

---

**ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ  
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΕ**

---

**Σχεδίαση και κατασκευή διακοπτικού τροφοδοτικού  
ελεγχόμενο από PIC με ρυθμιζόμενη τάση εξόδου**

**Design and construction switching power supply  
controlled by PIC with adjustable output voltage**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ  
ΤΟΥ  
ΣΕΝΓΚΙΕΡΓΚΗ ΚΛΑΝΤΙΟΣ  
509556  
14168M**

**Επιβλέπων: Γιακουμής Άγγελος, καθηγητής εφαρμογών**

**ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ, 13/10/2014 - 15/1/2016**

---

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αναπόσπαστο κομμάτι όλων των ηλεκτρονικών διατάξεων είναι το τροφοδοτικό, το οποίο αναλαμβάνει να τροφοδοτεί συσκευές με σταθερή τάση που προκύπτει από την μετατροπή της τάσης του δικτύου. Στην παρούσα πτυχιακή εργασία γίνεται μια εκτενής μελέτη πάνω στην τεχνολογία με την οποία λειτουργούν τα σύγχρονα διακοπτικά τροφοδοτικά. Αναλύονται οι διάφορες μέθοδοι και τα επιμέρους στοιχεία από τα οποία αποτελείται ένα τροφοδοτικό. Γίνεται αναφορά στο θέμα της ασφάλειας του χρηστή και της συσκευής αφού μιλάμε για μια συσκευή που συνδέεται σε υψηλή τάση, και επίσης την αναγκαιότητα στο σύγχρονο κόσμο οι νέες συσκευές και τεχνολογίες να είναι ενεργειακά πιο αποδοτικές. Στη συνέχεια ακολουθεί η περιγραφή και οι λεπτομέρειες βήμα προς βήμα για την εξολοκλήρου κατασκευή. Το διακοπτικό τροφοδοτικό αυτό χρησιμοποιεί για ελεγκτή έναν προγραμματιζόμενο μικροελεγκτή PIC και όχι κάποιο ολοκληρωμένο που υπάρχει στο εμπόριο για αυτό το σκοπό για να δοθεί έμφαση στο τρόπο λειτουργίας και την επεξεργασία των σημάτων. Επίσης γίνεται και μια αναφορά στις ιδιαιτερότητες και τις δυσκολίες που προκύπτουν, για να φτάσουμε τελικά σε συμπεράσματα και αποτελέσματα τα οποία δείχνουν και τα περιθώρια βελτίωσης και ανάπτυξης ανάλογα με τις ανάγκες.

## SUMMARY

An integral part of all electronic devices is the power supply, which undertakes to supply devices with constant voltage resulting from the conversion of the network voltage. In this thesis there is a comprehensive study on the technology with which modern switch power supplies function. It analyzes the various methods and the individual elements of which a power supply comprises. Reference is made to the issue of safety of the user and the device since we are talking about a device that is connected to high voltage, and also the necessity in the modern world, new devices and technologies to be more energy efficient. What follows is the description and step by step details of this entire construction. This switching power supply uses for controller a programmable PIC microcontroller, and not a integrated one which is marketed for this purpose, in order to highlight the function mode and signal processing. A reference is also made to the particularities and difficulties that arise, to finally reach conclusions and results that show the potential improvement and growth according to the needs.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

#### ΘΕΩΡΙΑ ΔΙΑΚΟΠΤΙΚΩΝ ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΩΝ

|   |    |
|---|----|
| 1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....                                   | 3  |
| 1.2 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΔΙΑΚΟΠΤΙΚΑ ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΑ.....        | 6  |
| 1.3 FLYBACK ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑΣ.....                        | 10 |
| 1.4 ΑΝΟΡΘΩΤΗΣ ΚΑΙ ΦΙΛΤΡΟ ΕΙΣΟΔΟΥ.....               | 12 |
| 1.5 ΔΙΑΚΟΠΤΙΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΚΑΙ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗΣ ..... | 16 |
| 1.6 ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ ΙΣΧΥΟΣ.....                           | 20 |
| 1.7 ΦΙΛΤΡΟ ΕΞΟΔΟΥ.....                              | 21 |
| 1.8 ΑΝΑΔΡΑΣΗ – ΟΠΤΙΚΗ ΖΕΥΞΗ.....                    | 22 |
| 1.9 ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ.....                     | 23 |
| 1.10 ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗ ( ΕΜΙ ).....        | 26 |

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

#### ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΔΙΑΚΟΠΤΙΚΟΥ ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΟΥ

|  |    |
|--|----|
| 2.1 SCHEMATIC ΚΑΙ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΥΛΟΠΟΙΗΣΕΙΣ.....   | 27 |
| 2.2 ΕΠΙΛΟΓΗ ΥΛΙΚΩΝ ΑΝΟΡΘΩΤΗ.....               | 28 |
| 2.3 ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ ΕΛΕΓΚΤΗ ΤΟΥ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑ.....     | 29 |
| 2.4 ΔΟΜΗ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗ ΥΨΗΛΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ..... | 30 |
| 2.5 ΔΟΜΗ ΦΙΛΤΡΟΥ ΕΞΟΔΟΥ.....                   | 31 |
| 2.6 ΑΝΑΔΡΑΣΗ – FEEDBACK.....                   | 32 |
| 2.7 PIC – ΚΩΔΙΚΑΣ.....                         | 34 |
| 2.8 PCB.....                                   | 38 |
| 2.9 LCD ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΑΣΗΣ ΕΞΟΔΟΥ .....          | 43 |
| 2.10 ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΟΓΚΟΥ.....                       | 46 |

|            |    |
|------------|----|
| ΥΛΙΚΑ..... | 47 |
|------------|----|

|                   |    |
|-------------------|----|
| ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ..... | 48 |
|-------------------|----|

## 1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Για τις ανάγκες τροφοδοσίας των ηλεκτρονικών διατάξεων χρησιμοποιούνται τα τροφοδοτικά τα όποια είναι ηλεκτρονικές συσκευές που μπορεί να είναι είτε εσωτερικές είτε εξωτερικές. Ουσιαστικά τα τροφοδοτικά συνδέονται στην τάση δικτύου ( 230V ή 110V AC ) που είναι μια εναλλασσόμενη τάση μεγάλης τιμής και την μετατρέπουν σε μια τάση κατάλληλη για την λειτουργία της συσκευής που θέλουμε να τροφοδοτήσουμε, και επίσης περά από την τάση θα πρέπει να παρέχει και το κατάλληλο ρεύμα, αυτά είναι τα δυο πιο σημαντικά χαρακτηριστικά και αναφέρονται ως ισχύ του τροφοδοτικού. Συνήθως οι συσκευές τροφοδοτούνται από συνεχές ρεύμα όποτε και στην πλειοψηφία τα τροφοδοτικά είναι μετατροπείς από εναλλασσόμενο σε συνεχές ( AC to DC converters ) .

Οι διατάξεις τροφοδοσίας διακρίνονται σε δυο κύριες κατηγορίες τα γραμμικά τροφοδοτικά και τα διακοπτικά τροφοδοτικά ή παλμοτροφοδοτικά (switching power supplies), αρχικά χρησιμοποιήθηκαν τα γραμμικά τροφοδοτικά τα όποια εξακολουθούν να προτιμούνται σε ορισμένες εφαρμογές .

Ένα γραμμικό τροφοδοτικό αποτελείται:

- Μετασχηματιστή
- Ανορθωτή
- Φίλτρο
- Σταθεροποιητή

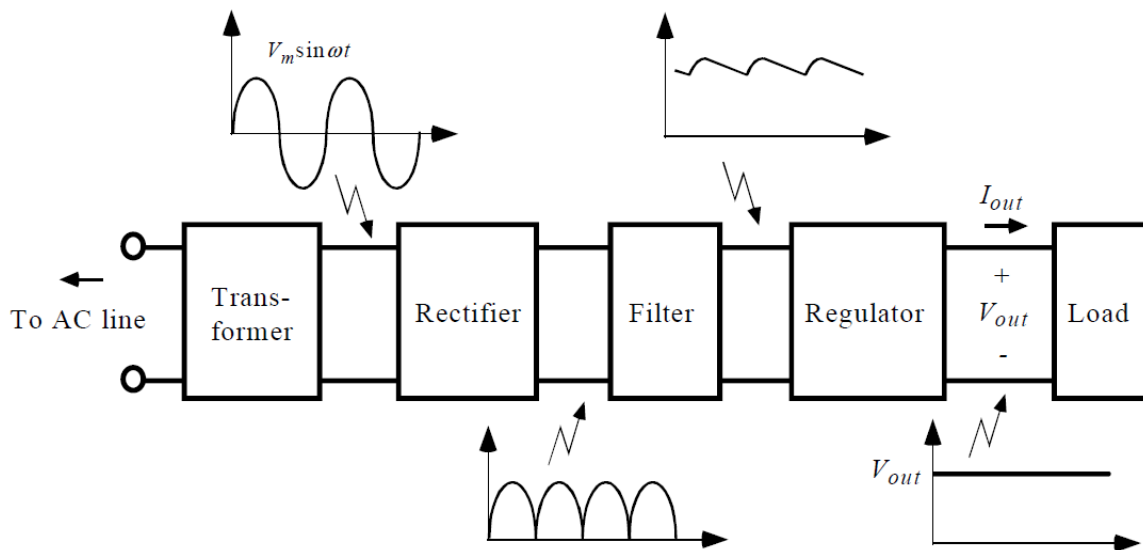
Ο μετασχηματιστής μας εξασφαλίζει γαλβανική απομόνωση από το δίκτυο και μετασχηματίζει την τάση στην επιθυμητή τιμή ανάλογα το λόγο σπειρών που θα επιλέξουμε  $N1 / N2$ , συνήθως έχουμε υποβιβασμό της τάσης όποτε σε αυτήν την περίπτωση οι σπείρες στο δευτερεύων τύλιγμα του μετασχηματιστή είναι αρκετά λιγότερες από τις σπείρες του πρωτεύοντος βεβαία μπορεί να γίνει και το αντίθετο, και επίσης στα γραμμικά τροφοδοτικά ο μετασχηματιστής λειτουργεί στην συχνότητα δικτύου 50Hz.

Η εναλλασσόμενη τάση που προκύπτει στο δευτερεύων τύλιγμα οδηγείτε σε ένα κύκλωμα ανορθωτή το όποιο μπορεί να αποτελείται από μια δίοδο όποτε έχουμε ανόρθωση μισού κύματος ή σε μια γέφυρα από διόδους όπου έχουμε πλήρη ανόρθωση. Αυτό είναι το πρώτο στάδιο μετατροπής του εναλλασσομένου σε συνεχές. Έπειτα ένα φίλτρο το όποιο συνήθως αποτελείται από έναν πυκνωτή με υψηλή χωρητικότητα εξομαλύνει το ανορθωμένο σήμα , συνήθως η τιμή του επιλέγεται ανάλογα τα Ampere στην έξοδο ένας πρακτικός κανόνας είναι 1000 $\mu$ F για κάθε Ampere.

Το σήμα ήδη έχει αρχίσει να μοιάζει όλο και περισσότερο με ένα συνεχές σήμα ( DC ) για την σταθεροποίηση του στην επιθυμητή τιμή ρυθμίζεται από τον σταθεροποιητή. Ο σταθεροποιητής αποτελείται από ένα διπολικό τρανζίστορ ισχύος που λειτουργεί στην γραμμική περιοχή (ενεργό) το κύκλωμα οδήγησης της βάσης και ένα ελεγκτή, ο ελεγκτής μετράει την τάση εξόδου και την συγκρίνει με μια τάση αναφοράς σε περίπτωση σφάλματος η τάση εξόδου δεν είναι η επιθυμητή όποτε το κύκλωμα οδήγησης ελέγχει το ρεύμα στη βάση του ρυθμιστικού τρανζίστορ, και το τρανζίστορ λειτουργεί ως μεταβλητή αντίσταση η πτώση τάσης μεταξύ συλλέκτη και εκπομπού είναι ίση με :  $u_{ce} = u_{dc} - u_o$

Οπού  $u_{dc}$  η τάση πριν την σταθεροποίηση και  $u_o$  η τάση εξόδου , αυτό σημαίνει ότι το τρανζίστορ καταναλώνει εσκεμμένα ένα ποσοστό ενεργείας για να κρατήσει την τάση εξόδου σταθερή. Για τον περιορισμό των απωλειών και την βελτίωση του βαθμού απόδοσης του τροφοδοτικού πρέπει η τάση που δέχεται ο σταθεροποιητής να είναι λίγο μεγαλύτερη από την τάση εξόδου.

Το block διάγραμμα ενός γραμμικό τροφοδοτικού απεικονίζεται στο σχήμα 1.1 παρακάτω



Components of a typical linear power supply

Σχήμα 1.1

τα τροφοδοτικά που αναφέραμε παραπάνω ανήκουν στους AC-DC μετατροπείς ( converters ), γενικότερα υπάρχουν τέσσερα είδη μετατροπέων

- AC-DC μετατροπέας (τροφοδοτικά )
- DC-DC μετατροπέας
- DC- AC μετατροπέας ( inverter )
- AC-AC μετατροπέας ( cycloconverters )

Ο DC-DC μετατροπέας δέχεται μια τάση εισόδου συνεχής και την μετατρέπει σε μια πάλι συνεχή τάση άλλης τιμής είτε μικρότερης οπότε γίνεται αναφορά στον μετατροπέα υποβιβασμού ( DC-DC Step-Down converter ) είτε μεγαλύτερης τιμής τάσης μετατροπέας ανύψωσης ( DC-DC Step-Up converter ) . Ο μετατροπέας για να έχει μικρές απώλειες χρησιμοποιεί έναν διακόπτη ο οποίος λειτουργεί σε μεγάλη συχνότητα και χρησιμοποιεί διαμόρφωση εύρους παλμού (PWM) η τεχνική θα αναλυθεί σε επόμενο κεφάλαιο, η λογική αυτής της λειτουργιάς πηγάζει από την σκέψη πως αν σε ένα φορτίο ελέγχουμε την μέση τιμή της τάσης τροφοδοσίας ελέγχουμε και την κατανάλωση του

Ο DC-AC μετατροπέας ή ( inverter ) δέχεται για είσοδο μια συνεχή τάση και την μετατρέπει σε εναλλασσόμενη στην επιθυμητή τιμή και συχνότητα, η πηγή τάσης μπορεί να είναι μια μπαταρία, φωτοβολταϊκό πάνελ η κάποια ηλεκτρική γεννήτρια, μια συχνή εφαρμογή των inverters είναι να μετατρέπουν αυτή την συνεχή τάση σε εναλλασσόμενη τιμή τάσης και συχνότητας σχεδόν ίδιας με την τάση του δικτύου. Οι DC-AC μετατροπείς κατατάσσονται σε διαφορές κατηγορίες ανάλογα των αριθμό των φάσεων, της κυματομορφή εξόδου και των τύπο ημιαγωγών που χρησιμοποιούν

- Μονοφασικός μισής γέφυρας
- Μονοφασικός πλήρους γέφυρας
- DC-AC converter με είσοδο από πηγή τάσης ( VSI Voltage Source Inverter )
- DC-AC converter με είσοδο από πηγή ρεύματος ( CSI Current Source Inverter )
- Τριφασικός
- Καθαρού ημίτονου ( Pure Sine Wave )
- Τροποποιημένου ημίτονου ( Modified Sine Wave )

Ο AC-AC μετατροπέας η κυκλομετατροπέας δέχεται για είσοδο εναλλασσόμενο τάση και τη μετατρέπει σε εναλλασσόμενη άλλης συχνότητας η μέγιστη συχνότητα εξόδου μπορεί να είναι μέχρι το μισό της συχνότητας του σήματος εισόδου, οι μετατροπείς αυτοί έχουν μεγάλο βαθμό απόδοσης

## 1.2 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΔΙΑΚΟΠΤΙΚΑ ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΑ

Τα διακοπτικά τροφοδοτικά χρησιμοποιούνται κατά κόρον λόγω των πολύ θετικών χαρακτηριστικών που έχουν, ένα παλμοτροφοδοτικό αποτελείται από τα ακόλουθα:

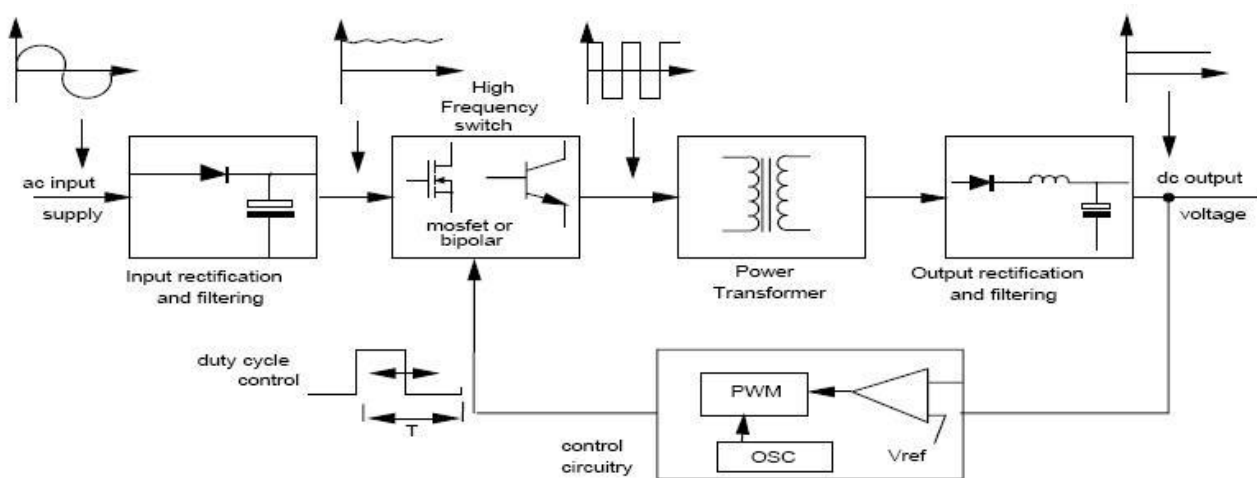
- Πηγή εισόδου
- Ανορθωτή και φίλτρο εισόδου
- Μετατροπέας συνεχούς τάσης υψηλής συχνότητας ( High Frequency Chopper )
- Μετασχηματιστής υψηλής συχνότητας
- Ανορθωτή και φίλτρο εξόδου
- Κύκλωμα έλεγχου της τάσης εξόδου

Σε αντίθεση με τα γραμμικά τροφοδοτικά εδώ η εναλλασσόμενη τάση του δικτύου ανορθώνεται απευθείας από μια γέφυρα διόδων και εξομαλύνεται και πάλι από έναν πυκνωτή. Σε αυτό το σημείο έχει γίνει μια μετατροπή της εναλλασσόμενης τάσης δικτύου όπου στην Ελλάδα είναι 230V RMS ενεργός τιμή σε μια dc τάση μεγάλης τιμής HV, για να μετατραπεί αυτή η τάση στην επιθυμητή τιμή ακολουθούν δυο στάδια. Αρχικά η τάση HV (high voltage) μετατρέπεται σε μεταβαλλόμενη τάση υψηλής συχνότητας με την χρήση ημιαγωγών διακοπών. Με την μεταβαλλόμενη τάση οδηγείται το πρωτεύον τύλιγμα του μετασχηματιστή υψηλής συχνότητας, και η τάση υποβαθμίζεται ανάλογα με την επιθυμητή τάση εξόδου . Η μεταβαλλόμενη τάση στο δευτερεύον τύλιγμα του μετασχηματιστή ανορθώνεται από διόδους υψηλής ταχύτητας ( schottky diode ) και έπειτα φιλτράρεται για τη λήψη της συνεχούς τάσης εξόδου. Επειδή η συχνότητα λειτουργίας του μετασχηματιστή είναι εξαιρετικά υψηλή , οι διαστάσεις του για την δεδομένη ισχύ είναι πολύ μικρότερες σε σχέση με το συμβατικό μετασχηματιστή των 50Hz στα γραμμικά τροφοδοτικά, και ως πυρήνα έχουν φερρίτη. Επίσης επειδή τα ημιαγωγικά στοιχεία ( π.χ. MOSFET)

λειτουργούν ως διακόπτες και όχι στην ενεργό περιοχή αυτός ο τρόπος λειτουργίας προκαλεί πολύ μικρές απώλειες. Με τον μετασχηματιστή εξασφαλίζεται και η απαιτούμενη ηλεκτρική απομόνωση που είναι ζωτικής σημασίας για κάθε τροφοδοτικό για να είναι ασφαλές. Το τελικό στάδιο είναι η σταθεροποίηση που επιτυγχάνεται με ένα σύστημα αυτομάτου έλεγχου , η μέθοδος η οποία χρησιμοποιείται σήμερα για τον έλεγχο της τάσης εξόδου ενός παλμοτροφοδοτικού είναι η γνωστή τεχνική της διαμόρφωσης εύρους παλμού ( Pulse Width Modulation PWM ) . Αρχικά από την τάση εξόδου  $u_o$  που περνά από έναν ενισχυτή σφάλματος προκύπτει η διάφορα τάσης  $u_{ref}-u_o$  όπου  $u_{ref}$  μια τάση αναφοράς η τάση αυτή επεξεργάζεται από έναν ελεγκτή, συγκρίνεται με μια πριονωτή κυματομορφή και προκύπτει η διαμόρφωση παλμού PWM για την οδήγηση των διακοπών, η ηλεκτρική απομόνωση στο βρόχο ανάδρασης επιτυγχάνεται συνήθως με οπτική σύζευξη.

Ακόμη πολύ προσοχή πρέπει να δοθεί στο φίλτρο εισόδου (EMI) του διακοπτικού τροφοδοτικού , αποτρέπει την εισαγωγή στο δίκτυο ρευμάτων υψηλής συχνότητας από την λειτουργία του μετατροπέα συνεχούς ρεύματος, τα αρχικά προέρχονται από τις αγγλικές λέξεις ( Electromagnetic Interference , EMI ) ηλεκτρομαγνητική παρεμβολή η οποία μπορεί να είναι ακτινοβολούμενη η επαγόμενη και συχνά προκαλεί παραμόρφωση της τάσης του δικτύου

Το block διάγραμμα ενός διακοπτικού τροφοδοτικού απεικονίζεται στο σχήμα 1.2 παρακάτω



Σχήμα 1.2

Τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα που έχουν τα διακοπτικά τροφοδοτικά σε σχέση με τα γραμμικά τροφοδοτικά είναι τα ακόλουθα

#### Πλεονεκτήματα :

- Λόγω της διακοπτικής λειτουργίας παρουσιάζουν μικρές απώλειες οπότε είναι πιο αποδοτικές ενεργειακά συσκευές. Τα παλμοτροφοδοτικά σήμερα μπορεί να φτάσουν μέχρι και 95% απόδοση ενώ τα γραμμικά έχουν μια περιοχή μεταξύ 30-60% απόδοση.
- Το βάρος , το μέγεθος και το κόστος είναι μικρότερο από αυτό των γραμμικών τροφοδοτικών, αυτό οφείλεται στην μεγάλη συχνότητα λειτουργίας η οποία μικραίνει πολύ τις διαστάσεις κύριος του μετασχηματιστή και επίσης δεν χρειάζεται απαγωγή θερμότητας λόγω της μεγάλης απόδοσης



### **Μειονεκτήματα :**

- Το κύκλωμα έλεγχου είναι πολυπλοκότερο
- Αν δεν δοθεί προσοχή στην κατασκευή μπορεί να παρουσιάσουν ηλεκτρομαγνητική παρεμβολή (EMI)
- Αυξημένη κυμάτωση στην τάση εξόδου

Τα πλεονεκτήματα των παλμοτροφοδοτικών σε σχέση με τα γραμμικά τροφοδοτικά αντισταθμίζουν τα μειονεκτήματα και όσο εξελίσσεται η τεχνολογία των ημιαγωγών κερδίζουν όλο και περισσότερο έδαφος.

### **Σήμερα τα παλμοτροφοδοτικά βρίσκουν τις ακόλουθες εφαρμογές :**

- Σύστημα τροφοδοσίας ηλεκτρονικών κυκλωμάτων.
- Συστήματα αδιάκοπης παροχής ισχύος (UPS).
- Συστήματα τροφοδοσίας ηλεκτρονικών υπολογιστών.
- Συστήματα τροφοδοσίας τηλεπικοινωνιακών συστημάτων.
- Συστήματα τροφοδοσίας όπου το βάρος και το μέγεθος παίζουν σημαντικό ρόλο.

Υπάρχουν διαφορές τοπολογίες διακοπτικών τροφοδοτικών η επιλογή της τοπολογίας εξαρτάται ανάλογα την απαιτούμενη ισχύ εξόδου :

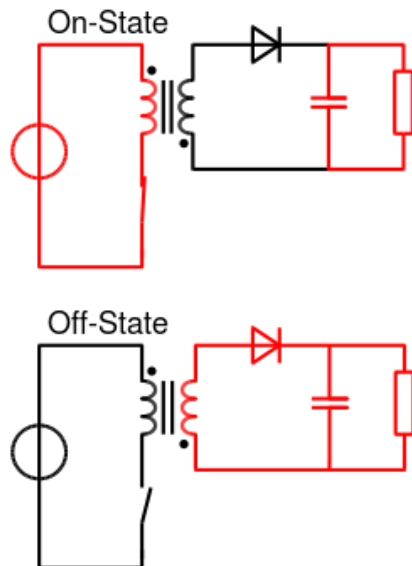
- Μετατροπέας flyback είναι ο πιο απλός μετατροπέας χρησιμοποιείται για ισχύ συνήθως έως 150W, έχει χαμηλή απόδοση και χρειάζεται μεγάλο πυκνωτή εξόδου.
- Μετατροπέας ορθής φόρας (forward converter ) χρησιμοποιείται για ισχύ έως 350W. Έχει ένα επιπλέον τύλιγμα στο μετασχηματιστή που του δίνει την δυνατότητα να έχει μεγαλύτερη απόδοση από το flyback.
- Μετατροπέας ημιγέφυρας ( Half –Bridge) ο οποίος χρησιμοποιείται για ισχύ από 350 - 800W
- Μετατροπέας πλήρους γέφυρας ( Full –Bridge) ο οποίος χρησιμοποιείται για ισχύ από 800 – 5kW
- Μετατροπέας εναλλαγής (Push-Pull converter) ο οποίος χρησιμοποιείται για ισχύ από 800 – 5kW

« ανάλογα με τον τρόπο διέγερσης του πυρήνα του μετασχηματιστή οι μετατροπείς συνεχούς ρεύματος διακρίνονται σε δυο κατηγορίες

1. Μετατροπείς με μονοκατευθυντική διέγερση του πυρήνα όπου γίνεται χρήση του πρώτου τεταρτημόριου του βρόχου υστέρησης στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι μετατροπείς flyback και forward
2. Μετατροπείς με αμφίδρομη διέγερση του πυρήνα όπου χρησιμοποιούνται και τα δυο τεταρτημορίου, 1 και 3 , του βρόχου υστέρησης. Από τις τοπολογίες με αμφίδρομη διέγερση του πυρήνα, περιγράφονται οι μετατροπείς push-pull , μισής γέφυρας Half –Bridge και πλήρους γέφυρας ( Full –Bridge) »<sup>1</sup>

Στην σχεδίαση και κατασκευή του διακοπτικού τροφοδοτικού που ακολουθεί στο επόμενο κεφάλαιο γίνεται χρήση του μετατροπέα flyback επειδή το τροφοδοτικό θα είναι χαμηλής ισχύος.

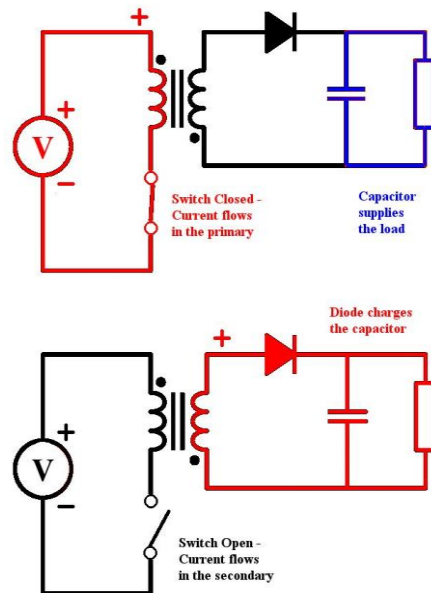
Στο παρακάτω σχήμα 1.3 απεικονίζεται η κυκλωματική δομή του μετατροπέα



Σχήμα 1.3

### 1.3 FLYBACK ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑΣ

Ο μετατροπέας Flyback προκύπτει από τον μετατροπέα υποβιβασμού –ανύψωσης της τάσης , με την αντικατάσταση του πηνίου με έναν μετασχηματιστή. Η απλή κατασκευή του τον κάνει ιδιαίτερα δημοφιλή για τροφοδοτικά χαμηλής ισχύος.



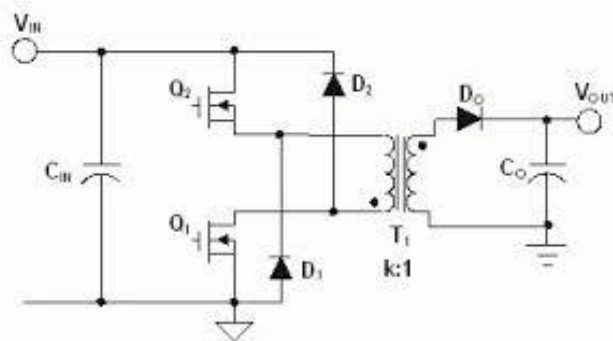
Σχήμα 1.4

Από το σχήμα 1.4 παρατηρούμε τις δυο καταστάσεις ενός Flyback μετατροπέα. Αυτοί οι δυο τρόποι λειτουργίας διαφοροποιούνται ανάλογα την κατάσταση του διακόπτη που συνήθως είναι κάποιο MOSFET. Στον πρώτο τρόπο λειτουργίας ο διακόπτης είναι σε αγωγή στο πρωτεύον τύλιγμα του μετασχηματιστή εφαρμόζεται η ανορθωμένη τάση του δικτύου  $V_{dc}$  το ρεύμα πρωτεύοντος ξεκίνα να αναπτύσσεται βαθμιαία και να αποθηκεύει ενεργεία στο πρωτεύον τύλιγμα. Εξαιτίας της διάταξης αντίθετης πολικότητας μεταξύ των τυλιγμάτων εισόδου και εξόδου του μετασχηματιστή η πολικότητα στο δευτερεύον τύλιγμα πολώνει ανάστροφα την δίοδο και δεν άγει, κατά την συγκεκριμένη χρονική στιγμή το ρεύμα στο φορτίο παρέχεται από τον πυκνωτή η χωρητικότητα του όποιου είναι αρκετά μεγάλη ώστε η τάση εξόδου να είναι σταθερή. Ο δεύτερος τρόπος λειτουργίας ξεκινά όταν ο διακόπτης οδηγηθεί στην αποκοπή το ρεύμα στο πρωτεύον τύλιγμα τείνει να μηδενιστεί, η πολικότητα των τυλιγμάτων αναστρέφεται. Αυτό προκαλεί την δίοδο που βρίσκεται στο δευτερεύον τύλιγμα του μετασχηματιστή μόλις η τάση που εφαρμόζεται στην άνοδο υπερβεί την τάση του πυκνωτή εξόδου τότε η δίοδος άγει και φορτίζει τον πυκνωτή και επίσης μεταφέρει ρεύμα στο φορτίο.

Ο μετατροπέας Flyback βρίσκει εφαρμογή και σε τροφοδοτικά όπου ο αριθμός εξόδων είναι μεγάλος και η τιμή της τάσης εξόδου μεγάλη.

Όταν ο μετασχηματιστής φέρει πολλά τυλίγματα στο δευτερεύον για τη λήψη αντιστοίχου αριθμού εξόδων μονό μια έξοδος επιλέγεται σαν σήμα ανάδρασης για τον έλεγχο του κύκλου εργασίας του διακόπτη ( Duty cycle) σε κλειστό βρόχο. Σε αυτήν την περίπτωση μονό η συγκεκριμένη έξοδος (κύρια έξοδος ) παραμένει σταθερή ανεξαρτήτως τάσης εισόδου ή φορτιού στην έξοδο, ενώ για τις υπόλοιπες εξόδους υπάρχουν διακυμάνσεις.

Δυο ακόμα παραλλαγές συναντάμε στους Flyback μετατροπείς, η μια χρησιμοποιεί δυο ημιαγωγούς διακόπτες και ονομάζεται δίπλα τερματισμένος μετατροπέας ( double ended flyback converter ) η δομή φαίνεται στο σχήμα 1.5



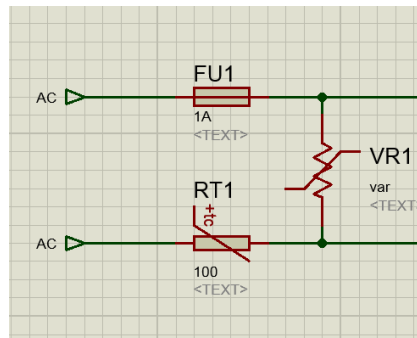
Σχήμα 1.5

Τα δυο στοιχεία Q1 και Q2 ενεργοποιούνται και απενεργοποιούνται ταυτόχρονα. Η τοπολογία αυτή έχει κάποια πλεονεκτήματα σε σχέση με την τοπολογία ενός διακόπτη, οι δυο δίοδοι D1 και D2 διαρρέονται από ρεύμα με τέτοιο τρόπο ώστε να μην απαιτείται κύκλωμα snubber για να καταναλώνει την ενέργεια που αποθηκεύεται στην επαγωγή διαρροής του πρωτεύοντος του μετασχηματιστή, και επίσης περιορίζει την μέγιστη τάση του διακόπτη.

Η άλλη παραλλαγή είναι με τον παραλληλισμό των μετατροπέων Flyback. Για μεγαλύτερες ισχύεις συμφέρει ο παραλληλισμός δυο η περισσότερων μετατροπέων Flyback χαμηλής ισχύος, από τη χρήση μιας μονάδας μεγαλύτερης ισχύος. Τα πλεονέκτημα που διακρίνονται είναι η τυποποίηση πακέτων (module) μικρής ισχύος και ανάλογα την ισχύ που απαιτείται να παραλληλιστεί ένας αριθμός από αυτά για την αύξηση της ισχύος της συνολικής μονάδας , η υψηλή αξιοπιστία εξαιτίας της χρήση λιγότερων υλικών και επίσης αυξάνει τη συχνότητα μετάβασης και έτσι μικραίνει τους παλμούς του ρεύματος στην είσοδο ή και στην έξοδο. Στην περίπτωση που έχουμε δυο μετατροπείς οι διακόπτες ρυθμίζονται να κλείνουν μισή περίοδο ο έναν μετά τον άλλο για την βελτίωση της κυματομορφής Το ζήτημα που προκύπτει στο παραλληλισμό των μετατροπέων είναι η κατανομή του ρεύματος αυτό όμως μπορεί να λυθεί με την βοήθεια έλεγχου του ρεύματος.

## 1.4 ΑΝΟΡΘΩΤΗΣ ΚΑΙ ΦΙΛΤΡΟ ΕΙΣΟΔΟΥ

Πριν συνδεθεί η εναλλασσόμενη τάση του δικτύου στον ανορθωτή κάποια ηλεκτρονικά εξάρτημα είναι απαραίτητα να χρησιμοποιηθούν τόσο για την προστασία του ίδιου του τροφοδοτικού όσο και για την προστασία του χρήστη. Τα εξαρτήματα και η κυκλωματική δομή τους περιγράφονται παρακάτω στο σχήμα 1.6



Σχήμα 1.6

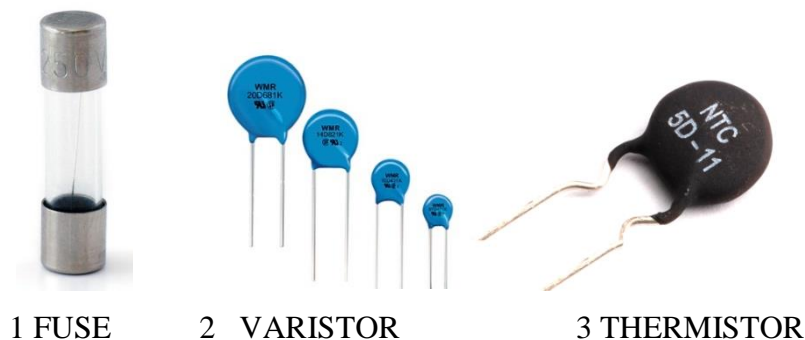
1. Ηλεκτρική ασφάλεια (FUSE)
2. Varistor
3. Thermistor NTC

Η ηλεκτρική ασφάλεια τήξεως είναι ο πιο απλός τύπος ασφάλειας. Ένας λεπτός αγωγός ο οποίος είναι υπολογισμένος να αντέχει μέχρι μια ορισμένη ένταση ρεύματος περικλείεται από ένα μονωτικό υλικό συνήθως γυαλί. Όταν στο κύκλωμα για κάποιο λόγο η ένταση του ρεύματος ξεπερνά το όριο ο αγωγός λιώνει διακόπτοντας την ροή του ρεύματος και προστατεύοντας τη συσκευή από μη επιθυμητά υψηλά ρεύματα. Αν συμβεί αυτό στο κύκλωμα η ασφάλεια χρειάζεται αντικατάσταση, οι ασφάλειες τέτοιου τύπου χρησιμοποιούνται ευρέως.

Το Varistor είναι ένα ηλεκτρονικό εξάρτημα το οποίο μεταβάλλει την αντίσταση του ανάλογα την τάση που εφαρμόζετε στα άκρα του. Αυτό το εξάρτημα τοποθετείται παράλληλα στο κύκλωμα που θέλουμε να προστατεύουμε από υπερτάσεις. Η τάση του δικτύου μπορεί να έχει κάποιες υπερτάσεις στιγμιαία, το Varistor έχει κάποια ονομαστική τιμή τάσης όταν η τάση ξεπεράσει αυτήν την τιμή η αντίσταση του εξαρτήματος μικραίνει, σε κάποιο έντονο φαινόμενο προκαλεί βραχυκύκλωμα για να καεί η ηλεκτρική ασφάλεια προστατεύοντας το υπόλοιπο κύκλωμα.

Τα Thermistor είναι και αυτά ηλεκτρονικά εξαρτήματα τα οποία χωρίζονται σε δυο κατηγορίες PTC και NTC. Αυτά τα εξαρτήματα μεταβάλλουν την αντίσταση τους ανάλογα την θερμοκρασία, εάν ανήκει στην οικογένεια των PTC ( Positive Temperature Coefficient ) θετικού συντελεστή θερμοκρασίας η αντίσταση τους μεγαλώνει όσο μεγαλώνει η θερμοκρασία στα επίπεδα για τα οποία είναι κατασκευασμένο να λειτουργεί. Τα NTC ( Negative Temperature Coefficient ) αρνητικού συντελεστή θερμοκρασίας είναι αυτά που χρησιμοποιούνται στα διακοπτικά τροφοδοτικά και

λειτουργούν ακριβώς με το αντίθετο τρόπο όσο μεγαλώνει η θερμοκρασία μικραίνει η αντίσταση τους. Αυτό το φαινόμενο προστατεύει τη συσκευή μας όταν την συνδέουμε στην πρίζα παροχής του ηλεκτρικού ρεύματος ( τάση δικτύου 230V ) με τον εξής τρόπο, το κύκλωμα έχει θερμοκρασία δωματίου ένα υποθέσουμε ότι είναι 25 βαθμούς κελσίου το Thermistor έχει αντίσταση όσο και η ονομαστική του τιμή συνήθως χρησιμοποιούμε εξαρτήματα με ονομαστική τιμή 5Ω. Εάν δεν χρησιμοποιούσαμε thermistor οι αφόρτιστοι πυκνωτές στο φίλτρο εισόδου θα τραβούσαν στιγμιαία ένα πολύ μεγάλο ρεύμα, αυτές οι μεγάλες διακυμάνσεις δεν είναι επιθυμητές αφού καταπονούν και μειώνουν την διάρκεια ζωής των πυκνωτών που είναι ζωτικής σημασίας για το τροφοδοτικό. Η αντίσταση όμως του thermistor που συνδέεται σε σειρά με το κύκλωμα περιορίζει αρχικά το ρεύμα για προστασία του κυκλώματος, και όσο λειτουργεί το τροφοδοτικό αυξάνεται η θερμοκρασία μειώνεται η αντίσταση και το τροφοδοτικό λειτουργεί υπό κανονικές συνθήκες αφού η αντίσταση του thermistor είναι αρκετά μικρή για να διαρρέεται από επαρκώς ρεύμα για την σωστή λειτουργία του τροφοδοτικού. Στο παρακάτω σχήμα 1.7 απεικονίζονται τα εξαρτήματα ασφάλειας



Σχήμα 1.7

Η μετατροπή της εναλλασσόμενης τάσης δικτύου σε συνεχές επιτυγχάνετε με το κύκλωμα του ανορθωτή (rectifier). Ο ανορθωτής μπορεί να αποτελείτε από μια δίοδο ή μια γέφυρα τεσσάρων διόδων.

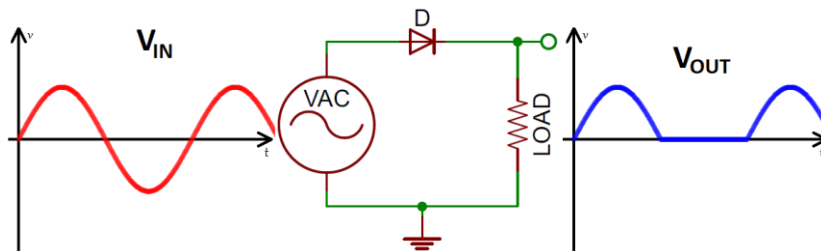
Ο δίοδοι διακρίνονται ανάλογα τα χαρακτηριστικά τους :

- Τάση ορθής πόλωσης : είναι η πτώση τάσης όταν η δίοδος είναι ορθά πολωμένη.
- Χρόνος ορθής ανάκτησης ( recovery time ) ο χρόνος που χρειάζεται να περάσει μέχρι η δίοδος να επιτρέψει τη ροή του ρεύματος όταν η δίοδος είναι πολωμένη ορθά.
- Χρόνος αναστροφής ανάκτησης ( reserve recovery time) ο χρόνος που χρειάζεται να περάσει μέχρι η δίοδος να διακόψει την ροή του ρεύματος όταν πολωθεί ανάστροφα

Με βάση τα προηγούμενα χαρακτηριστικά υπάρχουν τέσσερις κατηγορίες διόδων οι οποίες επιλέγονται κατάλληλα ανάλογα την εφαρμογή :

1. STANDARD : σε αυτήν την κατηγορία οι διόδοι χρησιμοποιούνται για ανορθωτικές διατάξεις στην συχνότητα του δικτύου 50 – 60 HZ επειδή έχουν μεγάλους χρόνους  $\approx 1000\text{ns}$  οπότε είναι ακατάλληλες για μεγάλες συχνότητες και επίσης έχουν μεγάλη τάση ορθής πόλωσης 0,7V – 1V
2. FAST RECOVERY : χρησιμοποιούνται στα διακοπτικά τροφοδοτικά επειδή οι χρόνοι τους είναι σε αποδεκτά όρια 150-200ns, τάση ορθής πόλωσης 1- 1,2 V, έχουν χαμηλό κόστος
3. ULTRA FAST RECOVERY: επίσης χρησιμοποιούνται στα διακοπτικά τροφοδοτικά με χρόνους 25-75ns κοινό μειονέκτημα με την προηγούμενη κατηγορία είναι η υψηλή τάση ορθής πόλωσης 0,9 - 1,4 V.
4. SCHOTTKY : είναι ιδιαίτερα δημοφιλή στα διακοπτικά τροφοδοτικά στη μονάδα εξόδου έχουν πολύ μικρούς χρόνους  $< 10\text{ ns}$  και η τάση ορθής πόλωσης είναι επίσης σε πιο χαμηλά επίπεδα 0,3 – 0,8 V

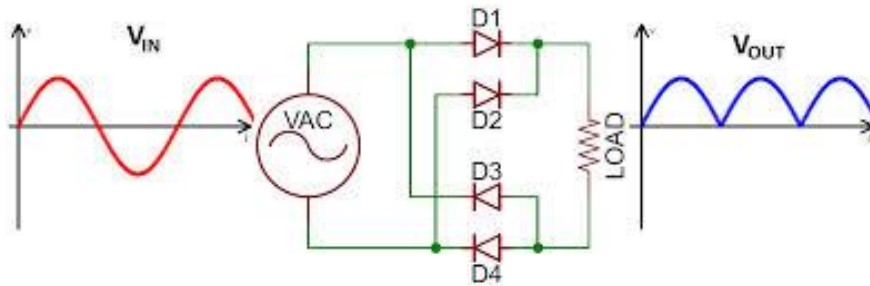
Πρώτη περίπτωση έχουμε ημιανόρθωση ( half wave rectifier )



Σχήμα 1.8

Όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε στο σχήμα 1.8 στην θετική ημιπερίοδο της εναλλασσόμενης τάσης η διάδος πολώνει ορθά και επιτρέπει την ροή ρεύματος σαν κλειστός διακόπτης, το αντίθετο συμβαίνει στην αρνητική ημιπερίοδο όπου η διάδος πολώνει ανάστροφα και λειτουργεί σαν ανοιχτός διακόπτης οπότε δεν διαρρέεται από ρεύμα. Με αυτό τον τρόπο η ισχύς ρέει μόνο προς μια κατεύθυνση από την ac πλευρά του δικτύου προς τη dc πλευρά τροφοδοτικό.

Η πιο συνηθισμένη ανόρθωση για τα τροφοδοτικά γίνεται με γέφυρα τεσσάρων διόδων, αυτή η μορφή ανόρθωσης ονομάζεται ανορθωτής πλήρους κύματος ( full wave rectifier )



Σχήμα 1.9

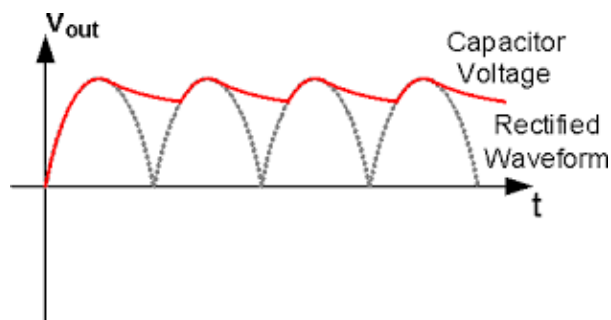
Όπως παρατηρούμε στο σχήμα 1.9 κατά την θετική ημιπερίοδο άγουν οι δίοδοι D1 και D4 και οι δίοδοι D2 και D3 άγουν κατά την αρνητική ημιπερίοδο, με αυτόν τον τρόπο το ανορθωμένο ρεύμα του φορτιού ρέει κατά την διάρκεια και των δυο ημιπεριοδών. Επειδή η γέφυρα διόδων είναι πολύ διαδεδομένη κυκλοφορεί στο εμπόριο σε ένα εξάρτημα πακέτο που περιέχει εσωτερικά την δομή της γέφυρας



Σχήμα 1.10

Μετά την ανόρθωση ακολουθεί το φίλτρο εισόδου που αποτελείται από έναν πυκνωτή, σκοπός του πυκνωτή είναι να μειώσει την κυμάτωση στην έξοδο του ανορθωτή αυτή η τεχνική ονομάζεται εξομάλυνση. Αρχικά ο πυκνωτής είναι αφόρτιστος κατά την διάρκεια του πρώτου τέταρτου της περιόδου ο πυκνωτής φορτίζει μέχρι να φτάσει την μέγιστη τιμή και ισούται με την τάση κορυφής  $V_p$  τη χρονική στιγμή που η τάση της ανορθωμένης κυματομορφής αρχίζει να μειώνεται οι δίοδοι παύουν να άγουν γιατί είναι ανάστροφα πολωμένα. Εάν δεν υπάρχει φορτίο στην έξοδο του πυκνωτή η τάση στα άκρα του θα είναι μόνιμα στην τάση  $V_p$  σταθερή. Όταν υπάρχει φορτίο τις χρονικές στιγμές ανάμεσα σε δυο κορυφές της ανορθωμένης τάσης το ρεύμα στο φορτίο παρέχεται από τον πυκνωτή ο οποίος εκφορτίζεται ανάλογα με την σταθερά χρόνου  $R_L C$ , αν αυτή η σταθερά χρόνου είναι πολύ μεγαλύτερη από την περίοδο ο πυκνωτής μένει σχεδόν πλήρως φορτισμένος με μια μονό μικρή κυμάτωση. Μεταξύ των κορυφών οι δίοδοι δεν λειτουργούν και ο πυκνωτής εκφορτίζεται μέσω της αντίστασης του φορτιού μόλις φτάσει η επομένη κορυφή η δίοδος άγει και επαναφορτίζει τον πυκνωτή μέχρι την τάση κορυφής  $V_p$ . Στο παρακάτω σχήμα 1.11 απεικονίζετε η εξομάλυνση της ανορθωμένης τάσης

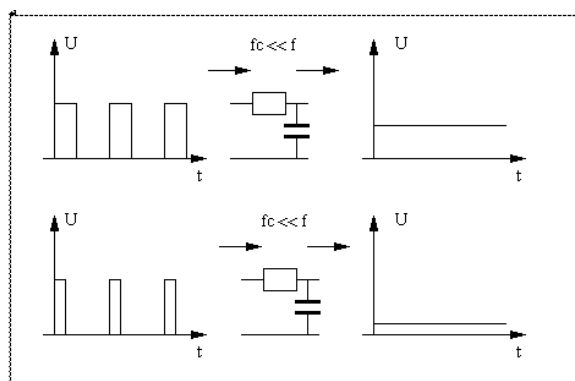




Σχήμα 1.11

## 1.5 ΔΙΑΚΟΠΤΙΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΚΑΙ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗΣ

Η συνεχής τάση που προκύπτει από των ανορθωτή και το φίλτρο εισόδου “τεμαχίζεται” από τον ψαλιδιστή ( Chopper ) έτσι δημιουργείται μια τάση η οποία αποτελείται από μια σειρά ορθογωνικών παλμών υψηλής συχνότητας ( 20KHz – 400KHz ) για να μπορέσει να οδηγηθεί το πρωτεύον τύλιγμα του μετασχηματιστή υψηλής συχνότητας. Ο ψαλιδιστής συνήθως είναι ένα MOSFET ισχύος , αυτός ο διακόπτης ελέγχεται από έναν ελεγκτή και η τεχνική που χρησιμοποιείται ονομάζεται διαμόρφωση εύρους παλμού ( Pulse Width Modulation PWM ) . Στο επόμενο κεφάλαιο που αναλύεται η σχεδίαση ενός διακοπτικού τροφοδοτικού ο ελεγκτής είναι ένας προγραμματιζόμενος μικροελεγκτής PIC και δεχόμενος σήματα από την ανάδραση κλειστού βρόχου από την έξοδο διορθώνει το εύρος παλμού για να κρατήσει σταθερή την τάση εξόδου ανεξάρτητα από διακυμάνσεις στην είσοδο ή το φορτίο. Για να καταστεί φανερή η αρχή μετατροπής του διακοπτικού τύπου πρέπει να αναφέρουμε πως η τεχνική αυτή χρησιμοποιεί σταθερή συχνότητα μετάβασης και ρύθμιση της διάρκειας που ο διακόπτης είναι κλειστός, μεταβάλλεται η σχετική διάρκεια αγωγής ( duty ratio ) με αυτόν τον τρόπο αλλάζει η μέση τιμή της τάσης στην έξοδο και σε συνδυασμό με το φίλτρο εξόδου μετατρέπεται το υψίσυχο σήμα σε συνεχή τάση. Το φίλτρο στην έξοδο είναι ένα χαμηλοπερατό φίλτρο και από αποτελείται από πηνίο και πυκνωτή. Στο παρακάτω σχήμα 1.12 παρατηρούμε πως μεταβάλετε η μέση τιμή ανάλογα το εύρος του παλμού.



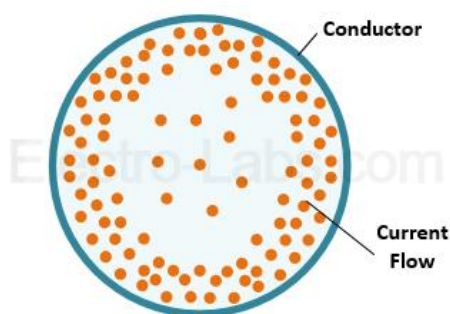
Σχήμα 1.12

### Τυλίγματα μετασχηματιστή

Η περιέλιξη των τυλιγμάτων γίνεται με σύρμα από χαλκό το οποίο έχει ένα μονωτικό κάλυμμα, το κάλυμμα αυτό εμποδίζει από βραχυκύκλωμα των καλωδίων και επίσης επιτρέπει την κόλληση του σύρματος στο Pin. Το στρώμα μόνωσης μπορεί να είναι και διπλό ή τριπλό για καλύτερη αντοχή, ένα είδος στρώματος μονωτικού υλικού μπορεί να είναι πολυουρεθάνη. Τα σύρματα αυτά υπάρχουν στο εμπόριο δε διάφορες διατομές ανάλογα τις απαιτήσεις του μετασχηματιστή.

### Επιδερμικό φαινόμενο

Σε έναν αγωγό όταν το ρεύμα που το διαρρέει είναι μεταβαλλόμενο παράγεται ένα μαγνητικό πεδίο  $B$  το οποίο δημιουργεί τα δινορεύματα, τα δινορεύματα παράγουν και αυτά μαγνητικά πεδία τα οποία είναι αντίθετα στο μαγνητικό πεδίο  $B$ . Η φορά των δινορευμάτων στο εσωτερικό του αγωγού είναι αντίθετη με το κύριο ρεύμα ενώ στην εξωτερική επιφάνεια του αγωγού έχουν την ίδια φορά με το κύριο ρεύμα. Επόμενος παρατηρούμε όσο αυξάνεται η συχνότητα του μεταβαλλόμενου ρεύματος το ρεύμα να ρέει τον αγωγό όλο και περισσότερο προς την εξωτερική επιφάνεια του. Η πυκνότητα του ρεύματος είναι η μέγιστη στην επιφάνεια του αγωγού και μειώνεται εκθετικά προς το εσωτερικό του.



Σχήμα 1.13

### Φαινόμενο γειτνίασης

Όπως και το επιδερμικό φαινόμενο έτσι και το φαινόμενο γειτνίασης οφείλεται στα δινορεύματα, η διάφορα είναι πως το φαινόμενο αυτό οφείλεται στα δινορεύματα τα οποία επάγονται από τα μεταβαλλόμενα μαγνητικά πεδία που παράγουν τα ρεύματα γειτονικών αγωγών. Το φαινόμενο αυτό είναι πολύ πιο έντονο όταν έχουμε τύλιγμα με πολλές στρώσεις ( multilayer ). Η επίδραση που παρουσιάζει είναι η ροή του ρεύματος σε ένα τμήμα του αγωγού της εξωτερικής επιφάνειας και όχι ομοιόμορφα στην περιφέρεια του αγωγού, η πλευρά και το βάθος που η πυκνότητα του ρεύματος

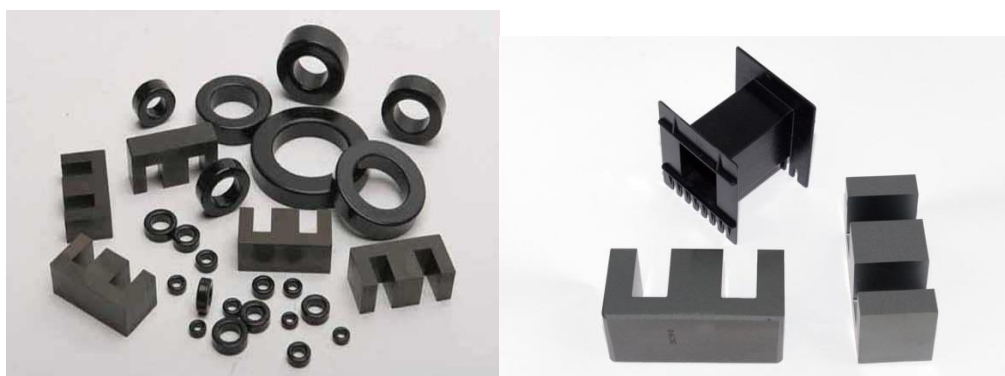
είναι μεγαλύτερη εξαρτώνται από την συχνότητα και τους γειτονικούς αγωγούς. Η σχεδίαση του μετασχηματιστή είναι ιδιαίτερα κρίσιμη και εξαρτάται από την τοπολογία του μετατροπέα.

«Ο πυρήνας του μετασχηματιστή κατασκευάζεται από κατάλληλους φερριτές έτσι ώστε οι απώλειες ισχύος να είναι μικρές. Οι απώλειες στον πυρήνα αυξάνονται με τη συχνότητα λειτουργίας και την πυκνότητα της μαγνητικής ροής. Όμως όσο μεγαλύτερη είναι η συχνότητα, τόσο μικρότερες είναι οι διαστάσεις του πυρήνα. Σε κάποια ειδή μετατροπέων είναι αναγκαία η ύπαρξη διακένου στον πυρήνα με σκοπό την αποθήκευση ενέργειας ή την αποφυγή του κορεσμού του πυρήνα κατά τη διάρκεια των μεταβατικών καταστάσεων.»<sup>2</sup>

Ένας μετασχηματιστής αποτελείται από δυο τυλίγματα πρωτεύον και δευτερεύον, ανάλογα όμως την εφαρμογή το δευτερεύον μπορεί να έχει περισσότερα τυλίγματα. Τα επιπλέον τυλίγματα μπορούν να δώσουν επιπλέον εξόδους στο τροφοδοτικό. Πολλοί σχεδιαστές χρησιμοποιούν ένα τυλίγμα στο δευτερεύον για το σήμα ανάδρασης. Βεβαία όσο περισσότερα τυλίγματα έχει ένας μετασχηματιστής τόσο δυσκολότερη είναι η σχεδίαση του. Οι πυρήνες από φερριτή έχουν διαφορές διαστάσεις και σχήματα, διακρίνονται σε δυο κατηγορίες

- Πυρήνες με δακτυλιοειδή μορφή ( toroidal cores )
- Πυρήνες με μπομπίνα ( bobbin core )

Η επιλογή του πυρήνα εξαρτάται από την συχνότητα λειτουργίας, την απαιτούμενη ισχύ και συχνά από το ολικό βάρος ή των όγκο ακόμη και το κόστος. Μερικοί τύποι πυρήνων με μπομπίνα είναι οι EE , ETD , POT , RM και PQ. Οι πυρήνες με μπομπίνα είναι εύκολοι στην περιέλιξη των τυλιγμάτων σε αντίθεση με τους δακτυλιοειδείς πυρήνες στους οποίους η τοποθέτηση των τυλιγμάτων απαιτεί ειδικό εξοπλισμό υψηλού κόστους. Οι πλέον χρησιμοποιούμενοι πυρήνες είναι οι τύπου EE με ορθογώνιο μεσαίο σκέλος χρησιμοποιούνται για ισχύ από 5W έως και 10KW το μειονέκτημα τους είναι το μαγνητικό πεδίο γύρω τους καθώς ο φερριτής αφήνει αρκετό χώρο ελεύθερο στα τυλίγματα.

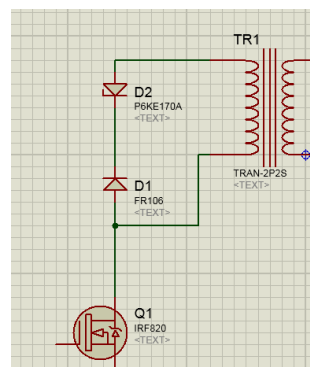


Σχήμα 1.14

Διάφορα μεγέθη και τύποι πυρήνων από φερρίτη απεικονίζονται στο σχήμα 1.14. οι φερρίτες είναι διαθέσιμοι από κατασκευαστές σε μια μεγάλη ποικιλία ώστε να παρουσιάζουν ανάλογα την εφαρμογή ελάχιστες απώλειες σε ορισμένες συχνότητες και θερμοκρασίες συνήθως 80-100 °C οι απώλειες παρουσιάζονται από τους κατασκευαστές σε διαγράμματα.

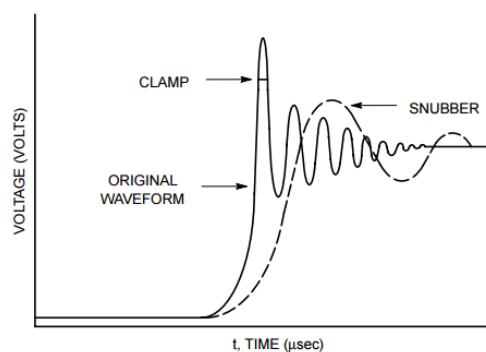
Η θερμοκρασία λειτουργίας ενός μαγνητικού στοιχείου εξαρτάται από το άθροισμα των απωλειών του πυρήνα και των απωλειών χαλκού στα τυλίγματα. Η κατανάλωση ισχύος κατανέμεται συνήθως ομοιόμορφα στο πυρήνα και στα τυλίγματα, επίσης οι φερρίτες έχουν υψηλή θερμική αγωγιμότητα έτσι η θερμοκρασία στην επιφάνεια ενός μετασχηματιστή είναι περίπου όση με την θερμοκρασία στο εσωτερικό του.

Πολύ σημαντικό στα διακοπτικά τροφοδοτικά είναι να χρησιμοποιηθεί ένα δικτύωμα που ονομάζεται zener clamp/snubber. Αποτελείται από μια δίοδο zener και μια δίοδο υψηλής ταχύτητας τοποθετημένες στα άκρα του πρωτεύοντος τυλίγματος



Σχήμα 1.15

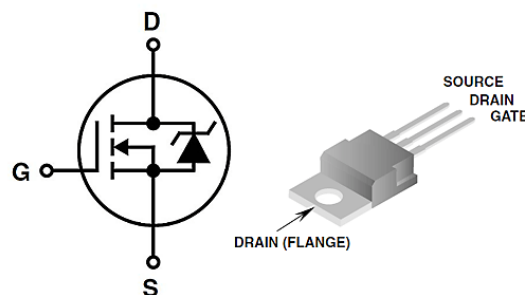
Η λειτουργία του είναι να καταναλώνει την ενεργεία που αποθηκεύεται στην επαγωγή διαρροής του πρωτεύοντος του μετασχηματιστή και επίσης περιορίζει την μέγιστη τάση του διακόπτη για την ασφαλή λειτουργία του . Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιούνται για να μειώσουν τις αιχμές τάσης ( spikes )



Σχήμα 1.16

## 1.6 ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ ΙΣΧΥΟΣ

Δυο είναι οι κατηγορίες διακοπών ισχύος που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή διακοπτικών τροφοδοτικών , BJT και MOSFET . Η επιλογή τους εξαρτάται από τον οδηγό ελεγκτή αφού ο κάθε διακόπτης έχει διαφορετικές απαιτήσεις και επίσης η συχνότητα λειτουργίας παίζει ρόλο αφού τα MOSFET έχουν μικρότερους χρόνους εναλλαγής καταστάσεων. Οι διαφορές που αναφέρονται είναι όσο αναφορά το σήμα στο ακροδέκτη βάσης ( Base ) και αντίστοιχα πύλης ( Gate ), όπου στα BJT η βάση ελέγχεται από ρεύμα οπότε απαιτείται μια ικανοποιητική τιμή ρεύματος για την ομαλή λειτουργία αγωγής, ενώ αντίθετα τα MOSFET ελέγχονται από τάση οπότε το ρεύμα που διαρρέει των ακροδέκτη της πύλης είναι παρά πολύ μικρό. Γενικότερα σε τροφοδοτικά με μικρή ισχύς προτιμώνται τα MOSFET , στο σχήμα 1.17 απεικονίζεται το κυκλωματικό σύμβολο ενός τέτοιου διακόπτη ισχύος.



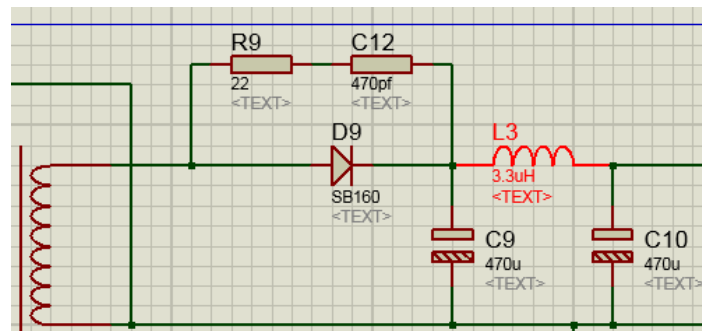
Σχήμα 1.17

Στο MOSFET δεν υπάρχουν οι επιπλέον φορείς μειονότητας , οι όποιοι οδηγούνται και απομακρύνονται από το στοιχείο κατά την έναυση και τη σβέση . τα μοναδικά φορτία που μετακινούνται είναι τα φορτία φόρτισης και εκφόρτωσης των εσωτερικών παρασιτικών χωρητικότητων του διακόπτη, οι διακοπτικοί χρόνοι εξαρτώνται κατά κύριο λόγο από αυτό. Οι χωρητικότητες αυτές μπορούν να δημιουργήσουν χρόνους καθυστέρησης κατά τις μεταβατικές καταστάσεις του ημιαγωγού και κατά συνέπεια να μειώνονται οι διακοπτικές του ικανότητες. Επόμενος για να μην υπάρχει αυτό το πρόβλημα με τους χρόνους έναυσης και σβέσης του διακόπτη το κύκλωμα οδήγησης θα πρέπει να συμπεριφέρεται στο MOSFET σαν μια πηγή παλμών με χαμηλή εσωτερική σύνθετη αντίσταση. Γίνετε επίσης κατανοητό πως εάν δεν οδηγηθεί σωστά ο διακόπτης και έχουμε καθυστέρηση στην έναυση, ένα σήμα διαμόρφωσης εύρους παλμού ( PWM ) με χαμηλό κύκλο εργασίας ( Duty Cycle ) κάτω από 5% δεν θα λειτουργεί σωστά.

Όπως παρατηρούμε στο σχήμα 1.17 εσωτερικά του διακόπτη είναι συνδεδεμένη μια διάδος στους ακροδέκτες της εκροής ( Drain ) και της πηγής ( Source ), η διάδος αυτή ονομάζεται ελευθέρως διέλευσης ( Freewheeling Diode ) αυτή η διάδος είναι απαραίτητη σε τέτοια κυκλώματα ισχύος εάν δεν υπάρχει εσωτερικά όπως στα BJT πρέπει να τοποθετηθεί εξωτερικά μια διάδος υψηλής ταχύτητας. Ο ρόλος του είναι να επιτρέπει την ροή σε ανάστροφα ρεύματα

## 1.7 ΦΙΛΤΡΟ ΕΞΟΔΟΥ

Στο δευτερεύον τύλιγμα του μετασχηματιστή υπάρχει το φίλτρο εξόδου , αρχικά πρέπει να γίνει ανόρθωση του σήματος υψηλής συχνότητας ,για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται μια διόδος υψηλής ταχύτητας ( Schottky). Για την προστασία της διόδου παράλληλα με αυτήν τοποθετείται μια αντίσταση και ένας πυκνωτής το κύκλωμα αυτό ονομάζεται snubber.



Σχήμα 1.18

Ο ρόλος ενός κυκλώματος snubber είναι να μειώσει τις ηλεκτρικές καταπονήσεις που επιβάλλονται σε ένα στοιχείο από τον μετατροπέα ισχύος κατά την διάρκεια των μεταβάσεων , σε επίπεδα που βρίσκονται κάτω από τις ηλεκτρικές προδιαγραφές του στοιχείου. Πρέπει να τονιστεί ότι τα snubber δεν αποτελούν θεμελιώδες τμήμα ενός ηλεκτρονικού μετατροπέα ισχύος αλλά προσθήκη. Η πρόσθετη πολυπλοκότητα και το κόστος με το οποίο επιβαρύνει το κύκλωμα του μετατροπέα η παρουσία του snubber , πρέπει να εξισορροπούν τα οφέλη της μείωσης των ηλεκτρικών καταπονήσεων σε κρίσιμα στοιχεία του κυκλώματος.

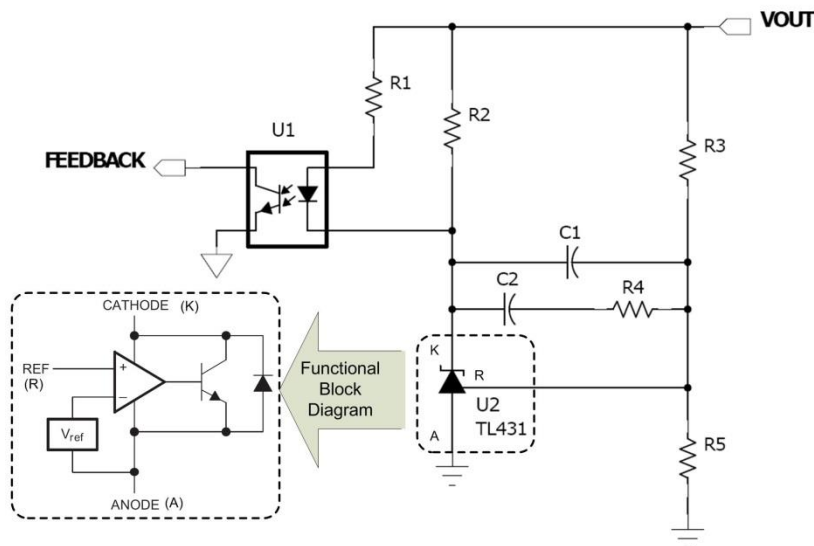
Ένα κύκλωμα snubber μειώνει τις καταπονήσεις μετάβασης σε ασφαλή επίπεδα με τους έξης τρόπους

- Μειώνει τις τάσεις που εφαρμόζονται στα στοιχεία κατά τη διάρκεια των μεταβατικών φαινομένων σβέσης
- Μειώνει τα ρεύματα που εμφανίζονται στο στοιχείο κατά τη διάρκεια των μεταβατικών φαινομένων έναυσης
- Μειώνει τον ρυθμό αύξηση του ρεύματος (  $di/dt$  ) στα στοιχεία τη στιγμή της έναυσης

Υπάρχουν τρεις μεγάλες κατηγορίες του κυκλώματος από άποψη τοπολογίας , η τοπολογία που προορίζετε για προστασία διόδων είναι τα μη πολωμένα κυκλώματα σειράς R-C. Ακριβώς μετά την ανόρθωση ακολουθεί το φίλτρο εξόδου πρώτα ο πυκνωτής C9 συνήθως επιλέγετε μεγάλης τιμής ανάλογα και τις προδιαγραφές ισχύος του τροφοδοτικού και στην συνέχεια σε σειρά ακολουθεί ένα φίλτρο LC το οποίο εξασφαλίζει μικρή κυμάτωση στην έξοδο.

## 1.8 ΑΝΑΔΡΑΣΗ – ΟΠΤΙΚΗ ΖΕΥΞΗ

Η ανάδραση αποτελείται συνήθως από ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα TL431 που σε συνδυασμό με έναν οπτοζεύκτη για την απαραίτητη απομόνωση εισόδου εξόδου παράγουν το σήμα για τον ελεγκτή PWM. Ο TL431 λειτουργεί ως μια προγραμματιζόμενη zener στο παρακάτω σχήμα 1.19 απεικονίζεται η κυκλωματική δομή ενός βρόχου ανάδρασης



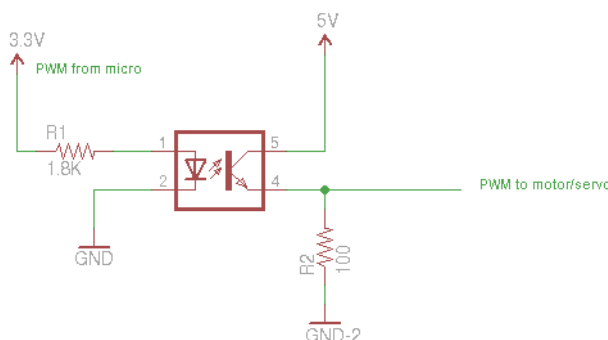
Σχήμα 1.19

Η ανάστροφη τάση VKA καθορίζεται με ακρίβεια μέσω της  $V_{ref}$  από εσωτερικά στοιχεία, το ολοκληρωμένο κύκλωμα περιέχει εσωτερικά έναν συγκριτή που δέχεται στην μη αναστρέφουσα είσοδο του μια τάση αναφοράς 2.5 V. Η αναστρέφουσα είσοδος δέχεται ένα εξωτερικό σήμα REF το οποίο συνήθως προέρχεται από έναν διαιρέτη τάσης συνδεδεμένο στην τάση εξόδου VOUT.

Η ανάστροφη τάση VKA μπορεί να είναι μέχρι 36V MAX για την ασφαλή λειτουργία του. Επίσης η επιλογή της R1 και R2 θα πρέπει να είναι τέτοιες ώστε το ρεύμα καθόδου να είναι τουλάχιστον 1mA όποτε ανάλογα την τάση εξόδου επιλέγονται η τιμές τους. Οι αντιστάσεις στο διαιρέτη τάσης R3 και R5 συνήθως είναι της τάξης των μερικών δεκάδων KOhm . Όταν η τάση εξόδου είναι στην επιθυμητή τιμή τότε ο διαιρέτης τάσης είναι υπολογισμένος να δίνει σήμα εισόδου REF 2.5 V έτσι ώστε να προκύψει μηδενικό σφάλμα από τον συγκριτή .

Ο οπτοζεύκτης αποτελείται από μια δίοδο LED υπέρυθρου και ένα φωτοτρανζίστορ όπου η βάση του ενεργοποιείται με υπέρυθη ακτινοβολία, λόγω της οπτικής ζεύξης υπάρχει ηλεκτρική απομόνωση. Τα δυο αυτά στοιχεία βρίσκονται μέσα σε ένα κάλυμμα σε μορφή ολοκληρωμένου κυκλώματος. Ο οπτοζεύκτης ( Optocoupler ) χρησιμοποιείται στην ανάδραση των παλμοτροφοδοτικών άλλα επίσης έχει και ευρεία χρήση σε ζεύξη κυκλωμάτων που δουλεύουν με διαφορετικές τάσης. Ένα παράδειγμα χρήσης οπτοζεύκτη είναι η παρακάτω στο σχήμα 1.20 όπου ένα σήμα PWM οδηγεί

ένα κινητήρα ο οποίος δουλεύει σε διαφορετική τάση και το ρεύμα λειτουργίας του προέρχεται από το τρανζίστορ που μπορεί να είναι μέχρι 100mA επίσης προστατεύετε ο οδηγός ( Driver-microcontroller) λόγω της ηλεκτρικής απομόνωσης



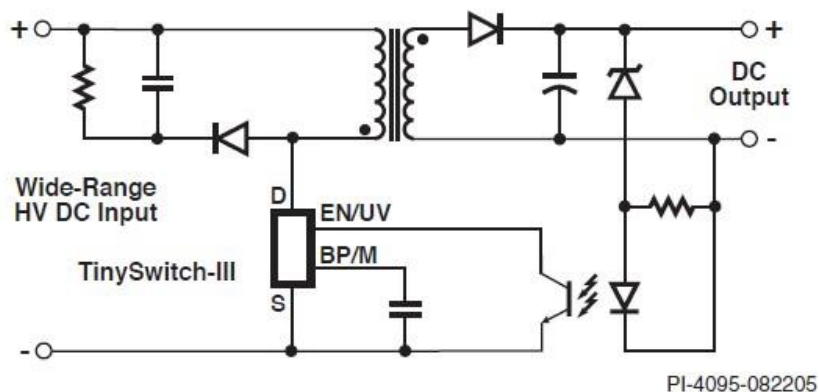
Σχήμα 1.20

## 1.9 ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ

Η ανάγκη υλοποιήσεις διατάξεων τροφοδοσίας με μεγάλη απόδοση και απλό τρόπο έχει οδηγήσει τις εταιρίες στην κατασκευή ολοκληρωμένων κυκλωμάτων που μπορούν να ενσωματώσουν το MOSFET ισχύος και το κύκλωμα έλεγχου εσωτερικά του ολοκληρωμένου κυκλώματος και με λίγα εξωτερικά στοιχεία να κατασκευαστεί διακοπτικό τροφοδοτικό μικρού όγκου. Επίσης η ενσωματωμένη διάταξη τροφοδοσίας ( self-powered ) τροφοδοτεί τα κυκλώματα έλεγχου. Κάποιες από της οικογενείας τέτοιων ολοκληρωμένων κυκλωμάτων της εταιρίας Power Integration είναι :

- Link Switch
- Tiny Switch
- Top Switch
- DPA Switch

Στο παρακάτω σχήμα 1.21 απεικονίζεται η τυπική κυκλωματική δομή του κατασκευαστή ενός Flyback μετατροπέα με το ολοκληρωμένο κύκλωμα TNY274



Σχήμα 1.21

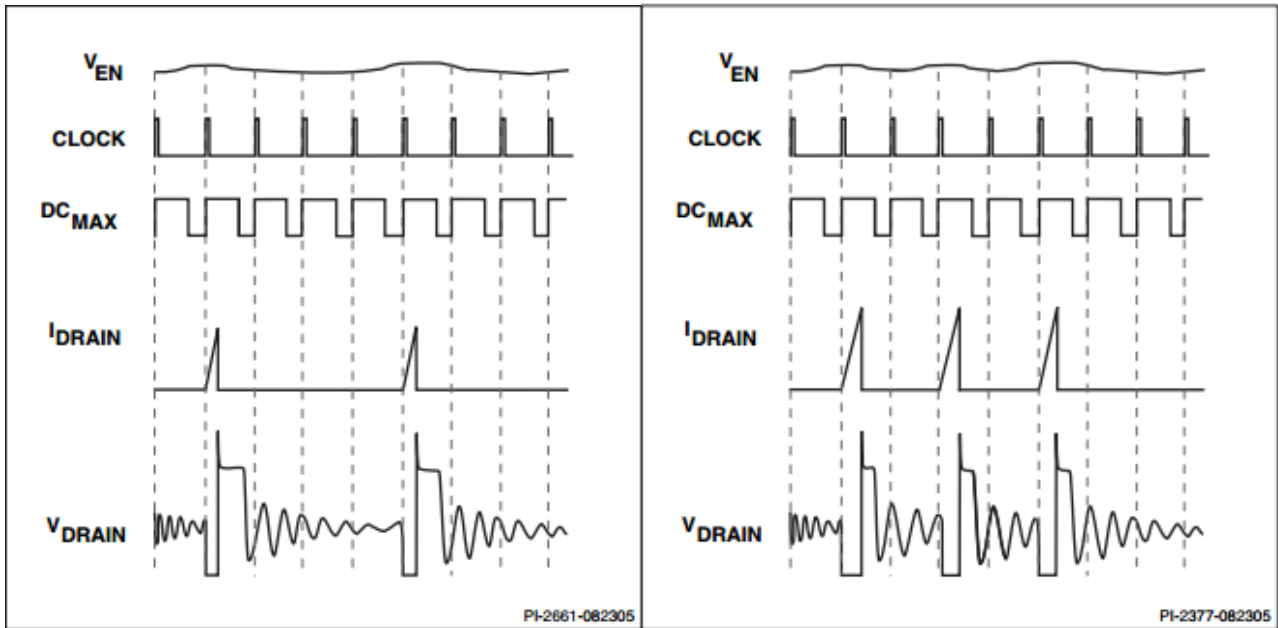


Τα ολοκληρωμένο κύκλωμα ενσωματώνει MOSFET ισχύος στα 700 V , κύκλωμα έλεγχου του διακόπτη, περιορισμό του ρεύματος , θερμική προστασία , προστασία από υπέρτασης στην έξοδο και μικρής τάση στην είσοδο, ομαλή εκκίνηση ( Soft start ) και επίσης την διάταξη τροφοδοσίας των κυκλωμάτων έλεγχου που παρέχει σταθερή τάση 5.85 V.

Οι ακροδέκτες D και S αντιστοιχούν στην εκροή και την πηγή του ενσωματωμένου MOSFET ισχύος ,ο ακροδέκτης EN/UV εκτός από την λειτουργία έλεγχου της τάσης εξόδου, χρησιμοποιείται και στην προστασία του μετατροπέα από χαμηλή τάση εισόδου, αυτός ο ακροδέκτης πρέπει να συνδεθεί με την ανορθωμένη τάση δικτύου μέσω μιας αντίστασης με την κατάλληλη τιμή. Η ανορθωμένη τάση του δικτύου μπορεί να είναι από 85 – 265 V ( Universal ) . Στον ακροδέκτη BP/M συνδέεται ένας πυκνωτής η λειτουργία του είναι να παρέχει την συνεχή τάση τροφοδοσίας 5.85 V στα κυκλώματα έλεγχου, με την επιλογή του πυκνωτή ορίζεται η μέγιστη τιμή ρεύματος του MOSFET. Το κύκλωμα έλεγχου του ολοκληρωμένου κυκλώματος TNY274 δεν χρησιμοποιεί την τεχνική PWM άλλα ρυθμίζει τα διάστημα αγωγής και αποκοπής του MOSFET ανάλογα την κατάσταση του ακροδέκτη EN/UV .

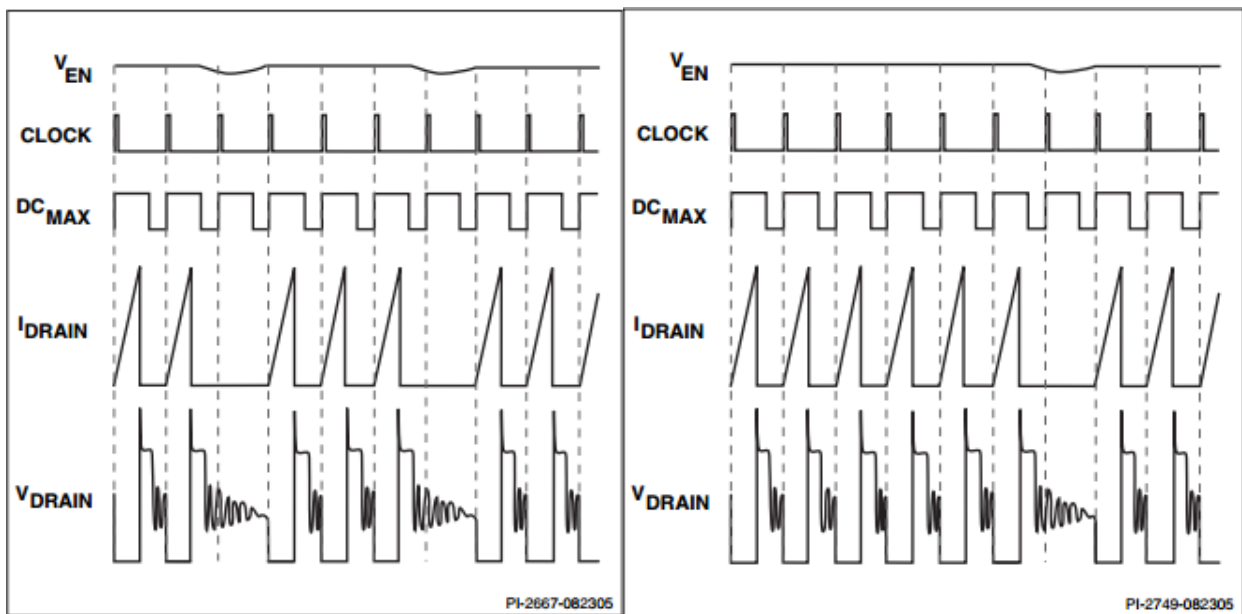
Ένας ταλαντωτής ορίζει την διακοπτική συχνότητα η οποία είναι ίση με 132kHz , στην έναρξη της περιόδου αν ο ακροδέκτης EN/UV είναι σε κατάσταση “ low ” το MOSFET διατηρείται στην αποκοπή. Ενώ αντίθετα στην έναρξη της περιόδου εάν ο ακροδέκτης αυτός είναι σε κατάσταση “ high ” το MOSFET οδηγείται στην αγωγή και το πρωτεύον τύλιγμα του μετασχηματιστή διαρρέετε από ρεύμα μέχρι να φτάσει μια προκαθορισμένη τιμή η οποία ορίζεται ανάλογα την ισχύ εξόδου. Στο παρακάτω σχήμα 1.22 απεικονίζονται η κυματομορφή ρεύματος του MOSFET, παρατηρώντας αυτές τις κυματομορφές προκύπτει ότι ο μετασχηματιστής αναγκάζεται να λειτουργεί με ασυνεχή αγωγή του ρεύματος. Όσο μεγαλύτερη είναι η ισχύς στη έξοδο τόσο λιγότερες είναι η περίοδοι που το MOSFET είναι σε αποκοπή.

Η ανάδραση του κυκλώματος λειτουργεί με των εξής τρόπο όταν η τάση εξόδου είναι μεγαλύτερη της επιθυμητής έχει υπερβεί το άθροισμα της τάσης της διόδου ζένερ και της τάσης αγωγής του εσωτερικού led του οπτοζεύκτη, η υπέρυθρη ακτινοβολία ενεργοποιεί το εσωτερικό τρανζίστορ του οπτοζεύκτη ο οποίος αρχίζει να άγει , ο ακροδέκτης EN/UV σε αυτή την περίπτωση είναι σε κατάσταση “ low ” και το MOSFET οδηγείτε στην αποκοπή, αντίθετα όταν η τάση εξόδου μειωθεί κάτω από το όριο που ορίζει η ζένερ ο ακροδέκτης είναι σε κατάσταση “ high ” και το MOSFET άγει. Με αυτόν των τρόπο γίνεται η σταθεροποιήσει της τάσης εξόδου.



Σχήμα 1.22

Στο σχήμα 1.22 παρατηρούμε την κυματομορφή του ρεύματος αγωγής του MOSFET σε μικρές απαιτήσεις ισχύος στην έξοδο ενώ στο παρακάτω σχήμα 1.23 όταν οι απαιτήσεις ισχύος είναι μεγάλες το ρεύμα  $I_{DRAIN}$  έχει μεγαλύτερη τιμή και το MOSFET άγει σχεδόν σε όλες τις περιόδους

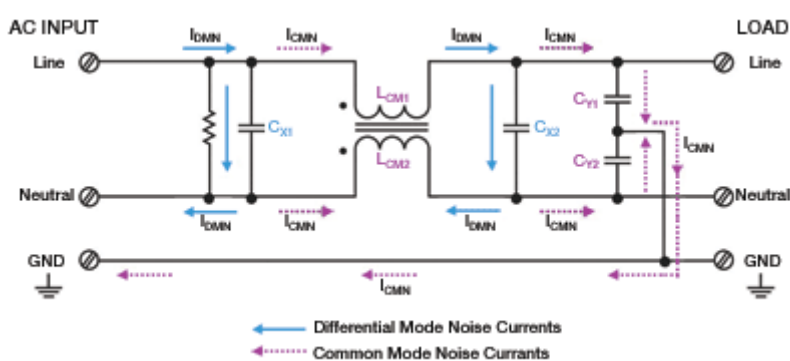


Σχήμα 1.23

## 1.10 ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗ (EMI)

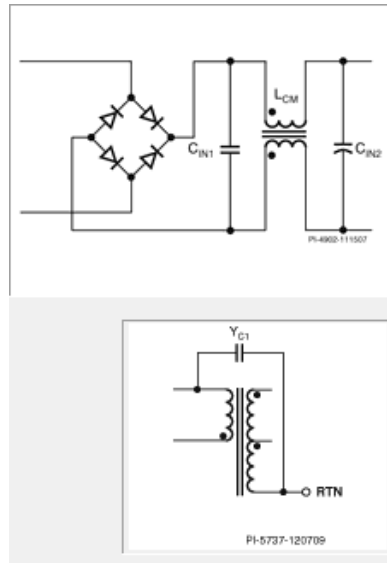
« Τα κυκλώματα ηλεκτρονικών ισχύος αποκαθιστούν και διακόπτουν μεγάλες ποσότητες ρεύματος υπό υψηλές τάσεις και έτσι μπορούν να παράγουν ανεπιθύμητα ηλεκτρικά σήματα τα οποία επηρεάζουν άλλα ηλεκτρονικά συστήματα . Αυτά τα ανεπιθύμητα σήματα συμβαίνουν στις υψηλότερες συχνότητες και δίνουν αφορμή για EMI, επίσης γνώστη και ως παρεμβολή ραδιοσυχνότητας ( Radio frequency interference RFI ). Τα σήματα μπορούν να μεταβιβαστούν στα άλλα ηλεκτρονικά συστήματα με ακτινοβολία μέσω του χώρου η με αγωγή κατά μήκος καλωδίου. Το κύκλωμα έλεγχου πύλης χαμηλής στάθμης του μετατροπέα ισχύος μπορεί επίσης να επηρεαστεί από την EMI που παράγεται από δικά του μέρη κυκλωμάτων υψηλής ισχύος. Όταν συμβαίνει αυτό το σύστημα λέγεται ότι διέπεται από επιδεκτικότητα σε EMI ( susceptibility to EMI ) . κάθε σύστημα που δεν εκπέμπει EMI πάνω από ένα δεδομένο επίπεδο, και δεν επηρεάζεται από EMI , λέγεται ότι έχει ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα ( electromagnetic compatibility , EMC ) . Η EMC μπορεί να επιτευχθεί ελαττώνοντας τα επίπεδα της EMI από την πηγή φράζοντας την διαδρομή μετάδοσης σημάτων EMI ή φτιάχνοντας τον δέκτη λιγότερο επιδεκτικό στα λαμβανόμενα σήματα EMI.»<sup>3</sup>

Πριν τις ανορθωτικές διατάξεις ενός μετατροπέα ισχύος για να μην υπάρχουν ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές συνδέεται ένα φίλτρο το οποίο αποτελείται από πηνία και πυκνωτές η κυκλωματική δομή ενός τέτοιου φίλτρου απεικονίζεται στην σχήμα 1.24



Σχήμα 1.24

Επίσης λύσεις στις ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές μπορεί να δοθεί και με ηλεκτρονικά εξαρτήματα του μετατροπέα ισχύος , όπως για παράδειγμα λύσεις που προτείνει η POWER INTERGRATION μέσω του προγράμματος της PI Expert, ένα πρόγραμμα εφαρμογών των μετατροπέων ισχύος με τα ολοκληρωμένα κυκλώματα της. Σχήμα 1.25



Σχήμα 1.25

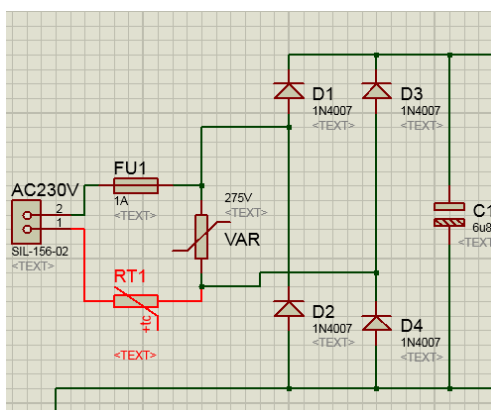
## 2.1 SCHEMATIC ΚΑΙ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΥΛΟΠΟΙΗΣΕΙΣ

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει η σχεδίαση και η κατασκευή ενός διακοπτικού τροφοδοτικού. Αρχικά τα χαρακτηριστικά του τροφοδοτικού είναι μεταβαλλόμενη τάση εξόδου 3.3-12V στο 1A, το εύρος αυτό επιλέχτηκε λόγω του ότι οι πιο πολλές ηλεκτρονικές διατάξεις δουλεύουν σε τάσης τροφοδοσίας 3.3V , 5V , 9V και 12V. Το τροφοδοτικό υλοποιείται με ένα μετατροπέα FLYBACK το διακοπτικό στοιχείο είναι ένα MOSFET ισχύος IRF820 , ο μετασχηματιστής υψηλής συχνότητας αποτελείται από πυρήνα φερρίτη EE22 με μπομπίνα , η συχνότητα λειτουργίας και το εύρος παλμού ( PWM ) του διακόπτη ορίζεται από έναν προγραμματιζόμενο μικροελεγκτή PIC 16F877A και είναι ίση με 60kHz . Για να λειτουργήσει το τροφοδοτικό απαιτείται από το PIC τουλάχιστον μια αναλογική είσοδο ( Analog Input ) για να δέχεται το σήμα ανάδρασης χρησιμοποιώντας την τεχνική ( Analog to Digital ADC ) μετατρέπει την αναλογική τάση σε ψηφιακή μορφή, και επίσης μια τουλάχιστον έξοδο PWM ( Capture/Compare/PWM CCP ) για το σήμα οδήγησης του MOSFET. Όποτε θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί οποιοδήποτε άλλο PIC που έχει αυτές τις προδιαγραφές όπως για παράδειγμα ο PIC 12F683 το οποίο είναι με 8Pin οπότε υπάρχει μεγάλη εξοικονομεί χώρο , σε αυτήν την κατασκευή χρησιμοποιήθηκε μεγαλύτερο σε δυνατότητες PIC για την μετέπειτα αναβαθμίσει του με οθόνη LCD για την απεικόνιση της τάσης εξόδου. Για την σχεδίαση του κυκλώματος χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα PROTEUS PROFESSIONAL SUITE 8.1 οι δυνατότητες που προσφέρει είναι πολλές αφού υπάρχει η δυνατότητα προσομοιώσεις κυκλωμάτων μαζί με το κώδικα του PIC επίσης η μετατροπή του σχηματικού σε μορφή τυπωμένου κυκλώματος PCB , ακόμα η δυνατότητα απεικονίσεις του PCB σε 3D μορφή. Ο κώδικας του PIC είναι γραμμένος σε C γλωσσά προγραμματισμού μέσω του προγράμματος ( MICROC PRO for PIC v6.00 ) και εδώ

υπάρχουν αρκετές δυνατότητες όπως πολλές βιβλιοθήκες , μετατροπείς για δεκαδικό-δυναδικό-μεταξάδικο κ.α.

## 2.2 ΕΠΙΛΟΓΗ ΥΛΙΚΩΝ ΑΝΟΡΘΩΤΗ

Η σχεδίαση ξεκινάει με τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα ασφάλειας την γέφυρα διόδων για την ανόρθωση και τον πυκνωτή εξομαλύνσεις στο παρακάτω σχήμα 2.1 απεικονίζεται αυτή η δομή



Σχήμα 2.1

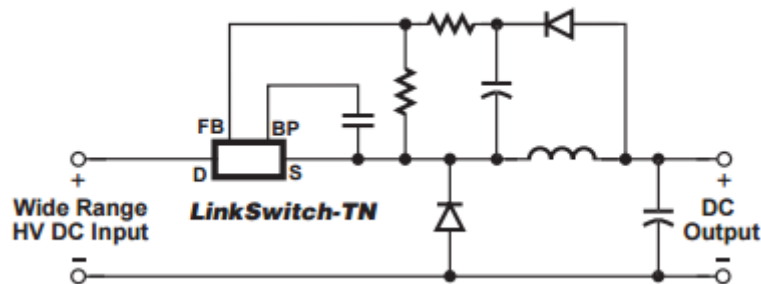
Η σύνδεση με το δίκτυο γίνεται μέσω κονέκτορα δυο ακροδεκτών με απόσταση μεταξύ τους 1cm η ασφάλεια τήξεως για την προστασία από υψηλό ρεύμα είναι επιλεγμένη στο 1Ampere και είναι τοποθετημένη σε βάση για να μπορεί να αλλάχτεί αν χρειαστεί, το Varistor προστατεύει το κύκλωμα από υπερτάσεις έχει ονομαστική τιμή 275V, το thermistor είναι NTC αρνητικού συντελεστή θερμοκρασίας και έχει ονομαστική τιμή 4,7Ω.

Για την ανόρθωση της εναλλασσόμενης τάσης του δικτύου γίνεται χρήση γέφυρας 4 διόδων επειδή η συχνότητα λειτουργίας είναι 50Hz οι δίοδοι είναι τύπου STANDARD 1n4007 η ηλεκτρικές προδιαγραφές τους είναι υπεραρκετές για την δεδομένη ισχύ , ο πυκνωτής εξομαλύνσεις είναι ηλεκτρολυτικός στα 400V με χωρητικότητα 6.8μF , πολύ σημαντικό είναι ο πυκνωτής που χρησιμοποιείται εδώ όπως και όλοι οι ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές στα διακοπτικά τροφοδοτικά οι προδιαγραφές τους για την θερμοκρασία να είναι στους 105°C. Η τιμή τις τάσης μετά την ανόρθωση και το φίλτρο εισόδου είναι 308V

## 2.3 ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ ΕΛΕΓΚΤΗ ΤΟΥ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑ

Για την λειτουργία του PIC χρειάζεται σταθερή τάση 5V, αυτή η τάση λειτουργίας προκύπτει από την εφαρμογή ενός DC-DC step down converter με το ολοκληρωμένο κύκλωμα LNK304

Η εφαρμογή του LNK 304 έχει ως είσοδο την ανορθωμένη τάση του δικτύου 308V ελάχιστη DC τάση που μπορεί να δεχτεί είναι 70V και η κυκλωματική του δομή απεικονίζεται στο σχήμα 2.2



Σχήμα 2.2

Ο μετατροπέας αυτός έχει πολύ μεγάλη απόδοση 75%, λειτουργεί με διαμόρφωση εύρους παλμού σε τυπική συχνότητα 66 kHz με μέγιστο κύκλο εργασίας 69% ( Duty Cycle ), εσωτερικά του ολοκληρωμένου υπάρχουν κυκλώματα προστασίας από υπερθέρμανση και βραχυκυκλώματος στην έξοδο . Τα κυκλώματα έλεγχου τροφοδοτούνται από σταθερή τάση 5.8V ( self-powered ) . Επίσης το ολοκληρωμένο κύκλωμα έχει ενσωματωμένο MOSFET ισχύος στα 700V , ο ακροδέκτης D είναι η εκροή του διακόπτη και ο ακροδέκτης S η πηγή. Στον ακροδέκτη BP ( BYPASS ) συνδέεται ένας πυκνωτής 0.1uF ο οποίος σχετίζεται με την εσωτερική τάση τροφοδοσίας 5.8V . Υπό κανονικές συνθήκες η διακοπτική λειτουργία του MOSFET ελέγχεται από τον ακροδέκτη FB ( Feedback ) όταν η τάση εξόδου είναι η επιθυμητή τιμή η τάση σε αυτό τον ακροδέκτη πρέπει να είναι ίση με 1.65V , η τάση ανάδρασης ορίζεται από τις δυο αντιστάσεις, συνήθως η αντίσταση που συνδέεται στη πηγή ( Source ) έχει σταθερή τιμή 2KΩ. Στην συγκεκριμένη εφαρμογή επειδή η επιθυμητή τάση εξόδου είναι 5V οι αντιστάσεις επιλέγονται 2KΩ και 4.05KΩ

$$(5 * R1) / (R1 + R2) =$$

$$(5 * 2) / (2 + 4.05) = 1.65V$$

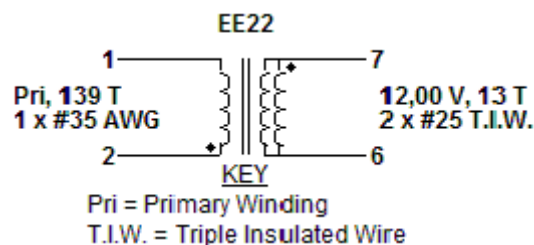
Στην πράξη η R2 πρέπει να μπει λίγο μεγαλύτερη κατά 100Ω. Η δίοδος στην ανάδραση μπορεί να είναι μια χαμηλού κόστους δίοδος τύπου 1N400x, αντίθετα η δίοδος πριν το φίλτρο εξόδου πρέπει

να είναι μια γρήγορη διάδος με χρόνους  $<75\text{ns}$  σε θερμοκρασία λειτουργίας  $70^\circ\text{C}$  εάν η θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη τα χαρακτηριστικά της διάδου πρέπει να έχουν χρόνους  $<35\text{ns}$ . Αργές διάδοι δεν είναι αποδεκτές καθώς δεν επιτυγχάνεται σταθεροποίηση της εξόδου και στο κύκλωμα δημιουργούνται αιχμές ρέματος. Η διάδος αυτή επιλέχθηκε η BYV26C είναι μια διάδος FAST SOFT-RECOVERY με χρόνου αναστροφής ανάκτησης  $30\text{ns}$ . Το φίλτρο εξόδου αποτελείται από ένα πηνίο  $680\mu\text{H} - 280\text{mA}$  και έναν πυκνωτή εξόδου που έχει χωρητικότητα  $100\mu\text{F} - 16\text{V}$  για την μείωση της κυμάτωσης. Ο πυκνωτής ανάδρασης επιλέγεται  $10\mu\text{F}$  έως  $22\mu\text{F}$  μικρότερες τιμές έχουν σαν αποτέλεσμα κακή σταθεροποίηση όταν το φορτίο εξόδου έχει μικρές απαιτήσεις σε ισχύ. Η ανατροφοδότηση του κυκλώματος απαιτεί ένα ρεύμα εξόδου τουλάχιστον  $3\text{mA}$  για να λειτουργήσει σωστά για αυτό το λόγω τοποθετείται στην έξοδο μια αντίσταση παράλληλα στο φορτίο, όταν δεν υπάρχει το φορτίο η αντίσταση αυτή πρέπει να είναι υπολογισμένη να δίνει  $3\text{mA}$  ρεύμα. Στην συγκεκριμένη εφαρμογή επειδή δεν αποσυνδέεται και ξανά συνδέεται το φορτίο χρησιμοποιείται μια αντίσταση  $3.3\text{K}\Omega$ .

Το κύκλωμα αυτό τροφοδοσίας μπορεί να δώσει μέγιστο ρεύμα εξόδου  $120\text{mA}$ , με αυτό τροφοδοτείται το PIC και το τρανζίστορ του οπτοζεύκτη η ανάγκες σε ρεύμα αυτών των εξαρτημάτων είναι μέσο ορό  $2,5\text{mA}$  ρεύμα λειτουργίας του PIC μαζί με την οδήγηση του MOSFET και  $0.5\text{mA}$  το ρεύμα που διαρρέει το τρανζίστορ του οπτοζεύκτη οπότε το κύκλωμα τροφοδοσίας υπερκαλύπτει τις ανάγκες δουλεύοντας υπό άνετες συνθήκες.

## 2.4 ΔΟΜΗ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗ ΥΨΗΛΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ

Τα απαραίτητα υλικά για την κατασκευή του μετασχηματιστή είναι ο πυρήνας από υλικό φερρίτη μεγέθους EE22 με μπομπίνα, σύρμα περιελίξεις μετασχηματιστών διατομής  $34\text{AWG}$  και  $25\text{AWG}$  μονωτική μεμβράνη πολυεστερική πάχους  $1\text{mil}$  ( $25\mu\text{m}$ ) και πλάτος  $8,45\text{mm}$ .

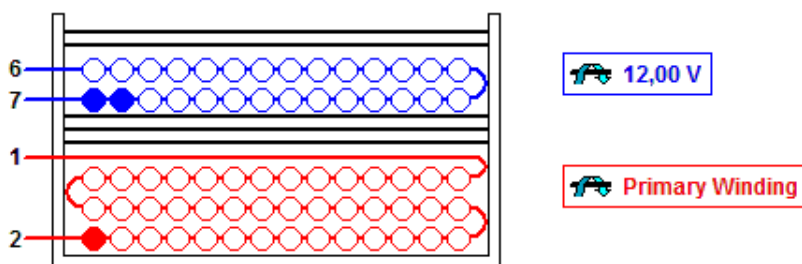


Σχήμα 2.3

Στο παραπάνω σχήμα φαίνεται το κυκλωματικό σύμβολο του μετασχηματιστή

Η περιέλιξη ξεκάνει με το πρωτεύον τύλιγμα, από το Pin2, το σύρμα διατομής  $35\text{AWG}$  τυλίγεται δεξιόστροφα για την δημιουργία  $139$  σπειρών σε  $3$  στρώματα το πρώτο στρώμα τυλίγεται από

αριστερά προς τα δεξιά της μπομπίνας στο τέλος του πρώτου στρώματος συνεχίζει η περιέλιξη πάλι δεξιόστροφα από την δεξιά πλευρά της μπομπίνας προς την αριστερή στο τέλος του δεύτερου στρώματος ξεκάνει το τρίτο στρώμα το οποίο απλώνεται ομοιόμορφα σε όλο το μήκος της μπομπίνας από αριστερά προς τα δεξιά και καταλήγει στο Pin 1. Το πρωτεύον τυλίγεται με 3 στρώματα μονωτικής μεμβράνης και το σύρμα στα Pin1 και Pin2 σταθεροποιείται.



Σχήμα 2.4

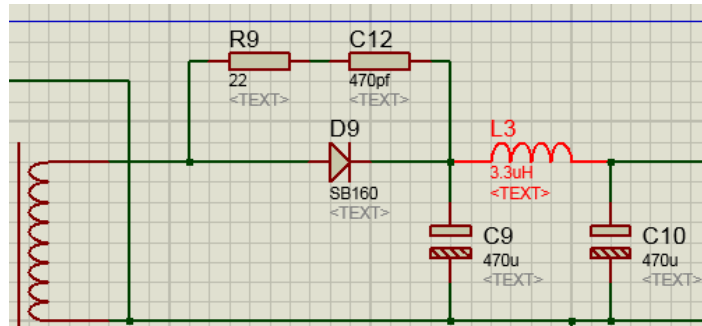
Στην συνέχεια ξεκινάει η περιέλιξη του δευτερεύοντος από το Pin7, διπλό σύρμα διατομής 25 AWG τριπλά μονωμένο τυλίγεται πάλι δεξιόστροφα για την δημιουργία 13 σπειρών ομοιόμορφα σε όλο το μήκος της μπομπίνας και καταλήγει στο Pin6 στο τέλος της περιελίξεις 2 στρώμα μονωτικής μεμβράνης προστατεύουν και το δευτερεύον. Μετά τα τυλίγματα τα δυο κομμάτια του πυρήνα από φερρίτη τοποθετούνται κατάλληλα και σταθεροποιούνται στην μπομπίνα.

Το δικτύωμα snubber/clamp αποτελείται από μια δίοδο ζένερ P6KE170A και μια δίοδο ταχείας ανάκτησης FR106, στην θέση της P6KE170A θα μπορούσε να τοποθετηθεί ένα κύκλωμα RC.

## 2.5 ΔΟΜΗ ΦΙΑΤΡΟΥ ΕΞΟΔΟΥ

Η ανόρθωση της εξόδου επιτυγχάνεται με ταχεία δίοδο ( Schottky ) SB160 η συγκεκριμένη δίοδος είναι πολύ χρησιμοποιούμενη σε τροφοδοτικά χαμηλής ισχύος τα χαρακτηριστικά της πέρα από την ταχύτητα είναι 60V μέγιστη ανάστροφη τάση το ρεύμα ορθής φόρα είναι μέγιστο 1A και η τάση αναστροφής πόλωσης είναι 0.65-0,7V. Το δικτύωμα Snubber αποτελείται από μια αντίσταση 22Ω και έναν πυκνωτή 470 pF στα 100 V και είναι συνδεδεμένο παράλληλα με την δίοδο, το δικτύωμα συντελεί στην μείωση της EMI και προστατεύει από καταπονήσεις την δίοδο.



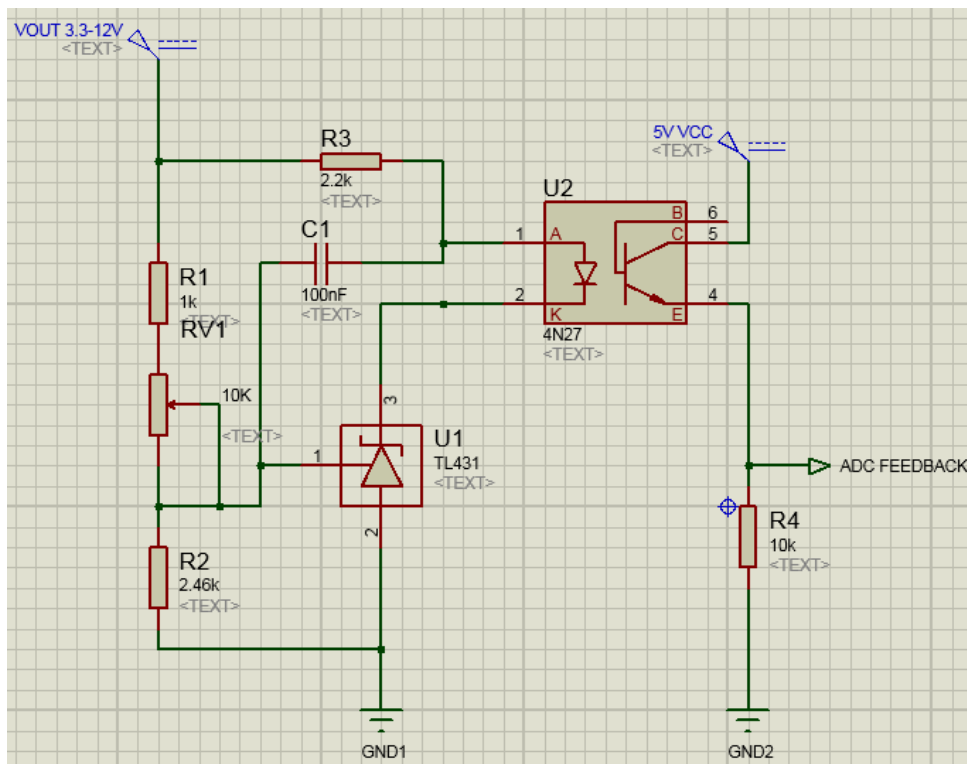


Σχήμα 2.5

στην συνέχεια οι πυκνωτές και το πηνίο εξομαλύνουν την τάση εξόδου , γενικότερα οι τιμές τους επιλέγονται ανάλογα την τάση εξόδου και το ρεύμα εξόδου και επίσης την συχνότητα λειτουργίας του μετατροπέα ισχύος. Οι τιμές στους πυκνωτές C9 και C10 είναι 470µF στα 25V και στα 16V αντίστοιχα, και το πηνίο στα 3.3µH. Ο C9 θα μπορούσε να μπει μεγαλύτερος στα 1000µF ή να μπουν δυο πυκνωτές 470µF παράλληλα και ο C10 100µF.

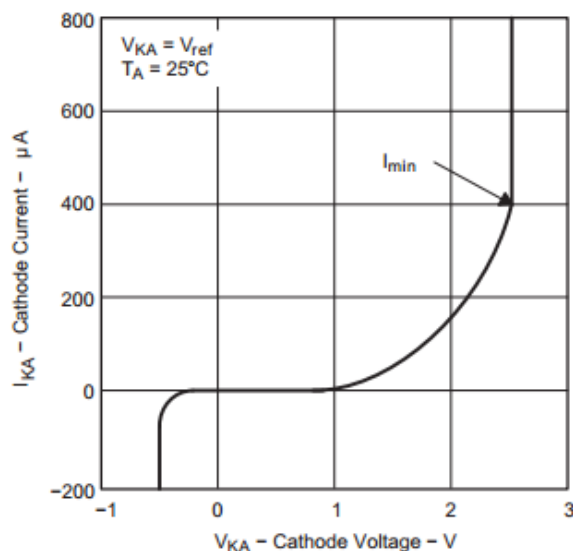
## 2.6 ΑΝΑΔΡΑΣΗ – FEEDBACK

Για την σταθεροποίηση της τάσης εξόδου η ανάδραση υλοποιείται με δυο στοιχειά, προγραμματιζόμενη ζενερ TL431 και έναν οπτοζεύκτη 4n37 για την ηλεκτρική απομόνωση,



Σχήμα 2.6

Επειδή ο μετασχηματιστής υψηλής συχνότητας κατασκευάζεται με γνώμονα την μέγιστη τάση εξόδου του τροφοδοτικού έτσι ώστε ο μέγιστος κύκλος εργασίας ( Duty Cycle ) να μπορεί να δίνει αυτή την τάση και το ρεύμα στην έξοδο χωρίς ταυτόχρονα να προκαλέσει κορεσμό στο πυρήνα για αυτό και συνήθως τα διακοπτικό τροφοδοτικά έχουν μέγιστο κύκλο εργασίας 35-50% . Στο συγκεκριμένο διακοπτικό τροφοδοτικό η τάση εξόδου με το ελάχιστο κύκλο εργασίας μπορεί να είναι 3.2V, και επίσης εξαιτίας του ποτενσιόμετρου που ενώ έχει 10K ονομαστική τιμή συνήθως είναι μικρότερο από 8.5 έως 9.7K για αυτούς τους δυο λόγους το εύρος τάσης εξόδου επιλέγεται από 3.3 έως 12V. Ποιο συγκεκριμένα όταν η επιθυμητή τιμή είναι 3.3V το ποτενσιόμετρο πρέπει να είναι στην θέση 0 δηλαδή να αποτελεί βραχυκύκλωμα και να μην επηρεάζει των διαιρητή τάσης, σε αυτή τη περίπτωση η τάση στον ακροδέκτη 1 του TL431 είναι  $(3.3 * 2.46) / (2.46 + 1) = 2,35V$



Σχήμα 2.7

Για να γίνει κατανοητή η λειτουργία παρατηρούμε το διάγραμμα του ολοκληρωμένου, όταν η τάση στον ακροδέκτη 1 είναι 2.35V ήδη ένα ρεύμα αρχίζει να διαρρέει την προγραμματιζόμενη ζένηρ και κατά συνέπεια το υπέρυθρο led του οπτοζεύκτη το ρεύμα σε αυτό το σημείο είναι μικρό περίπου 0.3mA είναι αρκετό όμως για να διεγερθεί το τρανζίστορ του οπτοζεύκτη, και η τάση που εμφανίζεται στον ακροδέκτη 4 ( ADC Feedback ) είναι περίπου 2,75V. Όταν η τάση αναφοράς του TL431 γίνει από 2.5V και πάνω το ρεύμα γίνεται το μέγιστο το οποίο περιορίζεται από την R3 2.2K σε αυτή τη περίπτωση η τάση εξόδου του τροφοδοτικού δεν είναι η επιθυμητή άλλα μεγαλύτερη, και το τρανζίστορ του οπτοζεύκτη έχει διεγερθεί πλήρως και στον ακροδέκτη εξόδου ADC Feedback εμφανίζεται μια τάση περίπου 5V. Στην αντίθετη περίπτωση όταν η τάση αναφοράς του TL431 είναι μικρότερη από 2,35V και πλησιάζει στο 1V η τάση εξόδου του τροφοδοτικού δεν είναι η επιθυμητή άλλα μικρότερη, το ρεύμα μηδενίζεται και το υπέρυθρο led δεν ακτινοβολεί το τρανζίστορ είναι

στην αποκοπή και η τάση εξόδου ADC Feedback γίνεται μηδέν. Για να μείνει σταθερή η τάση εξόδου του τροφοδοτικού ο ελεγκτής διαμόρφωσης εύρους παλμού αλλάζει το κύκλο εργασίας του ανάλογα την τιμή που δέχεται από το ADC Feedback πιο συγκεκριμένα αν αυτή η τιμή είναι μεταξύ 2,65-2,80V ο ελεγκτής κρατάει σταθερό το εύρος του παλμού που οδηγεί το MOSFET εάν είναι μικρότερο από 2,65V το εύρος παλμού μεγαλώνει γιατί ο ελεγκτής εντόπισε χαμηλή τάση εξόδου και διορθώνει την έξοδο, ενώ αντίθετα αν η τιμή είναι μεγαλύτερη από 2,80 τότε ο ελεγκτής διορθώνει το εύρος παλμού μειώνοντας το κύκλο εργασίας. Αυτή η υστέρηση 0,15V που ο ελεγκτής δέχεται την τάση εξόδου ως σωστή μεταφράζεται σε ένα περιθώριο κυμάτωσης περίπου 80mV στην έξοδο, μετά από μετρήσεις της τάσης εξόδου παρατηρήθηκε η κυμάτωση μικρή όταν η τάση εξόδου είναι 3.3V και όσο επιλεγούμε μεγαλύτερη επιθυμητή τιμή και η κυμάτωση είναι μεγαλύτερη

## 2.7 PIC – ΚΩΔΙΚΑΣ

Ο προγραμματιζόμενος μικροελεγκτής PIC 16F877A είναι το κύριο στοιχείο του διακοπτικού τροφοδοτικού, ελέγχει το εύρος παλμού με το οποίο οδηγείτε το MOSFET και ορίζει την συχνότητα λειτουργίας που είναι 60KHz . Αρχικά ο PIC χρονίζεται στα 4MHz από εξωτερικό κρύσταλλο, τροφοδοτείται από το κύκλωμα του LNK304 που εξετάσαμε σε προηγούμενη ενότητα με σταθερή τάση 5.2V.

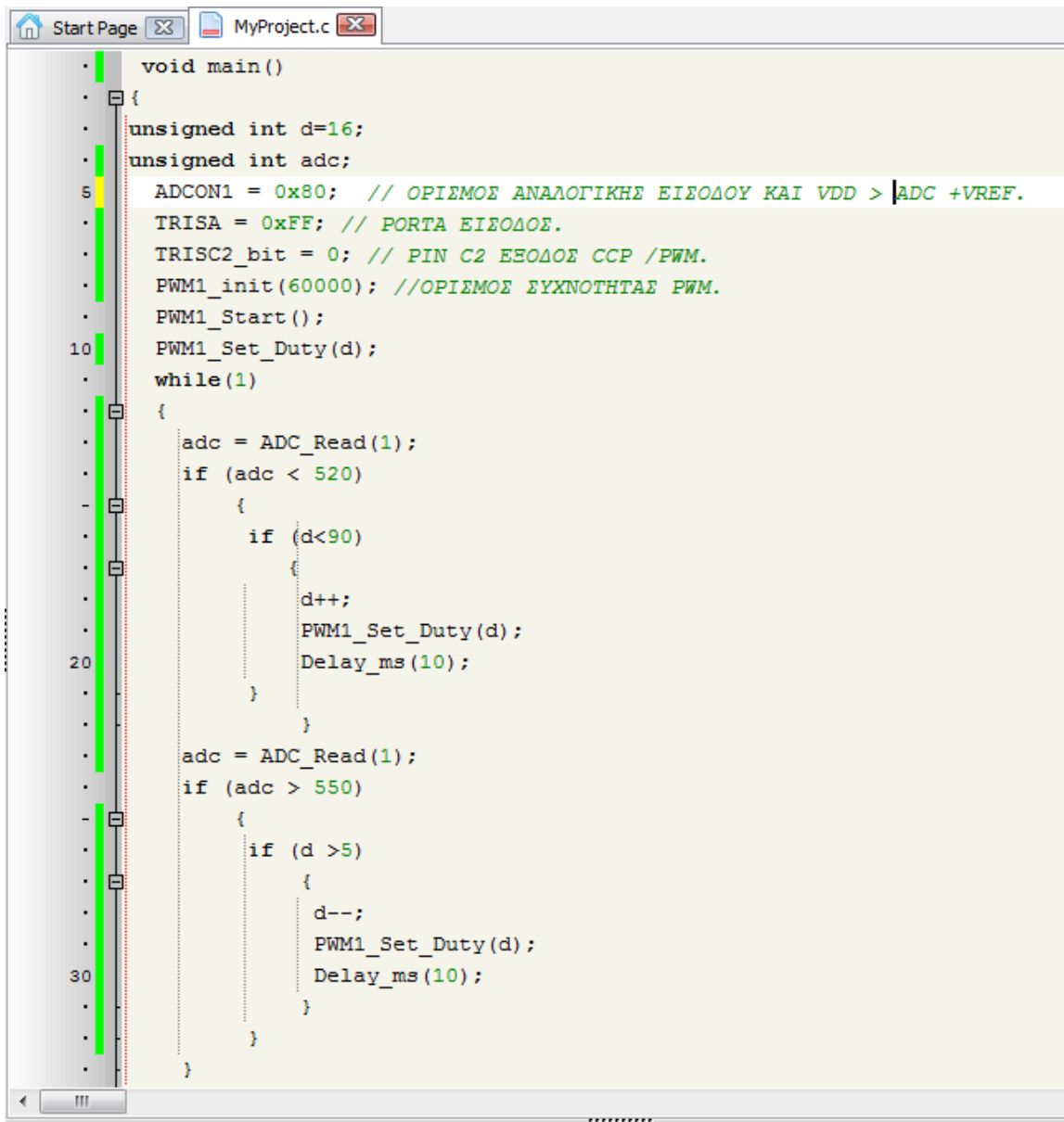
Ο PIC χρησιμοποιεί μια έξοδο CCP για το σήμα PWM το σήμα έχει ακρίβεια 8Bit οπότε η περίοδος του σήματος χωρίζεται σε 256 ίσα κομμάτια., για παράδειγμα εάν υποθέσουμε πως θέλουμε κύκλο εργασίας 50% η τιμή της εξόδου CPP που πρέπει δοθεί από το κώδικα είναι  $256/2=128$ .

Το επόμενο χαρακτηριστικό του PIC που πρέπει να μελετηθεί είναι η αναλογική είσοδος του από το οποίο θα δεχτεί το σήμα Feedback, ο συγκεκριμένος μικροελεγκτής έχει είσοδο αναλογική με ADC ( analog to digital converter ) 10Bit αυτό σημαίνει πως το αναλογικό σήμα εισόδου μετατρέπεται σε ψηφιακό βάση το τύπου

$$ADCvalue= Vfeedback/ (Vref / 1024)$$

Για τον προγραμματισμό του μικροελεγκτή χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα microC PRO for PIC v6 ο κώδικας είναι σε γλωσσά C και χρησιμοποιεί τις βιβλιοθήκες ADC και PWM

στο παρακάτω σχήμα 2.8 απεικονίζεται ολόκληρος ο κώδικας στο τέλος των ελέγχων ορθότητας του προγράμματος ο κώδικας μετατρέπεται σε αρχείο .hex το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για προσομοίωση του κυκλώματος στο PROTEUS η μέσω ενός programmer να αποθηκευθεί στην μνήμη του PIC.



```
void main()
{
    unsigned int d=16;
    unsigned int adc;
    ADCON1 = 0x80; // ΟΡΙΣΜΟΣ ΑΝΑΛΟΓΙΚΗΣ ΕΙΣΟΔΟΥ ΚΑΙ VDD > |ADC +VREF.
    TRISA = 0xFF; // PORTA ΕΙΣΟΔΟΣ.
    TRISC2_bit = 0; // PIN C2 ΕΞΟΔΟΣ CCP /PWM.
    PWM1_init(60000); //ΟΡΙΣΜΟΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ PWM.
    PWM1_Start();
    PWM1_Set_Duty(d);
    while(1)
    {
        adc = ADC_Read(1);
        if (adc < 520)
        {
            if (d<90)
            {
                d++;
                PWM1_Set_Duty(d);
                Delay_ms(10);
            }
        }
        adc = ADC_Read(1);
        if (adc > 550)
        {
            if (d >5)
            {
                d--;
                PWM1_Set_Duty(d);
                Delay_ms(10);
            }
        }
    }
}
```

Σχήμα 2.8

- Ο ADCON1 είναι καταχωρητής με τον οποίο ορίζουμε αναλογική είσοδο και την τάση τροφοδοσίας του PIC ως +Vref του ADC
- Ο καταχωρητής TRISA=0xFF ορίζει όλους τους ακροδέκτες τις πόρτας A να είναι είσοδοι
- Ο καταχωρητής TRISC2\_bit=0 ορίζει τον ακροδέκτη C2 της πόρτας C να είναι έξοδος
- Ο ορισμός της συχνότητας γίνεται με την εντολή PWM1\_init(60000)
- Ο ορισμός του εύρους παλμού γίνεται με την εντολή PWM1\_Set\_Duty(d) όπου  $1 < d < 256$
- Ο PIC δέχεται την τιμή του Feedback με την εντολή `adc = ADC_Read(1)`
- Η αρχική τιμή του εύρους παλμού είναι 16 δηλαδή 6.25% Duty Cycle
- Με την εντολή Delay\_ms(10) δίνεται μια μικρή χρονοκαυστήρηση μετά από κάθε ορισμό του εύρους παλμού

Αρχικά όταν τίθεται σε λειτουργία το τροφοδοτικό ο PIC ορίζει ένα κύκλο εργασίας ίσο με 6.25% για να λειτουργήσει το τροφοδοτικό έπειτα διαβάζει την είσοδο στη οποία οδηγείτε το σήμα ανάδρασης ( Feedback ) και ο έλεγχος που κάνει είναι να το συγκρίνει με την τιμή 520 η οποία μεταφράζεται σε τάση :

$$( 5,2 / 1024 ) * 520 = 2,65V$$

Εάν η τιμή της ανάδρασης είναι μικρότερη από την τιμή 2,65V ο ελεγκτής καταλαβαίνει πως η τάση εξόδου δεν είναι η επιθυμητή αλλά μικρότερη οπότε ο ελεγκτής πρέπει να αυξήσει τον κύκλο εργασίας για αυξηθεί και η τάση εξόδου , πριν όμως προχωρήσει στην αύξηση γίνεται πρώτα ο έλεγχος εάν ο κύκλος εργασίας είναι ήδη στην μέγιστη τιμή που ορίστηκε να πάρει η όποια είναι

$$d=90 \gg \text{Duty Cycle} = 9000/256 \gg \text{Duty Cycle} = 35.15 \%$$

εάν ο κύκλος εργασίας δεν είναι στη μέγιστη τιμή τότε γίνεται αύξηση κατά 0,39% αντίθετα ελεγκτής κρατεί αυτή την μέγιστη τιμή.

Στην συνέχεια διαβάζει και πάλι την τάση της ανάδρασης αυτή την φορά θα γίνει ο έλεγχος αν η τάση αυτή είναι μεγαλύτερη από την τιμή 550 η τιμή αυτή μεταφράζεται σε τάση :

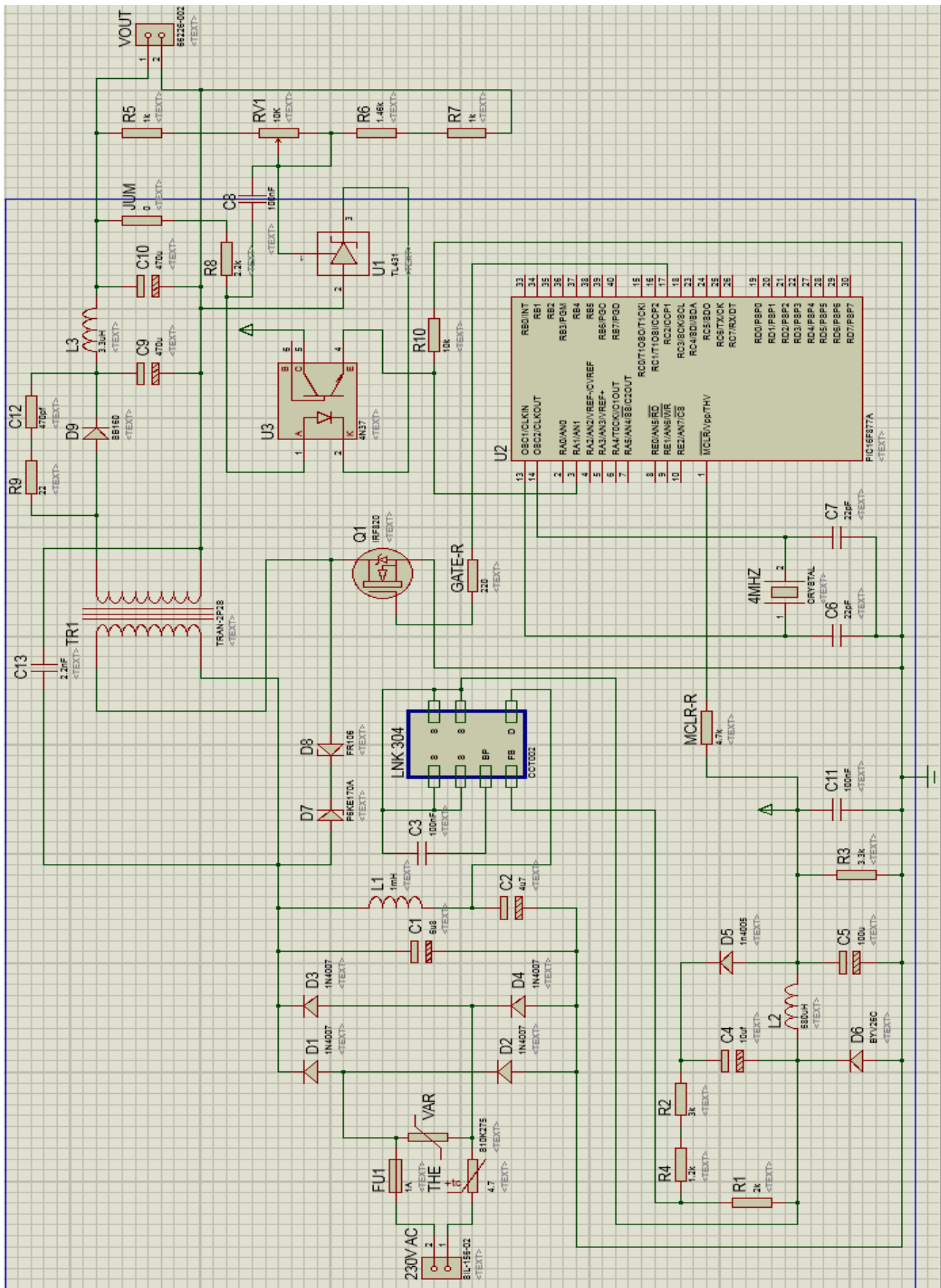
$$( 5,2 / 1024 ) * 550 = 2,80V$$

Εάν η τιμή ανάδρασης είναι μεγαλύτερη από την τιμή 2,80V ο ελεγκτής καταλαβαίνει πως η τάση εξόδου δεν είναι η επιθυμητή αλλά μεγαλύτερη οπότε ο ελεγκτής πρέπει να μειώσει το κύκλο εργασίας, και πάλι γίνεται πρώτα ένας έλεγχος εάν ήδη ο κύκλος εργασίας είναι στην ελάχιστη τιμή του

$$d=5 \gg \text{Duty Cycle} = 500/256 \gg \text{Duty Cycle} = 1,95 \%$$

εάν ο κύκλος εργασίας δεν είναι στην ελάχιστη τιμή τότε γίνεται μειώσει 0,39% αντίθετα ο ελεγκτής κρατεί σταθερή την ελάχιστη τιμή. Στις περιπτώσεις που η τάση ανάδρασης είναι μεταξύ 2,65 – 2,80 V ο κύκλος εργασίας παραμένει ο ίδιος. Με αυτό τον τρόπο ο ελεγκτής κάνει αρκετά τακτικά ελέγχους στην τάση εξόδου και όπου απαιτείται να επέμβει διορθώνει το σφάλμα κρατώντας σταθερή την τάση εξόδου στην επιθυμητή τιμή.

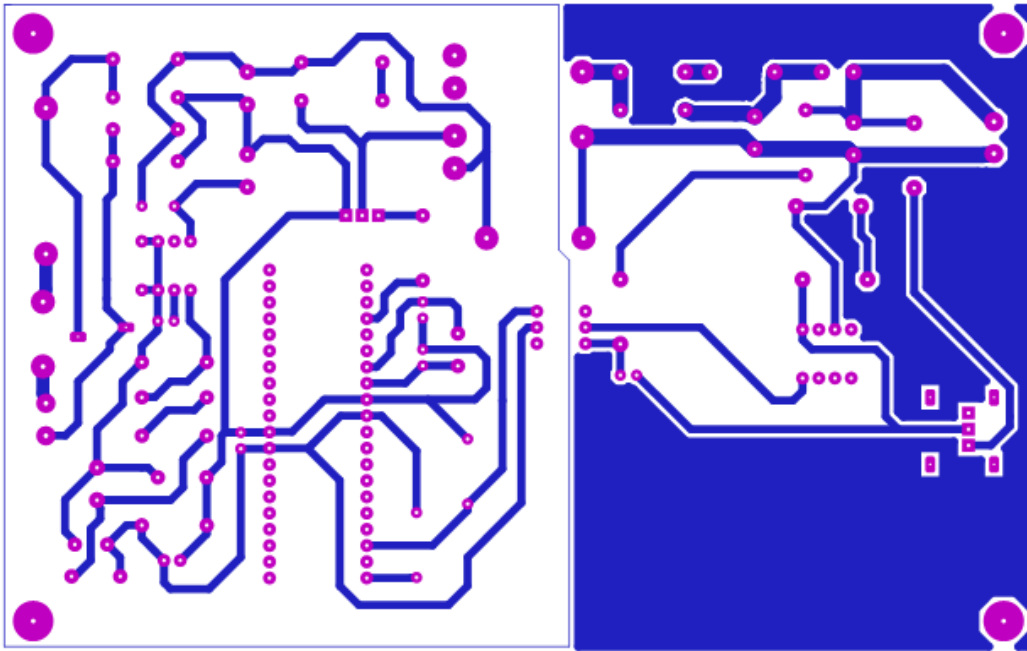
Ο προγραμματιστής ( programmer ) αναλαμβάνει να αποθήκευση το .hex κώδικα στην μνήμη του PIC , ο προγραμματιστής που χρησιμοποιήθηκε στην υλοποίηση του τροφοδοτικού είναι ο k149-bc, είναι μια συσκευή κινέζικης προέλευσης με πολύ χαμηλό κόστος αγοράς.



Σχήμα 2.8 ολόκληρο το σχηματικό του διακοπτικού τροφοδοτικού

## 2.8 PCB

Στο παρακάτω σχήμα 2.9 απεικονίζεται η τελική μορφή του τυπωμένου κυκλώματος



Σχήμα 2.9

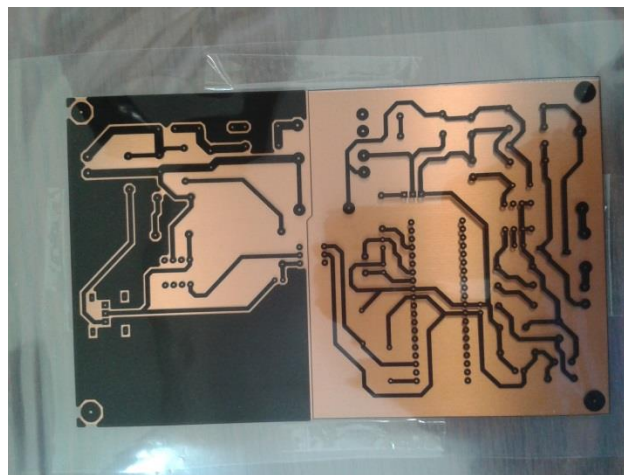
Το σχέδιο υλοποιήθηκε με το πρόγραμμα PROTEUS 8 PROFESSIONAL, όλα τα διακοπτικά τροφοδοτικά ακολουθούν κάποιους σχεδιαστικούς κανόνες, τα pad στα οποία θα κολληθεί ο κονέκτορας για την σύνδεση στο δίκτυο πρέπει να έχουν απόσταση μεταξύ τους τουλάχιστον 0,6cm, η πλακέτα χωρίζεται στο πρωτεύον κύκλωμα και το δευτερεύον κύκλωμα στο σημείο που γίνεται ο διαχωρισμός εκεί είναι και η θέση των στοιχείων που έχουν ηλεκτρική απομόνωση δηλαδή ο μετασχηματιστής και ο οπτοζεύκτης. Στο συγκεκριμένο διακοπτικό τροφοδοτικό τα υλικά αυτά είναι στην μέση της πλακέτας. Το πρωτεύον κύκλωμα από το δευτερεύον έχει μια απόσταση ασφάλειας, οι ακροδέκτες του οπτοζεύκτη πρέπει να είναι η ελάχιστη απόσταση του πρωτεύοντος κυκλώματος από το δευτερεύον κύκλωμα. Ένας άλλος σχεδιαστικός κανόνας που είναι γενικότερος είναι να μην υπάρχουν γωνίες 90° στους αγωγούς, επίσης το πλάτος του αγωγού εξαρτάται από το μέγιστο ρεύμα που έχει υπολογιστεί ότι θα διαρρέει τον αγωγό, συνήθως το πλάτος μετριέται σε ίντσες :

|              |            |
|--------------|------------|
| 0,010 - 0,3A | 0,025 - 1A |
| 0,015 - 0,4A | 0,050 - 2A |
| 0,020 - 0,7A | 0,100 - 4A |

Το πρωτεύον κύκλωμα είναι αριστερά και το δευτερεύον δεξιά, στο πρωτεύον βρίσκονται η ανόρθωση, ο διακόπτης, ο ελεγκτής και το κύκλωμα τροφοδοσίας του ενώ στο δευτερεύον το φίλτρο εξόδου και το κύκλωμα ανάδρασης. Τα κυκλώματα αυτά έχουν μια σχεδιαστική διάφορα δεξιά στο κύκλωμα εξόδου υπάρχει στρώμα χαλκού γύρω από τους αγωγούς ενώ στα αριστερά όχι αυτό συμβαίνει για λόγους ασφάλειας έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί η περίπτωση βραχυκυκλώματος στο κύκλωμα από την μεριά του δικτύου.

Το σχέδιο του τυπωμένου κυκλώματος εκτυπώνεται σε διάφανο φύλο από εκτυπωτή laser, η πλακέτα που θα τυπωθεί είναι μια φωτοευαίσθητη πλακέτα 10x16 η διαδικασία που ακολουθείται είναι η εξής :

Αφαιρούμε την προστατευτική ταινία από την πλακέτα για να αποκαλυφθεί η φωτοευαίσθητη επιφάνεια η οποία αποτελείται από ένα στρώμα χαλκού και ένα προστατευτικό στρώμα το οποίο καταστρέφεται από το φως. Κολλάμε στη πλακέτα την διαφάνεια με το τυπωμένο κύκλωμα, αυτή η επιφάνεια πρέπει να εκτεθεί σε υπεριώδη ακτινοβολία για 5 με 6 λεπτά σε ειδικό διαμορφωμένο κλειστό κουτί με λάμπες UV.

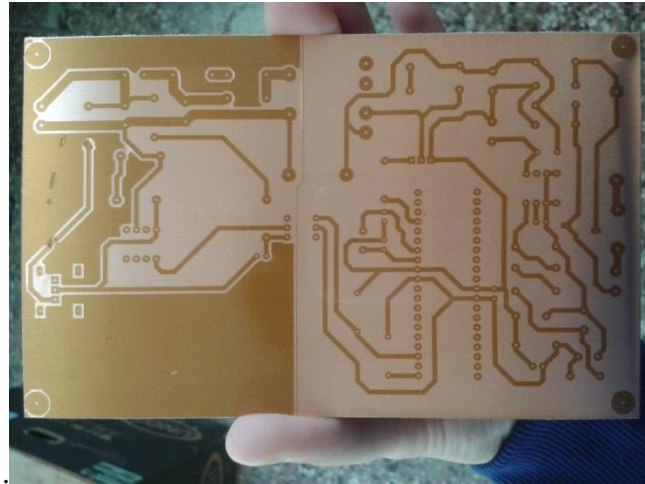


Σχήμα 2.10

Το στρώμα χαλκού που θέλουμε να κρατήσουμε για να δημιουργηθούν οι αγωγοί είναι στα σημεία που είναι το μελανί στην διαφάνεια, το μελανί δεν επιτρέπει το φως να περάσει στην φωτοευαίσθητη επιφάνεια οπότε δεν καταστρέφεται η προστατευτική στρώση με αυτό το τρόπο όταν η πλακέτα εκτεθεί στα διαβρωτικά χημεία εκείνα τα σημεία θα κρατήσουν το στρώμα χαλκού ενώ τα σημεία που εκτέθηκαν στο φως διαβρώνονται. Στην συνέχεια καλύπτουμε την επιφάνεια με την προστατευτική ταινία που είχε για να μην εκτίθεται στο φως και προχωράμε στο επόμενο στάδιο.

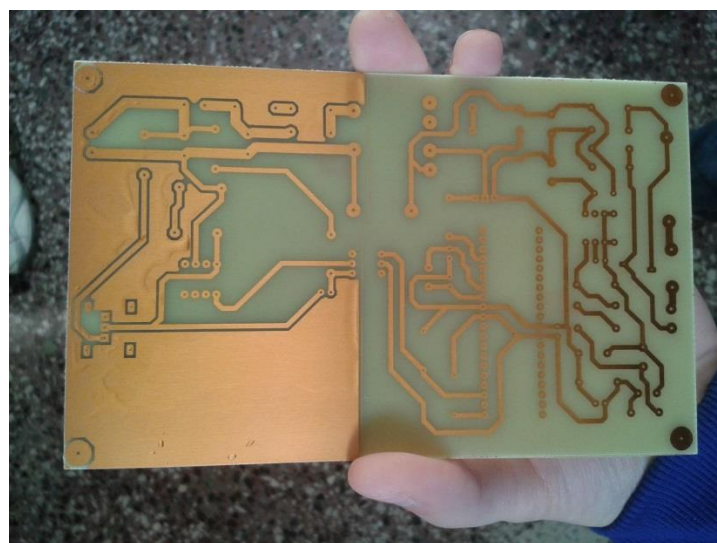


Σε καλά αεριζόμενο χώρο και με χρήση γαντιών τοποθετούμε σε μικρή πλαστική λεκάνη νερό και καυστικό νάτριο, η πλακέτα θα πρέπει να καλύπτεται ολόκληρη μέσα στο υγρό και ανακατεύουμε την πλακέτα μέσα στο υγρό μέχρι να εμφανιστούν πλήρως οι αγωγοί και στην συνέχεια το ξεπλένουμε καλά με νερό.



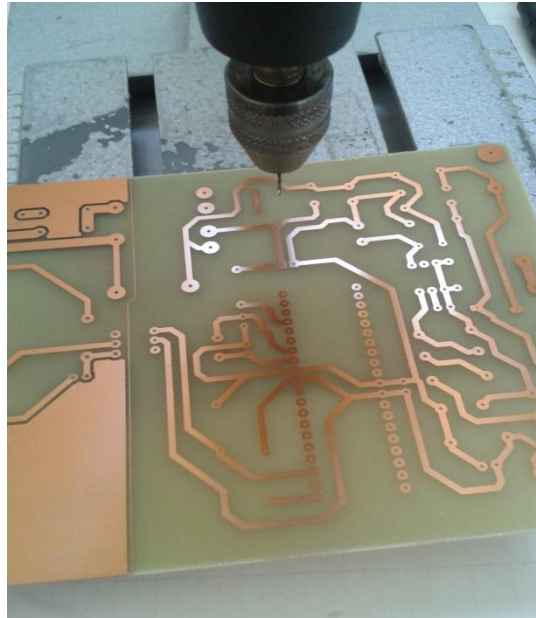
Σχήμα 2.11

Σε αυτό το σημείο η πλακέτα έχει την μορφή όπως απεικονίζεται στο σχήμα 2.11. Στο επόμενο στάδιο η πλακέτα βυθίζεται πάλι μέσα στην πλαστική λεκάνη η οποία τώρα περιέχει υδροχλωρικό οξύ το οποίο ενισχύεται με peritrol. Το οξύ διαβρώνει το περιττό χαλκό και εμφανίζεται η τελική μορφή του τυπωμένου κυκλώματος



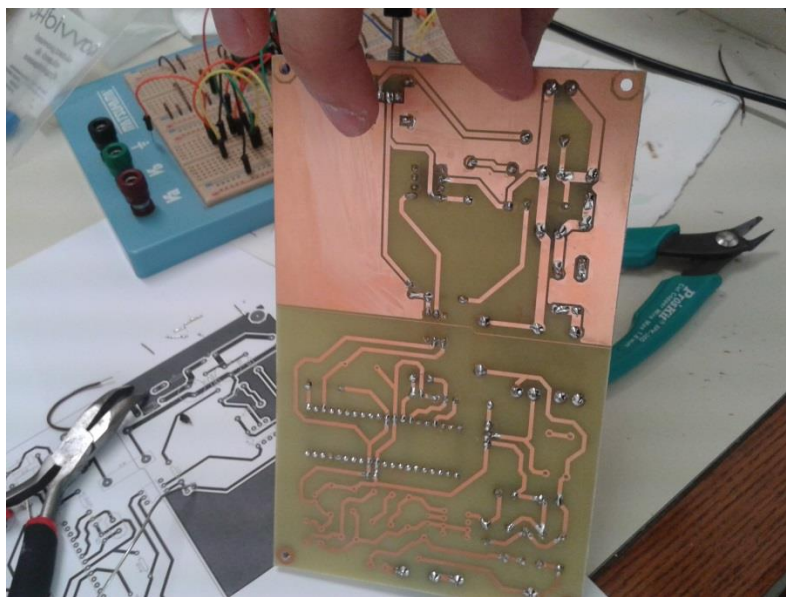
Σχήμα 2.12

Το επόμενο στάδιο είναι η είναι το άνοιγμα οπών για την στήριξη και κόλληση των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων, στην συγκεκριμένη εφαρμογή οι οπές ανοίγονται χειροκίνητα με τρυπάνι, γενικότερα όμως στη βιομηχανία χρησιμοποιούνται αυτόματα τρυπάνια ελεγχόμενα από υπολογιστή.



Σχήμα 2.13

Το άνοιγμα των οπών και η κόλληση των εξαρτημάτων έγιναν σε ειδικά διαμορφωμένο χώρο μέσα στο τμήμα ηλεκτρονικής του Α.Τ.Ε.Ι.Θ



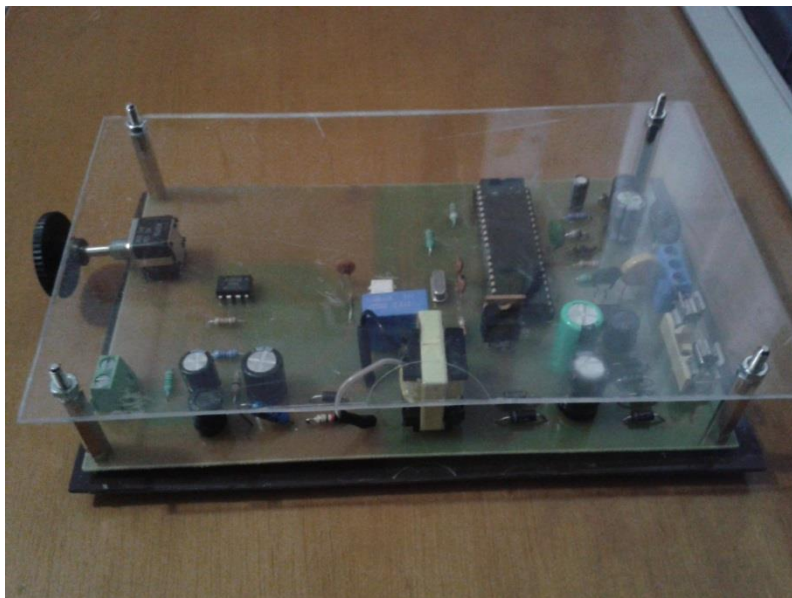
Σχήμα 2.14

Πριν ξεκινήσει η κόλληση των εξαρτημάτων είναι απαραίτητος ο καθαρισμός της επιφάνειας με οινόπνευμα. Και όταν ολοκληρωθεί η διαδικασία της κόλλησης η επιφάνεια καλύπτεται με ειδικό σπρέι το οποίο εμποδίζει την οξείδωση του χαλκού και επίσης είναι μονωτικό υλικό. Η μορφή της πλακέτας στην τελική της μορφή απεικονίζεται στο σχήμα 2.15



Σχήμα 2.15

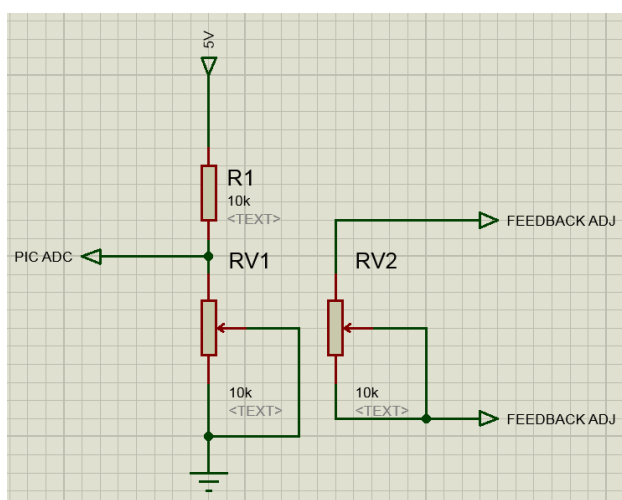
Ολοκληρωμένο το διακοπτικό τροφοδοτικό απεικονίζεται στο σχήμα 2.16



Σχήμα 2.16

## 2.9 LCD ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΑΣΗΣ ΕΞΟΔΟΥ

Σε περιπτώσεις που η τάση εξόδου είναι μεταβαλλόμενη κρίνεται απαραίτητη να υπάρχει η ένδειξη με κάποιο τρόπο για το ποια είναι η στάθμη της DC τάσης εξόδου ανά πάσα στιγμή. Για το τροφοδοτικό που κατασκευάστηκε στην παρούσα πτυχιακή εργασία έγινε μια περαιτέρω μελέτη για την βελτίωση του τροφοδοτικού με την προσθήκη LCD οθόνης. Για να γνωρίζει ο PIC που πρέπει να είναι η τάση εξόδου και να την εμφανίζει θα πρέπει να αντικατασταθεί το ποτενσιόμετρο με το οποίο γίνεται η ρύθμιση στο διαιρετή τάσης στην ανάδραση με ένα διπλό ποτενσιόμετρο



Σχήμα 2.17

Όταν ο χρήστης ρυθμίζει την τάση εξόδου με το ποτενσιόμετρο ταυτόχρονα ρυθμίζει και έναν άλλο διαιρετή τάσης ο οποίος συνδέεται στην τάση τροφοδοσίας του PIC και ιδανικά υποθέτουμε ότι είναι 5V η τάση που προκύπτει από το διαιρετή τάσης οδηγείται σε μια αναλογική είσοδο του PIC ADC. Η τάση παίρνει τιμές από 0 έως 2.5V αν υποθέσουμε ότι το τροφοδοτικό έχει εύρος τάσης εξόδου 3 έως 12V τότε με κάποιους υπολογισμούς ο PIC μπορεί να εμφανίσει στη οθόνη ποια πρέπει να είναι η τάση εξόδου και σε συνδυασμό με το σήμα ανάδρασης γίνεται αντιληπτό εάν η τάση που δείχνει η οθόνη είναι και η τάση εξόδου.

Οι υπολογισμοί του PIC είναι οι έξης :

$$5/1024=0.0048$$

$$(12-3)/10=0.9$$

$$(((ADC*0.0048)*4)*0.9)+3$$

Όταν η τάση εξόδου επιλέγεται να είναι η ελαχίστη 3V το ποτενσιόμετρο είναι στη θέση μηδέν οπότε ο διαιρετής τάσης δίνει 0V σύμφωνα με των παραπάνω τύπο το αποτέλεσμα είναι 3V που θα

εμφανιστεί στην οθόνη . Ενώ στην περίπτωση που η τάση εξόδου επιλέγεται η μέγιστη 12V τότε το ποτενσιόμετρο παίρνει την μέγιστη τιμή του 10K ο διαιρέτης τάσης έχει την τιμή 2.5V και σύμφωνα με των παραπάνω τύπο το αποτέλεσμα είναι 12V που θα εμφανιστεί στην οθόνη. Το πρόγραμμα του PIC είναι το ακόλουθο :

```
sbit LCD_RS at RB0_bit;
sbit LCD_EN at RB1_bit;
sbit LCD_D4 at RB2_bit;
sbit LCD_D5 at RB3_bit;
sbit LCD_D6 at RB4_bit;
sbit LCD_D7 at RB5_bit;
sbit LCD_RS_Direction at TRISB0_bit;
sbit LCD_EN_Direction at TRISB1_bit;
sbit LCD_D4_Direction at TRISB2_bit;
sbit LCD_D5_Direction at TRISB3_bit;
sbit LCD_D6_Direction at TRISB4_bit;
sbit LCD_D7_Direction at TRISB5_bit;
void main()
{
unsigned int d=16;
unsigned int adc;
unsigned int Vadc;
float v ;
char txt[6];
  Lcd_init();
  Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);
  Lcd_Cmd(_LCD_CURSOR_OFF);
  ADCON1 = 0x80;
  TRISA = 0xFF;
  TRISC2_bit = 0;
  TRISB=0x00;
  PWM1_init(60000);
  PWM1_Start();
  PWM1_Set_Duty(d);
```

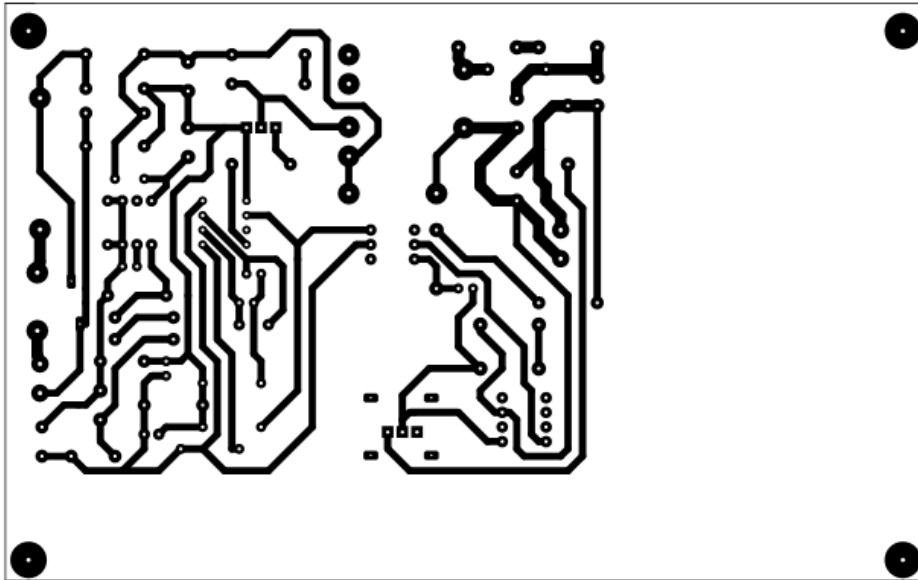
```

while(1)
{
    Vadc= ADC_Read(0);
    v = (((Vadc*0.0048)*4)*0.9)+3;
    FloatToStr(v, txt);
    txt[5]=0;
    Lcd_Out(1,1,txt) ;
    Lcd_Out(1,6,"V");
    delay_ms(10);
    adc = ADC_Read(1);
    if (adc < 520)
        {
            if (d<90)
                {
                    d++;
                    PWM1_Set_Duty(d);
                    Delay_ms(10);
                }
        }
    adc = ADC_Read(1);
    if (adc > 550)
        {
            if (d >5)
                {
                    d--;
                    PWM1_Set_Duty(d);
                    Delay_ms(10);
                }
        }
}

```

## 2.10 ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΟΓΚΟΥ

Στην προηγούμενη ενότητα παρουσιάστηκε η δυνατότητα επέκτασης του διακοπτικού τροφοδοτικού με την προσθήκη LCD για την απεικόνιση της τάσης εξόδου. Για την περίπτωση που μας ενδιαφέρει περισσότερο ο όγκος του τροφοδοτικού μπορεί να γίνει μια αλλαγή αλλάζοντας τον ογκώδη PIC 16F877A με έναν άλλο μικροελεγκτή με μονό οχτώ ακροδέκτες τον PIC 12F683.



Σχήμα 1.18

Η αλλαγή του μικροελεγκτή μαζί με την τακτοποίηση των εξαρτημάτων μπορεί να μειώσει την επιφάνεια της πλακέτας κατά 47,75% για να φανεί η διάφορα στο σχήμα 1.18 απεικονίζεται η νέα μορφή του τυπωμένου κυκλώματος στο πλαίσιο του παλιού

Επίσης ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει πολύ τον όγκο του τροφοδοτικού αφορά την επιλογή των υλικών στην συγκεκριμένη εφαρμογή όλα τα υλικά είναι through hole, ο όγκος μπορεί να μειωθεί ακόμα περισσότερο εάν χρησιμοποιηθούν εξαρτήματα SMD ( επιφανειακής στήριξης )

Γενικότερα ένα διακοπτικό τροφοδοτικό αυτής της ισχύος θα μπορούσε να έχει ακόμα μικρότερο όγκο εάν χρησιμοποιηθεί ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα που προορίζεται για αυτό το σκοπό, ωστόσο για εκπαιδευτικούς σκοπούς έγινε χρήση μικροελεγκτή PIC για την κατανόηση λειτουργίας

## Υλικά

|                |                           |         |                     |
|----------------|---------------------------|---------|---------------------|
| D1, D2, D3, D4 | 1N4007 Standard recovery  | THE     | THERMISTOR 4.7Ω NTC |
| D5             | 1N4005 Standard recovery  | L1      | 1mH                 |
| D6             | BYV26C Fast Soft recovery | L2      | 680uH               |
| D7             | P6KE170A 170V 5W TVS      | L3      | 3.3uH 2.66A         |
| D8             | FR106 Fast recovery       | Q1      | IRF820              |
| D9             | SB160 Schottky 60V 1A     | U1      | TL431               |
| C1             | 6.8uF 400V Electrolytic   | VAR     | VARISTOR 275V       |
| C2             | 4.7uF 400V Electrolytic   | U3      | OPTOCUPLER 4N37     |
| C3, C8, C11    | 100nF                     | U4      | LNK304              |
| C4             | 10uF 35V Electrolytic     | CRYSTAL | 4MHZ                |
| C5             | 100uF 16V Electrolytic    | TR1     | TRANSFORMER EE22    |
| C6, C7         | 22pF                      | U2      | PIC16F877A          |
| C9             | 470uF 25V Electrolytic    |         |                     |
| C10            | 470uF 16V Electrolytic    |         |                     |
| C12            | 470pF 100V                |         |                     |
| C13            | 2.2nF 250VAC Y class      |         |                     |
| R1             | 2K 0.25W 1%               |         |                     |
| R2             | 3K 0.25W 1%               |         |                     |
| R3             | 3.3K 0.25W 1%             |         |                     |
| R4             | 1.2K 0.25W 1%             |         |                     |
| R5             | 1K 0.25W 1%               |         |                     |
| R6             | 1.46K 0.25W 1%            |         |                     |
| R7             | 1K 0.25W 1%               |         |                     |
| R8             | 2.2K 0.25W 1%             |         |                     |
| R9             | 22Ω 0.25W                 |         |                     |
| R10            | 10K 0.25W                 |         |                     |
| R-GATE         | 220 0.25W                 |         |                     |
| R-MCLR         | 4.7K 0.25W                |         |                     |
| R-JUM          | 0Ω                        |         |                     |
| RV1            | 10K                       |         |                     |
| FU1            | 1AMPERE FUSE              |         |                     |



## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- “ Ηλεκτρονικά ισχύος ” Ιορδάνης Κιοσκερίδης Εκδόσεις Τζιόλα 2008
- “ Εισαγωγή στα ηλεκτρονικά ισχύος” Mohan,Undeland,Robbins Εκδόσεις Τζιόλα 2010 3<sup>η</sup> Έκδοση
- “Ηλεκτρονικά ισχύος” Στέφανος Ν. Μανίας Εκδόσεις Συμεών 2014
- “Ηλεκτρονικά ισχύος” Muhammad H. Rashid Εκδόσεις Ίων 2010
- “Οπτοηλεκτρονική” Αλεξανδρής Αλέξανδρος Εκδόσεις Τζιόλα 2004
- “ Ηλεκτρονική” Albert Malvino Εκδόσεις Τζιόλα 2011 7<sup>η</sup> Έκδοση

## **ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ**

- <https://www.power.com> Επίσημη ιστοσελίδα Power Integration

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΣΥΝΤΑΞΗ ΑΝΑΦΟΡΩΝ**

[1,2] Ιορδάνης Κιοσκερίδης, ηλεκτρονικά ισχύος, εκδόσεις Τζιόλα σελ 550

[3] ηλεκτρονικά ισχύος κυκλώματα , εξαρτήματα ,εφαρμογές MUHAMMAD H. RASHID εκδόσεις ίων 2010 σελ 827