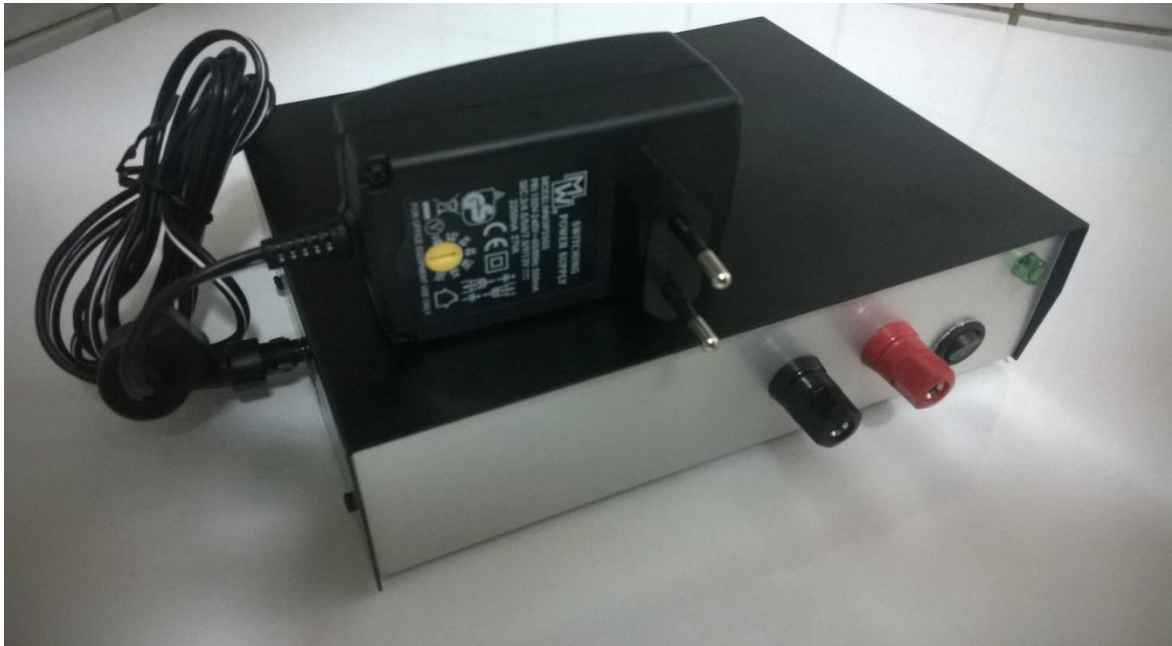


**ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ  
ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**



**ΘΕΜΑ: Μελέτη και κατασκευή μετατροπέα DC – DC για το εργαστήριο ηλεκτρικών μηχανών.**

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ :Βαλαβανίδης Χρήστος  
Ευσταθίου Βασίλειος**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : Παλάντζας Παναγιώτης**

**ΝΕΑ ΜΗΧΑΝΙΩΝΑ**

**2014**

**ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ  
ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΘΕΜΑ :Μελέτη και κατασκευή μετατροπέα DC–DC για το  
εργαστήριο ηλεκτρικών μηχανών.**

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ :[Βαλαβανίδης Χρήστος]**

**ΑΜ: [4616]**

**[Ευσταθίου Βασίλειος]**

**ΑΜ :[4671]**

**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΑΔΟΣΗΣ :**

Βεβαιώνεται η ολοκλήρωση της παραπάνω πτυχιακής εργασίας

Ο καθηγητής

## Περίληψη

Σκοπός αυτής της πτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη και κατασκευή ενός μετατροπέα συνεχούς ρεύματος. Γι' αυτή τη μελέτη επιλέχθηκε η κατασκευή ενός μετατροπέα ανύψωσης τάσης από 6V DC σε 12V DC.

Παρακάτω θα γίνει αρχικά μια γενική αναφορά στους μετατροπείς και τις λειτουργίες τους, και στη συνέχεια θα πραγματοποιηθεί αναλυτική επεξήγηση της κατασκευής και λειτουργίας του μετατροπέα που επιλέχθηκε για μελέτη.

Πιο συγκεκριμένα, στο πρώτο κεφάλαιο θα αναφερθούν τα πλεονεκτήματα των μετατροπέων και οι διάφορες εφαρμογές τους. Στη συνέχεια θα εξηγηθούν αναλυτικά τα είδη των μετατροπέων συνεχούς ρεύματος και οι τρόποι με τους οποίους μπορούμε να μετρήσουμε την τάση εξόδου τους. Τέλος, αφού γίνει μια απλή αναφορά κάποιων χαρακτηριστικών μεγεθών στους μετατροπείς, θα περάσουμε στο κατασκευαστικό κομμάτι, όπου θα γίνει ανάλυση της λειτουργίας του κάθε εξαρτήματος ξεχωριστά και θα εξηγηθεί η λειτουργία του κυκλώματος.

## **Abstract**

The purpose of this graduation project is the study and construction of a direct current converter. For this study, a step up converter from 6V DC to 12V DC was chosen.

At first, there will be a generally reference about converters and their functions and then, there will be a detailed description about the construction and function of the converter that has been chosen for the study.

More specifically, in the first chapter, the advantages of the converters will be mentioned and their various applications. Then, there will be a detailed explanation of the kinds of DC converters and of the ways in which we can measure the output voltage. Finally, after a simple mention of some characteristics in converters, we will move on to the manufacturing piece, where there will be analysis of the function of each component separately, and explanation of the circuit's function.

## Πρόλογος

Μετατροπείς συνεχούς ρεύματος είναι εκείνες οι διατάξεις ισχύος που επιτελούν τη μετατροπή μιας τάσης συνεχούς μορφής, σε συνεχή τάση με ρυθμιζόμενο σταθερό πλάτος ή και πολικότητα. Στους διακοπτικούς μετατροπείς, η μετατροπή της συνεχούς τάσης επιτελείται από διακόπτες, οι οποίοι λειτουργούν σε υψηλή συχνότητα. Ειδικότερα, η συνεχής τάση εισόδου μετατρέπεται σε μεταβαλλόμενη τάση υψηλής συχνότητας. Η ελεγχόμενη συνεχής τάση εξόδου λαμβάνεται με φιλτράρισμα, ή και ανόρθωση, της εσωτερικά παραγόμενης τάσης υψηλής συχνότητας.

Οι μετατροπείς συνεχούς ρεύματος διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, ανάλογα με το αν η τάση εξόδου τους είναι γαλβανικά απομονωμένη από την είσοδο. Οι δύο κύριες τοπολογίες μετατροπέων συνεχούς ρεύματος χωρίς απομόνωση είναι ο μετατροπέας υποβιβασμού τάσης (step-down, buck) και ο μετατροπέας ανύψωσης τάσης (step-up, boost). Παραλλαγές των μετατροπέων αυτών είναι οι μετατροπείς υποβιβασμού ανύψωσης τάσης (buck-boost) με ένα ή δύο διακόπτες ελέγχου. Ο μετατροπέας πλήρους γέφυρας έχει μια τοπολογία από τέσσερις διακόπτες και μπορεί να επιτελέσει, ανάλογα με τον τρόπο ελέγχου των διακοπών του, κάθε είδους μετατροπή.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

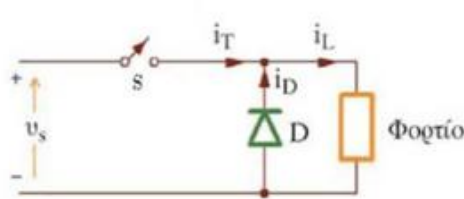
## ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑ DC/DC

### 1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

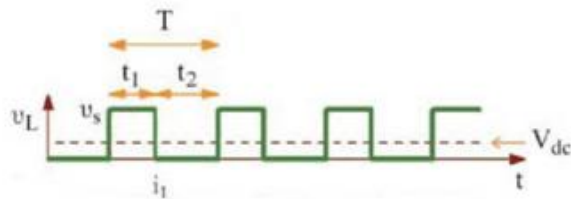
Ο μετατροπέας Σ.Ρ./Σ.Ρ. χρησιμοποιείται για την παροχή ελεγχόμενης συνεχής τάσης από μια πηγή ορισμένης τιμής συνεχής τάσης. Οι μετατροπείς αυτοί είναι γνωστοί και με το όνομα Chopper. Θα μπορούσαμε να πούμε ότι ο μετατροπέας Σ.Ρ./Σ.Ρ. είναι το ισοδύναμο του «μετασχηματιστή» για το συνεχές ρεύμα. Επίσης καλό είναι να σημειωθεί πως υπάρχουν άλλοι τρεις κλασσικοί τρόποι που μπορούμε να πετύχουμε μετατροπή Σ.Ρ./Σ.Ρ. αλλά με τον μετατροπέα Σ.Ρ./Σ.Ρ. έχουμε μερικά σοβαρά πλεονεκτήματα:

- Μικρότερος όγκος.
- Χαμηλότερο κόστος.
- Υψηλός βαθμός απόδοσης.
- Γρήγορη δυναμική απόκριση

Παρακάτω φαίνεται ένα κύκλωμα μετατροπέα Σ.Ρ./Σ.Ρ. σχήμα (1.1) και η χαρακτηριστική της τάσης εξόδου του σχήμα (1.2).



Σχήμα 1.1



Σχήμα 1.2

Από τα παραπάνω σχήματα βλέπουμε ότι, η μέση τιμή της τάσης  $U_L$  η οποία τροφοδοτεί το φορτίο μπορεί να πάρει τιμές τάσης πολύ χαμηλές σχεδόν κοντά στο μηδέν έως τιμές που να πλησιάζουν την τιμή της τάσης  $U_s$ . Η μέση τιμή της τάσης  $U_L$  εξαρτάται από τους παρακάτω παράγοντες:

1. Από την συχνότητα  $f = 1/T$  επανάληψης του ανοίγματος και κλεισίματος του διακόπτη  $S$ . Η συχνότητα  $f$  είναι ανάλογη με την μέση τιμή της τάσης  $U_L$ , επομένως όσο αυξάνεται η συχνότητα  $f$  τόσο αυξάνεται και η μέση τιμή της τάσης  $U_L$ .
2. Από την διάρκεια του χρόνου  $t_{on}$  κατά τον οποίο παραμένει ανοικτός ο διακόπτης  $S$ . Η διάρκεια του χρόνου  $t_{on}$  είναι ανάλογη με την μέση τιμή της τάσης  $U_L$ , άρα όσο αυξάνεται η διάρκεια του χρόνου  $t_{on}$ , αυξάνεται και η μέση τιμή της τάσης  $U_L$ .
3. Από συνδυασμό των παραπάνω παραγόντων.

## **1.2 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΩΝ Σ.Ρ./Σ.Ρ.**

Οι μετατροπείς Σ.Ρ./Σ.Ρ. βρίσκουν εφαρμογή σήμερα στις παρακάτω περιοχές:

1. Οι μετατροπείς Σ.Ρ./Σ.Ρ. χρησιμοποιούνται σημαντικά σε ηλεκτρονικές συσκευές όπως κινητά τηλέφωνα και φορητοί υπολογιστές που τροφοδοτούνται κυρίως από συσσωρευτές. Οπότε για κάθε υποκύκλωμα αυτών των συσκευών υπάρχει ένας μετατροπέας Σ.Ρ./Σ.Ρ. ο οποίος τροφοδοτεί με την επιθυμητή τάση καθένα από αυτά, σε πολλές περιπτώσεις η επιθυμητή τάση είναι και μεγαλύτερη από αυτήν που παρέχεται από του συσσωρευτές των συσκευών.
2. Βρίσκουν εφαρμογή σε συστήματα ηλεκτρικής τροφοδοσίας τηλεπικοινωνιακών και διαστημικών συστημάτων.
3. Κυρίως όμως χρησιμοποιούνται ευρύτατα σε συστήματα ελέγχου ταχύτητας ηλεκτρικών κινητήρων συνεχούς ρεύματος που χρησιμοποιούνται σε ηλεκτρικούς σιδηρόδρομους, σε υπόγειους σιδηρόδρομους, ηλεκτρικά αυτοκίνητα και σε βιομηχανικές εφαρμογές που χρησιμοποιούν ηλεκτρικούς κινητήρες συνεχούς ρεύματος.
4. Σε συστήματα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και στην διόρθωση του συντελεστή ισχύος ανορθωτικών διατάξεων με διόδους.
5. Σε παλμοτροφοδοτικά ηλεκτρονικών και ηλεκτρικών κυκλωμάτων τα οποία είναι τροφοδοτικά υψηλής συχνότητας και υψηλής απόδοσης.
6. Επίσης χρησιμοποιείται για τον έλεγχο τυλιγμάτων διέγερσης ηλεκτρικών κινητήρων.

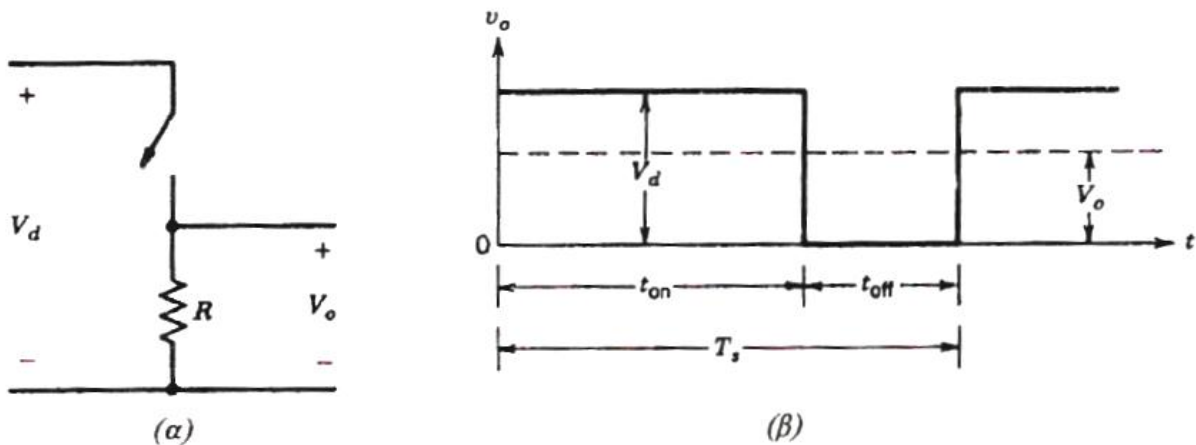
## **1.3 ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΩΝ DC-DC**

Στους μετατροπείς DC-DC η μέση τάση εξόδου πρέπει να ελέγχεται, ώστε να είναι σε ένα επιθυμητό επίπεδο, ανεξάρτητα από το γεγονός ότι η τάση εισόδου και το φορτίο μπορούν να αυξομειώνονται. Οι μετατροπείς DC-DC διακοπτικού τύπου χρησιμοποιούν έναν ή περισσότερους διακόπτες για το μετασχηματισμό της DC τάσης από ένα επίπεδο σε ένα άλλο.

Σ' ένα DC-DC μετατροπέα με δεδομένη τάση εισόδου, η μέση τάση εξόδου ρυθμίζεται ελέγχοντας τους χρόνους έναυσης και σβέσης ( $t_{on}$  και  $t_{off}$ ) των διακοπών.

Ένας DC-DC μετατροπέας είναι αυτός του Σχήματος 1.3α. Η μέση τιμή  $V_0$  της τάσης εξόδου  $U_0$ , στο Σχήμα 1.3β, εξαρτάται από τους χρόνους  $t_{on}$  και  $t_{off}$ . Μια από τις μεθόδους ελέγχου της μέσης τάσης εξόδου χρησιμοποιεί σταθερή συχνότητα μετάβασης (και συνεπώς σταθερή περίοδο μετάβασης  $T_s=t_{on}+t_{off}$ ) και ρύθμιση της διάρκειας κατά την οποία ο διακόπτης είναι κλειστός. Σ' αυτήν τη μέθοδο, που ονομάζεται μετάβαση με Διαμόρφωση Εύρους Παλμών (Pulse-Width Modulation, PWM), μεταβάλλεται η σχετική διάρκεια αγωγής (duty ratio)  $D=t_{on}/T$ , που ορίζεται ως ο λόγος της διάρκειας κατά την οποία ο διακόπτης είναι κλειστός προς την περίοδο μετάβασης.

Η άλλη μέθοδος ελέγχου είναι γενικότερη. Σύμφωνα με αυτήν μεταβάλλονται, τόσο η συχνότητα μετάβασης (και η περίοδος), όσο και η διάρκεια κατά την οποία ο διακόπτης είναι κλειστός. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται μόνο σε μετατροπείς DC-DC που χρησιμοποιούν thyristors με εξαναγκασμένη μετάβαση. Οι μεταβολές της συχνότητας μετάβασης καθιστούν δύσκολο το φιλτράρισμα της κυμάτωσης των κυματομορφών της εισόδου και της εξόδου.



Σχήμα 1.3: Διακοπτικοί DC-DC μετατροπείς.

Συνοψίζοντας η μεταβολή του βαθμού χρησιμοποίησης επιτυγχάνεται με δυο τρόπους:

1. Με σταθερή συχνότητα (δηλαδή,  $f=1/T=\text{σταθερο}$ ) και μεταβάλλοντας το χρόνο αγωγής  $t_{on}$  (P.W.M.).
2. Έχοντας το  $t_{on}$  ή το  $t_{off}$  σταθερό και μεταβάλλοντας την περίοδο  $T$  του παλμού (frequency modulation). Η δεύτερη μέθοδος παρουσιάζει τα εξής μειονεκτήματα:
  - Για τη μεταβολή της τάσης, η συχνότητα πρέπει να μεταβάλλεται σε αρκετά μεγάλη κλίμακα, γεγονός που δυσκολεύει την σχεδίαση των απαιτούμενων φίλτρων. Επίσης στις υψηλές συχνότητες, παρουσιάζεται έντονη ηλεκτρομαγνητική παρενόχληση.
  - Τα μεγάλα διαστήματα μη αγωγής ( $t_{off}$ ) σε χαμηλές τάσεις, δημιουργούν στις περιπτώσεις τροφοδοσίας κινητήρων την ασυνέχεια του ρεύματος τυμπάνου, πράγμα το οποίο είναι ανεπιθύμητο.

Λόγω του σχετικά χαμηλού κόστους, της υψηλής απόδοσης και της ταχείας δυναμικής απόκρισης, οι μετατροπείς DC-DC χρησιμοποιούνται ευρύτατα σε εφαρμογές ηλεκτρικής έλξης και κίνησης.



## 1.4 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΤΩΝ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΩΝ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ

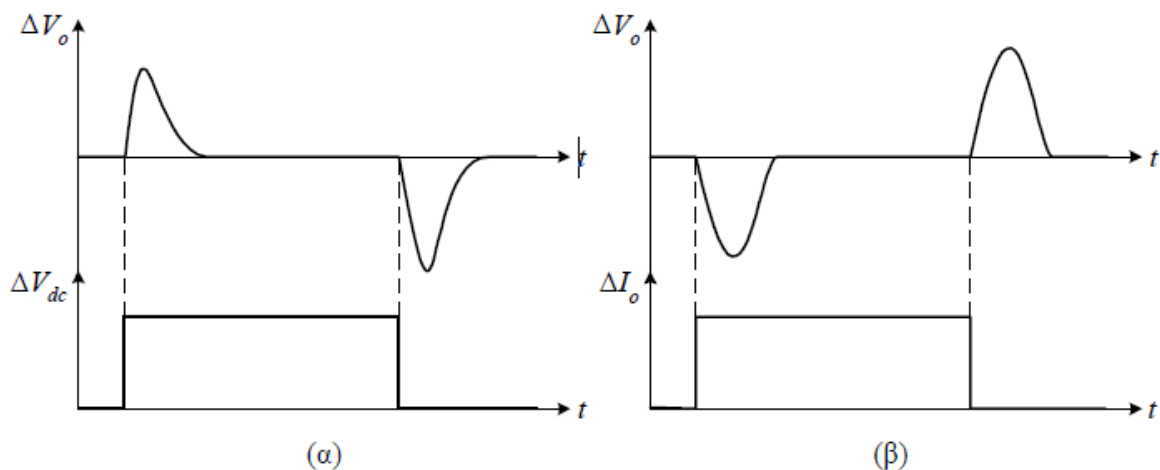
Ο διακοπτικός μετατροπέας υποβιβασμού της τάσης, χρησιμοποιείται στις διατάξεις τροφοδοσίας. Σε μια διάταξη τροφοδοσίας πέντε είναι τα χαρακτηριστικά μεγέθη, τα οποία καθορίζουν την ποιότητα λειτουργίας:

- Ο βαθμός απόδοσης (efficiency).
- Η κυμάτωση της τάσης εξόδου (ripple).
- Η ρύθμιση εισόδου (line regulation).
- Η ρύθμιση φορτίου (load regulation).
- Η δυναμική απόκριση (line, load transient response).

Ο βαθμός απόδοσης εκφράζει την ικανότητα μετατροπής ισχύος της διάταξης. Όσο μεγαλύτερος είναι ο βαθμός απόδοσης, τόσο λιγότερες είναι οι απώλειες ισχύος στο μετατροπέα. Στην κυμάτωση της τάσης εξόδου έχουμε ήδη αναφερθεί. Η κυμάτωση ορίζεται σε ορισμένη τάση εισόδου και ρεύμα εξόδου.

Η ρύθμιση φορτίου αναφέρεται στη μεταβολή της τάσης εξόδου, εξαιτίας της μεταβολής του ρεύματος στο φορτίο, σε κάποια τάση εισόδου.

Τα παραπάνω τρία μεγέθη χαρακτηρίζουν τη στατική λειτουργία των μετατροπέων. Η δυναμική συμπεριφορά του μετατροπέα ορίζεται από τη διαταραχή στην τάση εξόδου, την οποία προκαλούν βηματικές μεταβολές της τάσης εισόδου ή του ρεύματος φορτίου, σύμφωνα με το Σχ.1.4 Στη δυναμική απόκριση του μετατροπέα καθοριστικός παράγοντας είναι η συχνότητα μετάβασης.



Σχήμα 1.4 Απόκριση του μετατροπέα σε βηματική μεταβολή της τάσης εισόδου (α), και του ρεύματος φορτίου (β)

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΕΙΔΗ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΩΝ

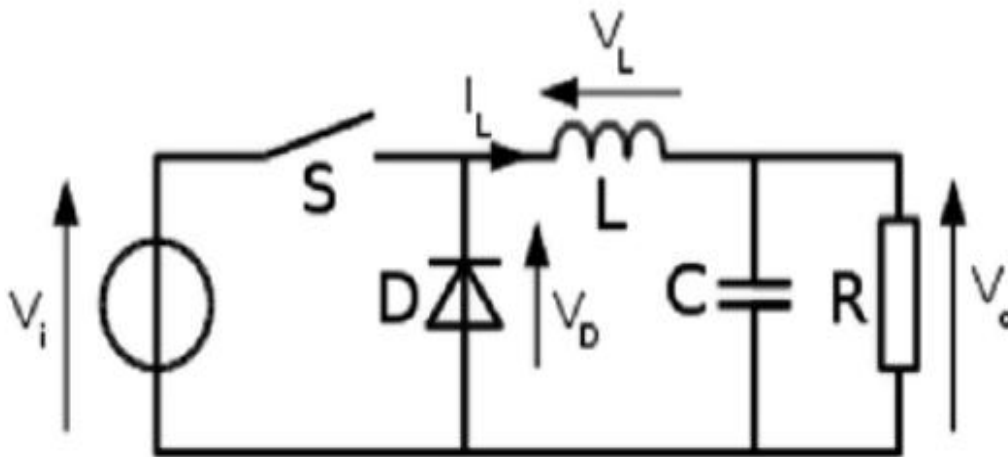
#### 2.1 Τα είδη των μετατροπέων DC-DC

- Μετατροπέας υποβιβασμού τάσης.
- Μετατροπέας ανύψωσης τάσης.
- Μικτός μετατροπέας (υποβιβασμού και ανύψωσης τάσης).
- Μετατροπέας του Cuk.
- Μετατροπέας με πλήρη γέφυρα.

Από αυτούς τους πέντε μετατροπείς DC-DC, μόνο οι μετατροπείς υποβιβασμού και ανύψωσης της τάσης είναι οι βασικοί.

#### 2.2 Μετατροπέας υποβιβασμού τάσης

Ο μετατροπέας υποβιβασμού τάσης παρέχει στην έξοδό του μια τάση  $V_o$ , μικρότερη της τάσης εισόδου  $V_{dc}$ . Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ένας τέτοιος μετατροπέας Σ.Ρ./Σ.Ρ υποβιβασμού.



Σχήμα 2.1 μετατροπέας υποβιβασμού τάσης

Όταν ο διακόπτης  $S$  είναι κλειστός τότε το ρεύμα  $I_L$  έχει φορά από την πηγή εισόδου προς το φορτίο. Όταν ο διακόπτης  $S$  είναι ανοικτός και το ρεύμα εξόδου είναι συνεχές, δηλαδή έχουμε συνεχή αγωγή το οποίο σημαίνει ότι η τιμή του ρεύματος εξόδου του μετατροπέα δεν μηδενίζει ποτέ ακόμα και όταν ο διακόπτης  $S$  είναι ανοικτός, Τότε το ρεύμα που δημιουργείται από το

επαγωγικό μέρος του φορτίου μας, μέσω της διόδου «ελευθέρως ροής» ανορθώνεται και πηγαίνει προς το φορτίο πάλι για αυτό και δεν μηδενίζει η τιμή του ρεύματος εξόδου.

Παρατηρούμε ότι το ρεύμα και η τάση εξόδου του μετατροπέα είναι πάντα θετικά λόγω της διόδου «ελευθέρως ροής» για αυτό το λόγω η περιοχή λειτουργίας του μετατροπέα μας είναι στο 1ο τεταρτημόριο.

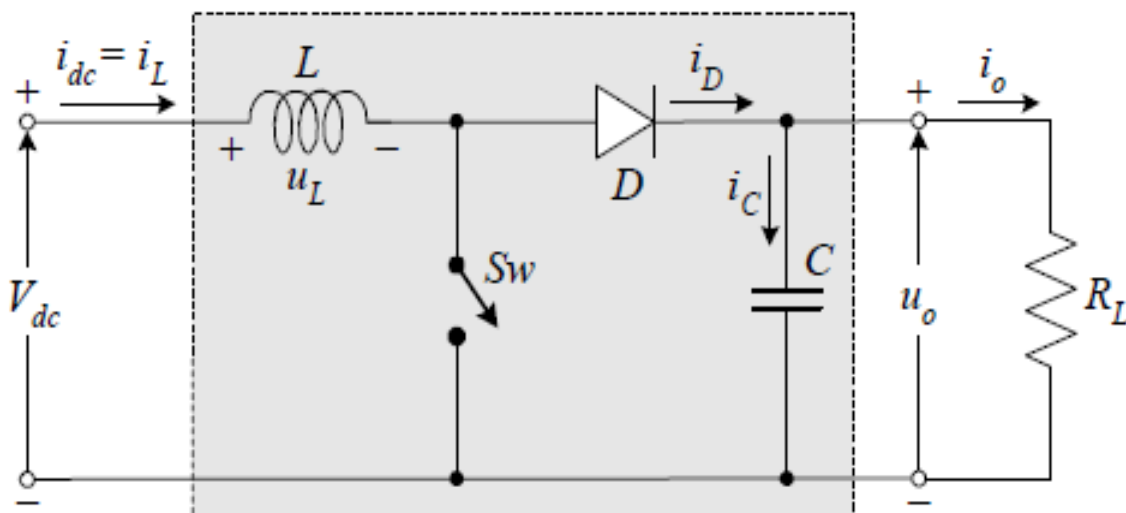
Σε μια πρακτική εφαρμογή το κύκλωμα του μετατροπέα υποβιβασμού τάσης έχει δυο μειονεκτήματα:

- Στην πράξη το φορτίο θα είναι επαγωγικό. Ακόμη και με ένα ωμικό φορτίο, θα υπάρχει πάντα κάποια παρασιτική αυτεπαγωγή. Αυτό σημαίνει ότι ο διακόπτης θα πρέπει να απορροφά την ενέργεια που αποθηκεύεται στην αυτεπαγωγή και γι' αυτό μπορεί να καταστραφεί.
- Η τάση εξόδου κυμαίνεται μεταξύ 0 και  $V_d$  γεγονός μη αποδεκτό στις περισσότερες εφαρμογές.

Το πρόβλημα της αποθηκευμένης ενέργειας λύνεται με τη χρήση μιας διόδου, όπως φαίνεται στο Σχήμα .Οι διακυμάνσεις της τάσης εξόδου ελαττώνονται κατά πολύ με τη χρήση ενός χαμηλοπερατού φίλτρου, το οποίο αποτελείται από ένα πηνίο και έναν πυκνωτή.

### 2.3 Μετατροπέας ανύψωσης τάσης

Ο μετατροπέας ανύψωσης τάσης παρέχει στην έξοδό του μια τάση  $V_o$ , μεγαλύτερη της τάσης εισόδου  $V_{dc}$ . Η κυκλωματική δομή του μετατροπέα εικονίζεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 2.2 μετατροπέας ανύψωσης τάσης

Όταν ο διακόπτης είναι κλειστός, η πηγή εισόδου παρέχει ενέργεια στην επαγωγή, η οποία αποθηκεύεται με μορφή μαγνητικού πεδίου. Η διάδος είναι ανάστροφα πολωμένη και δεν άγει. Έτσι, η έξοδος είναι απομονωμένη από την είσοδο. Όταν ο διακόπτης ανοίξει, το ρεύμα του πηνίου

τείνει να μειωθεί, ενώ η τάση αλλάζει πολικότητα. Μόλις η τάση του πηνίου γίνει ίση με  $V_{dc}-V_o$ , η διάδος πολώνεται ορθά και η ενέργεια μεταφέρεται από την πηγή και την επαγωγή στο φορτίο.

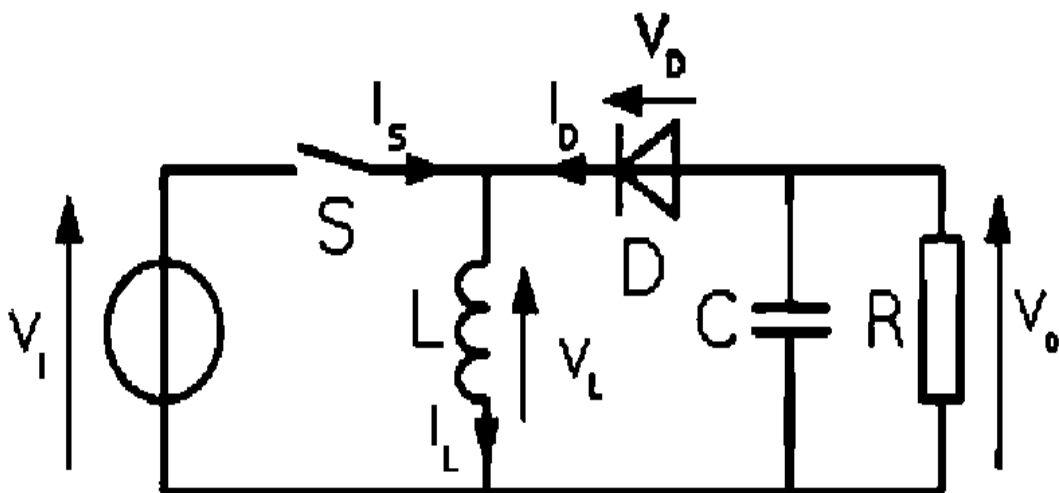
Ο μετατροπέας ανύψωσης τάσης λειτουργεί με συνεχή αγωγή ρεύματος, όταν το ρεύμα στο πηνίο ρέει συνεχώς. Όταν η ροή του ρεύματος διακόπτεται σε κάποιο τμήμα της περιόδου, όπου ο διακόπτης είναι σε αποκοπή, ο μετατροπέας λειτουργεί με ασυνεχή αγωγή ρεύματος.

Και σε αυτόν τον μετατροπέα εάν μεταβάλλουμε τον βαθμό χρησιμοποίησης πετυχαίνουμε γραμμική αύξηση της τάσης εξόδου από την τιμή της τάσης εισόδου έως μεγαλύτερες τιμές της τάσης εισόδου. Επίσης και σε αυτόν τον μετατροπέα πετυχαίνουμε μεταβολή του βαθμού χρησιμοποίησης με τους δύο τρόπους όπως και στον μετατροπέα υποβιβασμού.

## 2.4 Μετατροπέας Σ.Ρ./Σ.Ρ. Υποβιβασμού – Ανύψωσης

Ο συγκεκριμένος μετατροπέας μοιάζει πολύ και με τους δύο παραπάνω μετατροπείς και κυκλωματικά και στα χαρακτηριστικά του. Δηλαδή αυτός ο μετατροπέας μπορεί να έχει τιμή τάσης εξόδου μικρότερη από την τάση εισόδου και να έχει όμως και τιμή τάσης εξόδου μεγαλύτερη από την τιμή της τάσης εισόδου, αυτό το πετυχαίνουμε με την μεταβολή του βαθμού χρησιμοποίησης του μετατροπέα. Πάντως και στις δύο περιπτώσεις η πολικότητα της τάσης εξόδου είναι αντίθετη από αυτήν της τάσης εισόδου.

Σε αυτόν τον μετατροπέα όταν ο διακόπτης S είναι κλειστός τότε το πηνίο L αντλεί ενέργεια κατευθείαν από την πηγή εισόδου και ο πυκνωτής C τροφοδοτεί το φορτίο R. Όταν ο διακόπτης S είναι ανοικτός το πηνίο L τροφοδοτεί το φορτίο R και τον πυκνωτή C. Στο σχήμα (2.3) φαίνεται το κύκλωμα ενός τέτοιου μετατροπέα.



Σχήμα 2.3 κύκλωμα μετατροπέα Σ.Ρ./Σ.Ρ. υποβιβασμού – ανύψωσης

Και σε αυτόν τον μετατροπέα χρησιμοποιούμε τους δύο παραπάνω τρόπους για να πετύχουμε μεταβολή του βαθμού χρησιμοποίησης. Αξίζει να σημειωθεί ότι όταν ο βαθμός χρησιμοποίησης είναι μεγαλύτερος του 0,5 τότε η τιμή της τάση εξόδου αρχίζει και παίρνει τιμές μεγαλύτερες από την τιμή της τάσης εισόδου ενώ για βαθμό χρησιμοποίησης μικρότερο του 0,5 η τιμή της τάση εξόδου αρχίζει και παίρνει τιμές μικρότερες από την τιμή της τάσης εισόδου.

## **2.5 Μετατροπείς υποβιβασμού – ανύψωσης τάσης δυο διακοπών**

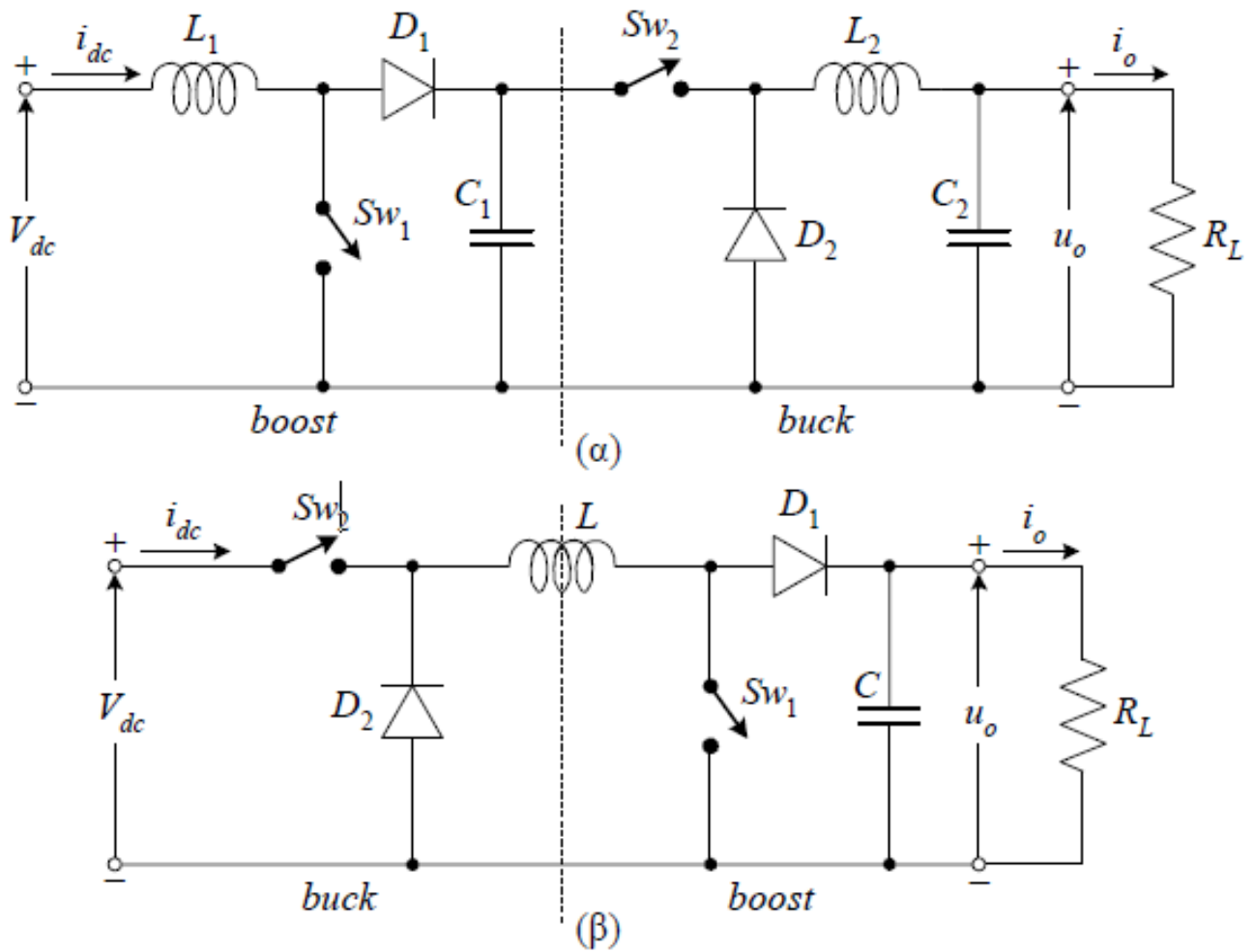
Οι μετατροπείς υποβιβασμού – ανύψωσης τάσης μ' ένα ελεγχόμενο διακόπτη έχουν το μειονέκτημα ότι τα στοιχεία τους υφίστανται υψηλότερες καταπονήσεις σε σχέση μ' εκείνες των μετατροπέων υποβιβασμού και ανύψωσης της τάσης αντίστοιχα. Αυτό οφείλεται στον τρόπο μεταφοράς της ισχύος από την είσοδο στην έξοδο του μετατροπέα.

Στους μετατροπείς υποβιβασμού και ανύψωσης της τάσης ένα τμήμα της ισχύος μεταφέρεται στην έξοδο αφού διέλθει από τον ελεγχόμενο διακόπτη και αποθηκευτεί προσωρινά στην επαγωγή του μετατροπέα. Η υπόλοιπη ισχύς μεταφέρεται απευθείας από την είσοδο στην έξοδο. Η ικανότητα ενός μετατροπέα να παρέχει άμεση μεταφορά της ισχύος στην έξοδο οδηγεί σε μικρότερη καταπόνηση των στοιχείων του, μικρότερη αποθήκευση ενέργειας στην επαγωγή και μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης. Το ποσό της μαγνητικής ενέργειας που αποθηκεύεται στην επαγωγή και το ενεργό ρεύμα μέσω αυτής, καθορίζουν τις διαστάσεις και τις απώλειες στο πηνίο.

Αντίθετα, στους μετατροπείς υποβιβασμού – ανύψωσης τάσης μ' ένα ελεγχόμενο διακόπτη, η απευθείας μεταφερόμενη ισχύς στην έξοδο είναι μηδενική. Επομένως, όλη η ισχύς που μεταφέρεται από την είσοδο στην έξοδο διέρχεται από το διακόπτη του μετατροπέα και αποθηκεύεται προσωρινά στο πηνίο ή τον πυκνωτή. Το μειονέκτημα αυτό αντιμετωπίζεται με τους μετατροπείς υποβιβασμού–ανύψωσης τάσης δυο διακοπών (two–switchbuck–boostconverters), οι οποίοι εξασφαλίζουν απευθείας μεταφορά μέρους της ισχύος στο φορτίο.

Έχουν αναπτυχθεί αρκετές τοπολογίες μετατροπέων υποβιβασμού–ανύψωσης τάσης με δύο ελεγχόμενους διακόπτες, οι οποίες προκύπτουν από την κατάλληλη σύνδεση των απλών μετατροπέων υποβιβασμού και ανύψωσης της τάσης. Στο Σχ. 2.4 εικονίζονται δύο τοπολογίες, οι οποίες προκύπτουν από τη σύνδεση σε σειρά (cascade) των δύο μετατροπέων. Ειδικότερα, στο Σχ. 2.4α ο μετατροπέας υποβιβασμού ακολουθεί το μετατροπέα ανύψωσης (boost–buckcascaded), ενώ στο Σχ. 2.4β ο μετατροπέας υποβιβασμού είναι τοποθετημένος πριν το μετατροπέα ανύψωσης (buck–boost cascaded). Και στους δύο μετατροπείς όταν οι διακόπτες οδηγούνται από τους ίδιους παλμούς ελέγχου, δεν μπορεί να μεταφερθεί απευθείας ισχύς από την είσοδο στην έξοδο. Για τη μεγιστοποίηση της ισχύος που μεταφέρεται άμεσα στο φορτίο, οι δύο διακόπτες ελέγχονται ανεξάρτητα. Ειδικότερα, όταν η τάση εισόδου  $V_{dc}$  είναι μεγαλύτερη της τάσης εξόδου  $V_o$  ο

διακόπτης  $Sw_2$  του μετατροπέα υποβιβασμού ελέγχεται από τους PWM παλμούς, ενώ ο διακόπτης  $Sw_1$  του μετατροπέα ανύψωσης διατηρείται σε αποκοπή.



Σχήμα 2.4 Κυκλωματική δομή των μετατροπέων υποβιβασμού–ανύψωσης τάσης με δύο ελεγχόμενους διακόπτες σε σύνδεση σειράς. Μετατροπέας ανύψωσης ακολουθούμενος από το μετατροπέα υποβιβασμού (α) και μετατροπέας υποβιβασμού ακολουθούμενος από το μετατροπέα ανύψωσης (β)

Αντίστοιχα, όταν η τάση εισόδου είναι μικρότερη της τάσης εξόδου ο διακόπτης  $Sw_1$  του μετατροπέα ανύψωσης ελέγχεται από τους PWM παλμούς, ενώ ο διακόπτης  $Sw_2$  του μετατροπέα υποβιβασμού διατηρείται σε κατάσταση αγωγιμότητας.

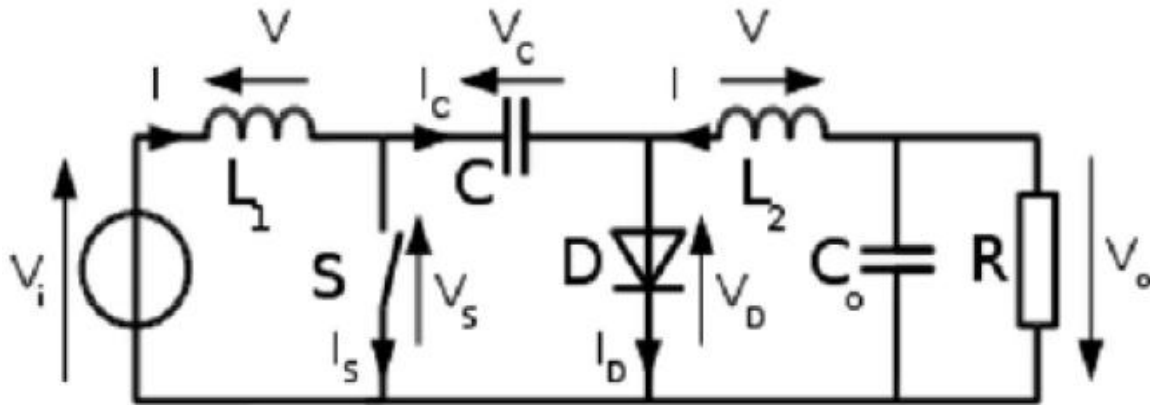
Εκτός από τη σύνδεση σε σειρά των μετατροπέων υποβιβασμού και ανύψωσης τάσης, αρκετές τοπολογίες μετατροπέων υποβιβασμού – ανύψωσης δύο διακοπών προκύπτουν από τη σύνδεση παρεμβολής (interleaved) και υπέρθεσης (superimposed) των δύο επιμέρους μετατροπέων.

## 2.6 Συνεχής μετατροπέας Σ.Ρ./Σ.Ρ. (Cuk converter)

Αυτός ο μετατροπέας έχει ακριβώς την ίδια λειτουργία με τον παραπάνω μετατροπέα ακόμα και οι εξισώσεις για τον υπολογισμό της τάσης εξόδου είναι ίδιες με τον μετατροπέα υποβιβασμού - ανύψωσης Σ.Ρ./Σ.Ρ.. Αλλά διαθέτει ένα πηνίο ακόμα και έναν πυκνωτή που βοηθούν να αποκοπούν οποιεσδήποτε παρασιτικές τάσεις δημιουργούνται και πλεονεκτεί από τον παραπάνω

μετατροπέα στο ότι παρέχει συνεχή ένταση ρεύματος στην έξοδο του χωρίς να έχουμε αυξομειώσεις θα μπορούσαμε να πούμε ότι ο συγκεκριμένος μετατροπέας είναι μια ρυθμιζόμενη πηγή έντασης.

Την τοπολογία αυτού του μετατροπέα την παρουσίασε πρώτη φορά ο Slobadan 'Cuk από το California Institute of Technology και από εκεί πήρε και το όνομα του ο μετατροπέας. Στο σχήμα (2.5) φαίνεται το κύκλωμα ενός τέτοιου μετατροπέα.



Σχήμα 2.5 Συνεχής μετατροπέας Σ.Ρ./Σ.Ρ. (Cuk converter)

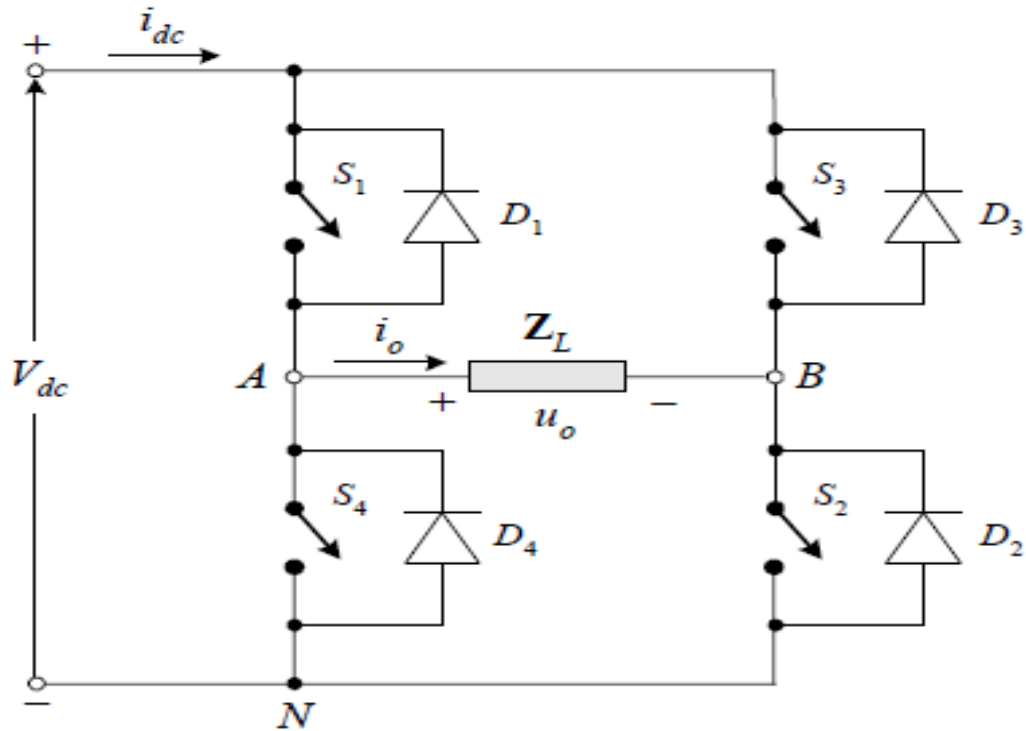
## 2.7 Μετατροπέας συνεχούς ρεύματος με πλήρη γέφυρα

Ο μετατροπέας πλήρους γέφυρας (full bridge converter), έχει τη κυκλωματική δομή που εικονίζεται στο Σχ.2.6. Ο μετατροπέας αποτελείται από δύο σκέλη (legs), το A και το B. Κάθε σκέλος περιλαμβάνει δύο διακόπτες, αντιπαράλληλα με τους οποίους συνδέονται δίοδοι. Από τους δύο διακόπτες κάθε σκέλους, ο ένας πρέπει να βρίσκεται σε κατάσταση αγωγιμότητας και ο άλλος σε αποκοπή. Όταν συμβαίνει αυτό, η τάση εξόδου του σκέλους VAN και VBN αντίστοιχα, εξαρτάται μόνο από την κατάσταση των διακοπών και είναι ανεξάρτητη από τη φορά του ρεύματος στο φορτίο Io. Η ροή του ρεύματος φορτίου, μέσω του διακόπτη ή της αντιπαράλληλης διόδου, εξαρτάται από τη φορά του.

Η απαίτηση ο ένας διακόπτης κάθε σκέλους να βρίσκεται πάντα σε κατάσταση αγωγής, δεν μπορεί να επιτευχθεί στα πρακτικά κυκλώματα, όπου οι χρόνοι έναυσης και σβέσης των ημιαγωγών διακοπών είναι πεπερασμένοι. Στις πρακτικές εφαρμογές μεταξύ της σβέσης του ενός διακόπτη και της έναυσης του άλλου μεσολαβεί κάποιο χρονικό διάστημα, γνωστό ως νεκρός χρόνος (dead time, blankingtime). Ο νεκρός χρόνος είναι αναγκαίος για την ασφαλή μετάβαση των διακοπών κάθε σκέλους. Αν και οι δύο διακόπτες ενός σκέλους βρεθούν σε κατάσταση αγωγιμότητας, τότε προκαλείται βραχυκύκλωση της πηγής εισόδου με άμεση συνέπεια την ακαριαία αύξηση του ρεύματος σε υψηλές τιμές. Η κατάσταση αυτή είναι γνωστή ως shoot through

fault και η αντιμετώπισή της είναι εξαιρετικά δύσκολη. Η εισαγωγή του νεκρού χρόνου κάνει την τάση εξόδου του μετατροπέα εξαρτώμενη από τη φορά του ρεύματος  $i_o$ .

Αν στο μετατροπέα γέφυρας, χρησιμοποιήσουμε ως διακόπτες MOSFET ισχύος, τότε η παρασιτική διάοδος του MOSFET εκπληρώνει το ρόλο της αντιπαράλληλης διάοδος. Ακόμη, τα IGBT κατασκευάζονται με ενσωματωμένη την αντιπαράλληλη διάοδο, έτσι ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν εύκολα στους μετατροπείς γέφυρας.



Σχήμα 2.6 Κυκλωματική δομή του μετατροπέα πλήρους γέφυρας

Ο μετατροπέας πλήρους γέφυρας είναι μια εξαιρετικά χρήσιμη τοπολογία, η οποία μπορεί να επιτελέσει κάθε είδους μετατροπή ενέργειας. Ο μετατροπέας γέφυρας είναι μια διάταξη, η οποία μπορεί να χειρισθεί μεγάλα ποσά ισχύος και στα τέσσερα τεταρτημόρια του επιπέδου  $u_o - i_o$ . Ειδικότερα, ο μετατροπέας επιτρέπει την ανάπτυξη τάσης στην έξοδό του με θετική ή αρνητική πολικότητα, ενώ το ρεύμα μπορεί να ρέει με οποιαδήποτε φορά. Επομένως, ο μετατροπέας επιτρέπει την αμφίδρομη ροή της ισχύος μεταξύ της εισόδου και της εξόδου.

Κανένας από τους προηγούμενους μετατροπείς δεν έχει αυτή την ικανότητα, καθώς λειτουργούν μόνο σ' ένα τεταρτημόριο. Με το μετατροπέα πλήρους γέφυρας είναι δυνατή η μετατροπή της συνεχούς τάσης σε εναλλασσόμενη, της εναλλασσόμενης σε συνεχή και η μετατροπή της συνεχούς τάσης σε συνεχή με ρυθμιζόμενο πλάτος και πολικότητα. Το είδος της μετατροπής που επιτελεί η διάταξη του Σχ. 2.6, εξαρτάται από τον τρόπο ελέγχου των τεσσάρων διακοπών της. Στην παράγραφο αυτή θα εξετάσουμε τη λειτουργία της διάταξης πλήρους γέφυρας, ως μετατροπέα συνεχούς ρεύματος. Στον έλεγχο των διακοπών του μετατροπέα συνεχούς ρεύματος πλήρους γέφυρας, χρησιμοποιούνται δύο τεχνικές:



- Η διαμόρφωση εύρους παλμών με διπολική τάση εξόδου (PWM with bipolar voltage witching)
- Η διαμόρφωση εύρους παλμών με μονοπολική τάση εξόδου (PWM with unipolar voltage switching)

Ο μετατροπέας πλήρους γέφυρας, στη βασική δομή του Σχ. 2.6, χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της ταχύτητας των κινητήρων συνεχούς ρεύματος (*dc motor drives*). Η τάση εξόδου του μετατροπέα, όπως φαίνεται αναλυτικά στη συνέχεια, είναι παλμικής μορφής καθώς δεν υπάρχει φίλτρο εξομάλυνσης. Επομένως, ο μετατροπέας γέφυρας στη μορφή του Σχ. 2.6 δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διατάξεις τροφοδοσίας. Αντίθετα, είναι ιδανικός στην οδήγηση κινητήρων συνεχούς ρεύματος, καθώς ο κινητήρας δρα ως φίλτρο για το ρεύμα εξόδου.

Ο μετατροπέας πλήρους γέφυρας συγκρινόμενος με τους προηγούμενους μετατροπείς συνεχούς ρεύματος, έχει πολύ καλύτερα λειτουργικά χαρακτηριστικά αλλά ο βαθμός αξιοποίησης των διακοπών του (ισχύς εξόδου μετατροπέα / ισχύς διακοπών) είναι αρκετά μικρότερος.

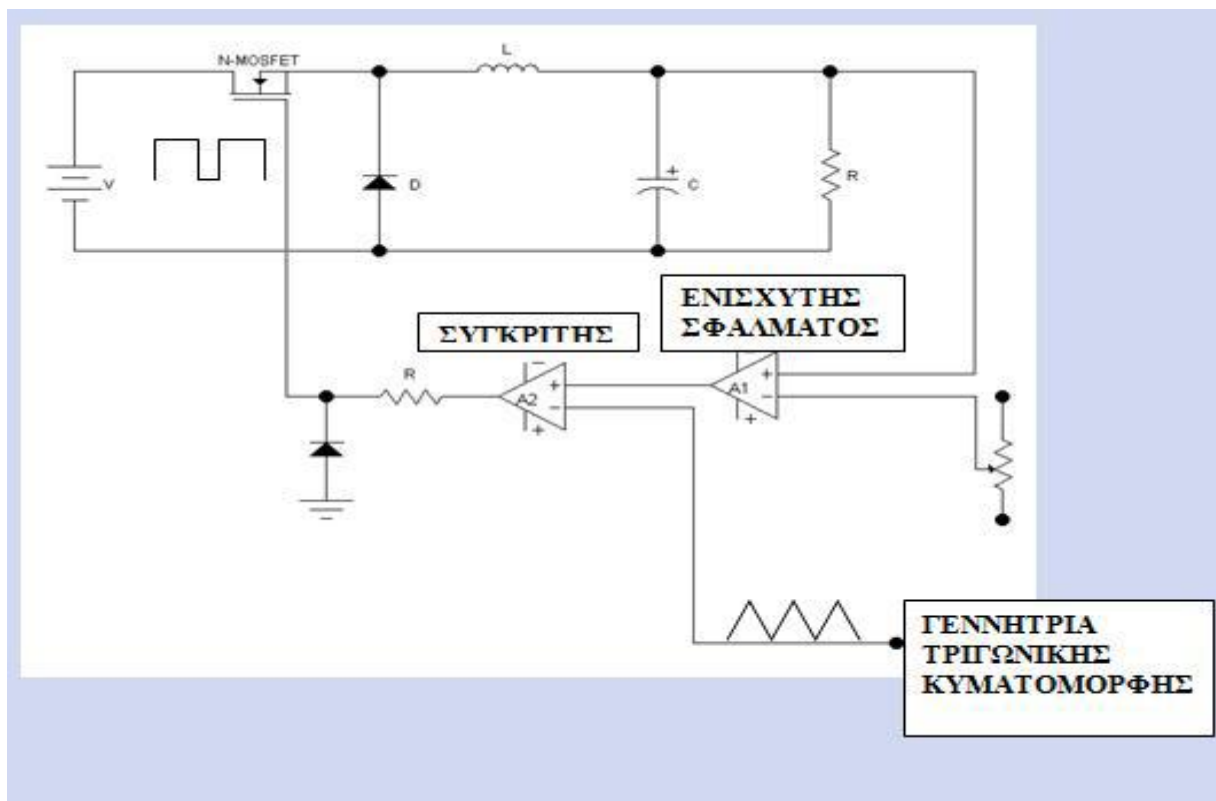
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΤΑΣΗΣ ΕΞΟΔΟΥ ΤΩΝ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΩΝ DC-DC

#### 3.1 ΤΕΧΝΙΚΗ PWM

Ο έλεγχος της μέσης τιμής της τάσης εξόδου ενός μετατροπέα DC-DC μπορεί να επιτευχθεί με την αυξομείωση του εύρους των παλμών της τάσης εξόδου. Η τιμή της τάσης εξόδου ελέγχεται από τον ενισχυτή σφάλματος A1 που στην έξοδο του παρέχει μια τάση E0, η οποία αυξομειώνεται σύμφωνα με τις διάφορες διακυμάνσεις της τάσης εξόδου. Αν η τιμή της τάσης εξόδου αυξηθεί τότε η DC τάση εξόδου E0 αυξάνεται και αντίθετα μειώνεται όταν η τάση εξόδου μειωθεί.

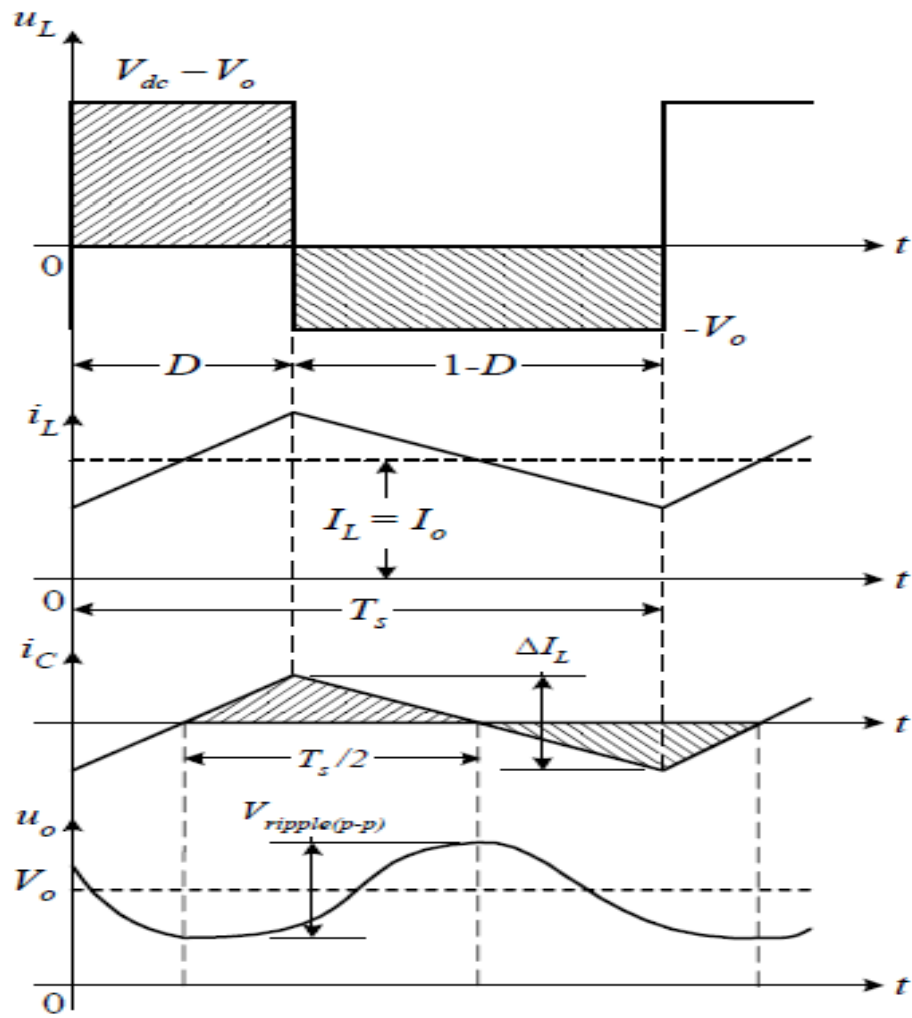
Στη συνέχεια η τάση E0 εφαρμόζεται στη μια είσοδο του ενισχυτή σύγκρισης A2. Στην άλλη είσοδο του ενισχυτή A2 εφαρμόζεται η γνώστη τριγωνική κυματομορφή η οποία παράγεται από μια γεννήτρια. Επομένως, ο ενισχυτής A2 συγκρίνει την τριγωνική κυματομορφή, η οποία παίρνει μόνο θετικές τιμές, με τη τάση E0. Η έξοδος του ενισχυτή A2, η οποία είναι μια κυματομορφή τετραγωνικών παλμών με διαμορφωμένο εύρος, εφαρμόζεται στο ημιαγωγό στοιχείο του κυκλώματος ισχύος που στη προκειμένη περίπτωση είναι ένα MOSFET. Η συχνότητα των παλμών έναυσης ή η συχνότητα λειτουργίας του ημιαγωγού στοιχείου εξαρτάται από την ταχύτητα απόκρισης του στοιχείου και μπορεί να είναι 20 KHz μέχρι 300 KHz ή και παραπάνω. Πρέπει να σημειωθεί ότι αυξάνοντας τη συχνότητα λειτουργίας (που ρυθμίζεται από τη συχνότητα της τριγωνικής κυματομορφής) μειώνεται το μέγεθος του φίλτρου εξόδου του μετατροπέα, αλλά αυξάνονται οι απώλειες του κυκλώματος ισχύος και γι' αυτό η επιλογή της διακοπτικής συχνότητας πρέπει να γίνει σε συνδυασμό και με τις δυο αυτές παραμέτρους. Αυξάνοντας όμως τη συχνότητα λειτουργίας, αυξάνονται οι απώλειες του μετατροπέα καθώς και η ηλεκτρομαγνητική παρενόχληση. Επομένως, η επιλογή της συχνότητας λειτουργίας του μετατροπέα πρέπει να γίνει σύμφωνα με το απαιτούμενο μέγεθος του μετατροπέα, την απαιτούμενη απόδοση και την απαιτούμενη ηλεκτρομαγνητική παρενόχληση.



Σχήμα 3.1: Κύκλωμα μετατροπέα ο οποίος χρησιμοποιεί την τεχνική PWM για τον έλεγχο της τάσης εξόδου.

### 3.2 Κυμάτωση της Τάσης Εξόδου Μετατροπέων

Σ' ένα πρακτικό μετατροπέα, η τάση εξόδου  $u_o$  δεν είναι απόλυτα σταθερή, αλλά μεταβάλλεται γύρω από τη μέση τιμή της  $V_o$ . Η μεταβολή της τάσης εξόδου ονομάζεται κυμάτωση (ripple). Στο Σχ.3.2 εικονίζεται η κυμάτωση της τάσης εξόδου, όταν ο μετατροπέας λειτουργεί με συνεχή αγωγή του ρεύματος. Για τον υπολογισμό της κυμάτωσης υποθέτουμε ότι, όλες οι αρμονικές συνιστώσες του ρεύματος  $L i$  ρέουν μέσω του πυκνωτή, ενώ η μέση τιμή του  $I_L$  διέρχεται από το ωμικό φορτίο.



Σχήμα 3.2 Κυμάτωση της τάσης εξόδου όταν ο μετατροπέας λειτουργεί με συνεχή αγωγή του ρεύματος

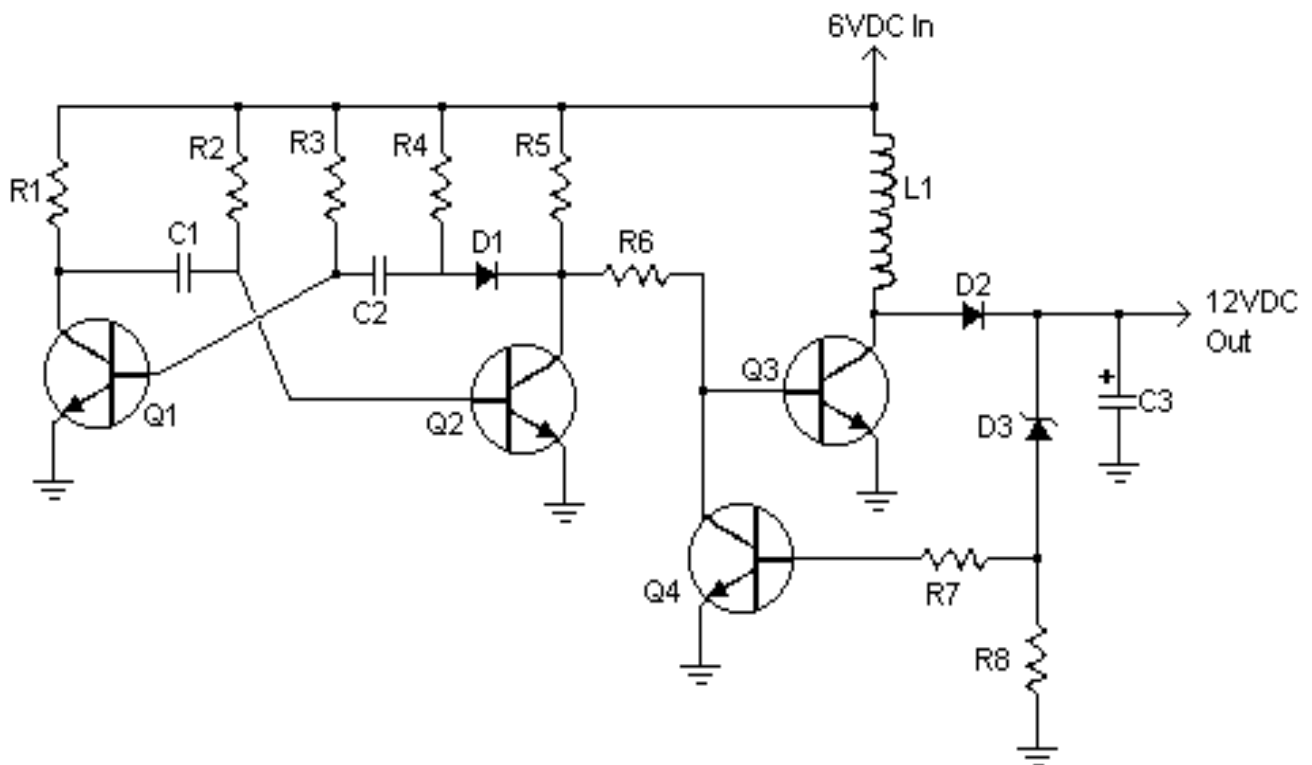
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑ DC-DC

#### 4.1 Κύκλωμα Μετατροπέα

Το κύκλωμα του μετατροπέα ανύψωσης τάσης που κατασκευάστηκε, μετατρέπει την τάση εισόδου 6V σε τάση εξόδου 12V. Στο παρακάτω σχέδιο απεικονίζεται το κύκλωμα του μετατροπέα αυτού.

#### ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑΣ 6V DC - 12V DC



Σχήμα 4.1 Κύκλωμα κατασκευής

## 4.2 Υλικά κατασκευής

Τα υλικά που χρησιμοποιήσαμε για την κατασκευή του κυκλώματος ελέγχου φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 4.1 Υλικά κατασκευής

Συμβολισμός	Ποσότητα	Περιγραφή
R1, R4	2	2.2K 1/4W Αντίσταση
R2, R3	2	4.7K 1/4W Αντίσταση
R5	1	1K 1/4W Αντίσταση
R6	1	1.5K 1/4W Αντίσταση
R7	1	33K 1/4W Αντίσταση
R8	1	10K 1/4W Αντίσταση
C1,C2	2	0.1uF Πυκνωτής
C3	1	470uF 25V Πυκνωτής
D1	1	1N914 Δίοδος
D2	1	1N4004 Δίοδος
D3	1	12V 400mW Δίοδος Zener
Q1, Q2, Q4	3	BC547 NPN Τρανζίστορ
Q3	1	BD679 NPN Τρανζίστορ
L1	1	Πηνίο

Για την κατασκευή του πηνίου L1 χρησιμοποιήθηκε 4 m μαγνητικό σύρμα διαμέτρου 0,5 mm το οποίο τυλίχτηκε σε 80 σπείρες πάνω σε ένα δακτυλιοειδή πύρινα εξωτερικής διαμέτρου 40 mm.

## 4.3 Τροφοδοτικό

Όπως σε κάθε ηλεκτρονική συσκευή έτσι και εμείς θα χρειαστούμε μια πηγή τροφοδοσίας έτσι ώστε να τροφοδοτήσουμε το κύκλωμα ελέγχου με τις κατάλληλες τιμές τάσεων και εντάσεων που θα χρειαστούμε.

Στον συγκεκριμένο μετατροπέα χρησιμοποιείτε μετασχηματιστής ο οποίος τροφοδοτείτε με 230V AC και μας δίνει 6V DC εντάσεως 2A.



Σχήμα 4.2 Τροφοδοτικό

#### 4.4 Αντιστάσεις

Η αντίσταση γενικά, όπως το λέει και η λέξη, μειώνει την τάση φέρνοντας αντίσταση, όταν περνάει από μέσα της η τάση αυτή. Με αποτέλεσμα, να έχουμε την επιθυμητή τάση στο κύκλωμά μας. Αυτό επιτυγχάνεται, ξεχωριστά για κάθε κύκλωμα. Υπάρχουν πολλών ειδών αντιστάσεις που άλλες μειώνουν την τάση λιγότερο, και κι άλλες περισσότερο. Φανταστείτε έναν σωλήνα από όπου διέρχεται νερό και στενεύουμε τα τοιχώματά του σε ένα σημείο, περιορίζοντας τη ροή του νερού που θα περάσει πχ ανά δευτερόλεπτο, κάπως έτσι δηλαδή:



Την αντίσταση τη μετράμε σε Ohms. Όσο περισσότερα τα Ohms, τόσο μεγαλύτερη αντίσταση.

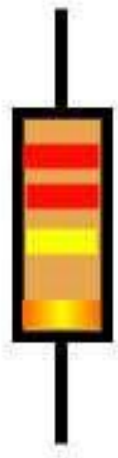
Όπως μπαίνει το ρεύμα μέσα στην αντίσταση, συναντάει στην πορεία του κάποια διαφορετικά υλικά με διαφορετική φυσική αντίσταση και, έτσι εν μέρει, μπλοκάρεται. Με

αποτέλεσμα ενώ μπαίνει πχ τάση 12 volts, να βγαίνουν από την αντίστασή μας πχ 4 volts. (Εμφανίζεται πτώση τάσης πάνω στην αντίσταση).

Τα χαρακτηριστικά των αντιστάσεων, τα διαβάζουμε ανάλογα με τα χρώματα που έχουν πάνω τους, κι έτσι μπορούμε να καταλάβουμε πόσα Ohms θα μας δώσουν.

Για παράδειγμα: Η πρώτη γραμμούλα είναι κόκκινη που σημαίνει 2. Η δεύτερη επίσης κόκκινη, άρα πάλι 2. Η τρίτη είναι κίτρινη, που σημαίνει ότι είναι 4 μηδενικά. Η τέταρτη, είναι χρυσή που σημαίνει ότι υπάρχει απόκλιση 5%. (η ασημί δίνει 10%, η καφέ 1%, η κόκκινη 2%). Άρα η αντίστασή μας είναι 220000 Ohms ή 220k½. Λόγω της 5% απόκλισης, θα μας δώσει από 209000 έως 231000 Ohms.

- 0 = μαύρο
- 1 = καφέ
- 2 = κόκκινο
- 3 = πορτοκαλί
- 4 = κίτρινο
- 5 = πράσινο
- 6 = μπλε
- 7 = μωβ
- 8 = γκρι
- 9 = άσπρο



Τώρα για παράδειγμα αν έχει πέντε μπάρες με χρώματα, οι πρώτες 3 δείχνουν νούμερα, η 4<sup>η</sup> δείχνει τα μηδενικά, η 5<sup>η</sup> δείχνει την απόκλιση.

Για την λειτουργία του μετατροπέα μας επιλεχτήκαν οι εξής αντιστάσεις σύμφωνα με το κύκλωμα του:

10K 1/4W



4.7K 1/4W



1K 1/4W



1.5K 1/4W



33K 1/4W



2.2K 1/4W

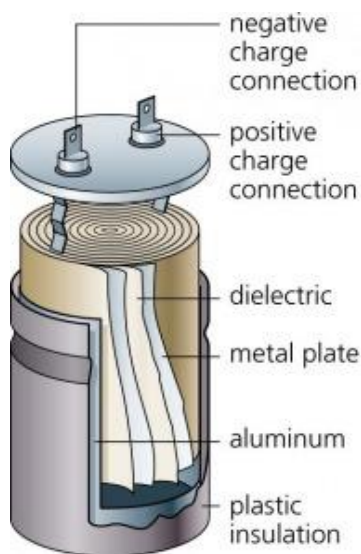




## 4.5 Πυκνωτές

Οι πυκνωτές είναι συσκευές που χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση ενέργειας με την μορφή ηλεκτρικού φορτίου. Ουσιαστικά πρόκειται για ένα σύστημα δύο αγωγών, οι οποίοι ονομάζονται οπλισμοί, μεταξύ των οποίων παρεμβάλλεται συνήθως κάποιο μονωτικό υλικό, το οποίο ονομάζεται διηλεκτρικό.

Τα υλικά αυτά έχουν την ιδιότητα να πολώνουν τα ηλεκτρικά φορτία, χαρακτηριστικό που τα καθιστά ιδανικά για χρήση στους πυκνωτές. Το διηλεκτρικό υλικό μπορεί να είναι χαρτί, πλαστικό, γυαλί, αέρας κ.ά.



Σχήμα 4.3 Πυκνωτής

Η διαφορά δυναμικού που αναπτύσσεται μεταξύ των οπλισμών ενός πυκνωτή όταν φορτιστεί ονομάζεται τάση. Το πηλίκο του φορτίου ενός πυκνωτή προς την τάση του καλείται χωρητικότητα, συμβολίζεται με το λατινικό γράμμα C και έχει ως μονάδα μέτρησης το Φαραντ, προς τιμήν του μεγάλου Άγγλου επιστήμονα Μάικλ Φαραντέι.

Γιατί όμως χρειάζεται το διηλεκτρικό; Γιατί απλούστατα όταν ανάμεσα στους οπλισμούς ενός πυκνωτή παρεμβάλλεται διηλεκτρικό τότε αυξάνεται η χωρητικότητα του, δηλαδή η ποσότητα του ηλεκτρικού φορτίου που μπορεί να αποθηκεύσει.

Τέλος, εκτός όμως από το διηλεκτρικό, η χωρητικότητα ενός πυκνωτή εξαρτάται και από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του, δηλαδή από το μέγεθος και την απόσταση των οπλισμών του.

Για την λειτουργία του μετατροπέα μας επιλεχθήκαν οι εξής πυκνωτές σύμφωνα με το κύκλωμα του:

0.1uF

470uF 25V



## 4.6 Δίοδοι

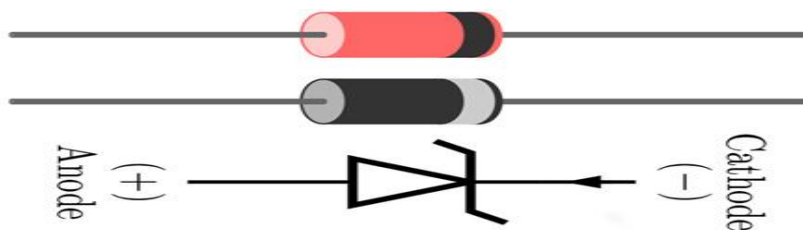
Κατασκευαστικά αποτελείται από μία απλή επαφή θετικών και αρνητικών φορτίων. Στη μία περιοχή υπάρχουν πολλά ηλεκτρόνια - αρνητικό φορτίο - και στην άλλη πολλές "οπές" όπως λέγονται στα ηλεκτρονικά, δηλαδή απουσία ηλεκτρονίων.

Με αυτόν τον τρόπο πετυχαίνουμε το ρεύμα να περνάει προς τη μία κατεύθυνση και να αποκόβεται προς την αντίθετη.

**Η βασική αρχή είναι ότι τα αντίθετα έλκονται και τα ομώνυμα απωθούνται!**

Αν στην άνοδο της (το θετικό άκρο της), αυτό που έχει περισσότερα αρνητικά φορτία, εφαρμόσουμε θετική τάση, τότε θα περάσει από μέσα της ένα ρεύμα με φορά προς την άλλη επαφή, την κάθοδο.

Όταν όμως εφαρμόσουμε μία αρνητική τάση τότε, λόγω του αρνητικού φορτίου, δεν θα αφήσει να περάσει το ρεύμα από μέσα της. Έτσι, δεν θα λειτουργήσει.



Και αν εφαρμόσουμε ένα μεγάλο ανάστροφο ρεύμα στα άκρα της τότε υπάρχει κίνδυνος να καταστραφεί, να καεί δηλαδή. Για την προστασία της, όταν θέλουμε να μειώσουμε τέτοιες πιθανότητες, συνδέουμε και μία απλή αντίσταση στην άνοδο της.

Ελέγχοντας με ένα βολτόμετρο, το όργανο που χρησιμοποιούμε για τη μέτρηση της τάσης ανάμεσα σε δύο σημεία, στην πρώτη περίπτωση (ορθή πόλωση), θα δούμε την τάση λειτουργίας της διόδου (συνήθως είναι 0,6 - 0,7 Volts).

Τοποθετώντας τους ακροδέκτες ανάποδα, το θετικό στην κάθοδο και το αρνητικό στην άνοδο (ανάστροφη πόλωση της διόδου), τότε θα μετρήσουμε την τάση της πηγής από την οποία τροφοδοτείται η δίοδος.

Για την λειτουργία του μετατροπέα μας επιλεχτήκαν οι εξής διόδοι σύμφωνα με το κύκλωμα του:

1N914

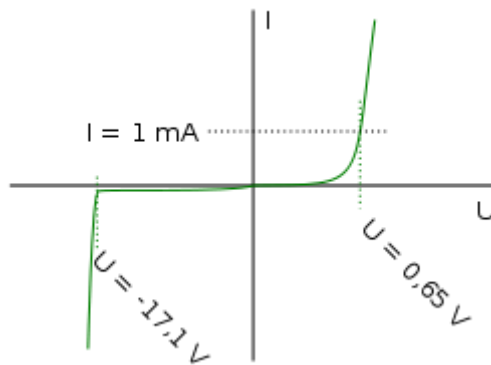
1N4004



#### **4.7 Δίοδος Zener**

Η Δίοδος Zener είναι μια δίοδος που μπορεί να λειτουργεί στην περιοχή κατάρρευσης, δηλαδή στην περιοχή τάσης στην οποία οι λοιπές διόδοι κινδυνεύουν να καταστραφούν. Γι' αυτό το λόγο ονομάζεται και δίοδος κατάρρευσης. Είναι το βασικότερο εξάρτημα των σταθεροποιητών τάσης που κρατούν την τάση στο φορτίο του κυκλώματος σταθερή ανεξάρτητα από μεταβολές στην τάση της γραμμής και στην αντίσταση του φορτίου. Είναι κάτι σαν ασφάλεια τάσης.

Μεταβάλλοντας τη στάθμη προσμίξεων των διόδων πυριτίου, στην πράξη μπορούμε να έχουμε τέτοιες διόδους με τάσεις κατάρρευσης από 2 έως 200 βολτ οι οποίες έχουν δυνατότητα λειτουργίας και στις 3 περιοχές ορθής διαρροής και κατάρρευσης. Η δίοδος Ζένερ στην ορθή περιοχή αρχίζει να άγει γύρω στα 0,7 βολτ σαν μια απλή δίοδος. Στην περιοχή διαρροής ανάμεσα στο 0 και την κατάρρευση έχει ένα μόνο ανάστροφο ρεύμα. Ακολουθεί η χαρακτηριστική της διόδου Ζένερ.



Σχήμα 4.4 Περιοχή λειτουργίας Zener

Στην κατάρρευση έχει μια πολύ απότομη καμπή που συνοδεύεται από μία σχεδόν κατακόρυφη αύξηση του ρεύματος. Ακόμα η τάση στην περιοχή κατάρρευσης είναι σχεδόν σταθερή και περίπου ίση με  $U_z$ . Η τιμή αυτή συνήθως καθορίζεται από τα φυλλάδια προδιαγραφών της διόδου σε ένα ρεύμα δοκιμής.

Η διόδος λειτουργεί, όσο το ανάστροφο ρεύμα είναι μικρότερο του  $I_{zmax}$ . Αν το ρεύμα γίνει μεγαλύτερο από το  $I_{zmax}$ , η διόδος θα καταστραφεί.

Η αντίσταση που παρουσιάζει η διόδος Ζένερ στην περιοχή κατάρρευσης είναι πολύ μικρή, με αποτέλεσμα μια μεγάλη αύξηση του ρεύματος να δημιουργεί μόνο μια μικρή αύξηση της τάσης, που αντιστοιχεί σε λίγα δέκατα του βολτ.

Στο κύκλωμα χρησιμοποιείται πάντοτε μια αντίσταση περιορισμού ρεύματος  $R_s$  η οποία συνδέεται πάντα σε σειρά με την διόδο με σκοπό την προστασία της διόδου. Στο κύκλωμα η τάση στα άκρα της αντίστασης είναι:  $V_r = V_{in} - V_z$

και το ρεύμα μέσα από την αντίσταση και την διόδο Ζένερ είναι:  $I = (V_{in} - V_z) / R_s$

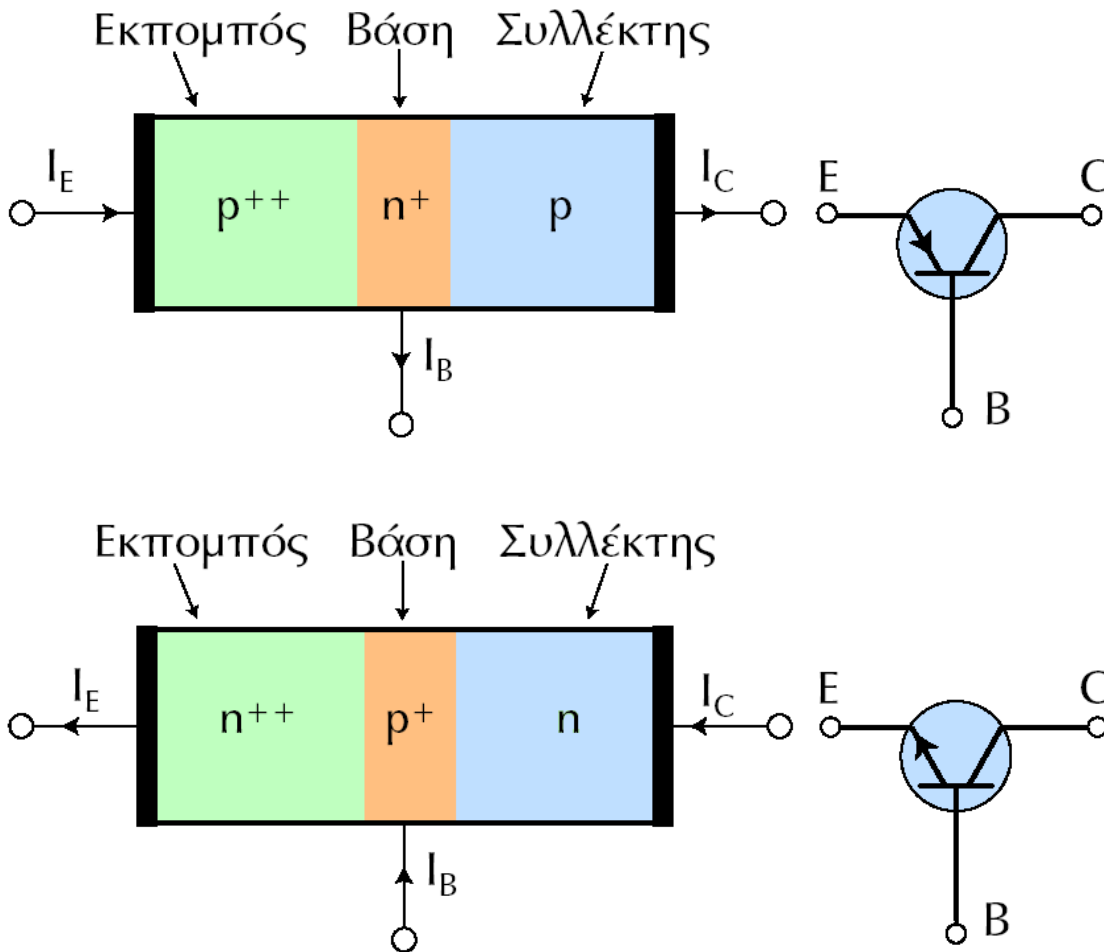
Για την λειτουργία του μετατροπέα μας επιλέχθηκε η εξής διόδος Zener σύμφωνα με το κύκλωμα του:

12V 400mW



## 4.8 Τρανζίστορ

Το τρανζίστορ είναι ένας κρύσταλλος με τρεις περιοχές εμπλουτισμένες με προσμίξεις, δηλ. αποτελείται από τρία διαδοχικά εναλλασσόμενα στρώματα ημιαγωγού υλικού (sandwich υλικό), εκ των οποίων το ενδιάμεσο υλικό είναι είτε τύπου -n (τρανζίστορ τύπου-pnp) ή τύπου-p (τρανζίστορ τύπου -npn).



**Σημείωση:** Στο κυκλωματικό σύμβολο, το βέλος βρίσκεται πάντα στον εκπομπό και δείχνει τη συμβατική φορά του ηλεκτρικού ρεύματος, ενώ η φορά του βέλους δείχνει τον ημιαγωγό-n.

Ένα τρανζίστορ αποτελείται από 3 περιοχές με διακεκριμένη λειτουργία η καθεμία:

- Εκπομπός (emitter): Είναι μια έντονα εμπλουτισμένη περιοχή και εκπέμπει φορτία προς τη βάση.
- Βάση (base): Είναι μια πολύ λεπτή περιοχή λιγότερο εμπλουτισμένη, που επιτρέπει στα περισσότερα φορτία που εκπέμπονται από τον εκπομπό να φθάνουν στο συλλέκτη
- Συλλέκτης (collector): Συλλέγει τα φορτία που καταφθάνουν από τον εκπομπό. Το επίπεδο εμπλουτισμού του βρίσκεται μεταξύ αυτών του εκπομπού και της βάσης, ενώ η ισχύς που καταναλώνεται σ' αυτόν είναι μεγαλύτερη από εκείνες που καταναλώνονται στη βάση και στον εκπομπό, γι' αυτό και η περιοχή που καταλαμβάνει ο συλλέκτης είναι μεγαλύτερη.

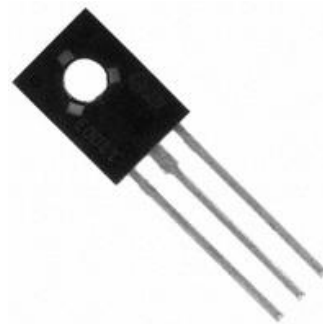
Μπορεί να θεωρηθεί ότι το διπολικό τρανζίστορ αποτελείται από δύο διόδους συνδεδεμένες σε αντίθετη φορά, μια μεταξύ βάσης και εκπομπού (δίοδος ή επαφή εκπομπού) και μια μεταξύ βάσης και συλλέκτη (δίοδος ή επαφή συλλέκτη).

Για την λειτουργία του μετατροπέα μας επιλέχθηκαν τα εξής Τρανζίστορ σύμφωνα με το κύκλωμα του:

BC547 NPN



BD679 NPN



## 4.9 Πηνίο

Το πηνίο είναι ένα από τα κύρια εξαρτήματα των ηλεκτρικών κυκλωμάτων. Πρόκειται για ένα συρμάτινο τύλιγμα που έχει την ιδιότητα να αναπτύσσει μαγνητικό πεδίο στο εσωτερικό του όταν διαρρέεται από ρεύμα. Το πηνίο μπορεί να είναι κενό εσωτερικά ή να περιέχει κάποιον πυρήνα από σιδηρομαγνητικό υλικό.

Το πηνίο χρησιμοποιείται στις περισσότερες πρακτικές εφαρμογές του ηλεκτρομαγνητισμού εκμεταλλευόμενο την ιδιότητα του να μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια σε μαγνητική και το αντίθετο. Έτσι λοιπόν χρησιμοποιείται στις ηλεκτρικές γεννήτριες, στους ηλεκτροκινητήρες, στους μετασχηματιστές, στα εξαρτήματα ρελέ σε ηλεκτρομαγνήτες και ακόμα σε χρονοκυκλώματα, σε φίλτρα και σε ταλαντωτές.

Το πηνίο χρησιμοποιείται σε εφαρμογές που εκμεταλλεύονται το φαινόμενο της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής λόγω της ιδιότητάς του να αναπτύσσει εντονότερη μαγνητική ροή στο εσωτερικό του σε σχέση με έναν απλό βρόγχο. Το πηνίο λόγω σχήματος περιλαμβάνει πολλούς βρόγχους σε σειρά με αποτέλεσμα η μαγνητική ροή στο εσωτερικό του να είναι πολλαπλή σε σχέση με έναν απλό βρόγχο.

Η χρήση του πηνίου σε χρονοκυκλώματα είναι αποτέλεσμα του κανόνα του Λεντς σύμφωνα με τον οποίο το πηνίο δεν αποκτά ακαριαία μέγιστο ρεύμα όταν συνδεθεί με μία πηγή. Αυτό συμβαίνει γιατί αναπτύσσεται αρχικά τάση από αυτεπαγωγή στα άκρα του, αντίθετη με την φορά της τάσης της πηγής. Αντίστοιχά κατά την εκφόρτιση αναπτύσσει τάση λόγω αυτεπαγωγής και

εμποδίζει το ρεύμα του κυκλώματος να μηδενιστεί ακαριαία όταν το κύκλωμα αποσυνδέεται από την πηγή.

Η χρήση του πηνίου ως ηλεκτρονικού φίλτρου οφείλεται στο γεγονός ότι είναι εντελώς αγωγίμο για το συνεχές ρεύμα, ενώ παρουσιάζει σύνθετη αντίσταση στο εναλλασσόμενο που αυξάνει όσο αυξάνεται η συχνότητα του εναλλασσόμενου ρεύματος. Επομένως το πηνίο επιτρέπει την διέλευση των συνεχών ρευμάτων και των ρευμάτων χαμηλών συχνοτήτων αλλά αποκόπτει τα ρεύματα πολύ υψηλών συχνοτήτων.

Για την κατασκευή του πηνίου του μετατροπέα μας L1 χρησιμοποιήθηκε 4 m μαγνητικό σύρμα πάχους 0,5 mm το οποίο τυλίχτηκε σε 80 σπείρες πάνω σε ένα δακτυλιοειδή πύρινα εξωτερικής διαμέτρου 40 mm, και είναι το εξής:



Σχήμα 4.5 Πηνίο

#### **4.10 Ολοκλήρωση κατασκευής**

Για την ολοκλήρωση της κατασκευής χρησιμοποιήθηκαν κάποια επιπλέον εξαρτήματα, τα οποία αναφέρονται και δείχνονται παρακάτω.

- 1) **Πλακέτα:** Επάνω σε αυτήν τοποθετήθηκαν τα εξαρτήματα που αναφέρθηκαν παραπάνω σύμφωνα με το σχέδιο του κυκλώματος του μετατροπέα.



- 2) **Λυχνία ένδειξης τάσης εξόδου 12V:** Η λυχνία αυτή ανάβει δείχνοντας μας πως υπάρχει τάση εξόδου 12V.



- 3) **Ακροδέκτες:** Χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της τάσης εξόδου με τη βοήθεια Βολτόμετρου.



- 4) **Διακόπτης on/off:** Χρησιμοποιείται για το άναμμα και το σβήσιμο της λυχνίας (12V) στην έξοδο του μετατροπέα.



- 5) **Μεταλλικό κουτί:** Μέσα σε αυτό τοποθετήθηκε το ολοκληρωμένο κύκλωμα του μετατροπέα και επάνω σε αυτό τοποθετήθηκαν τα προηγούμενα εξαρτήματα ( Λυχνία, Ακροδέκτες, Διακόπτης)

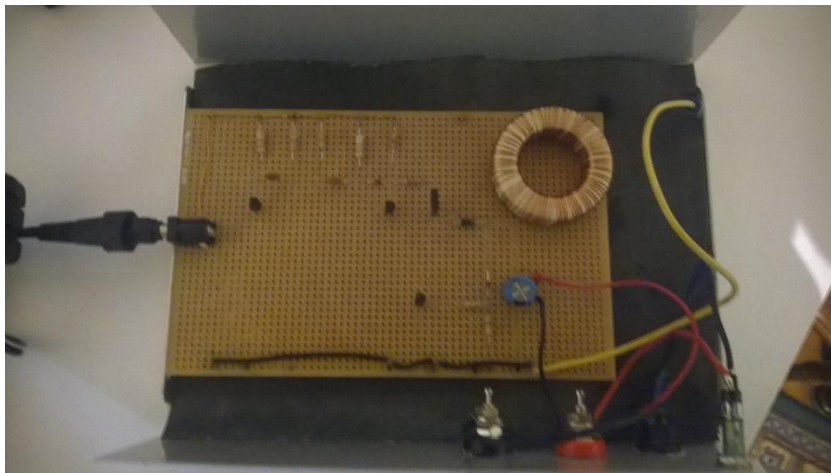




## ΕΠΙΛΟΓΟΣ

### ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Μετά από τη σωστή επιλογή κυκλώματος και τη σωστή επιλογή υλικών και βοηθητικών εξαρτημάτων κατασκευάστηκε ο μετατροπέας ανύψωσης τάσης 6V DC – 12V DC. Ο μετατροπέας αυτός εκτελώντας τις λειτουργίες του κάθε εξαρτήματος που αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο μετατρέπει την τάση εισόδου των 6V DC που του δίνεται σε τάση εξόδου 12V DC. Αυτό μπορεί να φανεί από την ενδεικτική λυχνία που έχει τοποθετηθεί, και από τους ακροδέκτες με τη χρήση Βολτόμετρου.



Ολοκλήρωση κατασκευής

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΕΞΕΡΕΥΝΗΣΕΙΣ (Δημήτρης Κλ. Παπακώστας )
- ΨΗΦΙΑΚΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ 8<sup>η</sup> Έκδοση ( Ευάγγελος Κ. Ευαγγέλου )
- ΒΑΣΙΚΗ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ (Νίκος Μάργαρης )
- ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ ( Σταύρος Κυρτόπουλος )
- ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ ΙΣΧΥΟΣ ( Ιορδάνης Κιοσκερίδης )
- ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ 5<sup>η</sup> Έκδοση ( Charles A. Schuler )
- ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΙΣΧΥΟΣ ( Παναγιώτης Α. Δημητριάδης )
- ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ( Μυλονόπουλος Παναγιώτης )
- ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ( Μαρκαναστασάκης Γεώργιος, Καψιμάλης Γεώργιος )
- ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ( Γρηγόριος Ζαφειράκης )
- ΒΙΚΙΠΑΙΔΕΙΑ
- [www.coolweb.gr](http://www.coolweb.gr)

## Περιεχόμενα

Περίληψη.....	3
Abstract .....	4
Πρόλογος.....	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 .....	6
ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑ DC/DC .....	6
1.2 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΩΝ Σ.Ρ./Σ.Ρ. ....	7
1.3 ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΩΝ DC-DC.....	7
1.4 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΤΩΝ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΩΝ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ.....	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 .....	10
ΕΙΔΗ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΩΝ.....	10
2.1 Τα είδη των μετατροπέων DC-DC .....	10
2.2 Μετατροπέας υποβιβασμού τάσης .....	10
2.3 Μετατροπέας ανύψωσης τάσης.....	11
2.4 Μετατροπέας Σ.Ρ./Σ.Ρ. Υποβιβασμού – Ανύψωσης .....	12
2.5 Μετατροπείς υποβιβασμού –ανύψωσης τάσης δυο διακοπών.....	13
2.6 Συνεχής μετατροπέας Σ.Ρ./Σ.Ρ. (Cuk converter).....	14
2.7 Μετατροπέας συνεχούς ρεύματος με πλήρη γέφυρα.....	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 .....	18
ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΤΑΣΗΣ ΕΞΟΔΟΥ ΤΩΝ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΩΝ DC-DC.....	18
3.1 ΤΕΧΝΙΚΗ PWM .....	18
3.2 Κυμάτωση της Τάσης Εξόδου Μετατροπέων .....	19
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 .....	21
ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑ DC-DC .....	21
4.1 Κύκλωμα Μετατροπέα .....	21
4.2 Υλικά κατασκευής.....	22
4.3 Τροφοδοτικό.....	22
4.4 Αντιστάσεις .....	23
4.6 Δίοδοι .....	26
4.7 Δίοδος Zener.....	27
4.8 Τρανζίστορ .....	29
4.9 Πηνίο .....	30
4.10 Ολοκλήρωση κατασκευής .....	31
ΕΠΙΛΟΓΟΣ.....	33
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	34

