αυτή η πτυχιακή εργασία αναφέρεται στη σχεδίαση και την υλοποίηση ενός τροφοδοτικού αδιάλειπτης παροχής ισχύος που αφορά τις οικιακές συσκευές επικοινωνίας. Για αυτό και έχει πολύ μικρή ισχύ εξόδου.

Τέτοιο τροφοδοτικό δηλαδή είναι κατάλληλο για συσκευές που δεν καταναλώνουν πολύ ενέργεια. Θα δούμε τις βασικές αρχές, τα 4 τμήματα από τα οποία αποτελείται ένα τροφοδοτικό και τους τύπους των τροφοδοτικών, τι περιλαμβάνουν και πια είναι η λειτουργία τους. Θα αναφερθούμε στις μπαταρίες που αποτελούν πολύ σημαντικό μέρος στην υλοποίηση ενός τροφοδοτικού αδιάλειπτης παροχής.

Έπειτα θα αναλυθεί η δική μας κατασκευή. Θα δούμε πως σχεδιάστηκε και ποια στοιχεία χρησιμοποιήθηκαν.

Η συγκεκριμένη τροφοδοτική διάταξη, που αποτελεί το κύκλωμα μας, παρέχει συνεχή τάση εξόδου 5V. Θα εξηγηθεί πως επιτυγχάνεται αυτή η αδιάλειπτη παροχή συνεχούς τάσης στην έξοδο. Ο ρόλος της μπαταρίας στο κύκλωμα μας και πως αυτή λειτουργεί.

Τέλος, θα εξεταστεί αν το τελικό μας κύκλωμα είναι λειτουργικό, τι θα μπορούσε να διορθωθεί και ποιες θα μπορούσαν να είναι οι χρήσεις του.

«DESIGN AND IMPLEMENTATION OF LOW POWER UPS SUPPLY FOR USE IN HOME TELEPHONY»

Nikolaos Athanasiadis

Abstract

This thesis introduces a power supply for home use. To support devices with low needs of electric current.

In the 1st chapter there is the theoretical background of power supplies. We also find details there about batteries, which are a key element in a power supply circuit.

The 2nd chapter is where we are referring to our device. How our device behaves and what are the main elements that we used. Furthermore we analyze some of the functions of these elements.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κύριο Κιοσκερίδη Ιορδάνη για την υπομονή του και την καθοδήγηση του. Έπειτα την οικογένεια μου για την πίστη και την πολύτιμη στήριξη τους. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τον συνάδελφο και φίλο Γεώργιο Κάλφα, καθώς και όλους τους συναδέλφους μου από τον ΔΕΔΔΗΕ που με βοήθησαν με τις πολύτιμες συμβουλές τους στην περάτωση της πτυχιακής εργασίας.

Περιεχόμενα

Πρόλογος	v
Περίληψη	vi
Abstract	vii
Ευχαριστίες	viii
Περιεχόμενα	ix
Κατάλογος Σχημάτων.....	xi
Κατάλογος Πινάκων.....	xii
Συντομογραφίες.....	xiii
Κεφάλαιο 1ο: Θεωρητικό Μέρος	1
Εισαγωγή	1
1.1 Γενικά για τα τροφοδοτικά	1
1.1.1 Βασικές αρχές λειτουργίας των τροφοδοτικών	2
1.1.1.1 Μετασηματιστής.....	3
1.1.1.2 Ανορθωτής.....	5
1.1.1.3 Εξομάλυνση τάσης (φίλτρο)	7
1.1.1.4 Σταθεροποιητής.....	8
1.1.2 Τύποι τροφοδοτικών	11
1.1.2.1 Γραμμική λειτουργία.....	11
1.1.2.2 Switched-mode τροφοδοτικά	12
1.1.2.3 Σύγκριση μεταξύ γραμμικών και switching τροφοδοτικών.....	17
1.2 Μπαταρίες.....	19
1.2.1 Μη επαναφορτιζόμενες μπαταρίες (πρωτεύοντα στοιχεία).....	21
1.2.2 Επαναφορτιζόμενες μπαταρίες (δευτερεύοντα στοιχεία)	24
1.2.2.1 Μπαταρίες ιόντων λιθίου.....	26
1.3 Συστήματα αδιάλειπτης παροχής ενέργειας (UPS)	29
1.3.1 Offline/Standby.....	29
1.3.2 Line interactive	30
1.3.3 Online.....	31
Επίλογος	32

Κεφάλαιο 2ο: Υλοποίηση του UPS	33
2.1 Εισαγωγή	33
2.2 Μπλοκ διάγραμμα	33
2.2.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά	34
2.2.2 Τυπικές εφαρμογές της συσκευής	35
2.3 MOSFETs	35
2.4 LTC4040	35
2.5 Υλοποίηση του σχηματικού – θεωρητικού κυκλώματος	40
2.6 Υλοποίηση του layout	41
2.7 Κατασκευή πλακέτας	43
2.8 Κατασκευή τροφοδοτικού	44
2.8.1 Επιλογή υλικών	44
2.9 Μετρήσεις και αποτελέσματα	48
Επίλογος	54
Συμπεράσματα και προτάσεις βελτίωσης	55
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	56

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1.1 Μπλοκ διάγραμμα ενός γραμμικού τροφοδοτικού [1]	2
Σχήμα 1.2 Απλουστευμένη διάταξη ενός Μ/Σ υποβιβασμού τάσης [3]	3
Σχήμα 1.3 Ισοδύναμο κύκλωμα ενός πραγματικού Μ/Σ [4].....	5
Σχήμα 1.4 Απλή ανόρθωση χρησιμοποιώντας μία δίοδο [6].....	6
Σχήμα 1.5 Πλήρης ανόρθωση με δύο διόδους [6]	6
Σχήμα 1.6 Πλήρης ανόρθωση χρησιμοποιώντας 4 διόδους (τοπολογία γέφυρας) [6]	6
Σχήμα 1.7 Λειτουργία κατά τη θετική ημιπερίοδο [7].....	7
Σχήμα 1.8 Λειτουργία κατά την αρνητική ημιπερίοδο [7].....	7
Σχήμα 1.9 Κυματισμός τάσης μετά την πλήρη ανόρθωση και μετά το φίλτρο	8
Σχήμα 1.10 Κύκλωμα ανορθωτή γέφυρας μαζί με πυκνωτή εξομάλυνσης τάσης [7].....	8
Σχήμα 1.11 Γραμμικός σταθεροποιητής εν σειρά [8]	9
Σχήμα 1.12 Γραμμικός σταθεροποιητής τύπου shunt [9]	10
Σχήμα 1.13 Γραμμικός σταθεροποιητής εν σειρά με ανάδραση [10].....	10
Σχήμα 1.14 Μπλοκ διάγραμμα του ολοκληρωμένου σταθεροποιητή LM7805 [11].....	11
Σχήμα 1.15 Το γραμμικό AC-DC τροφοδοτικό σταθερής τάσης εξόδου.....	12
Σχήμα 1.16 Buck-converter [13].....	15
Σχήμα 1.17 Διαμόρφωση εύρους πλάτους	15
Σχήμα 1.18 Boost converter [13]	16
Σχήμα 1.19 Buck-boost converter [13]	17
Σχήμα 1.20 Τυπικό γραμμικό τροφοδοτικό με δυνατότητα ρύθμισης της τάσης εξόδου [14]	18
Σχήμα 1.21 Τυπική δομή ενός switching τροφοδοτικού [15].....	19
Σχήμα 1.22 Σχηματική απεικόνιση της coin cell διαμόρφωσης [17].....	20
Σχήμα 1.23 Σχηματική απεικόνιση της κυλινδρικής διαμόρφωσης [17].....	21
Σχήμα 1.24 Σύγκριση της ειδικής ενέργειας για διάφορους τύπους [18]	21
Σχήμα 1.25 Σχηματική αναπαράσταση της διαδικασίας φόρτισης/εκφόρτισης σε ένα δευτερεύον στοιχείο [17].....	244
Σχήμα 1.26 Αναπαράσταση της μπαταρίας μολύβδου-οξέος.....	25
Σχήμα 1.27 Σχηματική αναπαράσταση της διαδικασίας φόρτισης/εκφόρτισης σε μία μπαταρία ιόντων λιθίου [17]	27
Σχήμα 1.28 Αναπαράσταση της καθόδου σε μία μπαταρία LCO [20]	28
Σχήμα 1.29 Αναπαράσταση μίας LiFePO ₄ μπαταρίας.....	28
Σχήμα 1.30 Μπλοκ διάγραμμα offline UPS [23].....	30
Σχήμα 1.31 Μπλοκ διάγραμμα ενός line interactive UPS [24].....	31
Σχήμα 1.32 Μπλοκ διάγραμμα ενός online UPS [25].....	32
Σχήμα 2.1 Μπλοκ διάγραμμα του τροφοδοτικού.....	33
Σχήμα 2.2 Διάγραμμα κυκλώματος του ολοκληρωμένου LTC4040	39
Σχήμα 2.3 Το σχηματικό όπως αυτό σχεδιάστηκε στο λογισμικό EAGLE.....	40

Σχήμα 2.4 Το τελικό layout της πλακέτας. Με κόκκινο χρώμα απεικονίζεται η άνω πλευρά και με γαλάζιο η κάτω	42
Σχήμα 2.5 2D απεικόνιση της πλακέτας που θα κατασκευαστεί	43
Σχήμα 2.6 Τελική μορφή τυπωμένου κυκλώματος.....	44
Σχήμα 2.7 Πρόσοψη της κατασκευής με καπάκι και χωρίς καπάκι	46
Σχήμα 2.8 Η άνοψη (έξοδος) και η κάτοψη (είσοδος) της κατασκευής	47
Σχήμα 2.9 Η τάση στην έξοδο χωρίς φορτίο.....	48
Σχήμα 2.10 Η τάση στην έξοδο μόνο με τη χρήση του εφεδρικού συστήματος	49
Σχήμα 2.11 Η τάση στα άκρα της μπαταρίας.....	50
Σχήμα 2.12 Συνδέουμε το κινητό στην έξοδο του τροφοδοτικού. Χωρίς τη μπαταρία, μόνο με το βασικό σύστημα τροφοδοσίας φορτίζει το κινητό	51
Σχήμα 2.13 Μέτρηση με το πολύμετρο της τάσης εξόδου με είσοδο συνδεδεμένη, την μπαταρία στο κύκλωμα και φορτίο στην έξοδο	52
Σχήμα 2.14 Μέτρηση της τάσης εξόδου χωρίς τη μπαταρία	53

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1.1 Σύγκριση μεταξύ γραμμικών και switching τροφοδοτικών	19
Πίνακας 1.2 Συγκεντρωτικά χαρακτηριστικά των μπαταριών λιθίου-μετάλλου [18].....	23

Συντομογραφίες

M/Σ	Μετασχηματιστής
AC	Alternative current (Εναλλασσόμενο ρεύμα)
DC	Direct current (Συνεχές ρεύμα)
PWM	Pulse width modulation (Διαμόρφωση εύρους παλμού)
UPS	Uninterruptible Power Supply (Αδιάλειπτη τροφοδοσία ισχύος)

Κεφάλαιο 1^ο: Θεωρητικό Μέρος

Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο θα γίνει αναφορά στα τροφοδοτικά, στον τρόπο λειτουργίας τους και θα αναλυθούν οι επιμέρους βαθμίδες που τα αποτελούν. Παράλληλα θα αναλυθούν οι κατηγορίες των τροφοδοτικών που υπάρχουν. Επιπρόσθετα θα γίνει μία εισαγωγή στα συστήματα αδιάλειπτης παροχής ενέργειας. Τέλος θα γίνει αναφορά στις μπαταρίες καλύπτοντας τις απλές αλλά και τις επαναφορτιζόμενες. Ιδιαίτερη προσοχή θα δοθεί στις μπαταρίες ιόντων λιθίου λόγω της ευρείας χρήσης που έχουν. Οι θεωρητικές γνώσεις που θα αποκτηθούν από το παρόν κεφάλαιο θα χρησιμοποιηθούν για να σχεδιαστεί ένα σύστημα που θα μπορεί να ενσωματώνει τις τρεις τεχνολογίες που προαναφέρθηκαν.

1.1 Γενικά για τα τροφοδοτικά

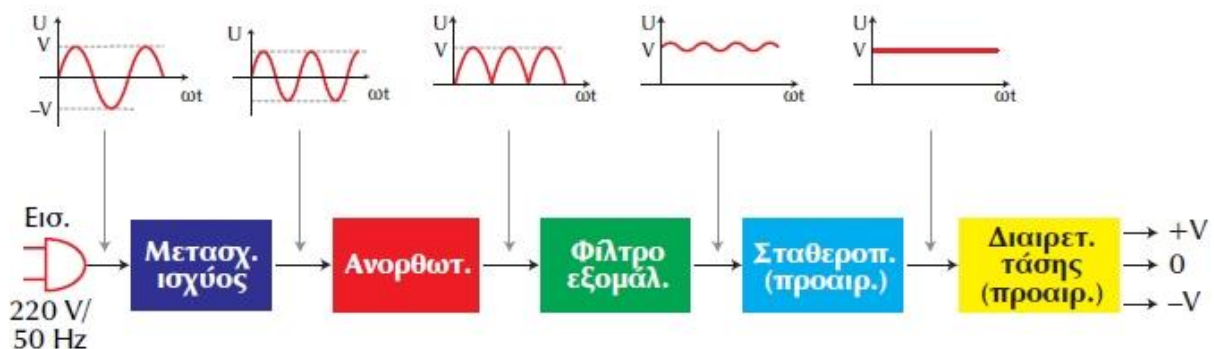
Τα τροφοδοτικά είναι συσκευές οι οποίες τροφοδοτούν με την απαραίτητη ισχύ μία ή περισσότερες ηλεκτρικές συσκευές. Η πρωτεύουσα λειτουργία τους είναι να παρέχουν ηλεκτρική ενέργεια στη σωστή τάση, ένταση και συχνότητα σε ένα φορτίο. Τα τροφοδοτικά μπορεί να είναι είτε μεμονωμένες συσκευές (π.χ. τροφοδοτικά πάγκου), ή να έχουν κατασκευαστεί παράλληλα με την συσκευή που θέλουν να τροφοδοτήσουν (π.χ. τηλεόραση). Μία άλλη σημαντική και ενίοτε απαραίτητη χρήση των τροφοδοτικών είναι για λόγους προστασίας του τροφοδοτούμενου κυκλώματος. Όλα τα σύγχρονα τροφοδοτικά περιλαμβάνουν λειτουργίες περιορισμού της έντασης ρεύματος εξόδου, προστασία έναντι υπέρτασης ή υπότασης από το δίκτυο και φιλτράρισμα έναντι θορύβου. Μια μεγάλη κατηγορία τροφοδοτικών είναι τα λεγόμενα UPS (uninterruptible power supply) τα οποία αποθηκεύουν ενέργεια σε μία ορισμένη μπαταρία ώστε να τροφοδοτήσουν μια συσκευή σε περίπτωση διακοπής ρεύματος από το δίκτυο.

Όλα τα τροφοδοτικά έχουν μια είσοδο η οποία μπορεί να είναι είτε συνεχές ή εναλλασσόμενο ρεύμα. Έτσι μπορούν να τροφοδοτούνται είτε από το ηλεκτρικό δίκτυο (π.χ. πρίζα) και γεννήτριες, είτε από μπαταρίες ή ηλιακά πάνελ. Η έξοδος τους μπορεί και αυτή να είναι συνεχούς ή εναλλασσόμενου ρεύματος και μπορεί να υπάρχουν περισσότερες από μία.

1.1.1 Βασικές αρχές λειτουργίας των τροφοδοτικών

Τα πιο κοινά τροφοδοτικά είναι αυτά που μετατρέπουν το εναλλασσόμενο ρεύμα σε συνεχές. Χρησιμοποιούνται σε όλες τις ηλεκτρικές συσκευές. Για τον λόγο αυτό η παρούσα εργασία θα εστιάσει αποκλειστικά σε αυτού του είδους τα τροφοδοτικά. Στο παρακάτω διάγραμμα απεικονίζεται ένα απλό γραμμικό τροφοδοτικό που έχει ως είσοδο την τάση του ηλεκτρικού δικτύου της Ευρώπης και ως έξοδο δίνει μία σταθερή τάση (συνεχές ρεύμα). Όπως βλέπουμε το τροφοδοτικό δέχεται μία ημιτονοειδή είσοδο και μέσω διάφορων διεργασιών την μετατρέπει σε μία γραμμική έξοδο. Για να επιτευχθεί αυτό απαιτούνται 4 διαφορετικά στάδια:

- **Μετασχηματισμός τάσης:** Είναι το πρώτο στάδιο ενός τροφοδοτικού και επιτυγχάνεται μέσω ενός μετασχηματιστή. Ο μετασχηματιστής μετατρέπει την τάση εισόδου του σε μία μικρότερη ή μεγαλύτερη αναλόγως με την δομή του. Για τα DC τροφοδοτικά συνήθως η τάση εξόδου είναι μικρότερη της τάσης εισόδου.
- **Ανόρθωση τάσης:** Στο δεύτερο στάδιο θα πρέπει να μετατραπεί ή να απορριφθεί το αρνητικό εύρος της τάσης εισόδου. Στην περίπτωση απόρριψης η ανόρθωση ονομάζεται ημι-ανόρθωση ενώ στην περίπτωση μετατροπής του αρνητικού μέρους σε θετικό η ανόρθωση ονομάζεται πλήρης ή ανόρθωση γέφυρας.
- **Εξομάλυνση τάσης:** Παρατηρώντας την ανορθωμένη πλέον τάση, διακρίνουμε μία κυματοειδή συνάρτηση η οποία θα πρέπει να εξομαλυνθεί/φιλτραριστεί. Σε αυτό το στάδιο να μεν ο κυματισμός έχει μειωθεί σε σημαντικό βαθμό, ωστόσο δεν υπάρχει ακόμα η επιθυμητή σταθερή τάση ρεύματος που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να τροφοδοτήσει κάποια συσκευή.
- **Σταθεροποιητής:** Για τον παραπάνω λόγο το τελευταίο στάδιο είναι η σταθεροποίηση της τάσης σε μία προεπιλεγμένη τιμή. Συνηθώς εδώ χρησιμοποιείται ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα το οποίο είναι ικανό να δέχεται μία κυματοειδή είσοδο και να παράγει μία γραμμική έξοδο. Παράλληλα ως ενεργή συσκευή, προσφέρει προστασία στο κύκλωμα που τροφοδοτείται.



Σχήμα 1.1 Μπλοκ διάγραμμα ενός γραμμικού τροφοδοτικού [1]

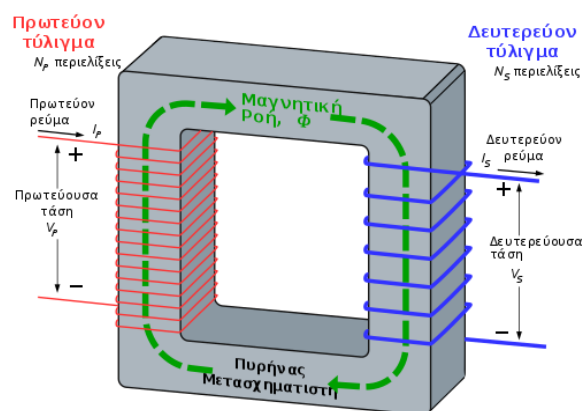
1.1.1.1 Μετασχηματιστής

Ο μετασχηματιστής (Μ/Σ) τάσης θεωρείται ένα απλό ηλεκτρομαγνητικό στοιχείο το οποίο λειτουργεί σύμφωνα με τις αρχές του νόμου της επαγωγής Faraday ώστε να μεταβάλλει την ηλεκτρική ενέργεια. Έτσι, βασίζεται σε δύο αρχές:

- Το ηλεκτρικό ρεύμα παράγει μαγνητικό πεδίο
- Ένα μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο σε ένα τυλιγμένο σύρμα, επάγει διαφορά δυναμικού στα άκρα του τυλίγματος (ηλεκτρομαγνητική επαγωγή)

Οι Μ/Σ μπορούν να αυξάνουν ή να μειώνουν την τάση ή το ρεύμα (αν μιλάμε για Μ/Σ ρεύματος) της τροφοδοσίας τους, χωρίς να αλλοιώνουν ή να μεταβάλουν την συχνότητα ή την ισχύ που μεταφέρουν από το πρωτεύων τύλιγμα στο δευτερεύων τύλιγμα.

Ένα Μ/Σ τάσης μονής φάσης αποτελείται από δύο τυλίγματα σύρματος (πηνία), το πρωτεύων τύλιγμα και το δευτερεύων τύλιγμα. Θεωρούμε ότι το πρωτεύων τύλιγμα είναι αυτό που δέχεται την ηλεκτρική ενέργεια από την πηγή και το δευτερεύων αυτό που τροφοδοτεί το υπόλοιπο κύκλωμα μιας εφαρμογής. Άρα έχουμε αντίστοιχα την είσοδο και την έξοδο του Μ/Σ. Συνήθως το πρωτεύων έχει υψηλότερη τάση από ότι το δευτερεύων. Τα δύο αυτά τυλίγματα δεν βρίσκονται σε ηλεκτρική επαφή αλλά τυλίγονται γύρω από έναν μαγνητικό πυρήνα πολύ υψηλής διαπερατότητας. Για να μειωθούν οι απώλειες, ο πυρήνας αποτελείται από ελάσματα. Έχοντας αυτή την δομή τα τυλίγματα να μην είναι ηλεκτρικά απομονωμένα, ωστόσο υπάρχει μαγνητική επαγωγή μεταξύ τους. Έτσι όταν το ηλεκτρικό ρεύμα διαπερνά το πρωτεύων τύλιγμα παράγει μαγνητικό πεδίο το οποίο μεταφέρεται στο δευτερεύων τύλιγμα μέσω του πυρήνα το οποίο με την σειρά του επάγει διαφορά δυναμικού (δηλαδή τάση) στα άκρα του. Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται η δομή που περιεγράφηκε παραπάνω .



Σχήμα 1.2 Απλουστευμένη διάταξη ενός Μ/Σ υποβιβασμού τάσης [3]

Από τον νόμο της επαγωγής του Faraday ισχύει:

$$V_S = N_S \frac{d\Phi_S}{dt} \quad (1.1)$$

όπου V_S είναι η στιγμιαία τάση, N_S είναι ο αριθμός των περιελίξεων στο δευτερεύον και Φ_S η μαγνητική ροή στη περιέλιξη του τυλίγματος. Αντίστοιχα για το πρωτεύον τύλιγμα από τον ίδιο νόμο ισχύει:

$$V_P = N_P \frac{d\Phi_P}{dt} \quad (1.2)$$

Υποθέτοντας ότι υφίσταται ένα ιδανικό Μ/Σ χωρίς απώλειες ισχύει ότι οι μαγνητικές ροές είναι οι ίδιες. $\Phi_S = \Phi_P$. Από τις (1), (2) έχουμε την βασική εξίσωση που χαρακτηρίζει έναν Μ/Σ τάσης:

$$\frac{N_P}{N_S} = \frac{V_P}{V_S} = n \quad (1.3)$$

Η αναλογία δηλαδή των τυλιγμάτων είναι αυτή που καθορίζει την αύξηση ή την μείωση της τάσης στο δευτερεύον τύλιγμα.

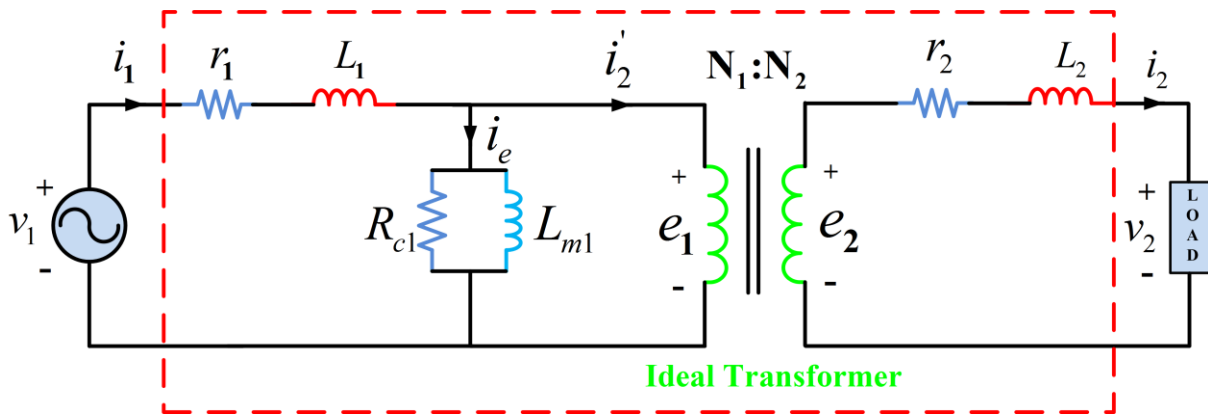
Εδώ αξίζει να σημειωθεί η μεταφορά ισχύος μεταξύ των τυλιγμάτων ενός Μ/Σ. Υποθέτοντας και πάλι έναν ιδανικό Μ/Σ και λαμβάνοντας υπόψιν την εξίσωση της ισχύος $P = I \cdot V$, μέσω της παραπάνω εξίσωσης (3) ισχύει:

$$\frac{N_P}{N_S} = \frac{V_P}{V_S} = \frac{I_S}{I_P} \quad (1.4)$$

Δηλαδή αν η τάση ανυψωθεί τότε το ρεύμα θα μειωθεί κατά τον ίδιο συντελεστή. Αν υπάρχει μία αντίσταση R στην έξοδο του Μ/Σ η ισχύς που θα μεταφέρεται ισούται με $P_R = I^2 R$. Αυτό σημαίνει ότι αν η τάση εξόδου διπλασιαστεί το ρεύμα υποδιπλασιάζεται και αρά επιτυγχάνεται μείωση των απωλειών κατά τέσσερις φορές. Αυτό είναι ένα πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό καθώς οι πραγματικοί Μ/Σ δεν είναι ιδανικοί και παρουσιάζουν διάφορες απώλειες καθιστώντας αδύνατη την πλήρη μεταφορά της ενεργείας που δέχονται στο πρωτεύον τύλιγμά τους. Η απόδοση ενός Μ/Σ ορίζεται ως:

$$\eta = \frac{\text{ισχύς εξόδου}}{\text{ισχύς εισόδου}} = \frac{\text{ισχύς εισόδου} - \text{απώλειες}}{\text{ισχύς εισόδου}} = 1 - \frac{\text{απώλειες}}{\text{ισχύς εισόδου}}$$

Οι απώλειες ενός Μ/Σ μπορούν να μοντελοποιηθούν χρησιμοποιώντας ένα ισοδύναμο κύκλωμα. Στο παρακάτω διάγραμμα απεικονίζεται το ισοδύναμο κύκλωμα ενός πραγματικού μετασχηματιστή.



Σχήμα 1.3 Ισοδύναμο κύκλωμα ενός πραγματικού Μ/Σ [4]

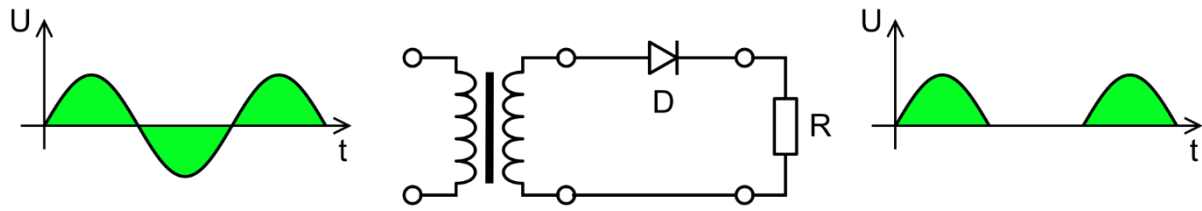
Τα ισοδύναμα κυκλώματα κατασκευάζονται ξεκινώντας από το ιδανικό μοντέλο, προσθέτοντας παθητικά στοιχεία (πυκνωτές, αντιστάσεις, πηνία) ώστε να εξομοιωθούν οι απώλειες.

- Απώλειες χαλκού: Καθώς τα τυλίγματα είναι σύρματα χαλκού παρουσιάζουν αντίσταση στο ρεύμα. Συνεπώς στο ισοδύναμο κύκλωμα οι αντιστάσεις r_1 και r_2 αναπαριστούν την απώλεια αυτή.
- Απώλειες διαρροής: Οφείλονται στη μαγνητική ροή κάθε τυλίγματος που διαρρέει από τον πυρήνα στον αέρα. Συμβολίζονται L_1 και L_2 αντίστοιχα.
- Απώλειες πυρήνα: Οι απώλειες του πυρήνα μοντελοποιούνται με την αντίσταση R_{cl} . Αποτελούνται από τις ακόλουθες επιμέρους απώλειες.
- Απώλειες υστέρησης: Τα σιδηρομαγνητικά υλικά έχουν την ιδιότητα, όταν μαγνητίζονται, να διατηρούν για κάποιο χρονικό διάστημα έναν παραμένοντα μαγνητισμό.
- Απώλειες δινορρευμάτων: Αφού ο πυρήνας αποτελείται από σίδηρο είναι και ο ίδιος ηλεκτρικά αγωγικός. Έτσι λόγω της μαγνητικής ροής επάγονται διαφορές δυναμικού στον ίδιο τον πυρήνα. Οι απώλειες οφείλονται στην ωμική αντίσταση που παρουσιάζει το μέταλλο του (σίδηρος)
- Ρεύμα μαγνήτισης: Η επίδραση του πολύ μικρού ρεύματος που δημιουργεί τη συνολική ροή στον πυρήνα μπορεί να εκφραστεί κυκλωματικά με μια εγκάρσια αυτεπαγωγή L_{m1}

1.1.1.2 Ανόρθωτής

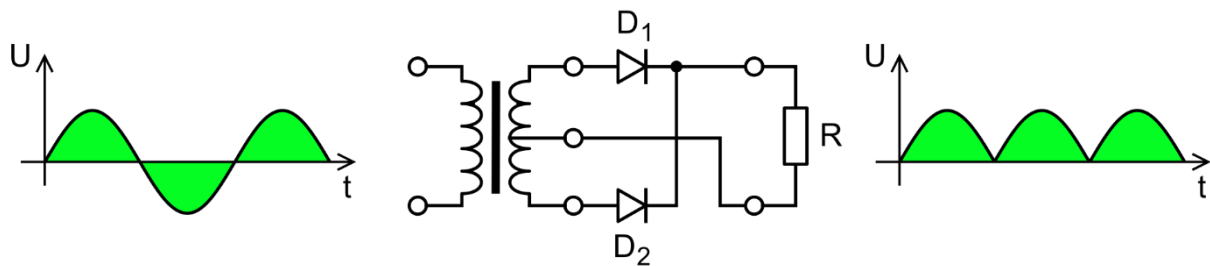
Η ανόρθωση είναι η διαδικασία κατά την οποία τον εναλλασσόμενο ρεύμα μετατρέπεται σε συνεχές [5]. Έτσι το ρεύμα πλέον ρέει προς μία μόνο κατεύθυνση και δεν αντιστρέφει περιοδικά την πολικότητά του. Οι τοπολογίες ανόρθωτή αποτελούν την πιο κοινή χρήση της διόδου. Η διάδος είναι ένα ηλεκτρονικό στοιχείο ημιαγωγού το οποίο επιτρέπει στο ρεύμα να ρέει προς μία μόνο κατεύθυνση. Οι συσκευές ανόρθωσης χωρίζονται σε 3 κατηγορίες:

- Απλή ανόρθωση με την χρήση μιας μόνο διόδου όπως φαίνεται στην Σχήμα 1.4
- Διπλή (πλήρης) ανόρθωση με τη χρήση 2 διόδων και μετασχηματιστή μεσαίας λήψης όπως φαίνεται στην **Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.**
- Πλήρης ανόρθωση με την χρήση 4 διόδων σε συνδεσμολογία γέφυρας όπως απεικονίζεται στην **Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.**

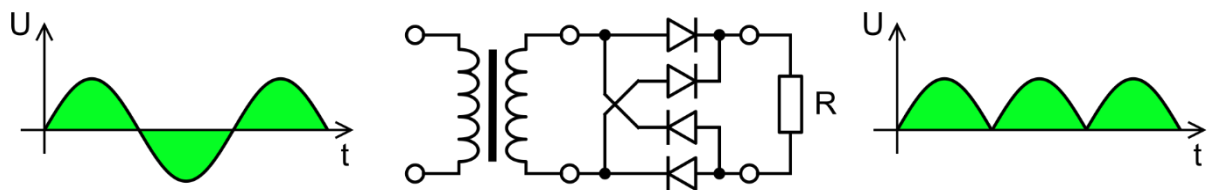


Σχήμα 1.4 Απλή ανόρθωση χρησιμοποιώντας μία διόδο [6]

Η απλή ανόρθωση είναι μη αποδοτική για τις περισσότερες φορές και χρησιμοποιείται σπάνια. Καθώς χάνεται όλο το αρνητικό μέρος της τροφοδοσίας είναι πολύ δύσκολο έως ανέφικτο να φιλτραριστούν οι αρμονικές συνιστώσες της τάσης εξόδου του ανορθωτή.

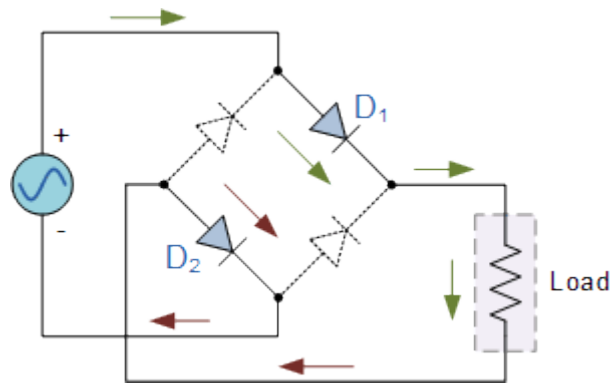


Σχήμα 1.5 Πλήρης ανόρθωση με δύο διόδους [6]

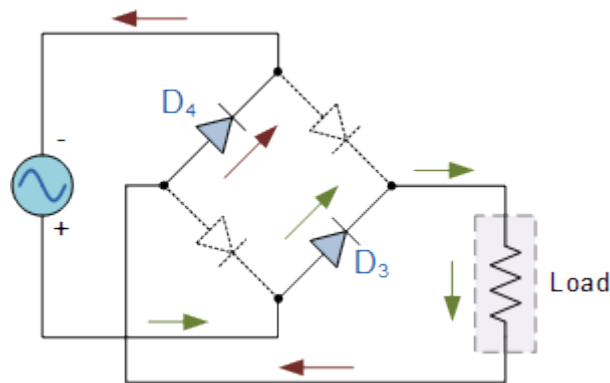


Σχήμα 1.6 Πλήρης ανόρθωση χρησιμοποιώντας 4 διόδους (τοπολογία γέφυρας) [6]

Για την πλήρη ανόρθωση στην πλειοψηφία των εφαρμογών χρησιμοποιείται η τοπολογία γέφυρας καθώς χρειάζεται ένας απλός μετασχηματιστής με μόνο δύο επαφές. Στα παρακάτω διαγράμματα φαίνεται ο τρόπος λειτουργίας του ανορθωτή γέφυρας. Κατά τη διάρκεια της θετικής ημιπεριόδου, οι διόδοι D1 και D2 είναι πολωμένες ορθά και άγουν το ρεύμα. Οι D3 και D4 είναι πολωμένες ανάστροφα. Από την άλλη, κατά τη διάρκεια της αρνητικής ημιπεριόδου στην είσοδο, οι D3 και D4 είναι πολωμένες ορθά και άγουν το ρεύμα. Οι D1 και D2 είναι πολωμένες ανάστροφα. Καθώς οι δύο διόδοι που άγουν, σε κάθε περίπτωση, είναι σε σειρά συνδεδεμένες με το φορτίο η τάση εξόδου είναι 1.4V μικρότερη της τάσης εισόδου του ανορθωτή. Παράλληλα οι διόδοι που είναι ανάστροφα πολωμένες άγουν 0.7V.



Σχήμα 1.7 Λειτουργία κατά τη θετική ημιπερίοδο [7]



Σχήμα 1.8 Λειτουργία κατά την αρνητική ημιπερίοδο [7]

1.1.1.3 Εξομάλυνση τάσης (φίλτρο)

Τα φίλτρα τροφοδοτικών χρησιμοποιούνται για να μειώνουν σημαντικά τις διακυμάνσεις της τάσης εξόδου ενός ημιανορθωτή ή ανορθωτή πλήρους κύματος έτσι ώστε στην έξοδο του τροφοδοτικού να παράγεται μία σχεδόν σταθερή τάση. Το φιλτράρισμα επιτυγχάνεται με έναν ή περισσότερους ηλεκτρολυτικούς πυκνωτές. Ο λόγος που χρησιμοποιούνται ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές είναι επειδή χρειαζόμαστε μεγάλη χωρητικότητα. Για εφαρμογές υψηλής ισχύος χρησιμοποιούνται χαμηλοπερατά φίλτρα πηνίου-πυκνωτή.

Στο Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε. βλέπουμε πως λειτουργεί ένα απλό φίλτρο πυκνωτή. Ο πυκνωτής ξεκινά να φορτίζεται από την χρονική στιγμή $t=0$ μέχρι η τάση εξόδου του ανορθωτή να φτάσει στο μέγιστο. Στο δεύτερο μισό της θετικής ημιπεριόδου (η περίοδος ανάμεσα στα δύο μπλε βέλη) η τάση εξόδου μειώνεται και ο πυκνωτής ξεκινά να αποφορτίζεται πάνω στο φορτίο που υπάρχει συνδεδεμένο όπως φαίνεται στο **Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.** Ο πυκνωτής συνεχίζει να αποφορτίζεται μέχρι η τάση εξόδου του ανορθωτή ξεπεράσει την τάση του πυκνωτή. Οπότε ο κύκλος

επαναλαμβάνεται από την αρχή. Εδώ εντοπίζουμε και τη διαφορά μεταξύ του ανορθωτή πλήρους κύματος και του ημιανορθωτή. Στην περίπτωση που είχαμε απλή ανόρθωση ο πυκνωτής θα αποφορτιζόταν σε πολύ χαμηλότερα επίπεδα και θα είχαμε μεγάλη κυμάτωση τάσης. Η κυμάτωση τάσης ισούται με:

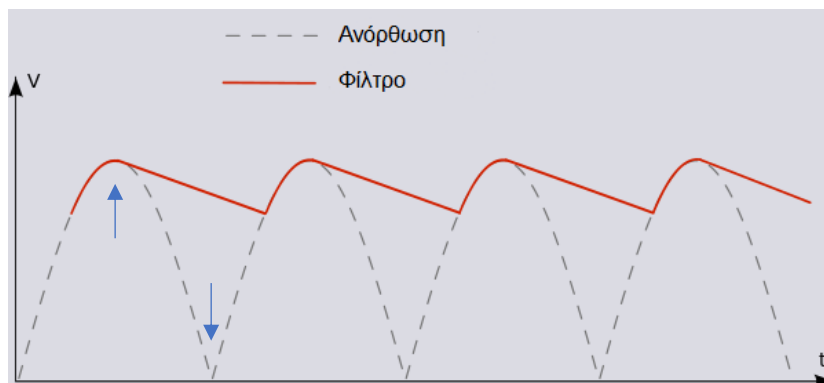
$$V_{pp} = \frac{I}{2fC} \quad (1.5)$$

όπου: V_{pp} η τάση από κορυφή σε κορυφή

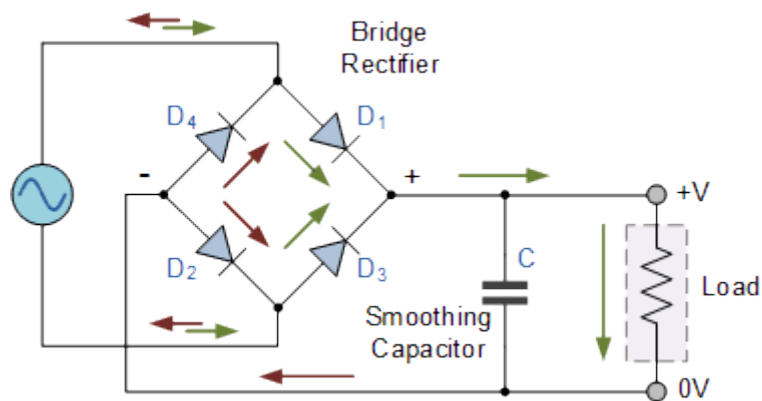
I το ρεύμα που διαρρέει το κύκλωμα

f η συχνότητα της πηγής

C η χωρητικότητα του πυκνωτή



Σχήμα 1.9 Κυματισμός τάσης μετά την πλήρη ανόρθωση και μετά το φίλτρο



Σχήμα 1.10 Κύκλωμα ανορθωτή γέφυρας μαζί με πυκνωτή εξομάλυνσης τάσης [7]

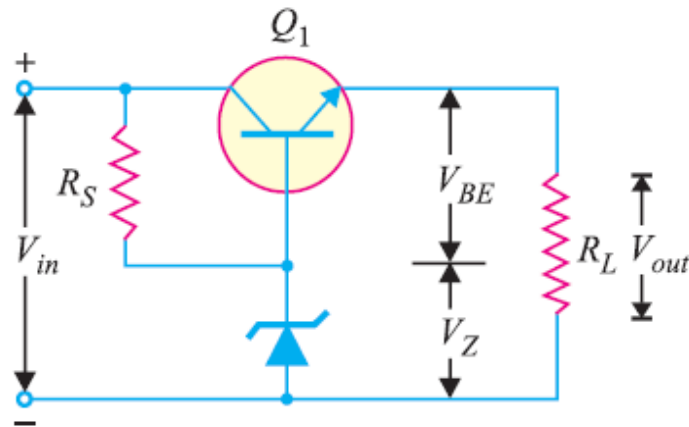
1.1.1.4 Σταθεροποιητής

Οι σταθεροποιητές τάσης είναι συνήθως ολοκληρωμένα κυκλώματα σχεδιασμένα εστί ώστε να αποδίδουν σταθερή τάση εξόδου. Ο ρόλος του σταθεροποιητή είναι να εξαλείφει κάθε κυμάτωση που απομένει από τον πυκνωτή εξομάλυνσης και να αποδίδει μία σταθερή τάση εξόδου. Οι σταθεροποιητές τάσης μπορούν να δουλεύουν είτε με συνεχές είτε με εναλλασσόμενο ρεύμα. Συγκεκριμένα, για την περίπτωση του συνεχούς ρεύματος οι πιο δημοφιλείς σταθεροποιητές είναι αυτοί που περιέχουν τουλάχιστον ένα ενεργό στοιχείο όπως το τρανζίστορ ή τελεστικό ενισχυτή. Διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, στους γραμμικούς σταθεροποιητές και στους switching σταθεροποιητές. Στο παρόν κεφάλαιο θα γίνει αναφορά μόνο στους γραμμικούς σταθεροποιητές τάσης. Οι εν λόγω σταθεροποιητές χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, σύμφωνα με τον τρόπο σύνδεσης και κατ' επέκταση λειτουργίας του τρανζίστορ. Έτσι κατηγοριοποιούνται σε σταθεροποιητές εν σειρά και σε σταθεροποιητές τύπου shunt. Στις παρακάτω εικόνες απεικονίζονται οι διαφορετικές τοπολογίες. Και οι δύο τύποι μπορούν να κατασκευαστούν χρησιμοποιώντας διακριτά στοιχεία, χωρίς δηλαδή τη χρήση κάποιας τεχνολογίας κατασκευής ολοκληρωμένων κυκλωμάτων.

Στο σταθεροποιητή όπου το τρανζίστορ συνδέεται σε σειρά με την γραμμή τροφοδοσίας, η τάση στην βάση του τρανζίστορ παραμένει σχετικά σταθερή λόγω της διόδου Ζένερ. Άρα η τάση εξόδου είναι ίση με:

$$V_{out} = V_Z - V_{BE}$$

Αφού η τάση της διόδου είναι σταθερή, όταν μειώνεται η τάση εξόδου τότε αυξάνεται η τάση V_{BE} η οποία με την σειρά της κάνει το τρανζίστορ να άγει περισσότερο, αυξάνοντας έτσι την τάση εξόδου. Αντίστοιχα όταν η τάση εξόδου αυξάνεται, μειώνεται η τάση στη βάση του τρανζίστορ το οποίο άγει λιγότερο. Με αυτόν τον τρόπο η τάση εξόδου παραμένει σταθερή.



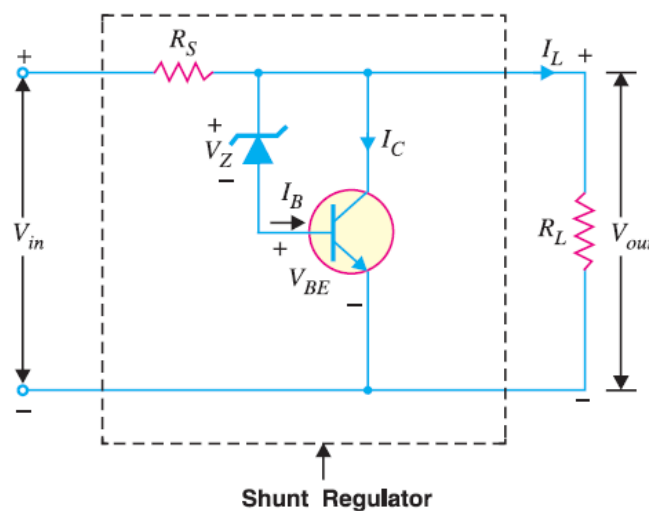
Σχήμα 1.11 Γραμμικός σταθεροποιητής εν σειρά [8]

Στο σταθεροποιητή τύπου shunt, η πτώση τάσης στην αντίσταση R_S εξαρτάται από το ρεύμα που διαρρέει το φορτίο. Η τάση εξόδου είναι ίση με:

$$V_{out} = V_Z + V_{BE}$$

Αν η αντίσταση του φορτίου μειωθεί, το ρεύμα που ρέει στην βάση του τρανζίστορ μειώνεται. Ως αποτέλεσμα αυτού, τότε λιγότερο ρεύμα θα ρέει μέσω του τρανζίστορ στην γείωση. Έτσι το ρεύμα στο φορτίο αυξάνεται και η τάση εξόδου διατηρείται σταθερή. Σε περίπτωση που η αντίσταση του φορτίου αυξάνεται συμβαίνει ακριβώς το αντίθετο. Με αυτόν τον τρόπο η τάση εξόδου παραμένει σταθερή.

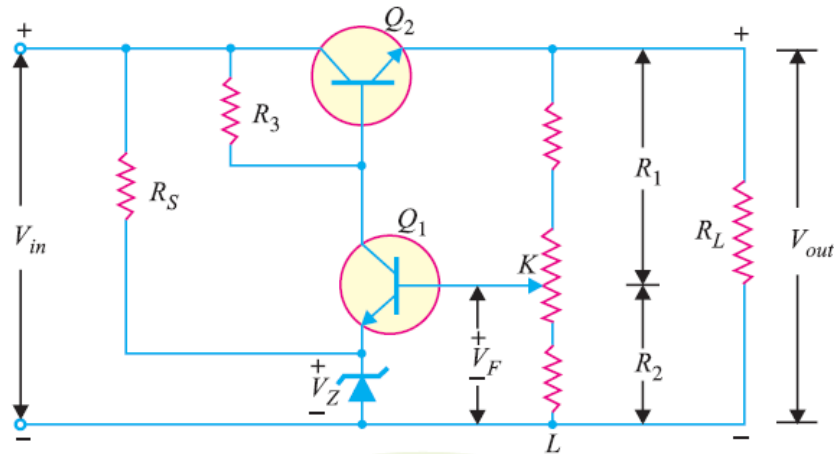
Δύο μεγάλα μειονεκτήματα αυτής της τοπολογίας είναι ότι ένα μεγάλο ποσοστό της ισχύος χάνεται πάνω στην αντίσταση R_S και δεν υπάρχει προστασία έναντι της υπέρτασης. Για τους λόγους αυτούς η χρήση της συγκεκριμένης διάταξης δεν προτιμάται.



Σχήμα 1.12 Γραμμικός σταθεροποιητής τύπου shunt [9]

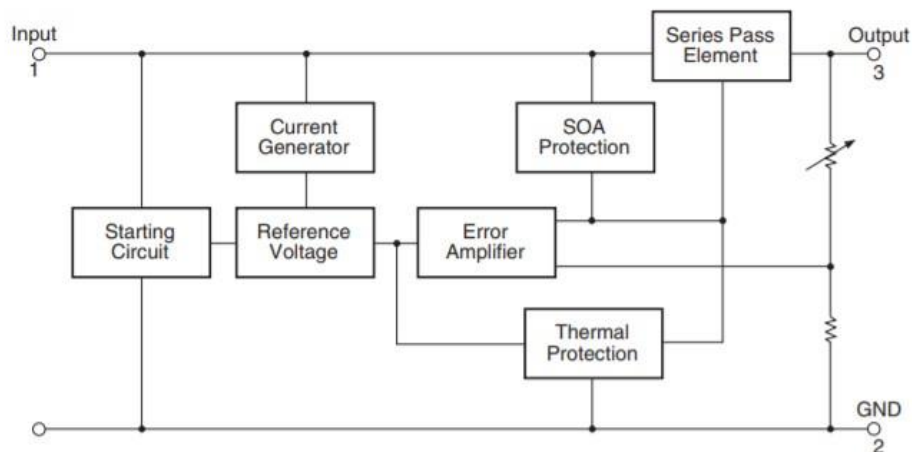
Μία σημαντική εξέλιξη της τοπολογίας εν σειρά είναι όταν προστέθηκε ένα κύκλωμα αρνητικής ανάδρασης. Με αυτόν τον τρόπο επετεύχθη η διατήρηση σταθερής τάσης εξόδου ανεξαρτήτως του φορτίου.

Στην περίπτωση που η τάση εξόδου αυξηθεί, τότε η διάφορα δυναμικού μεταξύ των σημείων KL (R_2) αυξάνεται ακολούθως. Άρα η τάση στην βάση του τρανζίστορ αυξάνεται, γεγονός το οποίο σημαίνει πως και το ρεύμα στο συλλέκτη μεγαλώνει. Αυτό με τη σειρά του προκαλεί μείωση του ρεύματος στη βάση του Q_2 αφού καταναλώνεται πάνω στην αντίσταση R_3 . Τελικά, το τρανζίστορ Q_2 αποδίδει τη λιγότερη τάση εξόδου. Η λειτουργία είναι παρόμοια και στην περίπτωση που η τάση εξόδου μειώνεται.



Σχήμα 1.13 Γραμμικός σταθεροποιητής εν σειρά με ανάδραση [10]

Τέλος, αξίζει να αναφερθεί ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα γραμμικού σταθεροποιητή ο οποίος δουλεύει εν σειρά. Για το λόγο αυτό επιλέχθηκε το δημοφιλές chip LM7805 [11] το οποίο έχει σταθερή τάση εξόδου 5V. Για να μπορεί να λειτουργήσει αξιόπιστα η τάση εισόδου θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 7.5V. Τα συγκεκριμένα κυκλώματα περιλαμβάνουν κύκλωμα προστασίας έναντι υπερθέρμανσης.



Σχήμα 1.14 Μπλοκ διάγραμμα του ολοκληρωμένου σταθεροποιητή LM7805 [11]

1.1.2 Τύποι τροφοδοτικών

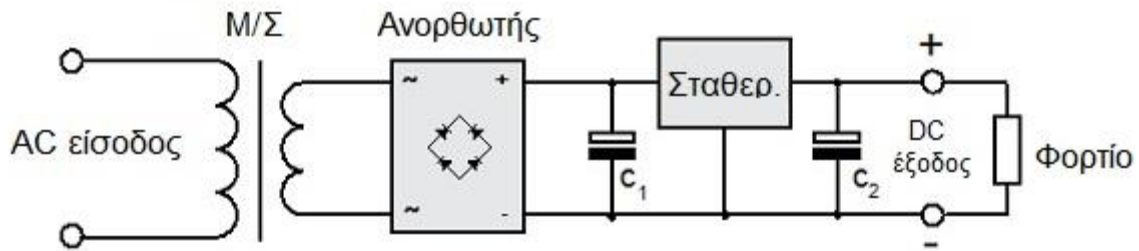
1.1.2.1 Γραμμική λειτουργία

Τα γραμμικά τροφοδοτικά ήταν τα μοναδικά τροφοδοτικά που χρησιμοποιούνταν για τη μετατροπή του εναλλασσόμενου ρεύματος μέχρι τη δεκαετία του 1970. Αν και από τότε η τεχνολογία έχει ωριμάσει δραματικά, ακόμα και σήμερα αποτελούν την καλύτερη επιλογή για εφαρμογές που απαιτούν τροφοδοσία με την ελάχιστη ηλεκτρομαγνητική παρεμβολή, θόρυβο και κυμάτωση τάσης.

Όπως αναλύθηκε στην παραπάνω παράγραφο τα γραμμικά τροφοδοτικά χρειάζονται ένα μετασχηματιστή ο οποίος συνήθως τροφοδοτείται από το ηλεκτρικό δίκτυο, τέσσερις διόδους σε συνδεσμολογία γέφυρας, έναν τουλάχιστον πυκνωτή για την εξομάλυνση της τάσης και ένα σταθεροποιητή τάσης. Συνδέοντας όλα αυτά τα στοιχεία όπως φαίνεται στο **Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.** έχει κατασκευασθεί ένα γραμμικό τροφοδοτικό σταθερής εξόδου. Τα γραμμικά τροφοδοτικά μπορούν να μεταβάλλουν την τάση εισόδου μόνο σε χαμηλότερες τιμές κάτι που μειώνει την ευελιξία που προφέρουν. Παράλληλα δεν προφέρουν παραπάνω από μία έξοδο που σημαίνει ότι πρέπει να προστεθεί ένας καινούριος σταθεροποιητής για να δώσει καινούρια/δεύτερη τιμή τάσης. Καθώς η τάση του δικτύου είναι 230V χρειάζεται ένας μεγάλος μετασχηματιστής ώστε να μειωθεί αρκετά σημαντικά για να μπορεί να τροφοδοτήσει τα σημερινά ηλεκτρονικά που σπανίως απαιτούν περισσότερα από 12V. Παράλληλα, ο Μ/Σ θα πρέπει να μπορεί να αποδώσει και την κατάλληλη ισχύ. Επιπρόσθετα ο σταθεροποιητής τάσης δρα ως μεταβλητή αντίσταση. Αυτό συνεπάγεται ότι μετατρέπει την περίσσια ηλεκτρική ενέργεια σε θερμική ώστε να την αποβάλλει από το κύκλωμα. Η απώλεια της ενέργειας ως θερμότητα μειώνει δραματικά την αποδοτικότητα του τροφοδοτικού που στα σημερινά ηλεκτρονικά είναι ένας από τους πιο σημαντικούς παράγοντες. Σε εφαρμογές υψηλής ισχύος δημιουργούνται προβλήματα ψύξης του κυκλώματος και θα πρέπει να κατασκευαστεί ο κατάλληλος μηχανισμός που θα είναι ικανός να επάγει τις μεγάλες ποσότητες θερμότητας. Έχοντας ήδη έναν μεγάλο Μ/Σ και σύστημα ψύξης το τελικό μέγεθος του τροφοδοτικού είναι πολλές φορές απαγορευτικό για κάποιες εφαρμογές όπως η ελαχιστοποίηση του όγκου και του βάρους είναι κρίσιμα.

Ωστόσο, η ασυναγώνιστα μικρή κυμάτωση και ο θόρυβος στην τάση εξόδου που προσφέρει το γραμμικό τροφοδοτικό το καθιστούν ιδανικό για πληθώρα εφαρμογών όπως:

1. Ενισχυτές χαμηλού θορύβου
2. Επεξεργασία σήματος
3. Εργαστηριακές χρήσεις
4. Κυκλώματα συλλογής δεδομένων (πχ αισθητήρες)
5. Πολυπλέκτες
6. Μετατροπείς αναλογικού σε ψηφιακό σήμα
7. Κυκλώματα ελέγχου



Σχήμα 1.15 Το γραμμικό AC-DC τροφοδοτικό σταθερής τάσης εξόδου

1.1.2.2 Switched-mode τροφοδοτικά

Τα Switched-mode τροφοδοτικά έχουν σχεδιαστεί με στόχο να παρέχουν υψηλή απόδοση σε συνδυασμό με το μικρό τους μέγεθος. Τα Switching τροφοδοτικά συνεχούς ρεύματος ρυθμίζουν την τάση εξόδου μέσω μιας διαδικασίας γνωστής ως διαμόρφωση εύρους πλάτους (pulse width modulation-PWM). Η διαδικασία αυτή επιτρέπει τη χρήση διαφόρων τοπολογιών ως buck, boost, Cuk μετατροπέα, ή flyback ανάλογα με τις ενεργειακές απαιτήσεις της εξόδου. Η PWM διαδικασία αποδίδει θόρυβο υψηλών συχνοτήτων, ωστόσο βοηθά ώστε τα switched-mode τροφοδοτικά να κατασκευασθούν με πολύ υψηλή αποδοτικότητα αλλά και μικρό μέγεθος. Τα switching τροφοδοτικά μπορούν είτε να αυξήσουν ή να μειώσουν την τάση της εισόδου ώστε να ληφθεί η επιθυμητή τάση εξόδου. Επιπλέον, διαθέτει μεγαλύτερη αποδοτικότητα σε σχέση με ένα γραμμικό τροφοδοτικό καθώς το τρανζίστορ που δουλεύει ως διακόπτης καταναλώνει λιγότερη ενέργεια κατά τη λειτουργία του. Ωστόσο, η διακοπτική αυτή λειτουργία μπορεί να παράγει θόρυβο ο οποίος απαιτεί φίλτρο για να μειωθεί.

Έαν ο εξοπλισμός προορίζεται για διεθνή χρήση, η τεχνολογία αυτή λειτουργεί σχεδόν σε όλα τα μέρη του κόσμου εν αντιθέσει με τα γραμμικά τροφοδοτικά στα οποία θα πρέπει σε κάθε περίπτωση να προσαρμόζεται η λειτουργία τους ανάλογα με τις ιδιότητες του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας κάθε χώρας. Άλλες εφαρμογές όπου προτιμάται η χρήση Switched-mode τροφοδοτικών είναι σε τμήματα έρευνας και ανάπτυξης (R&D), σε κατασκευή και έλεγχο εφαρμογών υψηλής ενέργειας, σε συστήματα επικοινωνίας, εξοπλισμούς δικτύου, την ηλεκτροφόρτιση, την ηλεκτρόλυση, σε διαχείριση αποβλήτων, γεννήτριες υδρογόνου, την αεροπλοΐα, και ειδικότερα στη φόρτιση μπαταριών ιόντων λιθίου που προορίζονται για χρήση στην αεροπλοΐα αλλά και άλλα οχήματα, καθώς και τη ναυσιπλοΐα, σε κυψέλες καυσίμου (fuel cells), στη γαλβανική επιμετάλλωση αλλά και την ανοδίοση. Όπως παρατηρείται συναντώνται περισσότερο σε περιπτώσεις όπου ο χρόνος ζωής των μπαταριών αλλά και η θερμοκρασία αποτελούν κρίσιμους παράγοντες.

Ένα switching τροφοδοτικό έχει κάποια κοινά μέρη με τα γραμμικά τροφοδοτικά. Για παράδειγμα, περιλαμβάνουν ανορθωτή και φίλτρο εξομάλυνσης ώστε να μετατρέψουν την εναλλασσόμενη τάση σε συνεχή. Από αυτό το σημείο και μετά τα switching τροφοδοτικά

μετατρέπουν το συνεχές ρεύμα σε συνεχές με διαφορετική όμως τάση. Για αυτόν τον λόγο πολλές φορές φέρουν την ονομασία DC-DC μετατροπείς. Το πιο βασικό τους στοιχείο είναι ένα τρανζίστορ που επιτελεί τον ρόλο ενός διακόπτη. Η συχνότητα που ανοιγοκλείνει είναι περίπου 200kHz-500kHz αν και σε πολλές περιπτώσεις μπορεί να φτάσει μέχρι την τάξη των MHz (1.5MHz). Ο διακόπτης ελέγχεται μέσω του PWM μηχανισμού. Για επιτευχθεί η επιθυμητή τάση εξόδου, όλα τα switching τροφοδοτικά ενσωματώνουν κύκλωμα ανάδρασης το οποίο παρακολουθεί την έξοδο του τροφοδοτικού ώστε να ρυθμίσει κατάλληλα τον ρυθμό που ανοιγοκλείνει ο διακόπτης. Ένα μεγάλο μέρος των switching τροφοδοτικών μπορεί να υλοποιηθεί ως ολοκληρωμένο κύκλωμα μειώνοντας έτσι σημαντικά τον χώρο που καταλαμβάνει το κύκλωμα. Εξωτερικά στοιχεία είναι συνήθως το τρανζίστορ/διακόπτης, τα πηνία και οι πυκνωτές εξομάλυνσης.

Παρακάτω θα αναλυθούν οι τρεις βασικές τοπολογίες των DC-DC switching τροφοδοτικών. Αυτές είναι ο μετατροπέας τύπου buck, ο μετατροπέας τύπου boost και ο μετατροπέας τύπου buck-boost.

Στην **Σφάλμα!** Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε. απεικονίζεται η απλουστευμένη μορφή ενός μετατροπέα buck. Πολλές φορές χρησιμοποιείται και ο όρος step-down καθώς αυτό που κάνει είναι να υποβιβάζει (ελαττώνει) την τάση μεταξύ της εισόδου και εξόδου του. Έτσι, έχει ως είσοδο μια μη σταθεροποιημένη DC τάση και αποδίδει μια σταθεροποιημένη DC τάση [12]. Οι συγκεκριμένοι μετατροπείς τάσης αποτελούνται από τουλάχιστον ένα τρανζίστορ ισχύος, συνήθως MOSFET, μία δίοδο, έναν πυκνωτή και ένα πηνίο.

Οι step-down converters χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές που απαιτείται υψηλή απόδοση. Καθώς η απόδοσή τους φτάνει μέχρι και το 95% χρησιμοποιούνται ευρέως στους υπολογιστές/μητρικές κάρτες ώστε να ελαττώσουν την τάση του τροφοδοτικού (12 ή 5 V) στα 1.8V όπου λειτουργούν ο επεξεργαστής και η RAM.

Η αρχή λειτουργίας του buck μετατροπέα βασίζεται στο αν το τρανζίστορ/διακόπτης είναι κλειστό (άγει) ή στο αν είναι ανοιχτό (δεν άγει). Όταν το τρανζίστορ άγει, η δίοδος D1 πολώνεται ανάστροφα και το ρεύμα εισόδου ρέει προς το φορτίο μέσω του πηνίου L1 φορτίζοντας παράλληλα τον πυκνωτή C1. Από το νόμο του Faraday γνωρίζουμε ότι καθώς το ρεύμα ρέει στο πηνίο αυτό θα εμφανίσει μία τάση αντίθετη από τη φορά του ρεύματος (πτώση τάσης). Η τάση αυτή καθώς έχει αντίθετη φορά από την τάση εισόδου, μειώνει την τάση στα άκρα του φορτίου. Αυτή η διεργασία θα συνεχιστεί μέχρι να το πηνίο να βρεθεί σε μία σταθερή κατάσταση και να έχει αποθηκεύσει τη μέγιστη δυνατή ενέργεια. Συνεπώς, ο ρυθμός μεταβολής του ρεύματος στο πηνίο μειώνεται με την πάροδο του χρόνου, η αντίθετη τάση που εμφανίζει το πηνίο μειώνεται άρα η τάση που φτάνει στο φορτίο αυξάνεται. Αν ο διακόπτης σταματήσει να άγει κατά την διάρκεια που το πηνίο φορτίζεται, τότε θα υπάρχει μόνιμα μία πτώση τάσης στο πηνίο και η τάση εξόδου θα είναι πάντοτε μικρότερη της τάσης εισόδου. Ανοίγοντας λοιπόν το διακόπτη και σταματώντας την τροφοδοσία του κυκλώματος το ρεύμα εισόδου θα μειωθεί. Αυτή η μείωση θα προκαλέσει στο πηνίο μια δεύτερη πτώση τάσης αντίθετη της πρώτης. Σε αυτό το σημείο η δίοδος πολώνεται ορθά κλείνοντας το κύκλωμα και

έτσι το ρεύμα συνεχίζει να ρέει μέσω του φορτίου προς την ίδια κατεύθυνση. Άρα πλέον το πηνίο συμπεριφέρεται ως πηγή ρεύματος έχοντας την ίδια φορά όπως η εξωτερική πηγή. Αν ο διακόπτης κλείσει πριν το πηνίο αποφορτιστεί πλήρως, τότε η τάση στα άκρα του φορτίου θα είναι πάντοτε μεγαλύτερη του μηδενός. Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί ότι το πηνίο και ο πυκνωτής αποτελούν ένα χαμηλοπερατό φίλτρο όπου απαλείφονται ο κυματισμός της τάσης εξόδου προσφέροντας έτσι μία σταθερή έξοδο. Ο παραπάνω κύκλος επαναλαμβάνεται διαρκώς προσφέροντας μία σταθερή τάση τροφοδοσίας στο φορτίο. Η συχνότητα που ανοιγοκλείνει ο διακόπτης καθορίζει και την τιμή της τάσης εξόδου του τροφοδοτικού. Η αναλογία μεταξύ του χρόνου που ο διακόπτης είναι κλειστός t_{on} και του χρόνου που ο διακόπτης είναι ανοιχτός t_{off} , λέγεται κύκλος λειτουργίας (duty cycle) και συμβολίζεται με το γράμμα D . Στο **Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.** απεικονίζεται η PWM κυματομορφή και ο κύκλος λειτουργίας.

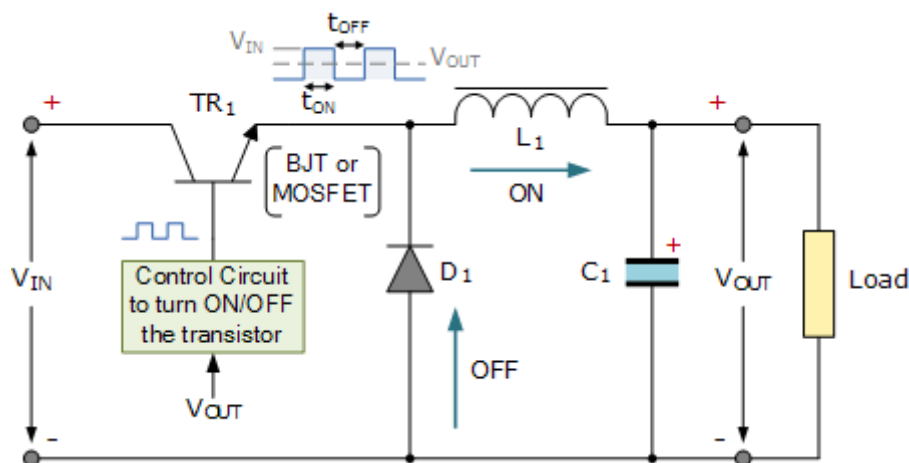
Συνεπώς:

$$V_{out} = \frac{t_{on}}{(t_{on}+t_{off})} V_{in} \quad (1.5)$$

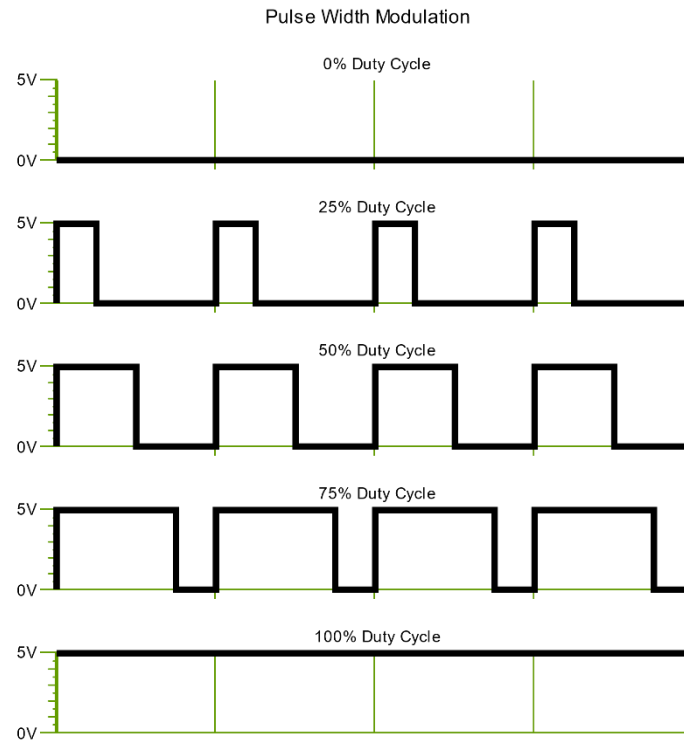
$$D = \frac{t_{on}}{(t_{on}+t_{off})} = \frac{t_{on}}{T} \quad (1.6)$$

$$D = \frac{V_{out}}{V_{in}} \rightarrow V_{out} = DV_{in} \quad (1.7)$$

Άρα, μεγάλος κύκλος λειτουργίας ($t_{on} > t_{off}$) συνεπάγεται μεγάλη τάση εξόδου. Από τις παραπάνω σχέσεις προκύπτει ότι η τάση εξόδου δεν θα γίνει ποτέ μεγαλύτερη από την τάση εισόδου καθώς το D δεν μπορεί να γίνει ίσο με 1.



Σχήμα 1.16 Buck-converter [13]



Σχήμα 1.17 Διαμόρφωση εύρους πλάτους

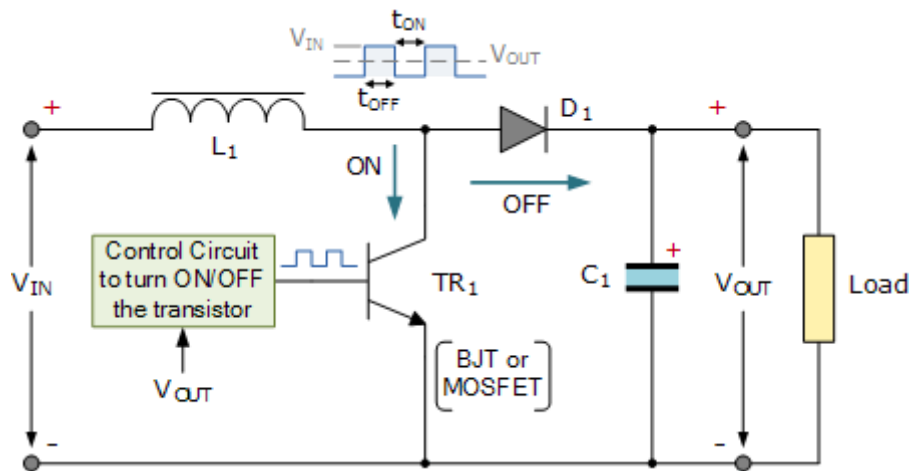
Αντιθέτως, ο μετατροπέας boost επιτελεί την αντίστροφη λειτουργία από έναν buck μετατροπέα καθώς η έξοδος του έχει υψηλότερη τάση από ότι η είσοδος του και για αυτόν τον λόγο χρησιμοποιείται και ο όρος step-up converter. Στην **Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.** παρουσιάζεται μια απλή εκδοχή του μετατροπέα τύπου boost. Όπως και προηγουμένως, τα στοιχεία που απαρτίζουν την συσκευή είναι τα ίδια, αλλά με διαφορετική συνδεσμολογία.

Η αρχή λειτουργίας είναι παρόμοια με αυτή του buck μετατροπέα. Η βασική διαφορά είναι ότι το τρανζίστορ/διακόπτης συνδέεται παράλληλα στην πηγή εξόδου και στο φορτίο. Με αυτόν τον τρόπο η ηλεκτρική ενέργεια ρέει μέσω του πηνίου στο φορτίο μόνο όταν ο διακόπτης είναι ανοιχτός (δεν άγει). Όταν ο διακόπτης είναι κλειστός, το ρεύμα ρέει μέσω του πηνίου και του τρανζίστορ πίσω στην πηγή. Καθ' όλη αυτή την διάρκεια το πηνίο αποθηκεύει ενέργεια. Ανοίγοντας τον διακόπτη το ρεύμα μειώνεται καθώς αυξάνεται η σύνθετη αντίσταση. Το μαγνητικό πεδίο του πηνίου θα μετατραπεί σε ηλεκτρική ενέργεια ώστε να διατηρηθεί η ροή του ηλεκτρικού ρεύματος προς το φορτίο. Συνεπώς το πηνίο εμφανίζει μία πτώση τάσης με ίδια φορά όπως η τάση της πηγής. Έτσι, το κύκλωμα ουσιαστικά περιλαμβάνει δύο πηγές ρεύματος συνδεδεμένες σε σειρά. Ο πυκνωτής φορτίζεται μέσω της διόδου, ενώ παράλληλα τροφοδοτείται και το φορτίο. Όταν ο διακόπτης ξανακλείσει η διόδος πολώνεται ανάστροφα και ο πυκνωτής ξεκινά να αποφορτίζεται πάνω στο φορτίο διατηρώντας σταθερή την τάση εξόδου. Αν αυτή η εναλλαγή μεταξύ ανοιχτού και κλειστού διακόπτη γίνεται τόσο γρήγορα ώστε να το πηνίο να μην αποφορτίζεται πλήρως, το φορτίο θα βλέπει μία τάση υψηλότερη από αυτή της πηγής [12].

Όπως και πριν η τάση εξόδου καθορίζεται από τον κύκλο λειτουργίας.

Έχουμε:

$$V_{out} = V_{in} \frac{1}{(1-D)} \quad (1.8)$$



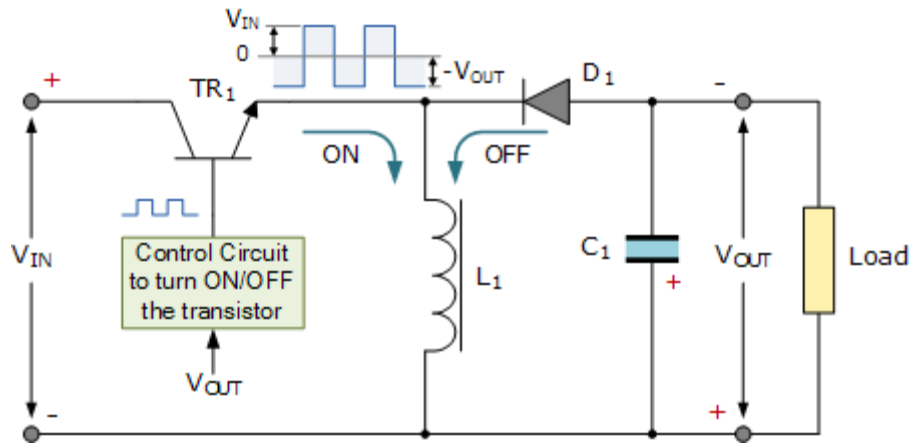
Σχήμα 1.18 Boost converter [13]

Τέλος, υπάρχει και ο buck-boost μετατροπέας ο οποίος συνδυάζει την λειτουργικότητα των δύο παραπάνω. Έτσι μπορεί να αποδίδει μεγαλύτερη ή μικρότερη τάση εξόδου σε σχέση με την είσοδο, αναλόγως με το πως οδηγείται το τρανζίστορ/διακόπτης. Στην **Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.** παρουσιάζεται η απλουστευμένη εκδοχή του. Όπως και στις δύο προηγούμενες περιπτώσεις τα στοιχεία είναι τα ίδια, έχοντας όμως διαφορετική συνδεσμολογία. Η μόνη διαφορά είναι ότι χρησιμοποιούνται στοιχεία με μεγαλύτερες ανοχές σε ρεύμα και τάση κάτι που αυξάνει το τελικό μέγεθος και κόστος του τροφοδοτικού [12].

Όταν το τρανζίστορ/διακόπτης είναι κλειστός, το πηνίο αποθηκεύει ενέργεια από την πηγή. Η δίοδος είναι ανάστροφα πολωμένη άρα το φορτίο τροφοδοτείται μόνο από την ενέργεια που έχει αποθηκευτεί στον πυκνωτή. Όταν όμως ο διακόπτης ανοίξει, η δίοδος πολώνεται ορθά και η ενεργεία που είχε αποθηκευτεί στο πηνίο μετατρέπεται σε ηλεκτρική ώστε να τροφοδοτηθεί το φορτίο και να φορτιστεί ο πυκνωτής. Έτσι η τάση στα άκρα του φορτίου είναι ίση με την τάση του πηνίου. Συνεπώς η τιμή της τάσης εξόδου μπορεί να είναι μικρότερη ή μεγαλύτερη της τάσης εξόδου και εξαρτάται από τον κύκλο λειτουργίας.

Άρα:

$$D = \frac{V_o}{(V_o - V_i)} \rightarrow V_{out} = V_{in} \frac{D}{(1-D)} \quad (1.9)$$

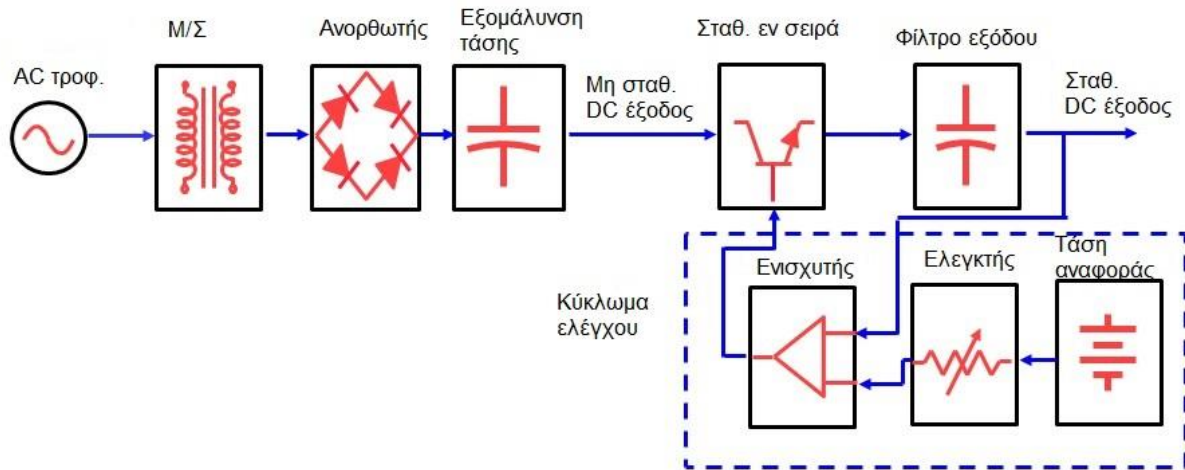


Σχήμα 1.19 Buck-boost converter [13]

1.1.2.3 Σύγκριση μεταξύ γραμμικών και switching τροφοδοτικών

Η δομή ενός γραμμικού τροφοδοτικού το οποίο έχει την δυνατότητα να παράγει διαφορετική τάση εξόδου απεικονίζεται στο **Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε..** Όπως αναφέρθηκε και πριν το γραμμικό τροφοδοτικό αποτελείται από τα παρακάτω στοιχεία:

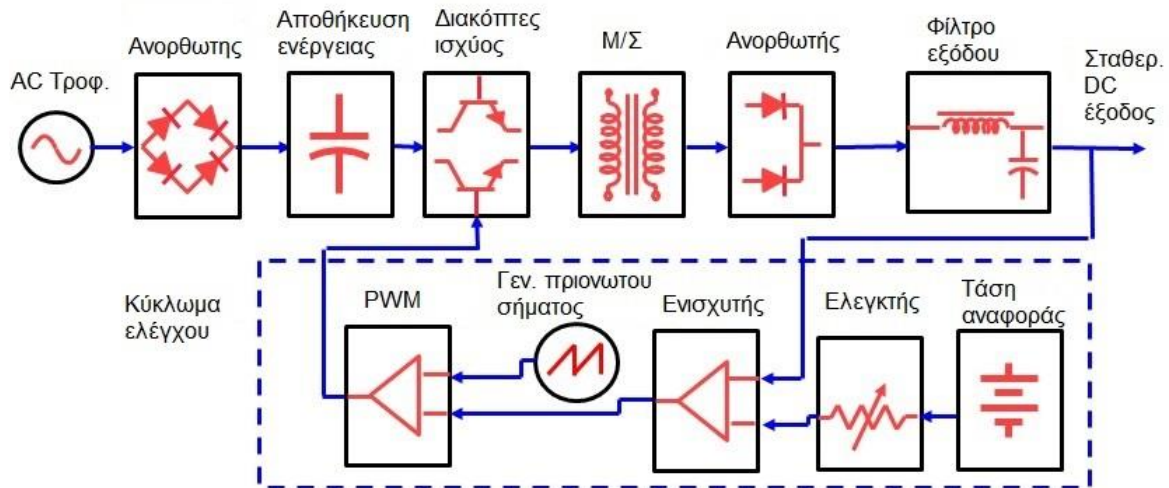
1. Το μετασχηματιστή ο οποίος μειώνει την AC τάση του δικτύου παροχής σε μια τιμή ανάλογη της μέγιστης τάσης που θα αποδίδει το τροφοδοτικό. Π.χ. αν η μέγιστη τάση εξόδου του τροφοδοτικού είναι 30 V ο Μ/Σ θα πρέπει να έχει τάση εξόδου περίπου 40-45V.
2. Η εναλλασσόμενη τάση μετατρέπεται σε συνεχής μέσω του ανορθωτή. Σχεδόν όλα τα σημερινά τροφοδοτικά έχουν ανορθωτή γέφυρας.
3. Στο επόμενο στάδιο χρησιμοποιούνται ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές μεγάλης χωρητικότητας ώστε να εξομαλύνουν την τάση εξόδου του ανορθωτή. Μέχρι αυτή την βαθμίδα υφίσταται ένα μη σταθεροποιημένο τροφοδοτικό.
4. Ακολουθεί η βαθμίδα σταθεροποίησης της τάσης σε μία τιμή που έχει επιλεγθεί. Ο σταθεροποιητής συνήθως ακολουθεί μια τοπολογία τρανζίστορ εν σειρά.
5. Στην περίπτωση που το τροφοδοτικό είναι ρυθμιζόμενο, όπως αυτό του παρακάτω διαγράμματος, υπάρχει μία έξτρα βαθμίδα ελέγχου. Τυπικά αποτελείται από έναν ενισχυτή σφάλματος ο οποίος συγκρίνει την τάση εξόδου με μια τάση αναφοράς (η επιθυμητή τάση εξόδου που έχει επιλεγθεί από τον χρήστη).
6. Τέλος, στο στάδιο εξόδου του τροφοδοτικού υπάρχει ένα χαμηλοπερατό φίλτρο ώστε να μειωθεί στο ελάχιστο ο κυματισμός τάσης.



Σχήμα 1.20 Τυπικό γραμμικό τροφοδοτικό με δυνατότητα ρύθμισης της τάσης εξόδου [14]

Στο Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε. απεικονίζεται η δομή ενός switching τροφοδοτικού το οποίο έχει ρυθμιζόμενη τάση εξόδου. Ένα switching τροφοδοτικό έχει πιο πολύπλοκη δομή από ένα γραμμικό και αποτελείται από τα παρακάτω στοιχεία/βαθμίδες.

1. Όπως και στα γραμμικά τροφοδοτικά υπάρχει ένας Μ/Σ, ο ανορθωτής και φίλτρα εξομάλυνσης τάσης ώστε να υπάρχει ως είσοδος στις επόμενες βαθμίδες μία DC τάση. Από αυτό το σημείο και έπειτα το τροφοδοτικό είναι ένας μετατροπέας DC σε DC.
2. Στο επόμενο στάδιο του τροφοδοτικού υπάρχουν τρανζίστορ, συνήθως MOSFET, τα οποία λειτουργούν ως διακόπτες. Ανοιγοκλείνουν με συχνότητα δεκάδων ή και εκατοντάδων kHz ώστε να αποδώσουν μία εναλλασσόμενη υψηλή τάση στο επόμενο στάδιο. Η κυματομορφή αυτής της τάσης είναι τύπου παλμών.
3. Ένας Μ/Σ δέχεται στο πρωτεύον πηνίο του την παλμική τάση των διακοπών και την μειώνει κοντά στα επίπεδα της τάσης εξόδου του τροφοδοτικού.
4. Η έξοδος του Μ/Σ συνδέεται με έναν ανορθωτή ώστε να έχουμε πλέον συνεχές ρεύμα. Και πάλι η κυματομορφή έχει παλμούς.
5. Ένα ισχυρό χαμηλοπερατό φίλτρο πηνίου-πυκνωτή βρίσκεται πριν την έξοδο του τροφοδοτικού ώστε να απαλειφθούν οι παλμοί και η τάση εξόδου να έχει μία σταθερή τιμή.
6. Όπως και στο γραμμικό τροφοδοτικό, για να έχουμε ρυθμιζόμενη τάση υπάρχει ένα κύκλωμα ελέγχου που δουλεύει ακριβώς με τον ίδιο τρόπο.
7. Για να αλλάξει η τάση εξόδου ρυθμίζεται αντιστοίχως η συχνότητα που ανοιγοκλείνουν οι διακόπτες ισχύος. Η έξοδος του ενισχυτή σφάλματος μετατρέπεται μέσω της τεχνικής PWM σε ένα σήμα το οποίο οδηγεί τις πύλες των τρανζίστορ/διακοπών.



Σχήμα 1.21 Τυπική δομή ενός switching τροφοδοτικού [15]

Πίνακας 1.1 Σύγκριση μεταξύ γραμμικών και switching τροφοδοτικών

Τροφοδοτικό	Γραμμικό	Switching
Μέγεθος	Ογκώδες και βαρύ	Μικρό και ελαφρύ
Αποδοτικότητα	30-50%	70-95%
Πολυπλοκότητα	Απλό	Πολύπλοκο
Κυματισμός τάσης	0.25-1.5 mV	10-25 mV
Θόρυβος	20 mV	50-200 mV
Ηλεκτρομαγνητική παρεμβολή	Ελάχιστος θόρυβος	Υψηλός θόρυβος (απαιτούνται φίλτρα)
Κόστος	Υψηλό	Μικρό

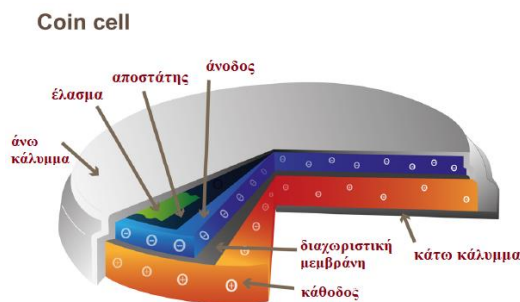
1.2 Μπαταρίες

Στο σύγχρονο κόσμο, οι ραγδαία αναπτυσσόμενες ενεργειακές απαιτήσεις επιτάσσουν αναγκαία την εύρεση πόρων αλλά και συσκευών αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας. Οι μπαταρίες βρίσκονται στο προσκήνιο της τεχνολογίας ως συσκευές αποθήκευσης ηλεκτροχημικής ενέργειας και χρησιμοποιούνται εκτενώς σε εφαρμογές όπως στην αυτοκίνηση (ηλεκτρική και μη), σε συσκευές επικοινωνίας και τεχνολογίας όπως τα κινητά τηλέφωνα και οι φορητοί υπολογιστές αντιστοίχως, καθώς και σε μία πληθώρα ακόμη περιπτώσεων στην καθημερινότητα. Ανάλογα με την εφαρμογή προσαρμόζεται κατ' επέκταση το μέγεθος και το σχήμα τους, από μικρά μεγέθη τα οποία χρησιμοποιούνται ως πηγή ενέργειας

στα ρολόγια χειρός και τα ακουστικά βαρηκοΐας για παράδειγμα έως πολύ μεγάλα μεγέθη τα οποία χρησιμοποιούνται στην αυτοκίνηση [16].

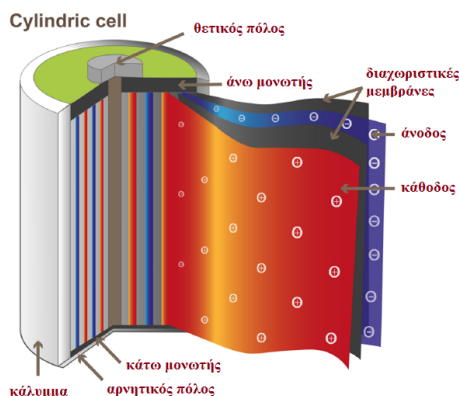
Η μπαταρία αποτελεί ένα σύστημα στο οποίο η χημική ενέργεια μετατρέπεται απευθείας σε ηλεκτρική. Κατά τη διάρκεια της μετατροπής αυτής, λαμβάνει χώρα μία σειρά οξειδοαναγωγικών αντιδράσεων. Τα βασικά δομικά στοιχεία από τα οποία αποτελείται είναι η άνοδος, η κάθοδος, ο ηλεκτρολύτης και η διαχωριστική μεμβράνη. Η άνοδος, αποτελεί το ηλεκτρόδιο από το οποίο απελευθερώνονται ηλεκτρόνια κατά την εκφόρτιση, δηλαδή οξειδώνεται (αρνητικός πόλος) ενώ η κάθοδος κατά την ίδια διαδικασία ανάγεται και απορροφά τα ηλεκτρόνια (θετικός πόλος). Ο ηλεκτρολύτης, επιτρέπει τη μεταφορά των ιόντων μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων και διατηρεί την ισορροπία μεταξύ των φορτίων. Για το λόγο αυτό, απαιτείται υψηλή ιοντική αγωγιμότητα. Τέλος, ο ρόλος της διαχωριστικής μεμβράνης είναι να απομονώνει τα ηλεκτρόδια και συγκεκριμένα την κίνηση των ηλεκτρονίων μεταξύ αυτών, αλλά ταυτόχρονα να επιτρέπει στα ιόντα να κινούνται ελεύθερα. Τα ηλεκτρόνια κινούνται μέσω ενός εξωτερικού κυκλώματος.

Οι πιο συνήθεις τύποι κελιών είναι η μπαταρία τύπου νομίσματος (coin cell) και η κυλινδρική μπαταρία (cylindric cell), όπως φαίνονται στις παρακάτω εικόνες. Στην πρώτη περίπτωση, η κάθοδος διαχωρίζεται από την άνοδο μέσω μίας πορώδους μεμβράνης και τα δύο ηλεκτρόδια συμπίεζονται μαζί με τη χρήση ενός ελάσματος.



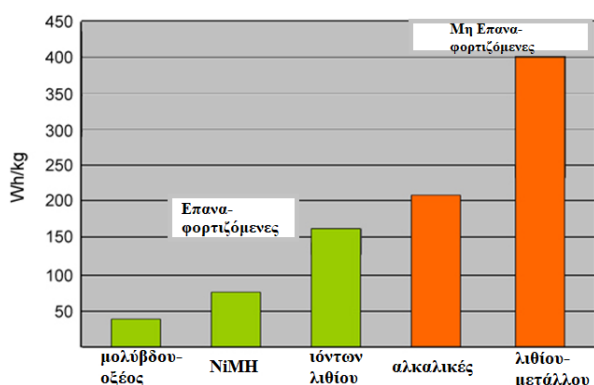
Σχήμα 1.22 Σχηματική απεικόνιση της coin cell διαμόρφωσης [17]

Η κυλινδρική μπαταρία αποτελεί και την πιο εμπορική μορφή σε αυτήν την περίπτωση. Η συγκεκριμένη διαμόρφωση αποτελείται κυρίως από τα ηλεκτρόδια της ανόδου και της καθόδου τα οποία διαχωρίζονται από την πορώδη μεμβράνη και τυλίγονται ώστε να λάβουν την τελική αυτή μορφή. Ο λόγος που ο τύπος αυτός προτιμάται και είναι πιο ευρέως χρησιμοποιούμενος, είναι λόγω της εύκολης κατασκευής και της πολύς καλής μηχανικής αντοχής [17]



Σχήμα 1.23 Σχηματική απεικόνιση της κυλινδρικής διαμόρφωσης [17]

Ανάλογα με την αντιστρεψιμότητα της οξειδοαναγωγικής αντίδρασης, κατηγοριοποιούνται σε πρωτεύοντα και δευτερεύοντα στοιχεία, τα οποία αναλύονται εκτενώς στη συνέχεια. Στο παρακάτω διάγραμμα, συγκρίνονται ενδεικτικά οι ειδικές ενέργειες (οι οποίες εκφράζουν τη χωρητικότητα της εκάστοτε μπαταρίας ανά κιλό) ορισμένων τύπων πρωτεύοντων και δευτερεύοντων στοιχείων.



Σχήμα 1.24 Σύγκριση της ειδικής ενέργειας για διάφορους τύπους [18]

1.2.1 Μη επαναφορτιζόμενες μπαταρίες (πρωτεύοντα στοιχεία)

Τα πρωτεύοντα στοιχεία (primary μπαταρίες) δεν είναι επαναφορτιζόμενα, καθώς η ηλεκτροχημική αντίδραση που συμβαίνει είναι μη αναστρέψιμη με αποτέλεσμα να απορρίπτονται μετά την αποφόρτισή τους. Κοινό παράδειγμα αποτελεί η αλκαλική μπαταρία η οποία χρησιμοποιείται εκτενώς στην καθημερινότητα σε πληθώρα φορητών ηλεκτρονικών συσκευών. Είναι ιδανικές σε περιπτώσεις όπου απαιτείται περιστασιακή παροχή ενέργειας, όχι όμως σε συστηματική χρήση καθώς ανεβαίνει το κόστος χρήσης. Στα πλαίσια ενός γενικότερου κανόνα, τα πρωτεύοντα στοιχεία συγκρατούν υψηλότερη ενέργεια σε σχέση με τα

δευτερεύοντα ενώ μπορούν να χρησιμοποιηθούν απευθείας χωρίς να χρειάζεται να προηγηθεί φόρτιση. Κατέχουν εξαιρετικό ρόλο σε εφαρμογές όπου πρακτικά η φόρτιση καθίσταται αδύνατη, όπως για παράδειγμα σε στρατιωτικές εφαρμογές, αποστολές διάσωσης και πυρόσβεσης. Επίσης χρησιμοποιούνται και σε μετρητές πίεσης για τα λάστιχα των αυτοκινήτων, σε ρολόγια χειρός, τηλεχειριστήρια αλλά και σε παιδικά παιχνίδια. Οι AA και AAA αποτελούν τις πιο κοινές μορφές των πρωτεύοντων μπαταριών. Ο AA τύπος κελιού περιλαμβάνει περίπου τη διπλάσια χωρητικότητα του μικρότερου AAA τύπου [18].

Ειδικότερα σχετικά με την αλκαλική μπαταρία (γνωστή και ως αλκαλική-μαγγανίου), είναι γνωστό πως χαρακτηρίζεται από υψηλή απόδοση (παρέχει ρεύμα τάσης 1.5V) και είναι οικονομική, φιλική προς το περιβάλλον και στην πλειονότητα των περιπτώσεων δεν κινδυνεύει από τυχόν διαρροές ηλεκτρολύτη ακόμη και στην πλήρη αποφόρτισή της, γεγονός που την καθιστά αρκετά ασφαλή. Μπορεί επιπλέον να αποθηκευτεί ακόμη και για μια διάρκεια 10 ετών αλλά και να μεταφερθεί με ασφάλεια μέσα σε ένα αεροσκάφος.

Οι μπαταρίες λιθίου-μετάλλου αποτελούν μία ακόμη κατηγορία στα πρωτεύοντα στοιχεία και χαρακτηρίζονται από ακόμη υψηλότερη χωρητικότητα. Παρ' όλα αυτά αποτελούν υλικά τα οποία χρήζουν ειδικής διαχείρισης και ισχύουν συγκεκριμένες πολιτικές ασφαλείας. Στην κατηγορία αυτή συναντώνται οι μπαταρίες λιθίου-δισουλφιδίου του σιδήρου (Li-FeS₂), λιθίου-χλωριούχου θειονυλίου (LiSOCl₂ ή LTC), λιθίου-οξειδίου του μαγγανίου (LiMnO₂) και λιθίου-διοξειδίου του θείου (LiSO₂).

Στον πίνακα 1.2 συνοψίζονται τα χαρακτηριστικά της συγκεκριμένης υποκατηγορίας.

Πίνακας 1.2 Συγκεντρωτικά χαρακτηριστικά των μπαταριών λιθίου-μετάλλου [18]

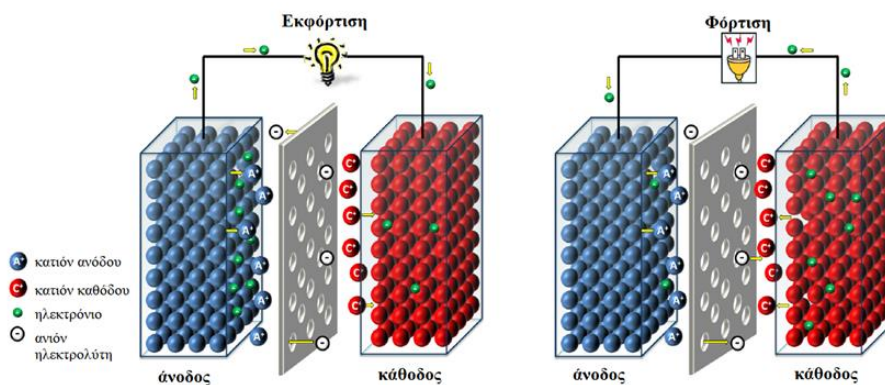
Πρωτεύον στοιχείο	Αλκαλική	Li-FeS ₂	LiSOCl ₂	LiMnO ₂	LiSO ₂
Ειδική ενέργεια	200 Wh/kg	300 Wh/kg	500 Wh/kg	280 Wh/kg	330 Wh/kg
Τάση	1.5V	1.5V	3.6-3.9V	3-3.3V	2.8V
Ισχύς	Χαμηλή	Μέτρια	Υψηλή	Μέτρια	Μέτρια
Ασφάλεια	Καλή	Καλή	Προσοχή	Καλή	Προσοχή
Κόστος	Χαμηλό	Οικονομικό	Βιομηχανικό	Οικονομικό	Βιομηχανικό
Διάρκεια ζωής	10 έτη	15 έτη	10-20 έτη	10-20 έτη	5-10 έτη
Θερμοκρασία λειτουργίας	0-60°C	0-60 °C	-55-85 °C	-30-60 °C	-54-71 °C
Εφαρμογές	Εμπορικές συσκευές	Αντικαθιστά την αλκαλική για υψηλότερους χρόνους και ενέργειες	Βιομηχανικές	Αισθητήρες, ιατρικές συσκευές, κάμερες	Στρατιωτικές

Στην ίδια κατηγορία εμπίπτουν και οι μπαταρίες ψευδαργύρου-άνθρακα (ή Leclanché), οι οποίες ωστόσο είναι από τις πρώτες (εφευρέθηκε το 1859) και πιο ακριβές του είδους τους. Παρέχουν τάση 1.5V και χρησιμοποιούνται σε ορισμένες εμπορικές συσκευές.

1.2.2 Επαναφορτιζόμενες μπαταρίες (δευτερεύοντα στοιχεία)

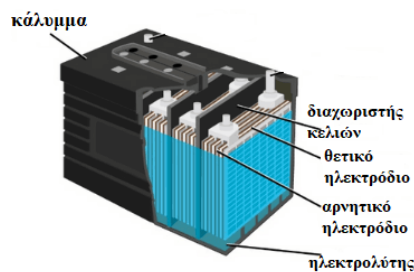
Τα δευτερεύοντα στοιχεία (secondary μπαταρίες) μπορούν να επαναφορτιστούν αρκετές φορές πριν απορριφθούν. Για το λόγο αυτό και τα δύο ηλεκτρόδια θα πρέπει να μπορούν να υποστηρίξουν χημικά αντιστρεπτές οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις. Είναι επίσης σημαντικό να φορτιστούν πριν την πρώτη χρήση. Όσον αφορά τον τρόπο επαναφόρτισης, μετά την εκφόρτιση ένα εξωτερικά εφαρμοζόμενο ρεύμα (που παρέχεται από έναν φορτιστή) εξαναγκάζει την ηλεκτροχημική αντίδραση προς την αντίθετη κατεύθυνση και επαναφέρει την κατάσταση φόρτισης [19]. Ανάλογα με την αντιστρεψιμότητα της οξειδοαναγωγικής διαδικασίας αλλά και τη σταθερότητα του ηλεκτροδίου, μπορούν να προκύψουν από εκατοντάδες έως χιλιάδες κύκλοι φόρτισης/εκφόρτισης. Κοινά παραδείγματα αποτελούν οι μπαταρίες ιόντων λιθίου οι οποίες χρησιμοποιούνται στα κινητά τηλέφωνα αλλά και οι μπαταρίες μολύβδου-οξέος που τροφοδοτούν τον εκκινητή των αυτοκινήτων. Στην κατηγορία αυτή επίσης ανήκουν οι μπαταρίες νικελίου-καδμίου και νικελίου-υδριδίου μετάλλου.

Στην παρακάτω **Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.** φαίνεται η διαδικασία αποφόρτισης σε ένα κλασικό δευτερεύον στοιχείο. Τόσο η άνοδος όσο και η κάθοδος, εμβαπτίζονται στα διαλύματα των αντίστοιχων μεταλλικών αλάτων τους. Τα ηλεκτρόνια κινούνται από την άνοδο προς την κάθοδο και η άνοδος οξειδώνεται. Η αυξημένη ηλεκτρονιακή πυκνότητα στην κάθοδο, εξισορροπείται με την ταυτόχρονη αναγωγή των ιόντων της καθόδου. Κατά τη διαδικασία αυτή, υπάρχει συνεχής ροή ανιόντων στην άνοδο και κατιόντων στην κάθοδο, το οποίο συμβαίνει ώστε να επιτευχθεί εξισορρόπηση των φορτίων. Κατά την επαναφόρτιση, ένα αντίστροφο ρεύμα εξαναγκάζει το υλικό την ανόδου να αναχθεί και της καθόδου να οξειδωθεί.



Σχήμα 1.25 Σχηματική αναπαράσταση της διαδικασίας φόρτισης/εκφόρτισης σε ένα δευτερεύον στοιχείο [17]

Οι μπαταρίες μολύβδου-οξέος (lead acid) αποτελούν την παλαιότερη τεχνολογία επαναφορτιζόμενων μπαταριών, συγκεκριμένα εφευρέθηκαν το 1859 από τον Γάλλο Φυσικό Gaston Planté. Είναι σχετικά οικονομικές παρ' όλα αυτά έχουν χαμηλή ειδική ενέργεια και περιορισμένο κύκλο ζωής. Η άνοδος αποτελείται από μόλυβδο, η κάθοδος από οξείδιο του μολύβδου ενώ ο ηλεκτρολύτης είναι το θειικό οξύ. Υπάρχουν επίσης διάφοροι περιορισμοί που σχετίζονται με τη μεγάλη διάρκεια φόρτισης (14-16 ώρες) και την υποχρεωτική αποθήκευση αποκλειστικά σε κατάσταση πλήρους φόρτισης. Επιπλέον ο μόλυβδος αποτελεί στοιχείο με υψηλή τοξικότητα και τείνει να αντικατασταθεί από πιο βιώσιμες λύσεις, ωστόσο τα ποσοστά ανακύκλωσης φτάνουν το 99% και για το λόγο αυτό συνεχίζουν να επιλέγονται. Οι εφαρμογές της περιλαμβάνουν την αυτοκίνηση, τα αναπηρικά αμαξίδια, τα αυτοκίνητα του golf και τα UPS [20].



Σχήμα 1.26 Αναπαράσταση της μπαταρίας μολύβδου-οξέος

Σε περιπτώσεις όπου απαιτείται υψηλότερος χρόνος ζωής και λειτουργία υπό μη κοινές θερμοκρασίες, προτιμάται η χρήση των μπαταριών νικελίου-καδμίου (NiCd). Αποτελεί μια από τις πιο ανθεκτικές μπαταρίες και είναι η μόνη που επιτρέπει ταχύτατη φόρτιση. Σημαντικές εφαρμογές αποτελούν οι ιατρικές συσκευές, η αεροπλοΐα και η μη διακοπόμενη παροχή ισχύος. Παρ' όλα αυτά έχουν εγερθεί συγκεκριμένες περιβαλλοντικές ανησυχίες που αφορούν τη χημεία της μπαταρίας αυτής και για αυτό το λόγο τείνει σε πολλές περιπτώσεις να αντικατασταθεί.

Από την άλλη πλευρά, οι μπαταρίες νικελίου-υδριδίου μετάλλου (NiMH), εξυπηρετούν το σκοπό αυτό της αντικατάστασης των μπαταριών νικελίου-καδμίου, καθώς περιλαμβάνει λιγότερο τοξικά μέταλλα αλλά υψηλότερη ειδική ενέργεια. Χρησιμοποιείται σε υβριδικά αυτοκίνητα, ιατρικά όργανα αλλά και σε άλλου είδους βιομηχανικές εφαρμογές. Επιπλέον διατίθεται και σε AA και AAA μορφή για καταναλωτική χρήση.

1.2.2.1 Μπαταρίες ιόντων λιθίου

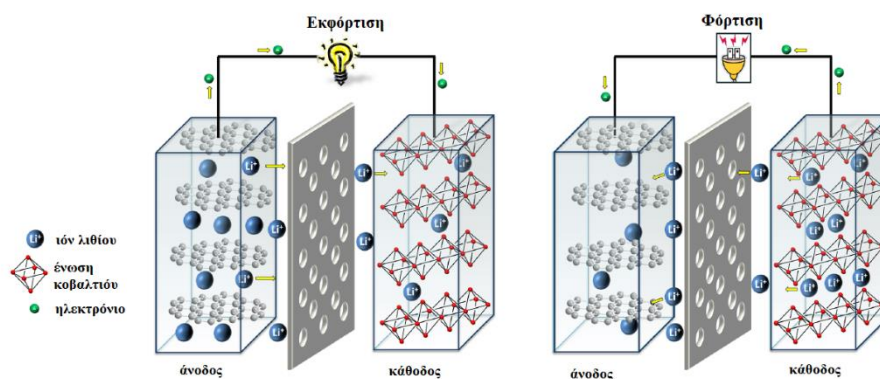
Στις μέρες μας, οι μπαταρίες ιόντων λιθίου αποτελούν εξαιρετικής σημασίας συσκευές αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας και έχουν καταστεί δημοφιλείς, λόγω της υψηλής ενεργειακής πυκνότητας, του μεγάλου κύκλου ζωής όντας επαναφορτιζόμενες και συνεπώς της φιλικότητάς τους απέναντι στο περιβάλλον. Αξίζει να σημειωθεί πως αποτελούν κυρίαρχο πάροχο ενέργειας σε εφαρμογές όπως οι ηλεκτρονικές συσκευές και οι μετακινήσεις και συγκεκριμένα το κομμάτι των ηλεκτροκίνητων οχημάτων. Επιπλέον, οι περισσότεροι βηματοδότες όσον αφορά τον τομέα των ιατρικών εμφυτευμάτων χρησιμοποιούν τις μπαταρίες αυτές, οι οποίες έχουν περίπου 5-10 έτη διάρκεια ζωής. Η συγκεκριμένη τεχνολογία προτάθηκε αρχικά από τον M. S. Whittingham το 1976 και στη συνέχεια κυκλοφόρησε το 1990 ως εμπορικό πλέον προϊόν, από την SONY.

Ουσιαστικά, αποτελούν τον κύριο αντικαταστάτη των μπαταριών μολύβδου και νικελίου, ωστόσο το κόστος τους είναι υψηλότερο σε σχέση με άλλες μπαταρίες, όμως η μεγάλη διάρκεια ζωής μειώνει σε βάθος χρόνου το κόστος σε σχέση με άλλες τεχνολογίες. Το λίθιο αποτελεί επίσης το πιο ελαφρύ μέταλλο με το μεγαλύτερο ηλεκτροχημικό δυναμικό. Στα μειονεκτήματά του συγκαταλέγονται ο σχηματισμός δενδριτών στην άνοδο της μπαταρίας, οι οποίοι διεισδύουν στη διαχωριστική μεμβράνη της μπαταρίας, προκαλώντας μερική ρήξη και σαν αποτέλεσμα απότομη αύξηση της θερμοκρασίας και αυτοανάφλεξη. Για το λόγο αυτό η χρήση μεταλλικού λιθίου στις μπαταρίες αντικαταστάθηκε από ιόντα λιθίου, τεχνολογία η οποία αποτελεί και την πιο πολλά υποσχόμενη λύση (Παρέχει ρεύμα τάσης 3.6V) [21].

Στη συγκεκριμένη περίπτωση, η άνοδος (αρνητικό ηλεκτρόδιο), αποτελείται συνήθως από γραφίτη στο πλέγμα του οποίου παρεμβάλλονται τα ιόντα λιθίου και η κάθοδος (θετικό ηλεκτρόδιο), δομείται από μία ένωση η οποία περιέχει λίθιο, όπως για παράδειγμα μία ένωση του κοβαλτίου με λίθιο. Το ποσό του φορτίου που μία μπαταρία δύναται να αποθηκεύσει εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από τη διαφορά δυναμικού των ηλεκτροχημικών αντιδράσεων που αφορούν το ενεργό ιόν, οι οποίες συμβαίνουν στα δύο ηλεκτρόδια αλλά και από τον αριθμό των ηλεκτρονίων που εμπλέκονται σε κάθε μία από τις αντιδράσεις αυτές [17].

Η φόρτιση/εκφόρτιση σε μία μπαταρία ιόντων λιθίου πραγματοποιείται μέσω της παρεμβολής/εξαγωγής των ιόντων λιθίου τα οποία κινούνται μεταξύ ανόδου και καθόδου. Κατά τη φόρτιση, μία εξωτερικά εφαρμοζόμενη πηγή ενέργειας εξαναγκάζει το ρεύμα να

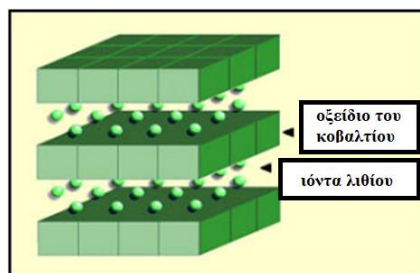
περάσει προς την αντίθετη κατεύθυνση και ευνοεί τη μεταφορά των ιόντων λιθίου από την κάθοδο προς την άνοδο, μέσω του ηλεκτρολύτη. Κατά την εκφόρτιση, τα ιόντα λιθίου επιστρέφουν πίσω στην άνοδο, τη μεταφορά των οποίων πραγματοποιεί ξανά ο ηλεκτρολύτης. Αναλυτικότερα, κατά την εκφόρτιση, το ιόν λιθίου οξειδώνεται στην άνοδο και απελευθερώνεται στον ηλεκτρολύτη, ενώ το ηλεκτρόνιο μεταφέρεται μέσω ενός εξωτερικού αγωγού στην κάθοδο. Προκειμένου να εξισορροπηθεί η αλλαγή αυτή στα φορτία, το ιόν λιθίου μεταναστεύει στην κάθοδο και σχηματίζει ξανά την αρχική ένωση με το κοβάλτιο. Η διαδικασία της φόρτισης λειτουργεί ακριβώς ανάποδα, όπου το ιόν λιθίου ανάγεται και μετακινείται προς την άνοδο, όπου παρεμβάλλεται ανάμεσα στον γραφίτη, ενώ παράλληλα το υλικό της καθόδου επαναοξειδώνεται.



Σχήμα 1.27 Σχηματική αναπαράσταση της διαδικασίας φόρτισης/εκφόρτισης σε μία μπαταρία ιόντων λιθίου [17]

Οι ηλεκτρολύτες που χρησιμοποιούνται στις μπαταρίες ιόντων λιθίου είναι υγροί, γέλες είτε ξηρά πολυμερή. Στις περιπτώσεις όπου χρησιμοποιείται υγρός ηλεκτρολύτης και ειδικά οργανικής φύσεως, τίθεται ζήτημα ανάφλεξης. Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου διαχωρίζονται σε επιμέρους υποκατηγορίες, ανάλογα με το όνομα του ενεργού υλικού που συμμετέχει, συγκεκριμένα το κοβάλτιο, το μαγγάνιο και ενώσεις του φωσφόρου και του τιτανίου [20].

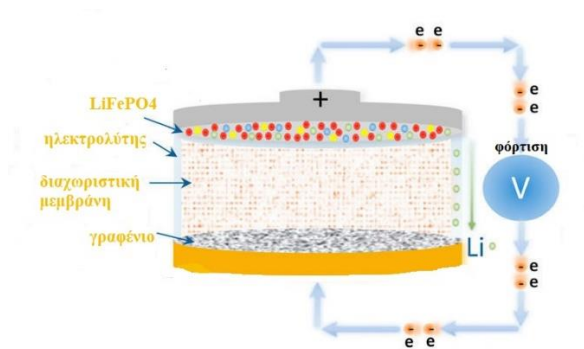
Στην κατηγορία λίθιο-οξείδιο του κοβαλτίου (LiCoO_2 ή LCO) η κάθοδος αποτελείται από οξείδιο του κοβαλτίου μία διάρθρωση πολλαπλών επιπέδων και η άνοδος από γραφίτη. Αποτελεί την πιο δημοφιλή επιλογή για χρήση σε κινητά τηλέφωνα, φορητούς υπολογιστές και ψηφιακές κάμερες, λόγω της υψηλής ειδικής ενέργειας που τη χαρακτηρίζει. Μειονέκτημα αποτελεί η σχετικά σύντομη διάρκεια ζωής και η χαμηλή θερμική σταθερότητα.



Σχήμα 1.28 Αναπαράσταση της καθόδου σε μία μπαταρία LCO [20]

Αντίστοιχα, οι μπαταρίες λιθίου-οξειδίου του μαγγανίου αποτελούνται από μία κάθοδο οξειδίου του μαγγανίου, στην οποία σχηματίζεται ένα τρισδιάστατο κρυσταλλικό πλέγμα με το λίθιο. Η χωρητικότητα της μπαταρίας αυτής ισούται περίπου με 1/3 λιγότερο από εκείνη του λιθίου-οξειδίου του κοβαλτίου.

Επίσης δημοφιλής δομή είναι και οι μπαταρίες λιθίου-φωσφορικού σιδήρου (LiFePO_4) όπου το φωσφορικό άλας λειτουργεί ως κάθοδος. Παρέχει πολύ καλή ηλεκτροχημική απόδοση με χαμηλή αντίσταση. Στα πλεονεκτήματα συγκαταλέγονται και η θερμική σταθερότητα, η μεγάλη διάρκεια ζωής, ασφάλεια και ανθεκτικότητα. Επιπλέον η συγκεκριμένη διαμόρφωση προτιμάται και για τη αντικατάσταση των μπαταριών μολύβδου-οξέος. Χρησιμοποιούνται σε ποδήλατα και ηλεκτρικά αυτοκίνητα και σε ορισμένες ηλεκτρικές συσκευές. Επίσης διατίθεται και σε AA μορφή εμπορικά.



Σχήμα 1.29 Αναπαράσταση μίας LiFePO_4 μπαταρίας

Οι μπαταρίες λιθίου-άλατος τιτανίου (Li_2TiO_3) αντικαθιστούν το γραφίτη στην άνοδο ενώ η κάθοδος μπορεί να αποτελείται για παράδειγμα από οξείδιο του μαγγανίου. Είναι ασφαλής και παρέχει ρεύμα τάσης 2.4V, ωστόσο καθίσταται υψηλό το κόστος αυτής.

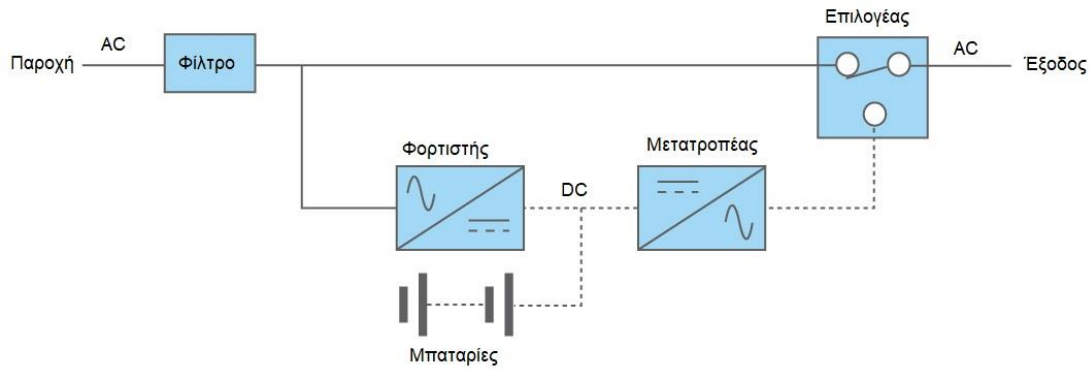
1.3 Συστήματα αδιάλειπτης παροχής ενέργειας (UPS)

Η αδιάλειπτη παροχή ρεύματος (Uninterruptible Power Supply-UPS) αποτελεί μία διάταξη η οποία λειτουργεί ως εφεδρική πηγή ενέργειας σε περιπτώσεις όπου η αρχική τροφοδοσία δεν παρέχει ικανοποιητικά και αξιόπιστα επίπεδα ενέργειας ή εάν υπάρξει διακοπή παροχής ενέργειας. Η συγκεκριμένη διάταξη είναι γνωστή και ως «εφεδρική μπαταρία» και δομικά αποτελείται από την μπαταρία, το φορτιστή της μπαταρίας ο οποίος μετατρέπει το εναλλασσόμενο ρεύμα σε συνεχές και περιλαμβάνει όλα τα απαραίτητα κυκλώματα για να φορτίσει την μπαταρία, και το μετατροπέα, ο ρόλος του οποίου είναι η αντίστροφη διαδικασία, δηλαδή η μετατροπή του συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο ώστε να τροφοδοτήσει την συσκευή. Τα UPS χρησιμοποιούνται για την προστασία της λειτουργικότητας σε ηλεκτρονικούς υπολογιστές, εξοπλισμούς τηλεπικοινωνιών, ηλεκτρικές συσκευές αλλά και κέντρα πληροφόρησης, όπου μία διακοπή ενέργειας θα επέφερε σοβαρές συνέπειες [22].

Ανάλογα με την δομή τους, τα UPS παρέχουν συγκεκριμένο βαθμό προστασίας. Οι διάφορες τεχνολογίες αναλύονται παρακάτω:

1.3.1 Offline/Standby

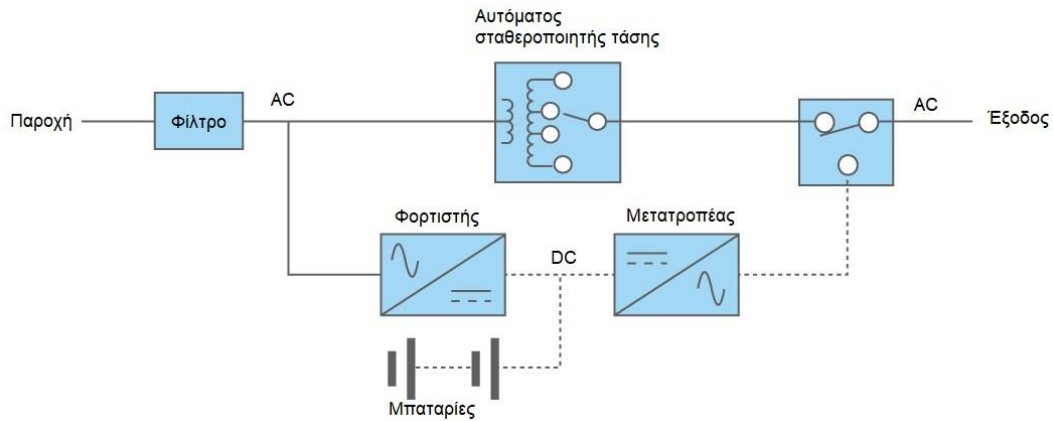
Αποτελεί την πιο κοινή τοπολογία, παρέχοντας βασικές λειτουργίες όπως εφεδρική παροχή ρεύματος σε περιπτώσεις διακοπής ρεύματος και προστασία από υπέρταση ή υπόταση του δικτύου χωρίς να χρησιμοποιείται η μπαταρία. Χρησιμοποιούνται σε διάφορες συσκευές που προορίζονται για το καταναλωτικό κοινό, συστήματα POS, συστήματα ασφαλείας ή σε γενικότερα βασικό εξοπλισμό. Αποτελούν κατά γενικό κανόνα τα πιο οικονομικά του είδους τους, ωστόσο δεν ενδείκνυνται για χρήση σε υπερευαίσθητα ηλεκτρονικά όπως για παράδειγμα σε διακομιστές (servers). Στην ομαλή λειτουργία οι συσκευές συνδέονται απευθείας με την εισερχόμενη τάση/παροχή. Όταν η εισερχόμενη τάση ελαττωθεί ή αυξηθεί σε σχέση με τα επίπεδα ασφαλείας που έχουν οριστεί, το συγκεκριμένο UPS ενεργοποιεί τη βαθμίδα του μετατροπέα ο οποίος λαμβάνει ως είσοδο την ηλεκτρική ενέργεια μιας φορτισμένης μπαταρίας. Το συνεχές ρεύμα της μπαταρίας μετατρέπεται σε εναλλασσόμενο, έτσι ώστε να μπορέσει να τροφοδοτηθεί και να λειτουργήσει ο συνδεδεμένος εξοπλισμός. Ένας μηχανικός διακόπτης/επιλογέας αποσυνδέει την έξοδο του UPS από το δίκτυο και την συνδέει με τον μετατροπέα. Ο χρόνος που μεσολαβεί μέχρι την πρώτη ενεργοποίηση μπορεί να φτάσει και τα 25 ms, ανάλογα με το χρόνο που χρειάζεται ουσιαστικά ώστε να εντοπιστεί η αλλαγή της τάσης [22].



Σχήμα 1.30 Μπλοκ διάγραμμα offline UPS [23]

1.3.2 Line interactive

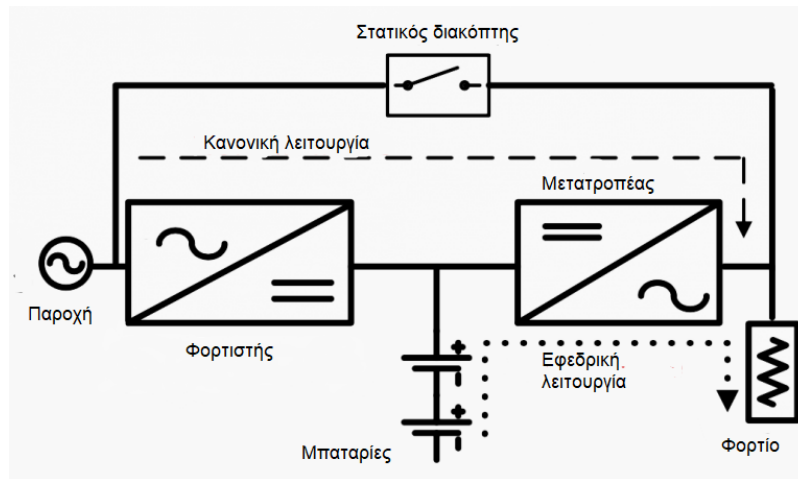
Η συγκεκριμένη διάταξη έχει σχεδιαστεί με στόχο τη διόρθωση μικρών διακυμάνσεων και όχι απότομων αλλαγών στην παροχή ρεύματος, χωρίς ωστόσο να ενεργοποιείται η λειτουργία μπαταρίας του UPS. Βρίσκει εφαρμογή σε συσκευές του καταναλωτικού κοινού, σε υπολογιστές, συστήματα παιχνιδιών (gaming), εξοπλισμό δικτύων και σε συγκεκριμένο φάσμα servers. Και σε αυτήν την περίπτωση χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις διακοπής ρεύματος και αλλαγών στην τάση, όπως για παράδειγμα σε περιπτώσεις υπερφόρτωσης ή υπότασης. Στη συγκεκριμένη τοπολογία, διατίθεται ένας αυτομετασχηματιστής (στο **Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.** αναφέρεται ως αυτόματος σταθεροποιητής τάσης), ο οποίος φροντίζει ώστε να υπάρχει ακριβής διόρθωση στις αλλαγές του δυναμικού (είτε σε αύξηση ή σε μείωση αυτού) [25]. Αποτελεί έναν ειδικό τύπο μετασχηματιστή ο οποίος επιτυγχάνει τις αλλαγές αυτές μέσω της προσθήκης/εξαγωγής πηνίων, ρυθμίζοντας κατά αυτόν τον τρόπο την ένταση του μαγνητικού πεδίου και συνεπώς την εξαγόμενη τάση. Γενικά, το συγκεκριμένο UPS μπορεί να υποστεί συνεχείς διακυμάνσεις χωρίς να χρειαστεί να καταναλωθούν τα αποθέματα της μπαταρίας. Ο μετασχηματιστής μπορεί να καλύψει ένα εύρος 90-140V για 120V και σε περίπτωση που η τάση αποκλίνει σημαντικά από τις τιμές αυτές, τότε η παροχή ισχύος μεταβαίνει στο κύκλωμα της μπαταρίας. Επιπλέον, σε συνθήκες χαμηλής τάσης το UPS χρησιμοποιεί περισσότερο ρεύμα από το κανονικό και έτσι ίσως χρειαστεί ένα κύκλωμα με ανοχή υψηλότερου ρεύματος σε σχέση με άλλες συσκευές. Ο τυπικός χρόνος μεταγωγής είναι περίπου 4-8 ms. Συνοψίζοντας, ουσιαστικά λειτουργεί όμοια με την παραπάνω κατηγορία, ωστόσο το πλεονέκτημα έναντι αυτής, είναι ότι παρέχει μία επιπλέον λειτουργία σταθεροποίησης της τάσης τους δικτύου και για αυτό άλλωστε είναι και πιο αυξημένη η τιμή τους [22].



Σχήμα 1.31 Μπλοκ διάγραμμα ενός line interactive UPS [24]

1.3.3 Online

Στη διάταξη αυτή οι μπαταρίες είναι μόνιμα συνδεδεμένες με τον μετατροπέα, έτσι ώστε να μην χρειάζεται καθόλου ενεργοποίηση του συστήματος παροχής ενέργειας. Σχετικά με την αρχή λειτουργίας, όταν υπάρξει διακοπή της τροφοδοσίας ο ανορθωτής απομονώνεται από το κύκλωμα και η μπαταρία διατηρεί την παροχή σταθερή και αναλλοίωτη. Μόλις η τροφοδοσία ανακτηθεί, ο ανορθωτής ξεκινά να φορτίζει τη μπαταρία. Ωστόσο, ενδέχεται τα επίπεδα φόρτισης να περιορίζονται ώστε να αποφευχθούν φαινόμενα υπερθέρμανσης και αλλοίωσης του ηλεκτρολύτη. Το UPS αυτό μετατρέπει το εναλλασσόμενο ρεύμα της εισόδου σε συνεχές και ξανά σε εναλλασσόμενο καθ' όλη την διάρκεια τροφοδοσίας και όχι μόνο σε περιπτώσεις απώλειας της παροχής. Με αυτόν τον τρόπο λειτουργεί συνεχώς υπό απομονωμένο συνεχές ρεύμα και δεν υπάρχει χρόνος μεταφοράς, διότι ουσιαστικά δεν υπάρχει ποτέ ανάγκη να γίνει η αλλαγή σε συνεχές ρεύμα [25]. Όσον αφορά τις εφαρμογές, είναι ιδανικό όπου απαιτείται ηλεκτρική απομόνωση, ιδιαιτέρως σε περιβάλλοντα όπου υπάρχει ευαίσθητος εξοπλισμός όπως για παράδειγμα σε πιο περίπλοκους servers, τηλεπικοινωνιακές εγκαταστάσεις και υψηλού επιπέδου εξοπλισμό δικτύων. Κύριο πλεονέκτημα της διάταξης αυτής αποτελεί το γεγονός πως λειτουργεί σαν προστατευτικό τείχος και διαχωρίζει την τάση της εισόδου με τον υπόλοιπο ηλεκτρονικό εξοπλισμό. Είναι ιδανικό για περιπτώσεις όπου το δίκτυο τροφοδοσίας παρουσιάζει υπερτάσεις, υποτάσεις, βυθίσεις στην τάση αλλαγές και θόρυβο της συχνότητάς του και αρμονικές αλλοιώσεις (παραμορφωμένο ημίτονο). Παρά τον αρχικό του προορισμό για χρήση σε μεγάλες εγκαταστάσεις της τάξης των 10 kW και άνω, η τεχνολογική ανάπτυξη συντέλεσε έτσι ώστε να είναι διαθέσιμο και για ευρεία κατανάλωση, με παροχή 500 W ή και λιγότερο [22]. Η τεχνολογία που έγκειται εδώ, είναι όμοια με τα προαναφερθέντα UPS, ωστόσο το κόστος είναι αρκετά μεγαλύτερο λόγω της ύπαρξης πολυπλοκότερων στοιχείων στη διάταξη αυτή, με τον ανορθωτή και το μετατροπέα να έχουν σχεδιαστεί ώστε να λειτουργούν αδιάλειπτα και να συνοδεύονται από συστήματα ψύξης [22].



Σχήμα 1.32 Μπλοκ διάγραμμα ενός online UPS [25]

Επίλογος

Στο παρόν κεφάλαιο εστίασαμε στη λειτουργία των τροφοδοτικών αναλύοντας τα στάδια μετατροπής του ρεύματος εισόδου στην επιθυμητή έξοδο. Τα κύρια στοιχεία που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή ενός τροφοδοτικού είναι ο μετασχηματιστής, οι διόδοι που δρουν ως ανορθωτές τάσης, οι πυκνωτές ως φίλτρα και διάφορα ολοκληρωμένα κυκλώματα τα οποία επιτελούν διαφορετικές λειτουργίες ανάλογα με τον τύπο του τροφοδοτικού. Οι δύο μεγάλες κατηγορίες τροφοδοτικών είναι τα γραμμικά τροφοδοτικά και τα switching τροφοδοτικά. Τα γραμμικά τροφοδοτικά παράγουν μια σταθερή τάση στην έξοδο η οποία έχει επιλεγθεί κατά τον σχεδιασμό τους. Ωστόσο, η τάση αυτή μπορεί να είναι ρυθμιζόμενη από το χρήστη εφόσον έχουν συμπεριληφθεί τα κατάλληλα κυκλώματα. Από την άλλη τα switching τροφοδοτικά λειτουργούν ως διακόπτες. Ο χρόνος που βρίσκονται στην ON κατάσταση, έναντι του χρόνου που βρίσκονται στην OFF κατάσταση (δηλαδή ο κύκλος εργασίας) είναι αυτός που καθορίζει την τάση εξόδου.

Παράλληλα εξετάστηκαν τα είδη των UPS και αναλύθηκε ο τρόπος λειτουργίας τους. Χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες, ανάλογα με το πως φορτίζουν την μπαταρία τροφοδοτώντας παράλληλα και το κύκλωμα.

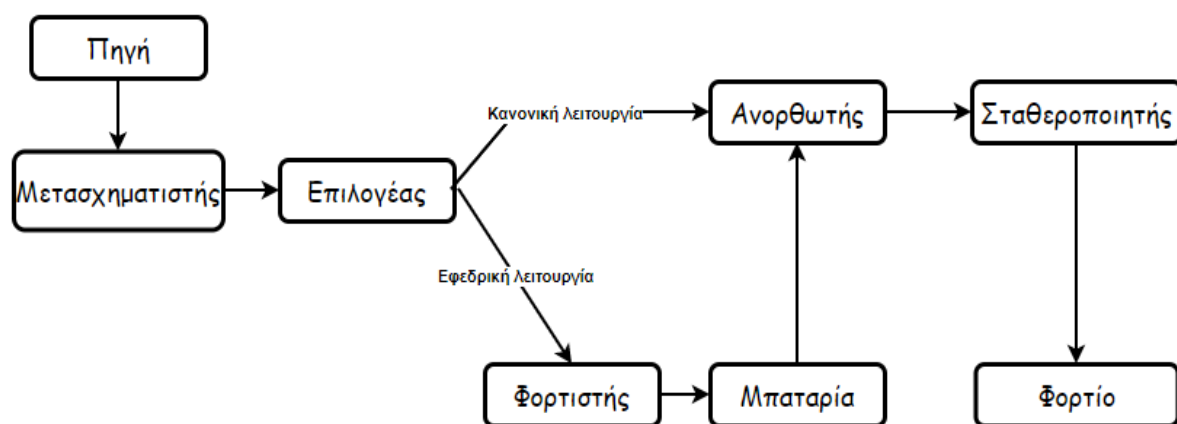
Τέλος, πραγματοποιήθηκε αναφορά στις μπαταρίες ως μέσα αποθήκευσης ενέργειας εστιάζοντας κυρίως στις μπαταρίες ιόντων λιθίου. Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου είναι οι πιο κοινές μπαταρίες στην αγορά και βρίσκουν εφαρμογές από τα κινητά τηλέφωνα μέχρι την αυτοκίνηση.

Κεφάλαιο 2^ο: Υλοποίηση του UPS

2.1 Εισαγωγή

Στο πλαίσιο αυτής εδώ της πτυχιακής εργασίας επιχειρήθηκε να σχεδιαστεί και να υλοποιηθεί ένα UPS, το οποίο θα μας δίνει λίγη μεν ισχύ αλλά τόση όση χρειαζόμαστε για οικιακές εφαρμογές. Στη συνέχεια του κεφαλαίου θα αναλυθεί η συσκευή. Θα αναφερθούν οι χρήσεις μιας τέτοιας συσκευής, οι λειτουργίες της και τα χαρακτηριστικά της. Θα αναφερθούν, επίσης, τα πιο σημαντικά επιμέρους στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή της πλακέτας. Ειδική αναφορά γίνεται στο ολοκληρωμένο κύκλωμα LTC4040, το οποίο είναι η καρδιά αυτού του κυκλώματος. Επιπλέον θα γίνει αναφορά στην υλοποίηση του σχηματικού κυκλώματος σε τυπωμένο κύκλωμα και στην τελική μορφή του τροφοδοτικού. Η δημιουργία διατάξεων ασφαλείας με τη χρήση μπαταριών, αναφέρεται με πολλούς τρόπους. Ως, αδιάλειπτη τροφοδοσία ρεύματος, ή αδιάλειπτη πηγή τροφοδοσίας, UPS on-line, UPS αναμονής και απλά UPS, είναι οι διάφοροι τρόποι για να αναφερθούμε σε ένα εφεδρικό κύκλωμα τροφοδότησης.

2.2 Μπλοκ Διάγραμμα λειτουργίας



Σχήμα 2.1 Μπλοκ διάγραμμα του τροφοδοτικού

Στο παραπάνω μπλοκ διάγραμμα βλέπουμε τη λειτουργία του τροφοδοτικού με απλουστευμένο τρόπο. Αρχικά έχουμε την πηγή συνεχούς ρεύματος, η οποία τροφοδοτεί το σύστημα μας. Η πηγή μας είναι ένα κοινό τροφοδοτικό του εμπορίου, όπως ενός κινητού τηλεφώνου. Μετά έχουμε έναν μετασχηματιστή και συγκεκριμένα έναν boost converter. Ένα κύκλωμα επιλογής πηγής τάσης (voltage source selector) επιλέγει αν η τάση εξόδου θα προέρχεται απευθείας από την τροφοδοσία ή από την

μπαταρία. Αν εντοπίσει απουσία τάσης στην είσοδο επιλέγει την εφεδρική τροφοδοσία μέσω της μπαταρίας. Αν η είσοδος μας παραμένει σταθερή τότε το κύκλωμα παραμένει ως έχει. Παράλληλα υπάρχουν και τα κυκλώματα φόρτισης και προστασίας της μπαταρίας. Η μπαταρία που έχουμε επιλέξει δουλεύει στα 3.7V οπότε με έναν Boost converter την ανεβάζουμε στα 5V. Αν το κύκλωμα εντοπίσει την μπαταρία να μην είναι πλήρως φορτισμένη και υπάρχει τάση στην είσοδο τότε ο φορτιστής φορτίζει την μπαταρία. Τέλος με έναν μετατροπέα σταθεροποιούμε την τάση εξόδου στα 5V.

2.2.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά

Κάποια από τα τεχνικά χαρακτηριστικά του κυκλώματος μας είναι τα εξής:

- Εφεδρική τροφοδοσία μετατροπέα ανόρθωσης
- Μετατροπέας υποβίβασης φόρτισης μπαταρίας
- Διακόπτες 6.5A για Εφεδρικό σύστημα 2.5A από μπαταρία 3.2V.
- Το όριο ρεύματος εισόδου δίνει προτεραιότητα στο φορτίο εξόδου σε σχέση με το ρεύμα φόρτισης της μπαταρίας.
- Ο διακόπτης αποσύνδεσης απομονώνει την είσοδο κατά τη διάρκεια λειτουργίας του εφεδρικού συστήματος τροφοδοσίας.
- Αυτόματη εναλλαγή σε λειτουργία εφεδρικής τροφοδοσίας.
- Ένδειξη απώλειας ισχύος εισόδου
- Ένδειξη απώλειας ισχύος συστήματος.
- Προαιρετικό κύκλωμα προστασίας υπέρτασης. Προστατεύει τη συσκευή σε μέχρι τα 60V.
- Λειτουργία σταθερής συχνότητας
- Διακόπτης αποσύνδεσης εισόδου που απομονώνει την είσοδο
- Αυτόματη και απρόσκοπτη μετάβαση σε εφεδρική λειτουργία
- Ένδειξη απώλειας ισχύος εισόδου
- Δείκτης απώλειας ισχύος συστήματος
- Τάση Εισόδου: 3,5V ~ 5V
- Ρεύμα εισόδου: 570mA
- Τάση Εξόδου: 5V
- Ρεύμα φόρτισης μπαταρίας: 1000mA
- Ρεύμα μπαταρίας: 45μΑ
- Κατώτατη τάση κατωφλίου μπαταρίας για φόρτιση της: 2,85V
- Εύρος θερμοκρασίας λειτουργίας: -40C ~ 125C
- Ρεύμα διαρροής επαφών: 1μΑ

2.2.2 Τυπικές εφαρμογές της συσκευής

Η κατασκευή αυτή θα μπορούσε να βρει χρήση στις παρακάτω εφαρμογές:

- Οικιακή τηλεφωνία
- Παρακολούθηση κινούμενων μέσων περιουσιακών στοιχείων
- Καταγραφικά δεδομένων για αυτοκίνητα μέσω GPS
- Συστήματα τηλεματικής αυτοκινήτων
- Συστήματα συλλογής διοξείδιου
- Συστήματα ασφαλείας
- Υποστηριζόμενες συσκευές USB
- Φόρτιση οικιακών ηλεκτρονικών συσκευών

2.3 MOSFETs

Τα MOSFET είναι ημιαγωγοί οξειδίου μετάλλου (Metal Oxide Semiconductor). Διαθέτουν πηγή, πύλη και απαγωγό. Η πύλη του είναι μονωμένη από το κανάλι και αυτό έχει ως αποτέλεσμα το ρεύμα πύλης να είναι αρκετά μικρό. Για αυτό το λόγο το χρησιμοποιούμε στην εφαρμογή μας.

Τα MOSFET χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τα MOSFET τύπου πύκνωσης και τα MOSFET τύπου αραιώσης. Τα MOSFET τύπου πύκνωσης είναι αυτά που χρησιμοποιούνται συνήθως. Οι κύριες χρήσεις τους είναι σε διακριτά κυκλώματα και σε ολοκληρωμένα κυκλώματα. Στα ολοκληρωμένα κυκλώματα η χρήση τους είναι κυρίως για τη ψηφιακή μεταγωγή. Στα διακριτά κυκλώματα, όπως αυτό που έχουμε στην κατασκευή μας, η χρήση τους είναι στη μεταγωγή ισχύος, να αλλάζει δηλαδή την κατάσταση ορισμένων ρευμάτων. Η χρήση των MOSFET τύπου αραιώσης έχει μειωθεί αρκετά, έτσι πλέον τα συναντάμε σε ελάχιστα κυκλώματα.

Η βασική ιδέα γύρω από την λειτουργία ενός MOSFET τύπου πύκνωσης είναι πως όταν η τάση πύλης είναι μηδέν, το ρεύμα μεταξύ πηγής και απαγωγού είναι μηδέν. Γι' αυτό το λόγο το MOSFET βρίσκεται σε κατάσταση off όταν η τάση πύλης είναι μηδέν. Ο μόνος τρόπος να πάρουμε ρεύμα είναι με θετική τάση πύλης [26].

2.4 LTC4040

Αρχικά να αναφέρουμε πως το ολοκληρωμένο LTC4040 είναι το σημαντικότερο στοιχείο του κυκλώματος. Είναι αυτό που καθορίζει όλη τη λειτουργία της πλακέτας και κατ' επέκταση του τροφοδοτικού.

Είναι ένα ολοκληρωμένο που έχει σκοπό τη διαχείριση συστημάτων αδιάλειπτης πηγής τροφοδοσίας της τάξεως των 3,5V έως 5,5V. Περιέχει έναν ανορθωτή DC/DC για να υποστηρίξει την τροφοδοσία από μπαταρία Li-Ion ή LiFePO4. Το ολοκληρωμένο αυτό

έχει τρεις τρόπους λειτουργίας. Την κανονική λειτουργία, τη λειτουργία μπαταρίας και τον τερματισμό λειτουργίας. Εάν η παροχή εισόδου είναι πάνω από ένα όριο στην τάση κατωφλίου, το ολοκληρωμένο αναγνωρίζει ότι βρίσκεται σε κανονική κατάσταση λειτουργίας κατά την οποία ρέει ισχύ από είσοδο σε έξοδο ενώ ο φορτιστής φορτίζει την μπαταρία σύμφωνα με την επιλεγμένη ρύθμιση τάσης. Το συνολικό φορτίο συστήματος παρακολουθείται από έναν ενισχυτή μέσω μιας εξωτερικής αντίστασης η οποία είναι συνδεδεμένη μεταξύ της τάσης εισόδου και ενός αρνητικού άκρου. Αυτός ο ενισχυτής ελέγχει τη ροή της ισχύος από την είσοδο στην έξοδο και βλέπει αν είναι μέσα στα προγραμματισμένα όρια του ολοκληρωμένου. Όταν η παροχή εισόδου πέφτει κάτω από το προγραμματισμένο όριο, ενεργοποιείται ο εφεδρικός ενισχυτής και τροφοδοτείται το φορτίο της εξόδου από την μπαταρία. Το LTC4040 περιλαμβάνει έναν φορτιστή μπαταρίας σταθερής τάσης και υψηλής απόδοσης. Ο φορτιστής αυτός έχει τη δυνατότητα αυτόματης φόρτισης και τη δυνατότητα για αυτόματο τερματισμό με χρονόμετρο για ασφάλεια. Εντοπίζει τότε η τάση φόρτισης είναι χαμηλή. Ανιχνεύει αν η μπαταρία έχει χάσει τις ιδιότητες της. Επίσης έχει έναν αισθητήρα θερμοκρασίας για να εντοπίζει φαινόμενα υπερθέρμανσης του συστήματος. Η δικλίδα ασφάλειας της μπαταρίας ως προς τη φόρτιση γίνεται με χρονοδιακόπτη. Όταν η τάση στην μπαταρία είναι η ελάχιστη επιλεγμένη για επαναφόρτιση, ενεργοποιείται ο χρονοδιακόπτης. Το LTC4040 περιέχει ένα γρήγορο συγκριτικό ισχύος ο οποίος είναι υπεύθυνος να αλλάζει την κατάσταση λειτουργίας από κανονική σε εφεδρική λειτουργία, σε περίπτωση που η τάση τροφοδοσίας εισόδου πέσει κάτω από την προγραμματισμένη τάση κατωφλίου. Ο εφεδρικός μετατροπέας ενίσχυσης LTC4040 αντισταθμίζεται εσωτερικά. Ωστόσο, αν η χωρητικότητα του συστήματος είναι μικρότερη από 100μF ή πάνω από 1000μF θα επηρεάσει δυσμενώς το περιθώριο φάσης και εξ ου και η σταθερότητα του μετατροπέα. Για να τροφοδοτηθεί το φορτίο συστήματος από την μπαταρία, το LTC4040 περιέχει έναν σύγχρονο μετατροπέα ανύψωσης της τάσης σταθερής συχνότητας 1.125MHz με αποσύνδεση εξόδου και αυτόματη λειτουργία Burst χαρακτηριστικά. Ο ρυθμιστής μπορεί να παρέχει μέγιστο φορτίο 2.5A από μια μπαταρία τόσο χαμηλή όσο 3,2V και την έξοδο του συστήματος η τάση (V_{SY}) μπορεί να προγραμματιστεί έως και 5V μέσω του πείρου BSTFB. Το LTC4040 περιέχει ένα γρήγορο συγκριτικό διακοπής ισχύος το οποίο αλλάζει το τμήμα από κανονική σε εφεδρική λειτουργία σε περίπτωση που η τάση τροφοδοσίας εισόδου πέσει κάτω από εξωτερικά προγραμματισμένη τάση κατωφλίου. Αυτή η τάση κατωφλίου προγραμματίζεται από εξωτερικό διαχωριστικό αντίστασης μέσω του PFI ακίδα.. Η έξοδος του συγκριτικού διακοπής ισχύος οδηγεί επίσης απευθείας την πύλη ενός NMOS ανοιχτής αποστράγγισης για την αναφορά της κατάστασης της διαθεσιμότητας ισχύος εισόδου μέσω της ακίδας PFO. Εάν υπάρχει ισχύς εισόδου, ο ακροδέκτης PFO έχει υψηλή αντίσταση. Διαφορετικά, ο πείρος τραβιέται προς τα κάτω. Κατά την έναρξη της λειτουργίας δημιουργίας αντιγράφων ασφαλείας, ο φορτιστής μπαταρίας κλείνει, τα εξωτερικά τρανζίστορ διέλευσης NMOS (MN1 και MN2 στο Block Diagram) απενεργοποιούνται γρήγορα με εκφόρτιση του IGATE στη γείωση αποσυνδέοντας έτσι το σύστημα. Η έξοδος V_{SY} διαχωρίζεται από την είσοδο και τον εφεδρικό

μετατροπέα ενίσχυσης ενεργοποιείται αμέσως για να παραδώσει φορτίο από την μπαταρία. Αν και ο συγκριτής διακοπής ισχύος έχει υστέρηση περίπου 30mV, μπορεί να μην είναι σε θέση να ξεπεράσει την ακίδα τάσης εισόδου που προκύπτει από την ξαφνική κατάρρευση του προς το ρεύμα από την είσοδο στο VSYS. Να αποτρέψω επαναλαμβανόμενη ανεπιθύμητη εναλλαγή λειτουργίας, μόλις ενεργοποιηθεί, η εφεδρική ενίσχυση παραμένει για τουλάχιστον μισό δευτερόλεπτο. Στη διάρκεια αυτή τη φορά, η έξοδος συγκριτή διακοπής ισχύος παραβλέπεται και ένας εσωτερικός διακόπτης περίπου 270Ω τραβά προς τα κάτω την ακίδα OVSNS που βοηθά στην αποφόρτιση της εισόδου. Μετά τη λήξη του χρονοδιακόπτη μισού δευτερολέπτου, εάν η έξοδος συγκριτή διακοπής ισχύος υποδεικνύει ότι η τροφοδοσία εξακολουθεί να μην είναι διαθέσιμη, η εφεδρική ενίσχυση συνεχίζει να παραδίδει το φορτίο αλλά το pull-down της ακίδα OVSNS απελευθερώνεται. Όταν ο συγκριτής διακοπής ισχύος εντοπίσει ότι η ισχύς εισόδου είναι διαθέσιμη, η φόρτιση OVP και η αντλία αρχίζει να φορτίζει τον πείρο IGATE αλλά το αντίγραφο ασφαλείας και ο μετατροπέας boost συνεχίζει να παρέχει φορτίο συστήματος μέχρι το IGATE να είναι περίπου 8V. Αυτό διασφαλίζει ότι με την προώθηση έχει δημιουργηθεί διαδρομή αγωγιμότητας μέσω των εξωτερικών τρανζίστορ διέλευσης NFET. Σε αυτό το σημείο, η εφεδρική ενίσχυση απενεργοποιείται και ο φορτιστής ενεργοποιείται ξανά για φόρτιση ενώ το φορτίο του συστήματος παραδίδεται απευθείας από την είσοδο στο VSYS μέσω των τρανζίστορ διέλευσης.

Το LTC4040 περιλαμβάνει ένα συνεχές ρεύμα πλήρους δυνατότητας (CC) / φορτιστής συνεχούς τάσης (CV) με αυτόματη επαναφόρτιση, αυτόματος τερματισμός με χρονόμετρο ασφαλείας, φόρτιση χαμηλής τάσης, ανίχνευση κακής μπαταρίας και είσοδος αισθητήρα θερμίστορ για φόρτιση εκτός θερμοκρασίας παύσης. Ο φορτιστής μπαταρίας είναι υψηλής απόδοσης μετατροπέας που χρησιμοποιείται για τη μεταφορά φόρτισης από το VSYS σε BAT μέσω της ακίδας SW. Ο φορτιστής μπορεί να απενεργοποιηθεί ανεβάζοντας την τάση πάνω από 1.2V στο pin 4 του ολοκληρωμένου. Ο φορτιστής βρίσκεται διαρκώς σε σταθερή συχνότητα 2,25 MHz και είναι ικανός να φορτίζει απευθείας την μπαταρία με ρεύμα φόρτισης έως 2,5A από την παροχή εισόδου έως και 5.5V. Παράλληλα ένας συγκριτής μηδενικού ρεύματος παρακολουθεί το ρεύμα και κλείνει τον ανορθωτή NMOS μόλις αυτό μειωθεί σε περίπου 250mA. Αυτό βοηθάει στη βελτίωση της απόδοσης για φόρτιση με χαμηλό ρεύμα. Το ολοκληρωμένο γνωρίζει ανά πάσα ώρα την κατάσταση της μπαταρίας. Όταν ξεκινά ένας κύκλος φόρτισης μπαταρίας, ο φορτιστής μπαταρίας καθορίζει πρώτα εάν η μπαταρία έχει αποφορτιστεί βαθιά. Αν η τάση της μπαταρίας είναι κάτω από το V_{LOWBAT} , συνήθως 2,85V, η λειτουργία αυτόματης φόρτισης ρυθμίζει το ρεύμα φόρτισης έως $1/8^{\circ}$ ή 12,5% της προγραμματισμένης τιμής. Για να βελτιωθεί φορτίζει με την τρέχουσα ακρίβεια σε αυτό το χαμηλό επίπεδο. Ο φορτιστής εναλλαγής είναι απενεργοποιημένος και ένας δευτερεύων γραμμικός φορτιστής χρησιμοποιείται για την παροχή φόρτισης στην μπαταρία. Εάν η χαμηλή τάση επιμένει για περισσότερο από μισή ώρα, ο φορτιστής μπαταρίας τερματίζει και υποδεικνύει αυτόματα ότι η μπαταρία έχει σφάλμα

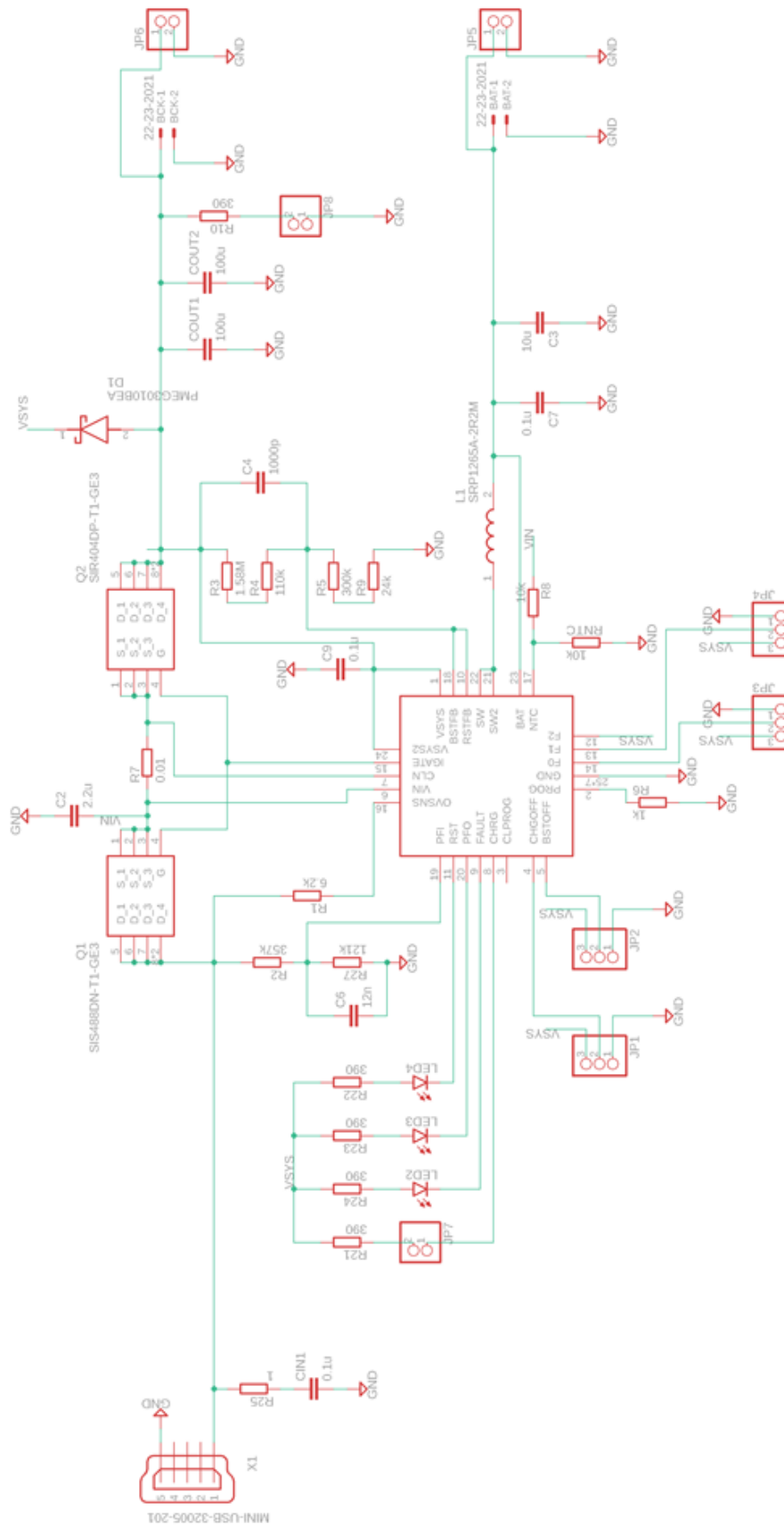
μπαταρίας. Μόλις η τάση της μπαταρίας υπερβεί το V_{LOWBAT} , ο φορτιστής ξεκινά τη φόρτιση σε λειτουργία συνεχούς ρεύματος σε πλήρη ισχύ. Ανάλογα με την κατάσταση εξωτερικού φορτίου, ο φορτιστής μπαταρίας ενδέχεται να μην μπορεί να φορτίσει την μπαταρία με την πλήρως προγραμματισμένη τιμή. Το φορτίο στην έξοδο έχει πάντα προτεραιότητα σε σχέση με τη μπαταρία ως προς τη ροή του ρεύματος. Ο φορτιστής μπαταρίας θα φορτίζει με την πλήρη προγραμματισμένη τιμή μόνο εάν το άθροισμα των το εξωτερικό φορτίο και το ρεύμα εισόδου φορτιστή είναι μικρότερο ή ίσο με το τρέχον όριο εισόδου που ορίζεται από την RS.

Ο φορτιστής μπαταρίας διαθέτει ενσωματωμένο χρονόμετρο ασφαλείας. Μόλις η τάση στην μπαταρία φτάνει την τάση φόρτισης που έχει οριστεί από τους ακροδέκτες F0, F1 και F2, ο φορτιστής θα ρυθμίσει την τάση της μπαταρίας εκεί και το ρεύμα φόρτισης θα μειωθεί. Ο χρονοδιακόπτης ασφαλείας (περίπου 4 ώρες για το Li-Ion και περίπου 2 ώρες για μπαταρίες LiFePO4) ξεκινά μόλις ο φορτιστής εντοπίσει ότι η μπαταρία έχει φτάσει στη τάση φόρτισης. Μετά τη λήξη του χρονοδιακόπτη ασφαλείας, η φόρτιση της μπαταρίας θα διακοπεί και δεν υπάρχει πλέον τρέχουσα τάση εκτός εάν η τάση της μπαταρίας πέσει κάτω από το όριο αυτόματης επαναφόρτισης. Μόλις τερματιστεί ο φορτιστής μπαταρίας, θα παραμείνει εκτός λειτουργίας αντλώντας μόνο μικροαμπέρ ρεύματος από την μπαταρία. Αν το κύκλωμα παραμένει σε αυτήν την κατάσταση αρκετό καιρό, η μπαταρία τελικά θα αυτοεκφορτωθεί. Για να βεβαιωθεί ότι η μπαταρία είναι πάντα γεμάτη, ένας κύκλος φόρτισης ξεκινάει αυτόματα όταν η τάση της μπαταρίας πέσει κάτω από το V_{RECHRG} . Σε περίπτωση όπου ο χρονοδιακόπτης ασφαλείας λειτουργεί όταν η τάση της μπαταρίας πέσει κάτω από το V_{RECHRG} , θα επανέλθει στο μηδέν.

Το LTC4040 παρακολουθεί τη θερμοκρασία της μπαταρίας κατά τη διάρκεια του κύκλου φόρτισης χρησιμοποιώντας ένα θερμίστορ, τοποθετημένο κοντά στην μπαταρία. Εάν η θερμοκρασία της μπαταρίας κινείται έξω από ένα ασφαλές εύρος φόρτισης, ο φορτιστής αναστέλλει τη φόρτιση και σηματοδοτεί μια κατάσταση βλάβης έως ότου η θερμοκρασία επιστρέψει στο εύρος ασφαλούς φόρτισης. Το εύρος ασφαλούς φόρτισης καθορίζεται από δύο συγκριτές που παρακολουθούν την τάση στους ακροδέκτες του θερμίστορ. Για να χρησιμοποιήσετε αυτήν τη δυνατότητα, συνδέστε το θερμίστορ, RNTC, μεταξύ της ακίδας NTC και της γείωσης. Το LTC4040 θα διακόψει τη φόρτιση όταν η αντίσταση του το θερμίστορ αυξάνεται στο 325% της αντίστασης R_{BIAS} όσο η θερμοκρασία μειώνεται. Το LTC4040 επίσης διακόπτει τη φόρτιση εάν η αντίσταση του θερμίστορ μειωθεί στο 53,6% της αντίστασης R_{BIAS} . Εάν ο φορτιστής μπαταρίας βρίσκεται σε λειτουργία σταθερής τάσης, ο χρονοδιακόπτης διακόπτεται επίσης έως ότου το θερμίστορ δείξει επιστροφή σε έγκυρη θερμοκρασία. Η γείωση της ακίδας NTC απενεργοποιεί όλες οι λειτουργίες NTC.

Το LTC4040 μπορεί να προστατευτεί από ακούσια εφαρμογή υπερβολικής τάσης με μόλις δύο εξωτερικά στοιχεία: ένα N-channel FET (MN1) και μια αντίσταση 6.2k. Το μέγιστο μέγεθος της υπέρτασης καθορίζεται από την επιλογή εξωτερικού NMOS. Η προαιρετική μονάδα προστασίας από υπέρταση (OVP) αποτελείται από δύο ακίδες. Η

2.5 Υλοποίηση του σχηματικού – θεωρητικού κυκλώματος



Σχήμα 2.3. Το σχηματικό όπως αυτό σχεδιάστηκε στο λογισμικό EAGLE

Το σύστημα έχει τρία κύρια εξαρτήματα κυκλώματος. Έναν φορτιστή μπαταρίας, έναν εφεδρικό ενισχυτή με δυνατότητα αυτόματης λειτουργίας για παροχή ισχύος στο φορτίο όταν η εξωτερική ισχύς εισόδου χάνεται και έναν διακόπτη-συγκριτή για να αποφασίσει ποιο εξάρτημα θα ενεργοποιηθεί για να μας δώσει την αδιάλειπτη έξοδο που θέλουμε. Βέβαια το LTC4040 έχει και πολλά άλλα βοηθητικά στοιχεία όπως έναν ενισχυτή ρεύματος εισόδου και ένα προστατευτικό υπέρτασης του κυκλώματος.

Υπάρχουν 3 LED στο κύκλωμα μας των οποίων η λειτουργία αναλύεται παρακάτω.

Το LED 2 είναι μας υποδεικνύει τα σφάλματα. Συνήθως ανέρχεται μέσω μιας αντίστασης σε μια τάση αναφοράς. Είναι συνδεδεμένο στο pin 9 του ολοκληρωμένου και μας δείχνει εάν υπάρχει βλάβη του κύκλου φόρτισης κατά τη διάρκεια ενός κύκλου φόρτισης μπαταρίας. Είτε αυτό είναι σφάλμα από μια κακή μπαταρία είτε είναι βλάβη που προκλήθηκε από αλλαγή στη θερμοκρασία. Εάν δεν υπάρχουν εσφαλμένες συνθήκες, η καρτίτσα FAULT παραμένει με υψηλή αντίσταση και δεν μας ανάβει το Led.

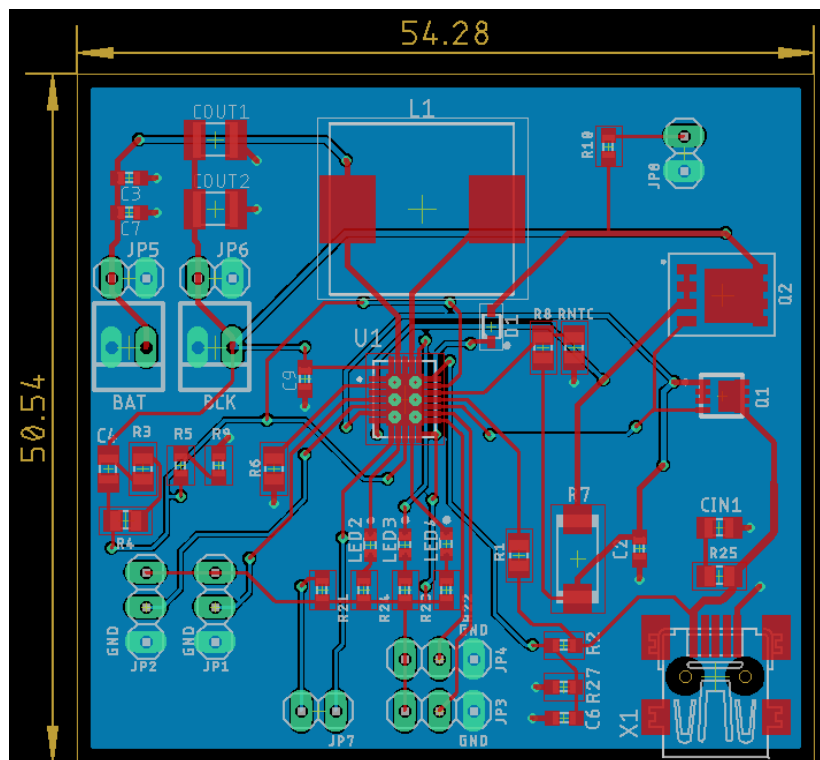
Το LED 3 συνδέεται στο Pin 20 του ολοκληρωμένου. Μας δείχνει την κατάσταση εξόδου, αν υπάρχει διακοπή ρεύματος ή όχι. Αν το κύκλωμα μας δουλεύει κανονικά το Led αυτό παραμένει αναμμένο. Όταν εντοπίσει διακοπή στο ρεύμα εισόδου τότε σβήνει.

Το LED 4 συνδέεται στο Pin 11 του ολοκληρωμένου. Εδώ βρίσκεται η Έξοδος κατάστασης του Συγκριτή Επαναφοράς. Αυτός ο πείρος γειώνεται από ένα εσωτερικό N-channel MOSFET όποτε η επαναφορά συγκριτή πέφτει κάτω 0,74V Μόλις ανακτηθεί η τάση του πείρου, ο πείρος γίνεται υψηλή αντίσταση μετά από καθυστέρηση 232ms.

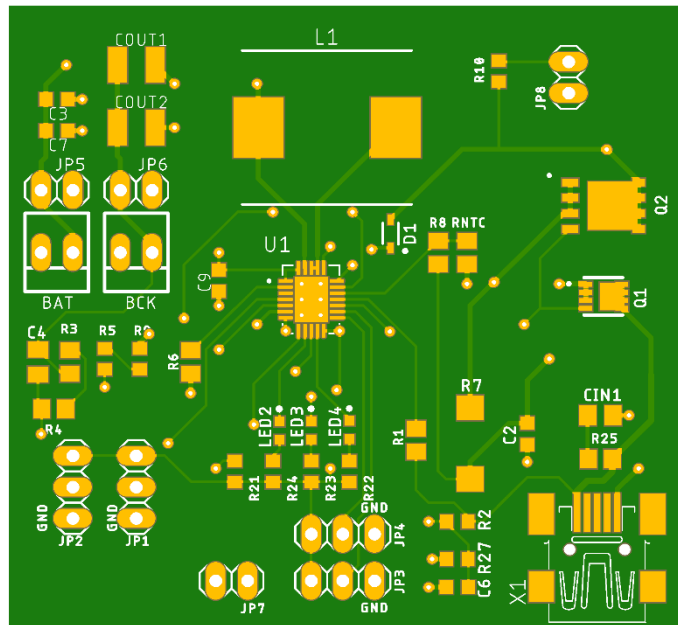
2.6 Υλοποίηση του layout

Κατά την διάρκεια τοποθέτησης των στοιχείων ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε στην θύρα USB όπου πρέπει να βρίσκεται στην άκρη της πλακέτας ώστε να είναι εφικτή η σύνδεση καλωδίου. Καθώς η ένταση του ρεύματος παραμένει χαμηλή σχεδόν σε όλα τα σημεία του κυκλώματος, το πάχος των γραμμών επιλέχθηκε να είναι 8mil. Για τις γραμμές όπου έχουμε την κύρια τροφοδοσία (από την θύρα USB) το πάχος των γραμμών είναι 16mil. **Δεδομένου ότι το LTC4040 περιλαμβάνει υψηλής συχνότητας μετατροπέα, πρέπει να ακολουθηθούν κάποιες οδηγίες από τον κατασκευαστή κατά την κατασκευή του τυπωμένου κυκλώματος προκειμένου να επιτευχθεί η βέλτιστη απόδοση και οι λιγότερες δυνατές ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές. Ακόμα κι αν ο μετατροπέας μπορεί να λειτουργήσει τόσο στη λειτουργία stepdown (buck) όσο και**

στη step-up (boost), υπάρχει μόνο ένα hot-loop που περιέχει υψηλής συχνότητας εναλλασσόμενα ρεύματα. Το ρεύμα στους πυκνωτές που συνδέονται στην ακίδα C_{BAT} του ολοκληρωμένου είναι συνεχές, ενώ το ρεύμα στην ακίδα C_{SYS} είναι εναλλασσόμενο σχηματίζοντας έναν θερμό βρόχο μεταξύ της V_{SYS} και της γείωσης. Ο πυκνωτής στην τάση V_{SYS} θα πρέπει να τοποθετηθεί όσο πιο κοντά γίνεται στις ακίδες V_{SYS} και ο πυκνωτής να συνδεθεί στη γείωση. Για να ελαχιστοποιηθεί η παρασιτική επαγωγή, το επίπεδο της γείωσης πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο κοντά στο επάνω επίπεδο του τυπωμένου κυκλώματος. Εάν υπάρχουν σχισμές, κοψίματα ή τρύπες στην πλακέτα στο επίπεδο της γείωσης, το ρεύμα θα διαρρέει από εκεί. Θα πρέπει να γίνει προσπάθεια ώστε η διαδρομή του ρεύματος να μείνει αδιάσπαστη. Τα άλλα σημαντικά στοιχεία που πρέπει να είναι τοποθετημένα κοντά στις ακίδες του ολοκληρωμένου είναι οι πυκνωτές της μπαταρίας και το πηνίο L1. Ακόμα κι αν το ρεύμα που διαρρέει αυτά τα στοιχεία είναι συνεχές, μπορούν να αλλάξουν πολύ απότομα λόγω μιας ξαφνικής αλλαγής στη ζήτηση του φορτίου. Επίσης, τα ίχνη τους πρέπει να είναι αρκετά φαρδιά για να τα χειρίζονται ρεύματα τόσο υψηλά όσο το τρέχον όριο. Επίσης το πίσω μέρος του LTC4040 πρέπει να κολληθεί με ασφάλεια στην πλακέτα και πρέπει να συνδέεται στο επίπεδο γείωσης για βέλτιστη θερμική εκτέλεση.



Σχήμα 2.4 Το τελικό layout της πλακέτας. Με κόκκινο χρώμα απεικονίζεται η άνω πλευρά και με γαλάζιο η κάτω

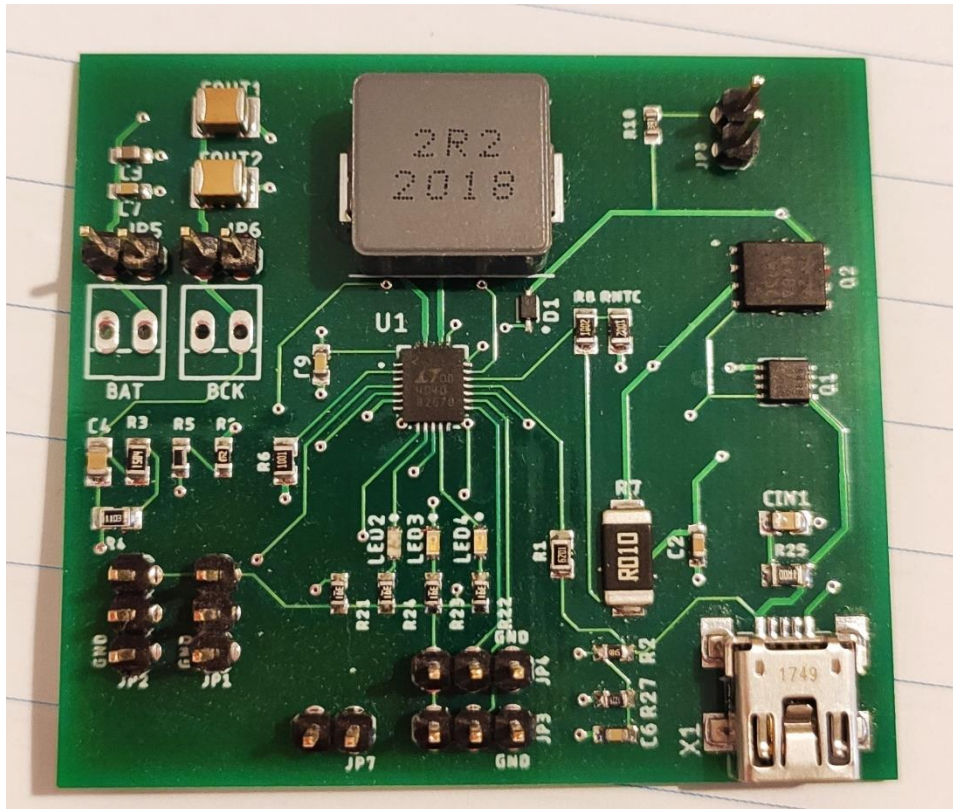


Σχήμα 2.5 2D απεικόνιση της πλακέτας που θα κατασκευαστεί

2.7 Κατασκευή πλακέτας

Για να κατασκευαστεί μια πλακέτα ή αλλιώς ένα τυπωμένο κύκλωμα υπάρχουν κάποια βήματα που πρέπει να ακολουθηθούν. Αρχικά να γίνει η εκτύπωση του κυκλώματος από το πρόγραμμα στο οποίο έχει σχεδιαστεί είτε σε ριζόχαρτο είτε σε μια θερμοδιαφάνεια. Η εκτύπωση μπορεί να γίνει με εκτυπωτή Laser και με εκτυπωτή inject. Μετέπειτα κόβεται η πλακέτα στο κατάλληλο μέγεθος για το κύκλωμα μας. Τοποθετείται στη φωτοευαίσθητη πλευρά της πλακέτας με προσοχή το εκτυπωμένο κύκλωμα. Φροντίζουμε να είναι ευδιάκριτα τα σύμβολα τα γράμματα και οι αριθμοί της εκτύπωσης. Στη συνέχεια η πλακέτα μας πρέπει να εκτεθεί σε υπέρυθρη ακτινοβολία, για το λόγο υπάρχει ειδικός μηχανήμα. Όταν η πλακέτα μας είναι έτοιμη την αφαιρούμε από το μηχανήμα ακτινοβολίας και την πλένουμε με ένα διάλυμα νερού και ποτάσας για να εμφανιστούν τα στοιχεία της πλακέτας. Μετά πρέπει να γίνει η αποχάλκωση. Τοποθετείται η πλακέτα σε ένα διάλυμα νερού και υδροχλωρικού οξέος ή τριχλωριούχου σιδήρου, μέχρι να καθαρίσει ο περιττός χαλκός από τα σημεία τα οποία θέλουμε. Στο τέλος ξεπλένουμε καλά την πλακέτα με νερό και τη στεγνώνουμε. Μετά και από αυτό είμαστε έτοιμη να ξεκινήσουμε να δίνουμε μορφή στην πλακέτα μας[29].

Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε την τελική μορφή του τυπωμένου κυκλώματος.



Σχήμα 2.6 Τελική μορφή τυπωμένου κυκλώματος

2.8 Κατασκευή τροφοδοτικού

Η τελική μορφή του τροφοδοτικού μας αποτελείται από ένα πλαστικό κουτί κατασκευών. Ένα κομμάτι γυαλί ώστε να είναι φανερή η πλακέτα. Μια βάση για τη μπαταρία του συστήματος. Και ένα βύσμα dc jack αρσενικό για την έξοδο.

2.8.1 Επιλογή των υλικών

Για την κατασκευή της πλακέτας χρησιμοποιήθηκαν:

Αντιστάσεις

1. R1 = 6.2k
2. R2 = 357k
3. R3 = 1.58M
4. R4 = 10k
5. R5 = 300k
6. R6 = 1k
7. R7 = 0.01

8. $R8 = 10k$
9. $R9 = 24k$
10. $R10 = 390$
11. $R21 = 390$
12. $R22 = 390$
13. $R23 = 390$
14. $R24 = 390$
15. $R25 = 390$
16. $R27 = 121k$
17. $Rntc = 10k$

Ποικνωτές

1. $Cout1 = 100\mu F$
2. $Cout2 = 100\mu F$
3. $C2 = 2,2\mu F$
4. $C3 = 10\mu F$
5. $C4 = 1000\mu F$
6. $C6 = 12Nf$
7. $C7 = 0,1Mf$
8. $C9 = 0,1\mu F$
9. $Cin = 0,1Mf$

Πηνίο

1. $L1 = 2,2\mu H$

Δίοδοι

2. Led2
3. Led3
4. Led4
5. Zener

Τρανζίστορ – Mosfet

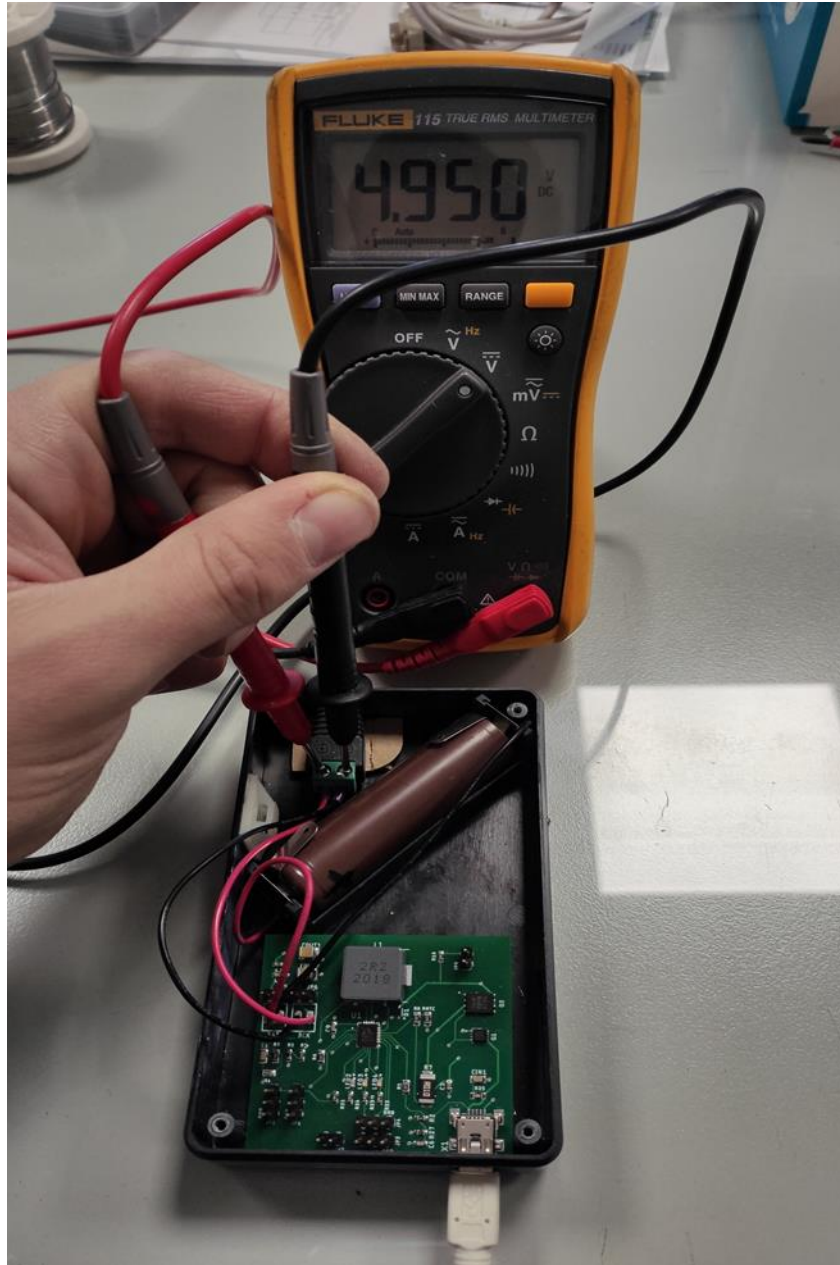
1. Q1 = SIS488DN N-Channel
2. Q2 = SIR404DP N-Channel



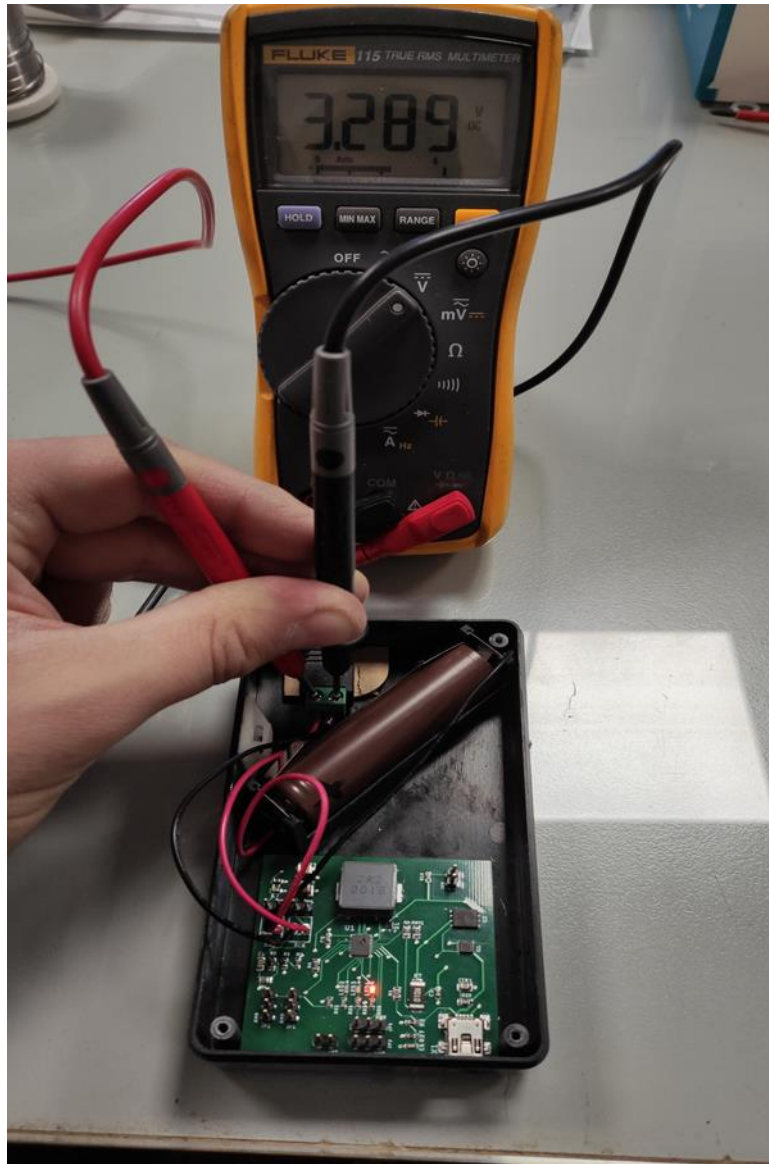
Σχήμα 2.8 Η άνοψη (έξοδος) και η κάτωψη (είσοδος) της κατασκευής

2.9 Μετρήσεις και αποτελέσματα

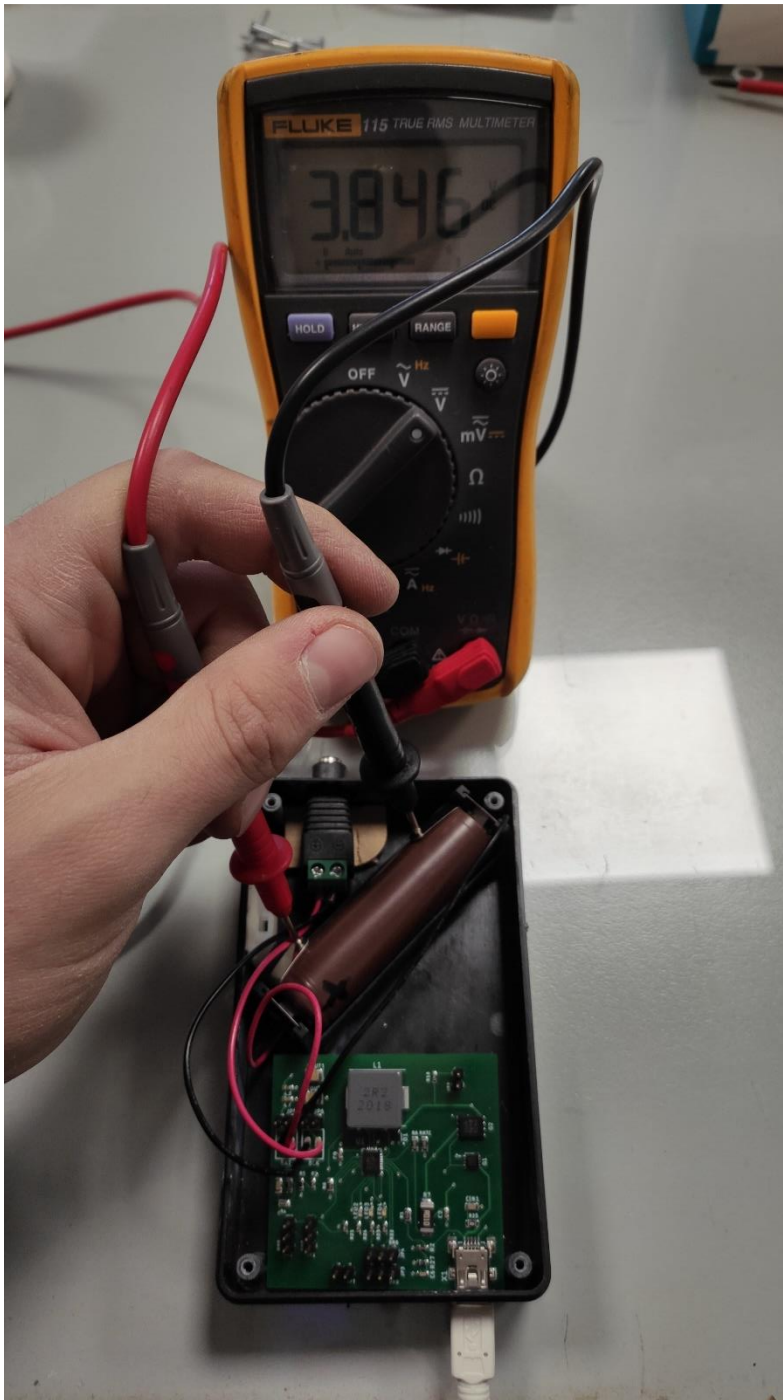
Σε αυτό το σημείο θα δούμε πειραματικά τη συμπεριφορά του τροφοδοτικού μας σε διάφορες περιπτώσεις. Αρχικά χωρίς τη χρήση φορτίου στην έξοδο και έπειτα με φορτίο ένα κινητό τηλέφωνο.



Σχήμα 2.9 Η τάση στην έξοδο χωρίς φορτίο.



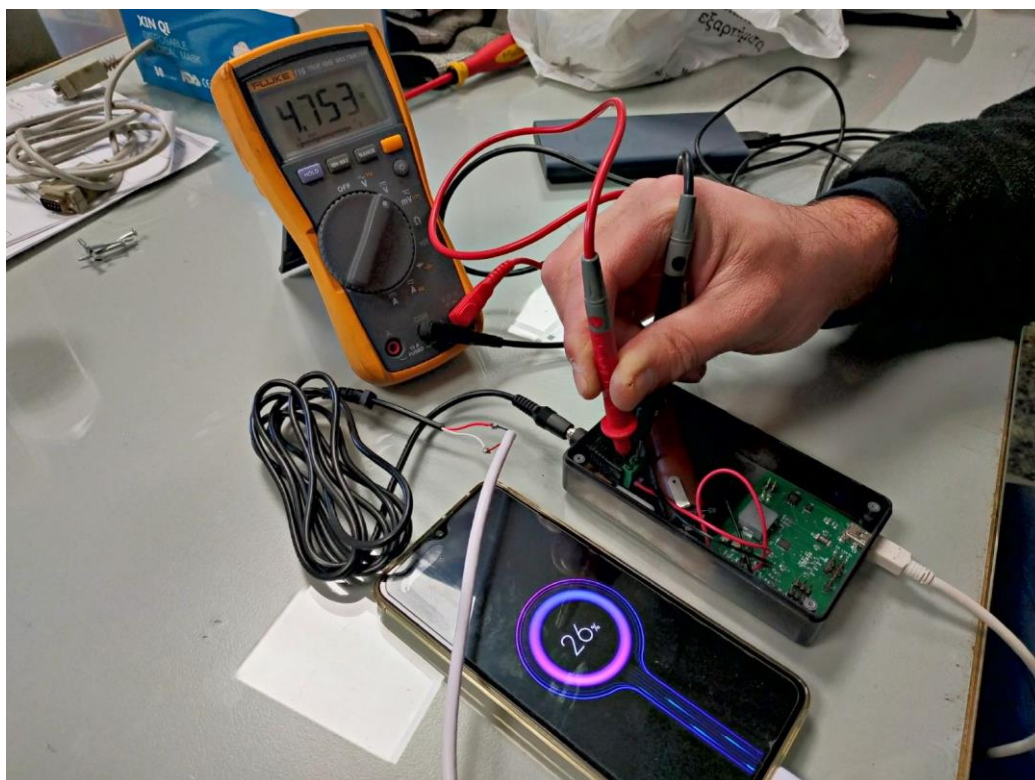
Σχήμα 2.10 Η τάση στην έξοδο μόνο με τη χρήση του εφεδρικού συστήματος.



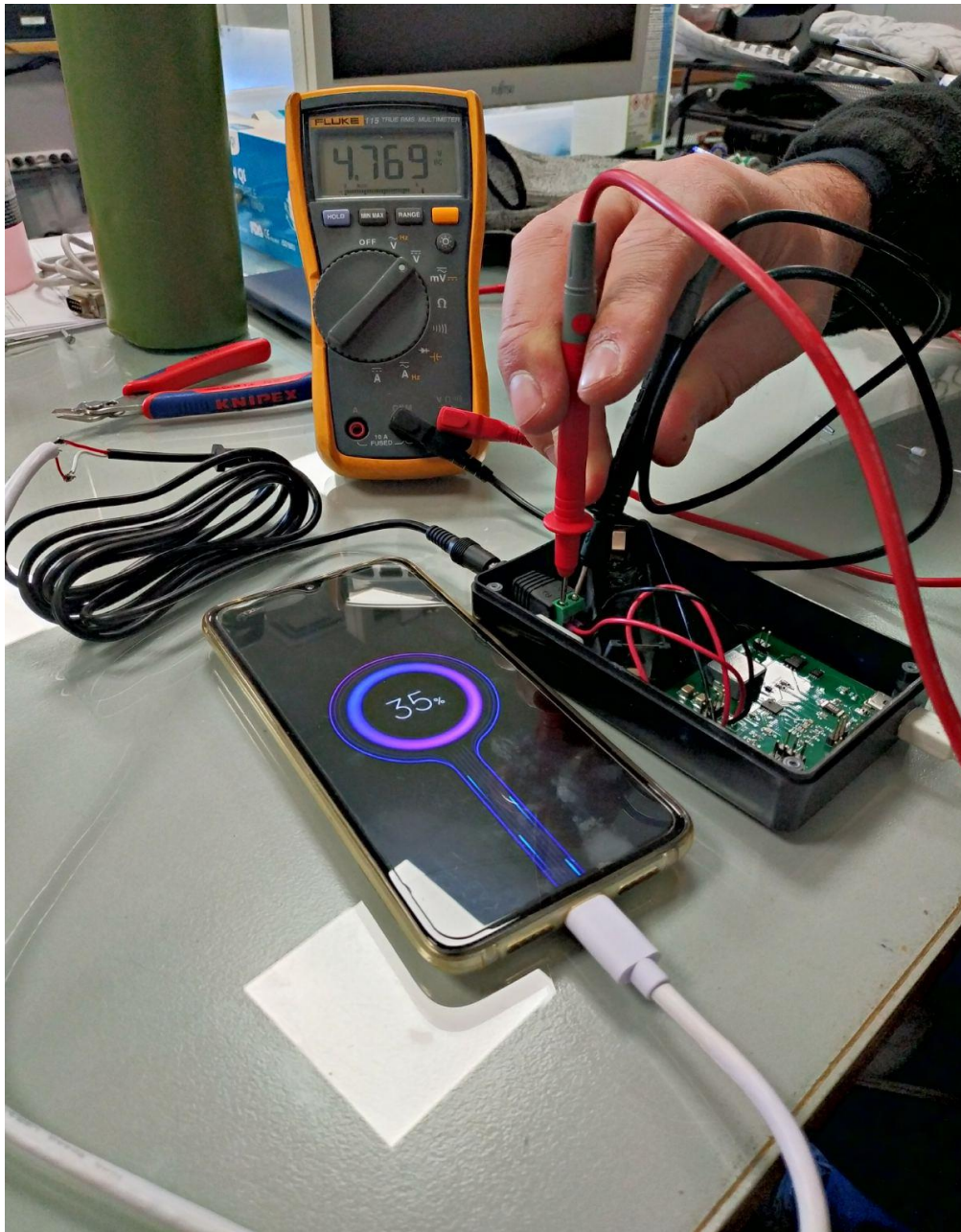
Σχήμα 2.11 Η τάση στα άκρα της μπαταρίας.



Σχήμα 2.12 Συνδέουμε το κινητό στην έξοδο του τροφοδοτικού.
Χωρίς τη μπαταρία, μόνο με το βασικό σύστημα τροφοδοσίας φορτίζει το κινητό.



Σχήμα 2.13 Μέτρηση με το πολύμετρο της τάσης εξόδου με είσοδο συνδεδεμένη, την μπαταρία στο κύκλωμα και φορτίο στην έξοδο.



Σχήμα 2.14 Μέτρηση της τάσης εξόδου χωρίς τη μπαταρία.

Επίλογος

Το παρόν κεφάλαιο περιλαμβάνει το κατασκευαστικό και πειραματικό μέρος της εργασίας, όπου πραγματοποιήθηκε ο σχεδιασμός και η υλοποίηση ενός UPS, ενός συστήματος αδιάλειπτης πηγής τροφοδοσίας, κατάλληλου για χρήση σε οικιακές εφαρμογές. Αφού παρουσιάστηκε το μπλοκ διάγραμμα του κυκλώματος, περιεγράφηκαν τα τεχνικά χαρακτηριστικά του κυκλώματος, οι τυπικές εφαρμογές της συσκευής, η επιλογή των υλικών, καθώς και η λειτουργία της κατασκευής. Επιπρόσθετα, παρουσιάστηκε η υλοποίηση του σχηματικού και του layout, ο σχεδιασμός της πλακέτας μαζί με τα χαρακτηριστικά των στοιχείων που την απαρτίζουν, όπως και τα στάδια κατασκευής της πλακέτας. Η μεγαλύτερη έμφαση δόθηκε στην ανάλυση του ολοκληρωμένου LTC4040, στο οποίο βασίζεται ολόκληρο το κύκλωμα και στηρίζεται ολόκληρη η κατασκευή του τροφοδοτικού. Επιπλέον, έγινε παρατήρηση της λειτουργίας της τελικής μας κατασκευής και παρουσιάστηκαν οι μετρήσεις και τα αποτελέσματα που προέκυψαν κατά τη χρήση της, προκειμένου να ελεγχθεί η ορθή λειτουργία της κατασκευής μας.

Συμπεράσματα και προτάσεις βελτίωσης

Σε αυτή την πτυχιακή εργασία αναφερθήκαμε στα τροφοδοτικά αδιάλειπτης παροχής ισχύος. Αναλύθηκαν οι τύποι των τροφοδοτικών, ποια είναι τα επιμέρους τμήματα που συνθέτουν ένα τροφοδοτικό. Τις βασικές λειτουργίες ενός τροφοδοτικού και ποια είναι η τελική λειτουργία τους.

Ξεχωριστή αναφορά έγινε στις μπαταρίες, οι οποίες είναι αναπόσπαστο κομμάτι ενός τροφοδοτικού. Είδαμε τους τύπους των μπαταριών και πως δουλεύουν.

Έπειτα περιγράψαμε τη δική μας κατασκευή. Πως σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε. Μελετήσαμε τα σημαντικότερα μέρη τα οποία βρίσκουμε στην πλακέτα του κυκλώματος μας καθώς και της τελικής κατασκευής μας. Τα μέρη στα οποία αναφερθήκαμε εκτενέστερα είναι τα σημαντικότερα ενός τέτοιου κυκλώματος.

Τέλος, εξετάσαμε μετρώντας με πολύμετρο αν το τελικό μας κύκλωμα είναι λειτουργικό και αν έχουμε τις μετρήσεις που περιμέναμε. Δεν διαπιστώθηκε κάποιο σφάλμα στη λειτουργία της συσκευής μας. Μας δίνει την έξοδο που περιμένουμε και με την κεντρική παροχή ρεύματος και με το εφεδρικό σύστημα της μπαταρίας.

Εκεί που θα μπορούσαν να βελτιωθούν κάποια πράγματα είναι στο κουτί που φιλοξενεί το κύκλωμα μας. Θα μπορούσε να έχει χρησιμοποιηθεί μεγαλύτερο κουτί για μεγαλύτερη ευκολία στην τοποθέτηση των αντικειμένων. Είναι όμως το αρχικό βήμα στον κόσμο των κατασκευών και η βάση για κάποιον που θέλει να προχωρήσει στη σχεδίαση και κατασκευή τροφοδοτικών μεγαλύτερης ισχύος για πιο απαιτητικές εφαρμογές. Επιπροσθέτως θα βοηθούσε αν στο τυπωμένο κύκλωμα είχαν συνδεθεί κλέμες στην έξοδο του κυκλώματος και στα άκρα της μπαταρίας.

Μία παραμετροποίηση που μπορεί να γίνει είναι στην τάση εξόδου των 5V. Η οποία μπορεί να λάβει και οποιαδήποτε άλλη επιθυμητή τιμή, με τη χρήση του κατάλληλου μετατροπέα συνεχούς ρεύματος.

Ένα τέτοιο τροφοδοτικό μπορεί να μας φανεί χρήσιμο μέσα στην οικία μας καθώς μπορεί να τροφοδοτήσει για παράδειγμα ένα router, μια ασύρματη συσκευή σταθερής τηλεφωνίας ή κάποια άλλη ηλεκτρονική συσκευή μικρής κατανάλωσης ισχύος.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] “Ημιανόρθωση εναλλασσόμενης τάσης” [Online]. Available: <http://users.sch.gr/kgiannaras/analogika-ilektronika/imianorthosi-enallassomenis-tasis.html>
- [2] “Power supply” [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Power_supply
- [3] “Μετασχηματιστής” [Online]. Available: <https://el.wikipedia.org/wiki/Μετασχηματιστής>
- [4] “Equivalent Circuit of Transformer Referred to Primary and Secondary Side” [Online]. Available: <https://electricalacademia.com/transformer/equivalent-circuit-transformer-referred-primary-secondary-side/>
- [5] R. Visintini, “Chapter 7,” in *Rectifiers*, CERN-2006-010, CERN, pp.133-183, 2004
- [6] “Rectifier” [Online]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Rectifier>
- [7] “Full Wave Rectifier” [Online]. Available: https://www.electronicstutorials.ws/diode/diode_6.html
- [8] “Transistor Series Voltage Regulator” [Online]. Available: <https://electronicspost.com/transistor-series-voltage-regulator/>
- [9] “Transistor Shunt Voltage Regulator” [Online]. Available: <https://electronicspost.com/transistor-shunt-voltage-regulator/>
- [10] “Series Feedback Voltage Regulator” [Online]. Available: <https://electronicspost.com/series-feedback-voltage-regulator/>
- [11] Texas Instruments, “LM340, LM340A and LM7805 Family Wide VIN 1.5-A Fixed Voltage Regulators” datasheet, Sept. 2016.
- [12] “An Introduction to Buck, Boost, and Buck/Boost Converters” [Online]. Available: <https://recom-power.com/en/rec-n-an-introduction-to-buck,-boost,-and-buck!sboost-converters-131.html?0>
- [13] “Switch Mode Power Supply” [Online]. Available: <https://www.electronicstutorials.ws/power/switch-mode-power-supply.html>
- [14] “Linear System DC Power Supply Attributes” [Online]. Available: <http://powersupply.blogs.keysight.com/2011/11/should-i-use-switching-or-linear-dc.html>
- [15] “Switching DC system power supply attributes” [Online]. Available: http://powersupply.blogs.keysight.com/2011/11/should-i-use-switching-or-linear-dc_23.html
- [16] Duan, J., et al., Building Safe Lithium-Ion Batteries for Electric Vehicles: A Review. *Electrochemical Energy Reviews*, vol. 3, iss.1, p. 1-42, 2020

- [17] Muench, S., et al., Polymer-Based Organic Batteries. *Chemical Reviews*, vol. 116, iss.16, p. 9438-9484, 2016
- [18] “BU-106: Advantages of Primary Batteries” [Online]. Available: https://batteryuniversity.com/learn/article/primary_batteries
- [19] Chen, W., et al., Nanocellulose: a promising nanomaterial for advanced electrochemical energy storage. *Chem Soc Rev*, vol. 47, iss. 8, p. 2837-2872, 2018
- [20] “BU-204: How do Lithium Batteries Work?” [Online]. Available: https://batteryuniversity.com/learn/article/lithium_based_batteries
- [21] Borah, R., et al., “On battery materials and methods”, *Materials Today Advances*, vol. 6, p. 100046, 2020
- [22] “Uninterruptible power supply” [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Uninterruptible_power_supply
- [23] “What Is An 'Offline' UPS?” [Online]. Available: <https://www.riello-ups.com/questions/29-what-is-an-offline-ups>
- [24] “What is a 'Line Interactive' UPS?” [Online]. Available: <https://www.riello-ups.co.uk/questions/3-what-is-a-line-interactive-ups>
- [25] “Uninterruptible Power Supply | UPS” [Online]. Available: <https://www.electrical4u.com/ups-uninterruptible-power-supply/>
- [26] Albert Malvino, David Bates, “MOSFET”, Ηλεκτρονική 8^η έκδοση, vol.12, pg. 403,408
- [27] <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/4040fb.pdf>
- [28] Σταύρος Τ. Κυρτόπουλος, “Κατασκευή τυπωμένου κυκλώματος”, Τεχνολογία Ηλεκτρονικών Εξαρτημάτων, κεφ.13, σελ. 213,214